

Rapport til

Erhvervs- og Boligstyrelsen

HANDLINGSPLAN FOR DET METROLOGISKE HOVEDOMRÅDE: ELEKTRICITET

af

*Hans D. Jensen, Dansk Institut for Fundamental Metrologi,
med bidrag fra*

*Torsten Lippert, Daniamet-Arepa
Orla Kristensen og Kristen Hansen, Arepa Test & Kalibrering A/S
Hans Ebert og Gert Frølund Pedersen, CPK, Aalborg Universitets Center
Jørgen Duvald, DELTA Dansk Elektronik, Lys & Akustik
Lazare Szaff, UL International Demko A/S
Ole Mørk Lauridsen, NetTest A/S*

Resumé:

Danmark har et vel-udbygget net af akkrediterede kalibrerings- og prøvningslaboratorier der opfylder størstedelen af de industrielle behov. De nationale primær- og referencelaboratorier tilfredsstiller kun en meget lille del af den nødvendige sporbarhed, og de akkrediterede laboratorier er derfor stærkt afhængige af tilgangen til sporbarhed fra udenlandske metrologi laboratorier. Denne tilgang skal til dels sikres gennem en passende profil af forsknings- og udviklingsprojekter og en sammensætning af nationale normaler indenfor elektrisk metrologi, der samtidig med at kunne levere sporbarhed for centrale målestørrelser, åbner for deltagelse i internationale forskningssamarbejder, sammenligninger og samarbejdsfora.

Det foreslås at der etableres et nationalt primærlaboratorium for kalibrering af antenner og feltprober for at tilgodese prøvningslaboratoriernes behov i forbindelse med EMC prøvning, og de øgede industrielle behov omkring trådløs kommunikation.

Det foreslås at styrke de eksisterende aktiviteter og samarbejder ved de nationale primær- og referencelaboratorier, og at disse aktiviteter kan indgå i resultatkontrakter uafhængig af institutionelle forhold. En mulighed er desuden at samle aktiviteter organisatorisk ved etablering af et virtuelt primærlaboratorium for elektrisk metrologi.

Det foreslås at supplere de internationale undersøgelser af nationale laboratoriers indbyrdes videregivelse af sporbarhed, med en undersøgelse af omfanget af de danske akkrediterede laboratoriers brug af udenlandsk sporbarhed.

Det foreslås at dansk deltagelse i standardiseringsarbejde om prøvning og f.eks. telekommunikationsprotokoller styrkes.

Den øgede out-sourcing af kalibrering og måleteknisk vedligehold i virksomheder har skabt et behov for videnformidling omkring metrologi, herunder kalibrerings- og målemetoder, og usikkerhedsberegning.



TEKNOLOGISK
INSTITUT



Indholdsfortegnelse

1	Indledning	1
2	Sammenfatning og konklusioner	2
3	Beskrivelse af hovedområdet	2
	3.1 Beskrivelse af det metrologiske felt DC	5
	3.2 Beskrivelse af det metrologiske felt AC	5
	3.3 Beskrivelse af det metrologiske felt HF	6
4	Behovs- og ressourceopgørelser	7
	4.1 Generelle problemstillinger	7
	4.2 Industriel anvendelse	10
	4.3 Legal og anden forskriftmæssig anvendelse	11
	4.4 Kalibrering og prøvning	11
	4.5 Forskning	13
	4.6 Ressourceopgørelser	13
	4.6.1 Det metrologiske felt DC	14
	4.6.2 Det metrologiske felt AC	14
	4.6.3 Det metrologiske felt HF	15
5	Forslag til indsatsområder	16
	5.1 Det metrologiske felt DC	16
	5.2 Det metrologiske felt AC	16
	5.3 Det metrologiske felt HF	17
6	Forslag til etablering af nationale primær- og referencelaboratorier	17
7	Appendices	18
	Appendix A Nationale primær- og referencelaboratorier	18
	Appendix B Akkrediterede kalibreringslaboratorier	18
	Appendix C Akkrediterede prøvningslaboratorier	19
	Appendix D Andre bidragydere, hørte parter og hørings svar	19
	Appendix E CCEM Klassifikation	20

1 Indledning

Denne handlingsplan er rekvireret af Erhvervs- og Boligstyrelsen og erstatter den i 1994 udarbejdede handlingsplan for det elektriske område. I den forløbne tid er der ligeledes udarbejdet handlingsplaner for områderne:

Masse
 Længde
 Tid og frekvens
 Optisk metrologi
 Strøm af fluide medier (flow)
 Akustik
 Termometri
 Ioniserende stråling og radioaktivitet
 Kemi

Handlingsplanen har til formål at gøre status på det metrologiske hovedområde samt at udpege indsatsområder for de næste ca. fem år. Handlingsplanen lægger således strategien for udviklingen af den fundamentale metrologi i Danmark.

Til udarbejdelse af denne plan er indhentet bidrag og oplysninger fra de personer der er tættest på den elektriske metrologi her i landet, især fra repræsentanter fra de elektriske primær- og referencelaboratorier, samt brugere ved henholdsvis akkrediterede kalibreringslaboratorier og prøvningslaboratorier, brugere og udbydere af andre måletekniske ydelser og personer ved målefaciliteter udenfor den bestående metrologiske infrastruktur.

Hovedkonklusionerne og anbefalingerne fra den forrige handlingsplan kan summeres til:

- Tilvejebringelsen af primært niveau på AC området og søgning mod etablering af referencelaboratorium for antennekalibrering.
- Deltagelsen i de internationale arbejde med standardisering styrkes, blandt andet for at sikre informationstilgangen om den internationale udvikling
- Kalibreringsfaciliteter udenfor akkrediteringsordningen søges knyttet dertil, herunder kalibrering af elmålere.

Følgende vurdering af ovenstående konklusioner og anbefalinger kan foretages:

- Der har i perioden været arbejdet på etablering primært niveau for AC/DC transfer og målet blev nået i 2001 med udpegning af Arepa Test & Kalibrering A/S som national primærlaboratorium for AC elektricitet. Den afsluttende fase af etablering og udpegning er kommet i stand ved hjælp af finansiering fra en centerkontrakt. Der er ikke i perioden etableret et referencelaboratorium for antennekalibrering.
- Deltagelsen i standardiseringsarbejde relevant for elektrisk metrologi er ikke blevet styrket. Dog har Danmark i den forløbne periode opnået medlemskab i Meterkonventionens Konsultative Komite for Elektricitet og Magnetisme (CCEM), og deltagelse i ekspertgrupper under European Cooperation in Accreditation (EA) er blevet styrket, senest gennem formandskab i EAs DC-LF ekspertgruppe.
- De eksisterende kalibreringsfaciliteter til kalibrering af elmålere er kommet ind under akkrediteringsordningen, idet krav om dokumenteret sporbar måling af elektrisk energi blev indført i 1997 (Erhvervsfremme Styrelsens bekendtgørelse nr. 54 af 23. januar 1997), hvorfor adskillige elforsyningselskaber valgte at lade deres kalibreringslaboratorier akkreditere. For tiden er der 10 akkrediterede laboratorier indenfor området.

2 Sammenfatning og konklusioner

Nedenfor opsummeres handlingsplanens anbefalinger, og der gives et overslag over de omkostninger der er forbundet med forslagene i form af årsværk i alt over en tidsramme på 5 år. Til sammenligning med tallene herunder anvendes i øjeblikket omtrent 2 årsværk per år, (hvoraf 1 årsværk hidrører fra DFM's resultatkontraktmidler), på forskning, udvikling og vedligehold af nationale normaler, samt deltagelse i det internationale arbejde. De eksisterende aktiviteter er integreret i nedenstående overslag.

Det anbefales at der etableres et primærlaboratorium til kalibrering af antenner og feltprober, for eksempel med udgangspunkt i den ved Aalborg Universitet Center etablerede facilitet til nærfelts målinger og antenne/probe kalibrering. Det skal i første omgang undersøges hvilke konkrete udviklingsprojekter der skal gennemføres for at dække en optimal del af prøvningslaboratoriernes behov og under hvilken driftsform et primærlaboratorium kan drives. Omkostning: 6 årsværk fordelt på 5 år.

Det må sikres at udvikling og vedligehold af nationale elektriske normaler kan foregå på ens vilkår for normaler placeret ved Godkendte Teknologiske Serviceinstitutter (GTS) og ved private virksomheder; herunder det økonomiske grundlag for etablering, udvikling, forskning, deltagelse i internationale fora og sammenligninger. Med udgangspunkt i den ny lov om erhvervsudvikling synes der grundlag for etablering af resultatkontrakter med de private virksomheder der vedligeholder nationale normaler i lighed med GTS institutter. Omkostning: 8 årsværk fordelt på 5 år, eksklusive kalibreringsindtægter.

For at sikre en klar international profil for elektrisk metrologi på primært niveau anbefales det at fortsætte forskningsindsatsen på enkelt-elektron fænomener og anden nano-elektronik, etablere en udviklingsindsats på området impedans og videreføre forsknings- og udviklingssamarbejdet inden for DC/AC. Omkostning: 8 årsværk fordelt på 5 år, der søges suppleret med midler fra nationale og EU forskningsprogrammer.

Til supplerung af det internationale arbejde der er igangsat med kortlægning af sporbarhed mellem nationale laboratorier anbefales det at gennemføre en kortlægning af de akkrediterede kalibrerings- og prøvningslaboratoriers hjemtagelse af sporbarhed fra udenlandske nationale metrologi laboratorier. Omkostning: 1 årsværk.

Deltagelse i standardiseringsarbejde om prøvning, herunder også telekommunikationsprotokoller bør styrkes blandt andet ved at danske standardiseringsorganers fokus rettes mod området og danske interesser repræsenteres. Omkostning: 2 årsværk fordelt på 5 år.

Der bør gennemføres en målrettet videnformidling om måle og kalibreringsarbejde for virksomheder, for eksempel vejledning og kurser om usikkerhedsberegning, udvikling og publicering af generiske modeller, etc. Omkostning: 1 årsværk til koordinering, initiering, og generel videnformidling, mens kurser og lignende kan gennemføres på kommercielle vilkår.

Sammenfattende kræver handlingsplanens forslag et årligt beløb svarende til 5,2 årsværk, hvoraf 1,2 kan forventes dækket af DFM's resultatkontrakt.

3 Beskrivelse af hovedområdet

Hovedområdet elektrisk metrologi omfatter sporbare målinger af alle elektromagnetiske enheder inden for System international d'unité (SI). Området lader sig inddele i tre felter: DC (direct current - jævnstrøm), AC (alternating current - vekselstrøm) og HF (high frequency - højfrekvent vekselstrøm). Feltet S/H (stærkstrøm og højspænding) der har optrådt i de tidligere handlingsplaner er fjernet som et selvstændigt felt i denne handlingsplan, da der ikke i tilstrækkelig grad eksisterer faciliteter eller behov for et selvstændigt felt. De måleområder der før var omfattet af feltet S/H er integreret i henholdsvis DC og AC. Opdelingen følger af de tekniske begreber og metoder, som i praksis bringes til anvendelse inden for hvert af felterne.

Hovedområdet elektricitet er søgt anskueliggjort i en noget forenklet form i tabellen på side 3. Hovedområdet elektricitet ses opdelt i de tre metrologiske felter DC, AC og HF. Under hvert felt er der anført feltets vigtigste målestørrelser samt det måleområde, hvori de typisk anvendes. Endelig er der i stikordsform redegjort for nogle af de vigtigste normaler på forskellige niveauer.

I regi af CCEM er man enedes om en opdeling af elektrisk metrologi i 12 kategorier, gengivet i Appendix E, som anvendes i forbindelse med de nationale metrologi laboratoriers udbud af kalibreringsydelser som de er anført i den centrale database der vedligeholdes af Bureau International des Poids et Mesures (BIPM). Denne database er en del af grundlaget for aftalen om multilateral gensidig anerkendelse af kalibreringscertifikater indgået blandt medlemmerne af Meterkonventionen i 1999. Den samme opdeling anvendes nu indenfor de Europæiske nationale metrologi laboratoriers organisation EUROMET. I regi af CCEM og EUROMET eksisterer et antal arbejds- og ekspertgrupper der behandler emner indenfor en under-opdeling af de 12 kategorier.

Indenfor EA anvendes en tredje opdeling og der er to ekspertgrupper. I tabellen side 4 er opstillet en krydsreference mellem de tre danske felter under hovedområdet elektricitet og den internationale organisation i CCEM og EUROMET, samt indenfor EA.

HOVEDOMRÅDE: ELEKTRICITET			
FELT	VIGTIGSTE MÅLESTØRRELSER	TYPISK MÅLEOMRÅDE	VIGTIGSTE NORMALER
DC	Jævnspænding	1 mV – 40 kV	Josephsoneffekt. Spændingsvægte. Zener-referencer. Delere.
	Resistans	0.1mΩ – 100 TΩ	Kvantiseret Hall Effekt. Trådmodstande. Delere.
	Jævnstrøm	1 μA – 1k A.	Afledning via spænding og resistans. Shunte.
AC under 50 MHz	Vekselspænding	1 mV – 20 V (til 1 MHz) 20 V – 15 kV (til 100 kHz) 1 V (til 50 MHz)	Fra DC-spænding via beregnbare termiske DC-AC konvertere. Resistive og induktive spændingsdelere.
	Vekselstrøm	1 mA – 2 kA (til 100 kHz)	Fra DC-strøm via termiske DC-AC konvertere. Strømtransformere. Shunte.
	Elektrisk effekt	1 μW – 50 kW	Fra DC-spænding, resistans og termiske konvertere.
	Kapacitans	1 pF – 10 μF	Beregnbar kondensator. Kapacitansnormaler og –broer.
HF over 50 MHz	Elektrisk effekt	1 nW – 1 W	Mikrokalorimeter. Termiske konvertere. Power sensorer. Ensrætterdioder.
	Spænding	1 V (under 300 MHz)	Termiske konvertere.
	Dæmpning	0 dB – 120 dB	Kalibrerede dæmpningsled.
	Refleksion	-1 – +1	Terminatorer (afbrydelse/kortslutning).

Krydsreference mellem den danske opdeling i felter og den internationale opdeling i henholdsvis CCEM, EUROMET og EA.

Danske felter under hovedområdet	CCEM kategorier (se Appendix E)	CCEM arbejdsgrupper	EUROMET tekniske grupper	EA kategorier	EA ekspertgrupper
DC (jævnspænding)	1, 2, 3, 8, (12)	GT-QHR, GT-kilogram	DC and Quantum standards	Voltage, resistance, current, voltage ratio	DC-LF
AC (vekselspænding)	4, 5, 6, 7, 9, (12)	GT-QHR	AC-LF	AC/DC transfer (voltage and current), capacitance, dissipation factor, inductance, power and energy	
HF (høj frekvens)	10, 11	GT-RF	RF and microwave	Attenuation, impedance (reflection factor), power, voltage.	HF

3.1 Beskrivelse af det metrologiske felt DC

Inden for DC-teknik beskæftiger man sig med elektriske kredsløb, hvori strømmene i princippet hele tiden løber samme vej. De vigtigste målestørrelser inden for feltet DC er jævnstrøm, jævnspænding og modstand (resistans). Den største aktivitet indenfor DC er begrænset til strømstyrker og spændinger mindre end henholdsvis 100 A og 1 kV, men med inkluderingen af feltet S/H behandles også spændinger op til typisk 40 kV og strømme i kA området.

Siden 1. januar 1990 har udgangspunktet for de elektriske enheder været de kvantefysiske fænomener Josephson effekten og kvantiseret Hall effekt. Definitionen af de elektriske enheder har amperen som udgangspunkt, men det faktum at reproducerbarheden af Josephson og kvantiseret Hall effekt er to størrelsesordner bedre end SI realiseringen af disse enheder, har medført det valg, at lade disse effekter repræsentere henholdsvis volt og ohm. Direkte sporbarhed til SI kan for de elektriske enheder opnås via den kalkulerbare kondensator (Thomson-Lampart kondensator). Et stort arbejde foregår i bl.a. Storbritannien, USA og Schweiz, for at udvikle en effekt-vægt, der knytter elektrisk effekt til mekanisk effekt, for ultimativt at erstatte kilogram prototypen med en masseenhed baseret på de elektriske kvantenormaler.

I de senere år er det blevet muligt at købe komplette, nøglefærdige Josephson og kvantiseret Hall effekt normaler, og udbredelsen af disse primærnormaler omfatter nu også lande med en metrologisektor uden den tilhørende grundvidenskabelige ekspertise, samt større virksomheder eller forskningslaboratorier med behov for den højeste nøjagtighed.

Til realisering af spændings- og resistansværdier, som er forskellige fra de størrelser der direkte kan genereres af de primære normaler, benyttes resistive spændingsdelere, komparator broer og serie-parallel overføringsnormaler. Til kalibreringsarbejde anvendes typisk præcisions multifunktionskalibratører og digital multimetre.

Nye generationer af elektroniske måleinstrumenter som tillader måling af spænding, resistans og strøm med syv til otte betydende cifre udbredes i stadig større omfang. Disse multimetre er så driftsikre, at de kan tages i anvendelse direkte ude på produktionsstederne til kontrol af det øvrige måleudstyr med stor nøjagtighed. Denne udvikling har ført til krav om forøget kalibreringsnøjagtighed fra brugernes side, idet man rimelig vis forventer at instrumenterne kan kalibreres til deres fulde specifikation over alle måleparametre. Fremkomsten af multifunktions transfer instrumenter, der i princippet er meget korttids-stabile multimetre, har medvirket til at mindske omkostningerne ved kalibrering af en del af disse instrumenter.

Desuden anvendes transducere der omsætter centrale målestørrelser for flere af de øvrige metrologiske hovedområder til elektriske signaler, f.eks. temperatur (resistans, jævnspænding) akustik (spænding, kapacitans), radiometri (effekt) og den meget store udbredelse for måleudstyr i industrielle procesanlæg i form af transmittere og strømsløjfer (flow, tryk, fugtighed, ...)

Den centrale rolle, som jævnspænding og resistans spiller inden for den elektriske metrologi, understreges af, at disse to målestørrelser danner basis for realiseringen af spænding, strøm, modstand (impedans) og effekt inden for de øvrige metrologiske felter AC og HF

3.2 Beskrivelse af det metrologiske felt AC

Inden for AC-teknik arbejder man med vekselstrøm, hvilket vil sige, at strømmen i et givet elektrisk kredsløb skifter bevægelsesretning igen og igen som funktion af tiden med en vis frekvens. I denne rapport er AC begrænset til kun at omfatte strømstyrker, spændinger og frekvenser mindre end henholdsvis 100 A, 1 kV og 50 MHz.

De vigtigste målestørrelser inden for AC er elektrisk spænding, strøm, impedans (resistans, induktion og kapacitans) og effekt. Måling af vekselstrømmes frekvens og af elektriske pulsers stigetider spiller naturligvis også en stor rolle inden for AC, men i den internationale strukturering af metrologien er frekvensmålinger lagt sammen med tidsbestemmelser i et hovedområde for sig, og målestørrelserne tid og frekvens er derfor ikke medtaget under elektrisk metrologi.

Mange begreber fra DC kan overføres til AC. Således benyttes jævnspænding og resistans til bestemmelse af effektivværdien vekselspænding og vekselstrøm, som er fundamentale målestørrelser inden for AC. Det er væsentligt i denne forbindelse at nævne, at DC-normalerne alene ikke kan benyttes til overgangen fra DC til AC. Det er nødvendigt også at anvende termiske konvertere, med beregnbar impedans.

Udover at anvende begreber inden for AC-teknik som allerede er kendt fra DC-teknik, må man introducere en række nye. Således er f.eks. egenskaberne af de elektriske kredsløb afhængige af vekselstrømmenes frekvens og størrelser som tab (dæmpning af AC-signaler) og fasedrejning må tages i betragtning. Yderligere benyttes transformatorer i vid udstrækning til at skalere strømme og spændinger, og i den forbindelse kommer f.eks. en parameter som koblingsfaktor på tale. En fuldstændig sporbarhedskæde inden for AC omfatter således ikke blot målestørrelser med regulære SI-enheder, men også andre parametre (som f.eks. de ovennævnte), der er nødvendige til karakteriseringen af et givet systems elektriske egenskaber.

For høje spændinger og strømme som før var underlagt feltet S/H er de vigtigste målestørrelser, typisk for frekvenser på 50 Hz, spænding, strømstyrke, impedans, effekt, energi, isolationsmodstand, vinkelfejl og omsætningsforhold.

Andre parametre optræder i forbindelse med måling af materialeegenskaber, f.eks. permittivitet, resistivitet, og måling af elektrisk og magnetisk feltstyrke, f.eks. i forbindelse med kvalitetskontrol af jern eller stål. Disse målestørrelser er typisk afledt af de grundlæggende AC parametre kombineret med prøveemner eller opstillinger med velbestemt geometri.

Anvendelsen af AC-teknik kan deles i tre grupper. For det første er der anvendelsen AC-svagstrømsteknik i elektroniske apparater, herunder signalbehandling. Den anden gruppe er AC-stærkstrømsteknik som har sin hovedanvendelse inden for el-forsyningsnettet, elektriske apparater og -anlæg. Den tredje og sidste gruppe er radiokommunikation som er kendetegnet ved at benytte sig af de højere frekvenser inden for AC-teknik og digital kodet modulationsteknikker.

3.3 Beskrivelse af det metrologiske felt HF

Begrebsmæssigt er HF en del af AC. HF omhandler blot højere frekvenser. I denne rapport udskilles HF fra AC, idet man i praksis må anvende andre måleteknikker når frekvensen øges. Grænsen sættes ved 50 MHz med forbehold, således at HF alene omhandler elektriske kredsløb hvori vekselstrømsfrekvensen er større end 50 MHz. Nye signalbehandlings- og måleteknikker rykker dog stærkt ved denne grænse, idet det frekvensområde hvor måling af amplitude og fase af de elektriske størrelser er velbestemt stadig øges og i dag nærmer sig 1 GHz.

Betydningen af metrologi inden for HF ligger i anvendelsen af stadig højere frekvenser inden for televerdenen og kommunikationsindustrien (radio, TV (luftbåren/kabel – analog/digital), telefoni (fastnet/mobil), Internet, kortrækkende datatransmission, satellittransmission mm. Der er en stadig mere intensiv udvikling indenfor radiobaserede kommunikations- og datasystemer, bl.a. med udbredelsen af GSM/GSPR/UMTS systemer, ved frekvenser omkring 1 til 3 GHz til trådløs kommunikation og datatransmission.

Flere og flere kommunikationssystemer baseres på frekvenser over 1 GHz. De rundspredende satellitter der forestår en del af distributionen af TV signaler anvender frekvensområdet 10-24 GHz, og det samme gør sig gældende for de mange andre kommunikationssatellitter. Bredbandede kommunikationssystemer vil være placeret i frekvensområdet 26 til 40 GHz og i forbindelse med nye radiokædestationer er frekvenser i området 50 til 60 GHz på tale.

Afledt heraf spiller problemfeltet EMC (Electro-Magnetic Compatibility) en stadig større rolle. EMC omhandler elektriske apparaters evne til at kunne fungere korrekt under påvirkning af de elektriske og elektromagnetiske signaler, som andre apparater i dets nærhed udsender, samt apparaternes egen udsendelse af elektromagnetiske signaler, som kan genere øvrige elektriske apparater. EU direktiverne med krav til EMC prøvning har sat yderligere fokus på måleteknikken og sporbarheden indenfor området.

De høje frekvenser inden for HF relativt AC betyder, at andre fænomener og problemstillinger dukker op i forbindelse med brugen af de elektroniske kredsløb. Listen over de vigtigste målestørrelser skifter derfor karakter i forhold til AC og DC og bliver til: Elektrisk spænding, effekt, dæmpning, refleksion, fasedrejning og støj. For EMC prøvning, desuden kalibrering af sende- og modtageantennener og feltprober: forstærkningsfaktor og retningskarakteristik, samt feltstyrke.

Inden for området optiske fibre arbejdes der også med høje frekvenser, men dette område henregnes til optisk metrologi og ikke elektrisk. Der refereres derfor til handlingsplanen for optisk metrologi for en yderligere beskrivelse.

4 Behovs- og ressourceopgørelser

Anvendelsen af elektrisk måleudstyr i danske virksomheder tager mange former og indgår i mange forskellige sammenhænge og der findes ingen detaljerede opgørelser over den installerede mængde af måleudstyr. Behovsopgørelsen for industrien bygger derfor på generelle nøgletal og erfaringer kombineret med oplysninger indhentet ved interviews og samtaler med personer, som har tilknytning til elektrisk metrologi her i landet.

Gennem især de akkrediterede kalibreringslaboratorier er dannet et indtryk af den del af kalibreringsbehovet i Danmark, som er erkendt blandt kalibreringsbrugerne. Der vil således kun blive gjort begrænset forsøg på i denne rapport at afdække omfanget af de uerkendte kalibreringsbehov.

4.1 Generelle problemstillinger:

Det elektriske hovedområde har efter gennemførelsen af de fleste punkter af den tidligere handlingsplan for området, en rimelig veletableret og grundlæggende infrastruktur på det niveau der betjener de industrielle kunder.

Langt størstedelen af de industrielle kalibreringsbehov dækkes af de akkrediterede laboratorier (se Appendix B og Appendix C): Der er fem store aktører der kalibrerer måleudstyr for en meget bred kundekreds indenfor DC, AC og HF parametre, samt for prøvningslaboratorierne. Gruppen på ti laboratorier akkrediteret til kalibrering af elmålere betjener udelukkende de private og offentlige elforsyningsselskaber. De resterende kalibreringslaboratorier betjener hovedsageligt interne kunder, eller opretholder akkreditering for elektriske parametre af hensyn til andre akkrediteringsområder, f.eks. temperatur.

Der er flere forhold af generel natur der øger kravene til, og dermed behovet for elektrisk kalibrering på høj niveau: Den stigende udbredelse af måleinstrumenter og kalibreringsinstrumenter med stabilitet og præcision der nærmer sig niveauet for gode referencenormaler medfører et voksende problem i forbindelse med kalibrering af disse instrumenter. Der fås på markedet i dag instrumenter hvis specifikationer kun kan verificeres af de største nationale metrologilaboratorier. På samme måde findes der en stor del udstyr, f.eks. indenfor HF området der måler parametre til hvilke der ikke er etableret internationale sporbarhedskæder. Brugen af disse typer instrumenter vil naturligvis brede sig, og påkræver at der nationalt opretholdes et højt måleteknisk niveau der er i stand til at levere eller formidle de rette kalibreringsydelse.

Der er to grundlæggende aspekter for det øverste niveau i den danske metrologiske infrastruktur: Det første er evnen til selv at tilvejebringe sporbarhed og kalibrerings- og prøvningsydelser på et markedsmæssigt forsvarligt grundlag og dels at skabe eller formidle adgang til sporbarhed udenfor landets grænser. Det andet er at kunne signalere den til rådighed værende måletekniske kompetence overfor internationale samarbejds- og handelspartnere.

De akkrediterede laboratorier kan kun i begrænset omfang hente sporbarhed fra danske primærnormaler, og er således henvist til udenlandske primær- og referencelaboratorier. Et vigtigt aspekt må her tages i betragtning: Idet man i de øvrige lande har en meget stor medfinansiering fra staten

af kalibreringsydelserne afledt af et bredt udbud af nationale normaler¹, er den pris danske laboratorier betaler ved udenlandske nationale laboratorier ofte urealistisk lav i forhold til de reelle omkostninger. Der er således et kraftigt aspekt af indirekte støtte, som danske laboratorier nyder godt af, så længe danske laboratorier har adgang til disse kalibreringsydelser. Påstanden her er, at der til dels er adgang til disse faciliteter i kraft af den synlighed der skabes omkring metrologi i Danmark og de samarbejder de danske primær- og referencelaboratorier deltager i.

Det må derfor også fremover sikres, at der defineres passende spydspids projekter indenfor elektrisk metrologi og at et antal grundlæggende normaler vedligeholdes så der er grundlag for deltagelse i relevante internationale samarbejder.

Med udgangspunkt i de eksisterende aktiviteter ved primær- og referencelaboratorierne, anbefales det derfor at fastholde en forskningsindsats på det fundamentale metrologiske område omkring enkelt-elektron tunnelering, som udover den direkte udvikling hen mod en fundamental normal for elektrisk strøm har en meget stor berøringsflade med emneområderne nano-elektronik, elektrooptiske systemer og integrerede mikrobølgekrede. DFM har deltaget i og ydet væsentlige bidrag til dette forskningsområde over de seneste 10 år, og området udgør pt. den primære indgangsvinkel for dansk deltagelse i det internationale forskningssamarbejde indenfor fundamentale elektrisk metrologi.

Udvikling og etablering i Danmark af primærnormaler baseret på Josephson og kvantiseret Hall effekt blev i sin tid anvendt til at sætte elektrisk metrologi på højeste niveau i Danmark på landkortet overfor udenlandske samhandelspartnere. Disse normaler udgør stadig ryggraden i den elektriske metrologi, og den måletekniske formåen prøves stadig internationalt ved sammenligninger på dette niveau, men de direkte måletekniske ydelser fra primærnormalerne mindskes i omfang på grund af den stadig større multiplikationsfaktor i det næste niveau i sporbarhedskæden².

I forbindelse med en centerkontrakt mellem de danske nationale laboratorier for DC og AC er igangsat et forsknings- og udviklingssamarbejde omkring udvikling af nye AC normaler, herunder at udnytte DC primærnormalerne indenfor AC elektricitet. For at udnytte de eksisterende normaler optimalt må dette samarbejde fortsætte og de elektriske normaler i højere grad integreres og udnyttes på tværs af felterne.

For at gøre berøringsfladen mod det internationale metrologiske samfund bredere, såvel som at dække behov der eksisterer nationalt anbefales det at der opbygges kompetence og faciliteter til impedansmåling på højt niveau. Der kan med fordel tages udgangspunkt i AC resistans, der kan tilknyttes udvikling af AC kvantiseret Hall effekt afledt af den eksisterende facilitet for kvantiseret Hall effekt. AC resistans har anvendelsesområder for såvel AC spænding og strøm, temperaturmåling, og den ved DFM udviklede primærnormal for elektrolytisk ledningsevne, samt direkte kalibreringsydelser, f.eks. af impedansmetre. Faciliteterne kan siden udvides til at omfatte videregivelse af sporbarhed på kapacitans og induktans på højt niveau.

Målet er at der opnås en balance mellem videreudvikling af eksisterende faciliteter, større sammenhæng mellem de danske primærlaboratorier, etablering af ydelser for hvilke der eksisterer et behov, samt muligheden for deltagelse i internationale sammenligninger og udviklingssamarbejder. En yderligere mulighed for at elektrisk metrologi i Danmark fremstår samlet, er at aktiviteterne ovenfor indgår i et virtuelt primærlaboratorium for elektrisk metrologi.

¹ Som eksempel kan nævnes Schweiz, hvor de relevante indtægter og udgifter er specificeret i årsregnskabet (Metas årsrapport 2001): Indtægter fra verifikation, prøvning og kalibrering udgør 6,1 mio. CHF, mens omkostningerne for kalibreringsfaciliteter samt nationale normaler udgør 30,4 mio. CHF; priserne for ydelserne udgør således kun 20 % af omkostningerne. For USA er de tilsvarende indtægter og udgifter i 2001 ca. 30 mio. \$ og 420 mio. \$. For andre lande er fordelingen i samme størrelsesorden.

² Antallet af referencenormaler der kalibreres direkte mod primærnormalerne mindskes, idet de erstattes af multifunktionsinstrumenter med brede måleområder på referenceniveau. De eksisterende primærfaciliteter på DC elektricitet er ikke baseret på at betjene dette brede måleområde.

Der pågår et arbejde indenfor Europa at kortlægge videregivelse af sporbarhed mellem landene. Formålet vil blandt andet være at synliggøre hvilke nationale metrologilaboratorier der servicere andre landes metrologi organisation, således at en vis rationalisering af faciliteter kan forberedes. Man kunne forvente, at resultatet også vil anvendes til at modtage landene i højere grad bidrage til understøttelse af den bagvedliggende metrologiske infrastruktur, f.eks. direkte i form af højere kalibreringsomkostninger eller indirekte ved rammeaftaler mellem landene.

De igangværende undersøgelser i henholdsvis EU og EUROMET regi har dog baseret sig på kortlægning af sporbarhed mellem nationale metrologi laboratorier. Da den danske metrologi struktur på nationalt niveau kun dækker et meget begrænset omfang af den sporbarhed der hentes til landet vil disse undersøgelser ikke give et retvisende billede for Danmarks vedkommende. Det anbefales derfor, at der gennemføres en undersøgelse af de danske akkrediterede laboratoriers hjemtagelse af sporbarhed fra udenlandske nationale metrologilaboratorier, i form af omfang og direkte omkostninger, for at skabe et overblik over den danske metrologiorganisations brug af udenlandsk sporbarhed.

I den danske metrologiske infrastruktur kan kun ét af de tre felter indenfor hovedområdet elektricitet hvor der er etableret et primærlaboratorium eller et nationalt referencelaboratorium, opnå offentlige midler til vedligehold, videreudvikling og forskning i tilknytning til normaler og deltagelse i det internationale arbejde. For de øvrige felter, er varetagelsen af disse opgaver overladt til private virksomheder, og dermed direkte afhængig af den konkrete virksomheds vurdering af den økonomiske gevinst fra denne aktivitet. Ligeledes er indsatsen følsom for såvel konjunkturer i branchen som virksomhedens øvrige arbejdsområder og økonomiske mål. Det u hensigtsmæssige ved denne konstruktion illustreres af, at status som referencelaboratorium for HF elektricitet blev opgivet af de to virksomheder der blev udpeget i henholdsvis 1992 og 1998, på grund af manglende ressourcer. I den periode kunne den danske repræsentation i de relevante internationale ekspertgrupper ikke opretholdes, igen begrundet i manglende ressourcer. Et problem, hvis omfang ikke kendes, er desuden, at et kalibreringslaboratorium kan være tilbageholdende ved at få kalibreret referencenormaler ved et primærlaboratorium eller nationalt referencelaboratorium der tilbyder konkurrerende kalibreringsydelser.

Det må derfor sikres, at udvikling og vedligehold af nationale normaler, herunder deltagelse i internationale fora, kan foregå under samme økonomiske vilkår, uanset om normalerne er underlagt GTS institutter eller private virksomheder. Den ny lov om erhvervsudvikling (lov 425 af 6/6-2002) lægger op til at denne type teknologisk service kan udbydes af andre end godkendte teknologiske serviceinstitutter og den konkrete form, resultatkontrakter eller lignende, må derfor søges fastlagt.

Samhandelsaftaler, såvel indenfor Europa som mellem verdens regioner, forudsætter en ophævelse af bl.a. tekniske handelshindringer i form af krav om nationale målinger og verifikationer, som er erstattet af aftaler om gensidig anerkendelse af certifikater. Den tekniske understøttelse af disse politiske aftaler forudsætter opbygningen af tillid til målinger udført i landene, hvilket blandt andet gøres ved gennemførelsen af måletekniske sammenligninger mellem såvel nationale metrologi laboratorier, som akkrediterede laboratorier. Førstnævnte gennemføres i regi af de regionale metrologiorganisationer, EUROMET i Europa, og i global regi af den internationale komité for mål og vægt (CIPM), i form af sammenligninger af nøgle-parametre på højeste niveau, hvor resultaterne registreres i en central database på BIPM.

For således at synliggøre sin evne til at levere troværdige målinger og integriteten af den nationale metrologistruktur, må de enkelte lande sikre sig deltagelse i sammenligninger for strategiske nøgleparametre. En større og større del af de nationale laboratoriers aktiviteter vil i de kommende år være at etablere et troværdigt billede af det måletekniske niveau i de enkelte lande, gennem arrangement og udførelse af internationale sammenligninger.

Det må derfor sikres, at de danske laboratorier kan deltage i de internationale sammenligninger der kan have strategisk betydning for Danmark. I den sammenhæng kan det være gavnligt at det gøres muligt at give udvalgte faciliteter status som nationale normaler, i de tilfælde hvor der eksisterer normaler eller udstyr udenfor de udpegede primær- og referencelaboratorier med væsentlig bedre måleevne, og at deltagelse i f.eks. internationale sammenligninger således kan delegeres ud. På den måde kan der gives det bredest mulige billede af den elektriske metrologi i Danmark.

Det generelle problem med kalibrering af præcisionsudstyr og f.eks. udstyr til måling af komplekse signal parametre, digital modulation, etc., er også erkendt i de internationale metrologiske samarbejdsorganisationer Danmark er medlem af, herunder EUROMET og den europæiske samarbejdsorganisation for akkreditering (EA), og det er i disse forum at løsninger må søges. De kalibreringsmetoder der udvikles ved nationale metrologi institutter bliver ofte kun anvendt internt, men ligger ofte til grund for det standardiseringsarbejde der siden bliver udført.

For at kunne varetage eksisterende og kommende behov for kalibreringslaboratorierne må en del af det kommende arbejde derfor lægges i en styrkelse af den danske deltagelse i det internationale samarbejde, herunder udarbejdelse af standarder og procedurer, fastlæggelse af brugbare referencer og udvikling af samme.

4.2 Industriel anvendelse

Enhver fabrikant, der benytter sig af elektrisk måleudstyr i kvalitetsstyringen eller -kontrollen af sin produktion, har behov for sporbar elektrisk kalibrering. I de senere år er denne problemstilling gjort klarere for landets producenter hvilket afspejles i den meget kraftige vækst indenfor akkrediteret kalibrering. Specielt har gennemførelse af ISO 9000 certificering i stigende grad bragt dette behov frem i lyset.

Den danske elektronikindustri har behov for kalibrering inden for alle tre metrologiske felter. Det skal bemærkes, at hvor behovene tidligere i helt dominerende grad lå inden for områderne DC samt AC, er der nu kraftige tendenser til øget behov inden for HF. Det øgede behov for HF kalibreringer skyldes dels EMC, og de dermed følgende krav til bestemmelse af immunitet overfor udefra kommende HF signaler og ledningsbårne transienter, og måling af instrumenters generering af samme. I lige så stor grad er behovene for HF øget med den store vækst i industrien omkring mobil telefoni, med såvel produktion og udviklingscentre, og selve leveringen af teleydelser.

Flere nye sektorer er på vej med nye måletekniske behov der også berører elektrisk metrologi. Heriblandt den medicinske sektor, hvor der er kommet fokus på kvalitetssikring af målinger og kalibrering af diagnostisk udstyr. På brugersiden håndteres kvalitetskontrollen af udstyr indtil videre af de tekniske afdelinger på landets sygehuse, og der anvendes kun i beskedent omfang akkrediteret kalibrering. Størstedelen af den direkte berøring med medicinsk udstyr foregår på de elektriske prøvnings- og kalibreringslaboratorier i forbindelse med godkendelse af udstyr efter f.eks. Medical Devices direktivet, hvor det centrale krav til sporbarhed typisk udmøntes ved anvendelse af akkrediteret prøvning- og kalibrering.

Telekommunikationsindustrien (brugere såvel som instrumentfabrikanter) har, udover de "rene" elektriske signal parametre som amplitude, frekvens, dæmpning, osv., behov for sporbarhed på de digitale modulationsformer der anvendes, samt implementering af kommunikationsprotokoller. I sidstnævnte tilfælde er industrien i høj grad afhængig af de relevante standarder der beskriver protokollerne, og den grad standarderne er test-bare. Da dette langt fra er tilfældet, er muligheden for at afsætte f.eks. test-udstyr, mere afhængig af virksomhedens renommé og status på markedet end af objektive måle- og testresultater.

Der er således behov for at danske interesser repræsenteres i de standardiserings fora hvor eksisterende og fremtidige protokoller fastlægges, for at øve indflydelse på udformningen så danske virksomheder ikke udsættes for konkurrenceforvridende forskelsbehandling, men i lige så høj grad for at sikre at protokollerne er test-bare og kan gøre til genstand for objektive målinger.

Det er også udtrykt behov for sporbarhed for målinger på materialer, herunder deres elektriske og magnetiske egenskaber. Disse målinger har ofte stor betydning for kvalitetssikring af såvel højteknologiske produkter hvor materialeegenskaber spiller en stor rolle som i den traditionelle industri, f.eks. produktion af jern og stål, hvor magnetisme kan give store problemer, f.eks. kan skibsdæk af stål med højt indhold af magnetisk materiale gribe forstyrrende ind i udstyr på broen. Der er ingen faciliteter i Danmark for kalibrering af instrumenter til denne type målinger.

De specifikke behov for sporbarhed afspejles direkte i behovene hos de akkrediterede kalibrerings- og prøvningslaboratorier. Det har ved henvendelse til industriens organisationer ikke været muligt at få oplysninger om behov udover dette.

Generelt er indtrykket, at industriens måletekniske behov er stigende, over et voksende antal måleparametre og et større måleområde, samt at der er en forventning om at nye behov kan dækkes indenfor meget korte tidshorisonter.

I forbindelse med udbredelse af kvalitetssikring af målinger er også usikkerhedsberegning ved anvendelse af måleinstrumenter kommet mere i fokus. Et stadig større antal virksomheder vælger at "outsource" kalibrering af instrumentparken i stedet for selv at vedligeholde en intern kalibreringsfunktion. Det betyder dog at dele af den måletekniske kompetence fjernes fra virksomhederne. De akkrediterede kalibreringslaboratorier gør et stort arbejde med estimering af usikkerhed i forbindelse med kalibreringsopgaver, og udbredelse af de samme metoder hos brugerne i industrien vil ikke blot øge kvaliteten af de målinger der foretages, men kan være med til bedre at definere kalibreringsbehov, optimere anvendelse af måleudstyr, etc. For at befordre denne kvalitetsøgning af måleteknik i industrien, specielt for mindre virksomheder, er der behov for en autoritativ samling af generiske målemetoder og tilhørende metoder for estimering af usikkerhed.

4.3 Legal og anden forskriftmæssig anvendelse

Der findes en lang række forskriftmæssige anvendelser af den elektriske metrologi. Disse tager blandt andet udgangspunkt i EU direktiver, herunder EMC direktivet, lavspændingsdirektivet, samt forskrifter for teleudstyr og målinger i forbindelse med forbrugsafregning. Forskrifterne tager udgangspunkt i såvel funktionsmæssige egenskaber, som forhold vedrørende sikkerhed og miljø.

Der kan f.eks. nævnes akkrediteringer inden for teleprøvning, prøvning af elektriske og elektromekaniske materialer, komponenter og udstyr, samt prøvning af højspændingsudstyr og elektroakustisk udstyr og indirekte ved prøvning af f.eks. medicinsk udstyr.

Den udstrakte brug af elektronisk måleudstyr inden for mange felter afspejles tydeligt i ovennævnte liste af prøvningsområder. Ligeledes er listen over de danske love samt nationale og internationale specifikationer, standarder og forskrifter som anvendes lang og vidtfavnende.

Selve sporbarhedsproblematikken inden for den forskriftmæssige anvendelse af kalibrering adskiller sig ikke fra den industrielle, og i stadig flere sammenhænge knyttes de legale krav direkte til krav om akkrediteret kalibrering.

Således afspejles de specifikke behov for sporbarhed igen i behovene hos de akkrediterede kalibrerings- og prøvningslaboratorier.

4.4 Kalibrering og prøvning

Prøvning udføres som led i en kvalitetskontrol eller typegodkendelse, der kan have sit udspring i forskriftmæssige forhold. Prøvning vil ofte have som mål at teste et apparats duellighed under mere eller mindre ekstreme forhold, og sikre at apparatet ikke udgør en sikkerhedsrisiko for brugere og omgivelser. Essensen i prøvning bliver derfor at simulere disse forhold ved sammenstilling af mange påvirkninger af forskellig natur, og her vil man ofte se, at nøjagtighedsniveauet er relativt lavt i forhold til rene kalibreringssituationer. Men igen: Hvad enten nøjagtighedsniveauet er højt eller lavt så er der også i prøvningsammenhæng behov for kalibrering af de benyttede instrumenter på det relevante nøjagtighedsniveau for at kunne dokumentere de udførte målingers korrekthed, hvorfor prøvningslaboratoriernes behov i høj grad afspejles i kalibreringslaboratoriernes behov.

Sporbar kalibrering kan groft taget opdeles i fire niveauer efter stigende nøjagtighed: Kalibrering på bruger niveau (virksomheder mm.), kalibrering på akkrediterede kalibreringslaboratorier, kalibrering på reference niveau og kalibrering på primær niveau. I Danmark udgør de akkrediterede kalibreringslaboratorier de midterste niveauer i denne lagdeling, mens det øverste niveau kun eksisterer i meget begrænset omfang.

De akkrediterede kalibreringslaboratorier modtager måleinstrumenter fra bruger niveauet til kalibrering. Kalibreringslaboratorierne benytter så sine egne arbejdsnormaler og/eller referencenormaler til kalibrering af de modtagne instrumenter. Kalibreringslaboratoriet udmærker sig ved specielt velegnede klimaregulerede laboratorier og special fremstillede og omhyggeligt opbevarede referencenormaler.

Kalibreringslaboratoriernes egne behov for kalibrering er at få sporbarhed på højeste trin til det internationale kalibreringssystem, det vil sige til internationalt anerkendte primærnormaler. Dette foregår dels gennem at kalibreringslaboratorierne sender sine instrumenter og normaler til andre kalibreringslaboratorier der har bedre måleevne end dem selv, eller til de nationale reference- og primærlaboratorier eller, som i de fleste tilfælde, ved at sende referencenormaler til udenlandske laboratorier. Blandt disse er først og fremmest NPL (England), PTB (Tyskland), SP (Sverige) og NIST (USA) benyttet af de danske kalibreringslaboratorier. Der er i den forløbne tid skabt mange forbindelser mellem de akkrediterede laboratorier og de nævnte nationale laboratorier.

I nedenstående tabel er angivet det i landet etablerede primær- og reference niveau, med angivelse af normaler og måleområde. Sammenholdes denne tabel med tabellen side 3 fremgår det, at for en stor del af områdets parametre må sporbarhed hentes udenfor landets grænser.

Primært niveau:		
DC spænding	Josephson effekt	0 – 10 V
Resistans	Kvantiseret Hall effekt	6453 Ω
AC spænding	AC/DC transfer	0,5 V – 2 V (< 1 MHz)
Reference niveau:		
HF effekt	Thermistormount og powersensor	1 mW, 100 kHz–26,5 GHz.

At der er et stigende behov for akkrediteret kalibrering fremgår af antallet af udstedte DANAK-certifikater for kalibrerings- og prøvningslaboratorier med elektriske størrelser i deres akkrediteringsområde: ca. 140 000 pr. år (2001) til en værdi af 160 mio. kr. mod ca. 7 500 certifikater i 1992³.

Hertil kommer de mange kalibreringsopgaver, som kalibreringslaboratorierne udfører internt uden at udstede certifikater. Det er især kravene i forbindelse med indførelse af kvalitetsstyringssystemer der har sat fokus på behovet for akkrediteret kalibrering. Mange virksomheder har opbygget kalibreringsfaciliteter for opfyldelse af kvalitetskrav (ISO 9000) til måleudstyr, men på det seneste er der en stadig større tendens til ”outsourcing” af kalibrering af instrument parken.

De industrielle behov afspejles indirekte i behovene for kalibrerings- og prøvningslaboratorierne, hvorfor dette afsnit er tæt knyttet til afsnit 4.2. Som nævnt, stilles forventninger om at nye eller specielle behov for sporbarhed og kalibrering kan dækkes indenfor korte tidshorisonter, men da etableringen af nye ydelser er ganske omkostningskrævende, og der ikke kan henvises til et bredt funderet primær- eller referenceniveau, må sådanne kunder ofte afvises eller henvises til et udenlandsk institut.

Konkrete behov for sporbarhed der efterlyses i sektoren er oplyst til:

DC: Forbedret usikkerhed på resistans. Faciliteter til kalibrering af magnetfeltprober.

AC: Udvidelse af måleområdet for AC/DC differens op mod 1 GHz. Etablering af faciliteter eller forbedring af måleusikkerhed for AC spænding under 100 mV, AC spænding i frekvensområdet 1

³ Opgørelsen er baseret på den rapporterede omsætning og antallet af opgaver udført i 2001 af de akkrediterede laboratorier der har elektriske størrelser i deres akkrediteringsområde (se Appendix B og Appendix C). Men det skal bemærkes, at en del laboratorier har flere akkrediteringsområder inden for andre hovedområder, hvorfor omsætningen og antallet af opgaver angivet her ikke dækker elektriske størrelser alene.

MHz til 50 MHz, AC strøm under 1 mA og over 20 A, elektrisk effekt op til 50 kW, flicker, harmonisk distortion og generel impedans, specielt AC resistans, herunder shunte til AC strøm.

HF: Etablering af reference normaler og udstyr for dæmpning, støj, impedans (transmission/refleksionsparametre, absolut såvel som kompleks), støjtemperatur og fasestøj. Sporbare normaler og standardiserede metoder for kalibrering af parametre indenfor signal generering, detektion og behandling for GSM/GSPR/UMTS, digital modulation, TV og EMC. Akkrediterede faciliteter til kalibrering af reference antenner og feltprober, specielt til EMC.

4.5 Forskning

Indenfor forskning eksisterer i princippet de samme behov for kalibrering som indenfor industrien; den større fokusering på kvalitetsstyring og -sikring vil med sikkerhed brede sig til også at omfatte videnskabelige resultater, og nødvendiggør derfor en erkendelse af et behov for sporbar kalibrering. Da der indenfor forskning og udvikling ofte anvendes avanceret elektronisk udstyr, er de måletekniske behov i mange tilfælde underlagt problemstillingen med manglende kalibreringsprocedurer og sporbarhedskæder som omtalt i afsnit 4.4.

Et område hvor dansk måleteknik har gjort sig bemærket de seneste år har være de satellitbårne magnetometre, for eksempel Ørsted projektet. Der er således et højt niveau af ekspertise på måling af magnetfelter, og en tilsvarende teknik anvendes med succes hos virksomheden Danfysik A/S der blandt andet fremstiller strømtransducere til magnetfeltsystemer til for eksempel. CERN. For de nævnte er sporbarhed ikke tilgængelig i Danmark. Sporbarheden for Ørstedes magnetometre hentes for eksempel ved det tekniske universitet i Braunschweig, Tyskland, og for Danfysik forsøges etableret sporbarhed til NPL.

Om behovet for forskning indenfor elektrisk metrologi gælder de samme argumenter som fremført i den tidligere handlingsplan: For det første vil forskningen indadtil tilføre landet en viden på højeste niveau inden for elektrisk måleteknik, en viden, som ifald man har en velfungerende metrologisk infrastruktur, uvilkårligt vil forplante sig ned gennem sporbarhedshierarkiet og medføre en højnelse af det tekniske niveau og den begrebsmæssige forståelse. For det andet vil forskningen udadtil tegne landets måletekniske formåen: Udover den prestigefyldte forskning på primært niveau naturligt fører med sig, vil den på de få punkter, som den direkte dækker, gøre Danmark til ligeværdig partner i det internationale metrologiske samarbejde på højeste niveau og generelt bane vejen for international accept af vor kalibreringstjeneste inden for den øvrige elektriske metrologi. En sådan international accept er i sidste ende til gavn for vor industrieksport.

4.6 Ressourceopgørelser

Inden for det elektriske område findes der på nuværende tidspunkt et udbygget kalibrerings- og prøvningssystem. Der findes således tyve akkrediterede laboratorier inden for elektrisk kalibrering (hvoraf fire dog hovedsagligt anvender deres akkreditering i forbindelse med anden kalibrering) og andre syv inden for prøvning. Der er foregået en vis koncentration af udbydere de senere år, idet flere mindre kalibreringslaboratorier er ophørt eller opkøbt, og enkelte af de større kalibreringslaboratorier har udvidet med flere akkrediteringsområder (f.eks. geometri, temperatur, masse) for således at kunne tilbyde en totalløsning for deres kunder. Aktiviteter som kalibrering udenfor de permanente laboratorier, f.eks. direkte i kundens produktionsfacilitet, er også taget til.

Der findes ingen detaljerede opgørelser over det samlede økonomiske omfang for den elektriske måleteknik andet end nogle meget generelle nøgletal: Det anslås at omkring 6 % af bruttonationalproduktet anvendes til målerelaterede opgaver, det vil sige i Danmark for i alt ca. 60 mia. kroner (2001). For det elektriske område alene, var omsætningen for elektronikindustrien i Danmark 62 mia. kr. i 2001, heraf bidrager fremstilling af elektroniske måleinstrumenter med 6,1 mia. kr.⁴. Akkrediteret prøvning og kalibrering for det elektriske område omsatte i 2001 for i størrelsesordenen 85 mio. kroner til kalibrering og 74 mio. kroner til prøvning, svarende til 0,3 %

⁴ Danmarks Statistik, Statistikbanken.

85 mio. kroner til kalibrering og 74 mio. kroner til prøvning, svarende til 0,3 % af omsætningen for den elektriske og måleinstrument industrien i Danmark. Ses isoleret på elektronik industrien, og antages 6 % tommelfinger reglen at holde, er det økonomiske omfang af den akkrediterede elektriske kalibrering og prøvning altså relativt lille, men stadigt voksende og stadig med et meget stort potential. Hertil kommer at så godt som alle andre industri sektorer ligeledes benytter sig af elektrisk måleteknik hvorfor det potentielle omfang er langt større.

4.6.1 Det metrologiske felt DC

Samtlige akkrediterede laboratorier, på nær elforsyningssektorens laboratorier, beskæftiger sig med DC-metrologi. Dette afspejler endnu engang DC-teknikkens fundamentale betydning for den elektriske metrologi.

Normaler og andet udstyr

På det primære niveau har DFM etableret en international primærnormal for spænding (enheden volt), samt en international primærnormal for resistans (enheden ohm). Begge primærnormaler er internationalt anerkendte, og har indgået i internationale sammenligninger.

De øvrige ni akkrediterede kalibreringslaboratorier råder over normaler, delere, kalibratorer, multimetre, høj-spændingsprober etc. som muliggør kalibrering på højt niveau og indenfor et meget bredt måleområde for hver af de centrale målestørrelser spænding, resistans og strøm.

Personalemæssige ressourcer

Der er ansat i størrelsesordenen 100 ingeniører, teknikere og kontorphonale ved de akkrediterede kalibrerings- og prøvningslaboratorier. Det er generelt markeds- og omkostningsbestemte faktorer, der sætter den øvre grænse for antallet af kalibreringsopgaver, som de enkelte laboratorier kan påtage sig.

DFM har to ansatte (én videnskabelig og en teknisk medarbejder) tilknyttet primærlaboratoriets DC-aktiviteter.

Økonomi incl. omsætning og finansiering

Det har ikke været muligt at gøre rede for de akkrediterede laboratoriers økonomi på de enkelte felter, så der henvises til de sammenlagte tal. Finansieringen er udelukkende fra klientindtægter, interne såvel som eksterne.

DFM anvender ca. 500 mand-timer per år (2002) på vedligehold og videreudvikling af elektriske normaler samt internationalt samarbejde i CCEM og EUROMET finansieret af resultatkontrakt midler, og budgetterer med indtægter på ca. 100 kDKK fra kalibreringsydelse. Dertil kommer ca. 1000 mand-timer på forskningsaktiviteter tilknyttet de elektriske normaler, hovedsagelig finansieret af resultatkontrakt midler og EU projekt midler.

4.6.2 Det metrologiske felt AC

Tre af de ti akkrediterede kalibreringslaboratorier anvender især DC-teknik. Deres akkreditering omfatter derfor hverken AC- eller HF-teknik. De resterende syv laboratorier har alle AC med i deres akkreditering. Desuden betragtes de ti laboratorier beskæftiget med kalibrering af elmålere som del af feltet AC. Inden for DANAK's kalibreringsakkrediteringer er der fortrinsvis tale om AC-teknik inden for lavspændings- og svagstrømsområdet.

Normaler og andet udstyr

Det nationale referencelaboratorium har siden den seneste handlingsplan arbejdet på at opnå status som primærlaboratorium. Dette har udgangspunkt i et sæt primærnormaler udviklet ved PTB, Tyskland, og NMi, Holland, samt egen udvikling bl.a. i regi af en Centerkontrakt med DFM og IMM, DTU, som samarbejdspartnere. Fra primærnormalerne videregives sporbarhed til de tidligere referencenormaler, som er udgangspunkt for klientkalibreringer.

De øvrige kalibreringslaboratorier har normaler, termiske konvertere, multimetre, højspændingsprober, kalibratorer, audioanalyser og andet udstyr som muliggør kalibrering på højt niveau og inden for et bredt måleområde (som dog holdes i lavspændings- og svagstrømsområdet) for hver af de centrale målestørrelser vekselspænding og vekselstrøm. Flere af laboratorierne har forskellige typer effektnormaler. Tre af de syv kalibreringslaboratorier har endvidere kapacitansnormaler og -broer. Alle syv laboratorier råder over frekvenstællere.

De ti akkrediterede laboratorier indenfor elforsyningssektoren råder over komparatorer, der fungerer som referencenormaler, justerborde, samt faciliteter til kalibrering af strømtransformatorer op til 2 kA.

Personalemæssige ressourcer

For de akkrediterede laboratoriers vedkommende er der tale om det samme personale som omtalt under DC.

Det for feltet udpegede primær laboratorium har afsat ca. 1 mand-år til arbejdet med vedligehold, udvikling og deltagelse i internationale arbejdsgrupper og sammenligninger.

Økonomi incl. omsætning og finansiering

Samme kommentar som under punkt 4.6.1.

Drift og vedligehold af primærlaboratoriet er udelukkende finansieret af virksomheden. I 1997 blev der tilført tilskudsmidler til AC referencelaboratoriet til etablering af faciliteter til videregivelse af sporbarhed for elektrisk energi, og langt størstedelen af sporbarheden nationalt hentes nu her. I forbindelse med en centerkontrakt er der opnået delvis finansiering til etableringen af primærlaboratoriet, samt udviklingsarbejde med en ny normal for AC/DC differens.

4.6.3 Det metrologiske felt HF

Fire af de syv akkrediterede kalibreringslaboratorier inden for AC-området er også akkrediterede i HF-området, og for to udgør HF kalibrering laboratoriets hovedaktivitet.

Normaler og andet udstyr

Status som nationalt referencelaboratorium har skiftet "hænder" to gange indenfor fem år, hovedsageligt på grund af manglende ressourcer. Laboratorierne råder over powersensorer og powermetre, HF-generatorer, dæmpningsled, reflektionsbroer, vektor netværks analysatorer og terminatorer.

Ligesom tilfældet var under AC så benyttes DC-normalerne for spænding og resistans også i forbindelse med HF-normalerne.

Prøvningslaboratorierne akkrediteret til EMC test råder over reference antenner og feltprober; disse antenner benyttes i frekvensområdet op til 1 GHz.

Der eksisterer faciliteter ved Aalborg Universitets Center, Center for Person Kommunikation, der er beskæftiget med nærfeltmåling af udstråling i frekvensområdet fra 0,5 til 26 GHz, med hovedvægt på karakteriserende målinger for mobil telefoner, Bluetooth-udstyr etc. Laboratoriet beskæftiger sig også med kalibrering af antenner og prober i et område der overlapper det for EMC laboratorierne interessante. Laboratoriet udfører forskning og udvikling af målemetoder, såvel som kommercielle opgaver. Akkreditering af faciliteten har været under overvejelse.

To kalibreringslaboratorier har eller er i færd med at etablere faciliteter til kalibrering af visse test-instrumenter der anvendes til EMC, f.eks. til elektro-statisk udladning.

Sporbarhed hentes i de fleste tilfælde fra enten NPL, Storbritannien, eller NIST, USA.

Personalemæssige ressourcer

Samme personale som omtalt under punkt 4.6.2.

Økonomi incl. omsætning og finansiering

Samme kommentar som under punkt 4.6.1.

Det nationale referencelaboratorium finansieres udelukkende af virksomheden.

5 Forslag til indsatsområder

I afsnit 4.1 er nævnt en del generelle problemstillinger, som foreslås løst ved tiltag af mere organisatorisk art:

Det foreslås, at udvikling og vedligehold af nationale normaler, herunder deltagelse i internationale fora, kan foregå under samme økonomiske vilkår, uanset om normalerne er underlagt GTS institutter eller private virksomheder. Den ny lov om erhvervsudvikling (lov 425 af 6/6-2002) lægger op til at denne type teknologisk service kan udbydes af andre end godkendte teknologiske serviceinstitutter og den konkrete form, resultatkontrakter eller lignende, må derfor søges fastlagt.

Det foreslås, at der gennemføres en undersøgelse af de danske akkrediterede laboratoriers hjemtagelse af sporbarhed fra udenlandske nationale metrologilaboratorier, i form af omfang og direkte omkostninger, for at skabe et overblik over den danske metrologiorganisations brug af udenlandsk sporbarhed. Omkostning: 1 årsværk.

Det foreslås, at iværksætte en målrettet videnformidling om måle og kalibreringsarbejde for virksomheder, for eksempel vejledning og kurser om usikkerhedsberegning, udvikling og publicering af generiske modeller, etc. Omkostning: 1 årsværk til koordinering, initiering, og generel videnformidling, mens kurser og lignende kan gennemføres på kommercielle vilkår.

Det vurderes, at etableringen af en velfungerende kalibreringstjeneste inden for elektrisk metrologi er i et stabilt leje og dækker industriens grundlæggende behov. Der gives en oversigt over tiltag indenfor områdets felter på det øverste sporbarhedsgivende niveau, der søges gennemført med formål at sikre en balance mellem optimal udnyttelse og integration af eksisterende faciliteter, dække væsentlige behov som beskrevet i afsnit 4, og præsentere et internationalt sammenligneligt niveau for de etablerede normaler.

I alt anslås et behov på 8 årsværk over 5 år til drift og vedligehold af de eksisterende faciliteter, samt deltagelse i det internationalt samarbejde herunder sammenligninger, samt 8 årsværk over 5 år til forsknings- og udviklingsprojekter.

5.1 Det metrologiske felt DC

Den eksisterende Josephson normal og Kvantiseret Hall effekt søges udnyttet til videregivelse af sporbarhed i større omfang ved en udvidelse af de måleområder der i dag refereres til primærnormalerne. Muligheden for kalibrering af kalibratore og digitalmultimetre refereret direkte til Josephson normalen undersøges.

Usikkerhed ved videregivelse af sporbarhed bringes på internationalt niveau ved ibrugtagning af forbedrede skaleringsteknikker, herunder på sigt en kryogen strømkomparator. Forhold ved måling af resistans i luft forbedres. Eksisterende reference udstyr udnyttes i fuldt omfang, hvorved kalibrering af resistans på højt niveau kan udvides ned mod 1 m Ω og op mod 1 G Ω .

Behovet for måling af elektriske og magnetiske feltstørrelser, såvel DC som AC, kan ikke løses nationalt og forespørgsler formidles typisk til NPL.

5.2 Det metrologiske felt AC

Primærniveauet for AC/DC transfer søges udvidet mod højere frekvenser (1 GHz) ved videreførelse af forskningssamarbejdet etableret under centerkontrakten.

Området for AC spænding og strøm søges udvidet som angivet i afsnit 4.4. Hertil søges Josephson normalen anvendt til direkte og indirekte måling og generering af små AC spændinger. På sigt søges hen mod udskiftning af den eksisterende DC Josephson normal med næste generation pulsdrevne normaler, der ligeledes kan anvendes til syntese af f.eks. audio parametre.

Der søges etableret normaler for AC resistans, herunder shunte til AC strøm, og udstyr til skalering af AC resistans med usikkerheder i størrelsesordenen 10^{-6} . På sigt søges AC resistans koblet til en AC Kvante Hall normal og mod videregivelse af sporbarhed på kapacitans og induktans. Der udvikles kalibreringsmetoder for LCR metre.

De beskrevne tiltag for DC og AC kan gøres til genstand for en koordinering af resultatkontraktmidler til de udpegede primærlaboratorier og andre udbydere.

5.3 Det metrologiske felt HF

Behovet for kalibrering af HF effekt synes at være dækket af eksisterende faciliteter op til 26 GHz. Afhængig af udviklingen indenfor telekommunikationsområdet, synes behovet i de kommende år for HF effekt kalibrering at vokse til også at omfatte effektkalibrering på bølgelederbasis i frekvensområdet 26 til 40 GHz.

Der søges etableret reference normaler indenfor dæmpning, støj, og impedans (transmission/refleksion) og udstyr til måling af kompleks refleksion, støjtemperatur og fasestøj.

Kalibreringsmetoder for udstyr til signal generering, detektion og behandling følges ved deltagelse i det internationale samarbejde mellem nationale metrologilaboratorier.

Med hensyn til specielt EMC prøvning søges behovet for akkrediteret kalibrering af reference antenner og feltprober løst nationalt ved etableringen af et primærlaboratorium, se afsnit 6.

6 Forslag til etablering af nationale primær- og referencelaboratorier

Der foreslås etablering af et primærlaboratorium for elektromagnetiske felter. Et primærlaboratorium kan eventuelt tage udgangspunkt i de faciliteter der er opbygget ved Aalborg Universitets Center, Center for Person Kommunikation. Det foreslås derfor i første omgang at der gennemføres et projekt til at fastslå hvilke investeringer der er nødvendige for at udvide faciliteten til at servicere EMC prøvningslaboratorierne, herunder i hvilket omfang det er muligt at udvide frekvensområdet nedad, samt fastslå under hvilken driftsform et primærlaboratorium kan drives fra Universitets Centeret.

Omkostningerne til etablering af et primærlaboratorium der kan servicere EMC prøvningslaboratorierne må afdækkes af den nøjere undersøgelse. Omkostninger til drift og vedligehold anslås til 1 Mkr. per år, svarende til et årsværk, og kan for en stor dels vedkommende dækkes af klientindtægter.

7 Appendices

Appendix A Nationale primær- og referencelaboratorier

Underområde	Laboratorium	Normaler
DC	DFM	Primærnormaler for jævnspænding og resistans.
AC	Arepa Test og Kalibrering A/S	Primærnormal for AC/DC transfer differens
HF	Arepa Test og Kalibrering A/S	Referencenormaler for mikrobølge effekt, dæmpning og refleksion.

Appendix B Akkrediterede kalibreringslaboratorier

Akkreditering	Laboratorium	Aktivitet
22	Arepa Test og Kalibrering A/S	Kalibrering af elektrisk måleudstyr og arbejdsnormaler.
98	Forskningscenter Risø	Kalibrering af elektriske arbejdsnormaler
195	Agilent A/S	Kalibrering af elektrisk måleudstyr.
200	Teknologisk	Kalibrering af elektrisk måleudstyr.
255	DFM	Kalibrering af elektriske reference normaler.
268	Kamstrup A/S	Kalibrering af elmålere.
274	Siemens Metering A/S	Kalibrering af elmålere.
291	Rohde & Schwartz Danmark A/S	Kalibrering af elektrisk måleudstyr
298	Automatik Service. Hornsyld I/S	Kalibrering af industrielle procesinstrumenter
299	EnergiGruppen Jylland A/S	Kalibrering af elmålere.
307	Brüel & Kjør A/S	Kalibrering af elektriske instrumenter.
333	Celsius Metech A/S	Kalibrering af elektronisk måleudstyr og arbejdsnormaler.
334	Århus Kommunale Værker	Kalibrering af elmålere.
379	Novo Nordisk A/S	Kalibrering af elektronisk måleudstyr
384	NESA A/S	Kalibrering af elmålere.
395	NVE Net A/S	Kalibrering af elmålere.
399	Odense Elforsyning	Kalibrering af elmålere.
402	EnergiMidt	Kalibrering af elmålere.
404	SEAS Distribution A.m.b.A.	Kalibrering af elmålere.
406	Københavns Energi	Kalibrering af elmålere.
420	DSB Drift, Togkomponenter	Kalibrering af elektronisk måleudstyr

Appendix C Akkrediterede prøvningslaboratorier

Akkreditering	Laboratorium	Aktivitet
19	DELTA Dansk Elektronik, Lys & Akustik	Prøvning af elektrisk udstyr.
225	TDC Mobil A/S	Prøvning af radiokommunikationsudstyr
234	TDC Tele Danmark A/S	Prøvning af telekommunikationsudstyr.
259	DELTA Akustik & Vibration	Prøvning af høreapparater og audiologisk udstyr
352	UL International Demko A/S.	Prøvning af elektriske produkter
416	Nokia Danmark A/S	Prøvning af telekommunikationsudstyr

Appendix D Andre bidragydere, hørte parter og høringssvar

De akkrediterede kalibrerings- og prøvningslaboratorier:

René Wilche, Celsius Metech

Bjarne Nielsen, Ørsted*DTU

ITEK, Dansk Industri

Andrew Henson, National Physical Laboratory, Storbritannien

Peder Holmkjær, Medicoteknisk afd., Amtssygehuset i Herlev

Dansk Godkendelse af Medicinsk Udstyr

Appendix E CCEM Klassifikation

Klassifikation af elektriske målestørrelser anvendt af den Konsultative Komite for Elektricitet og Magnetisme (CCEM), der anvendes i forbindelse med registrering af de nationale metrologi institutters måleevne, og ved registrering af internationale sammenligninger.

Version 7.2 af 2002-03-15

ELECTRICITY AND MAGNETISM

	Quantity	Typical Instruments/Artifacts
1	DC Voltage	
	1.1 DC voltage sources	
	1.1.1 single values	standard cell, solid state voltage standard
	1.1.2 low value ranges ≤ 10 V	DC voltage source, multifunction calibrator
	1.1.3 value ranges > 10 V to 1100 V	DC voltage source, multifunction calibrator
	1.1.4 DC noise voltages	DC voltage source, DC amplifier
	1.2 DC voltage meters	
	1.2.1 very low value ≤ 1 mV	nanovoltmeter, microvoltmeter
	1.2.2 values > 1 mV to 1100 V	DC voltmeter, multimeter, multifunction transfer standard
	1.3 DC voltage ratios	
	1.3.1 up to 1000 V	resistive divider, ratio meter
2	DC resistance	
	2.1 DC resistance sources	
	2.1.1 lower than 1 Ω	fixed resistor, resistance box
	2.1.2 from 1 Ω to 1 M Ω	fixed resistor, resistance box
	2.1.3 higher than 1 M Ω	fixed resistor, three terminal resistor, resistance box
	2.1.4 standards for high current	DC shunt
	2.1.5 multiple ranges	multifunction calibrator
	2.1.6 temperature and power coefficients	fixed resistor
	2.2 DC resistance meters	
	2.2.1 low values ≤ 1 Ω	microohmmeter, multimeter, multifunction transfer standard, resistance bridge
	2.2.2 intermediate values, 1 Ω to 1 G Ω	ohmmeter, multimeter, multifunction transfer standard, resistance bridge
	2.2.3 high values > 1 G Ω	multimeter, multifunction transfer standard, teraohmmeter, resistance bridge
3	DC current	
	3.1 DC current sources	
	3.1.1 low values ($< 0,1$ mA)	current generator, multifunction calibrator
	3.1.2 intermediate values (0,1 mA to 20 A)	current generator, multifunction calibrator
	3.1.3 high values (> 20 A to 100 A)	current generator
	3.1.4 transconductance ratio	
	3.2 DC current meters	
	3.2.1 low values ($< 0,1$ mA)	picoammeter, nanoammeter, multimeter, multifunction transfer standard
	3.2.2 intermediate values (0,1 mA to 20 A)	current comparator
	3.2.3 high values (> 20 A to 100 A)	current transducer, dedicated equipment for heavy current
	3.3 DC current ratios	
	3.3.1 ratios up to 100 A	

4	impedance (into the MHz range)		
	4.1	AC resistance	
		4.1.1	real component (or modulus) fixed resistor
		4.1.2	imaginary component (or argument or time constant) fixed resistor
		4.1.3	ac-dc difference fixed resistor
		4.1.4	resistors for high current ac current shunt
		4.1.5	meters LCR meter
	4.2	capacitance	
		4.2.1	low loss capacitors standard capacitor (sealed, dry-nitrogen or fused silica dielectric)
		4.2.2	dielectric capacitors fixed capacitor, variable capacitor, capacitance box
		4.2.3	transformed capacitors fixed capacitor, switched capacitor
		4.2.4	dissipation factor fixed capacitor, variable capacitor, capacitance box
		4.2.5	meters capacitance bridge, LCR meter
	4.3	inductance	
		4.3.1	self inductance, lower than 1 mH fixed inductor, variable inductor, inductance box
		4.3.2	self inductance, 1 mH to 1 H fixed inductor, variable inductor, inductance box
		4.3.3	self inductance, higher than 1 H fixed inductor, variable inductor, inductance box
		4.3.4	mutual inductance fixed mutual inductor
		4.3.5	meters LCR meter
		4.3.6	quality factor Q-standards
5	AC voltage (into the MHz range)		
	5.1	AC-DC voltage transfer	
		5.1.1	AC-DC transfer difference at low voltages thermal converter with amplifier, micropotentiometer, AC-DC transfer standard
		5.1.2	AC-DC transfer difference at medium voltages thermal converter (directly connected), AC-DC transfer standard
		5.1.3	AC-DC transfer difference at higher voltages thermal converter with range extender, AC-DC transfer standard
	5.2	AC voltage up to 1000 V	
		5.2.1	sources multifunction calibrator
		5.2.2	meters AC voltmeter, multimeter, multifunction transfer standard
	5.3	AC voltage ratio, attenuation and gain	
		5.3.1	real component (or modulus) inductive voltage divider, voltage transformer, ac bridge standard, attenuator box, syncro-res.
		5.3.2	imaginary component (or argument) inductive voltage divider, voltage transformer, ac bridge standard, attenuator box, syncro-res.
		5.3.3	attenuation and gain passive device, attenuator box, inductive voltage divider
6	AC current		
	6.1	AC-DC current transfer	
		6.1.1	AC-DC transfer difference thermal converter plus shunt, AC-DC transfer standard plus shunt
	6.2	AC current up to 100A	
		6.2.1	sources multifunction calibrator, transconductance amplifier
		6.2.2	meters ac ammeter, multimeter, multifunction transfer standard
	6.3	AC current ratio up to 100 A	

		6.3.1	real component	compensated current transformer, uncompensated current transformer, current transformer bridge
		6.3.2	imaginary component	compensated current transformer, uncompensated current transformer, current transformer bridge
7	AC power			
	7.1	AC power and energy		
		7.1.1	single phase power at $f \leq 400$ Hz	power meter, energy meter, power converter, wattmeter
		7.1.2	single phase power at $f > 400$ Hz	power meter, energy meter, power converter, wattmeter
		7.1.3	three phase	power meters, energy meters
8	high voltage and current			
	8.1	high DC voltage		
		8.1.1	high voltage sources	DC kilovolt source
		8.1.2	high voltage meters	DC kilovoltmeter, dedicated set-up for high voltage
		8.1.3	ratios	high voltage resistive divider, DC high voltage probe
	8.2	high voltage impedance		
		8.2.1	capacitance	compressed gas capacitor, capacitor for high voltage
		8.2.2	dissipation factor	compressed gas capacitor, capacitor for high voltage
		8.2.3	inductance	high voltage reactor
		8.2.4	loss angle	high voltage reactor
		8.2.5	burden: real component	instrument transformer burden
		8.2.6	burden: imaginary component	instrument transformer burden
		8.2.7	resistance	fixed high voltage resistor
	8.3	AC high voltage		
		8.3.1	sources	high voltage AC source
		8.3.2	meters	AC high voltage meter, dedicated set-up for high voltage measurements (resistive and capacitive dividers)
		8.3.3	peak values	AC high voltage meter, dedicated set-up for high voltage measurements (resistive and capacitive dividers)
		8.3.4	ratio: real component (or modulus)	high voltage transformer, voltage transformer bridge
		8.3.5	ratio: imaginary component (or argument)	high voltage transformer, voltage transformer bridge
	8.4	pulsed high voltage and current		
		8.4.1	lightning impulse voltage parameters	lightning impulse voltage measurement set-up, impulse calibrator, digital recorder
		8.4.2	lightning impulse time parameters	lightning impulse voltage measurement set-up, impulse calibrator, digital recorder
		8.4.3	switching impulse voltage parameters	switching impulse voltage measurement set-up, impulse calibrator, digital recorder
		8.4.4	switching impulse time parameters	switching impulse voltage measurement set-up, impulse calibrator, digital recorder
		8.4.5	impulse current parameters	dedicated measurement set-up, impulse divider
		8.4.6	impulse current time parameters	dedicated measurement set-up, impulse divider
		8.4.7	impulse energy	impulse calibrator
		8.4.8	response parameters: response time, overshoot, settling time	impulse divider
	8.5	electric discharge		
		8.5.1	apparent charge	partial discharge calibrator

		8.5.2	response	electrostatic discharge target
	8.6	high AC current		
		8.6.1	sources	high current AC source
		8.6.2	meters	dedicated measurement set-up, current transducer
		8.6.3	ratio: real component (or modulus)	current transformer, current transformer bridge
		8.6.4	ratio: imaginary component (or argument)	current transformer, current transformer bridge
		8.6.5	pulsating current	pulsating current measurement set-up
	8.7	high DC current		
		8.7.1	sources	
		8.7.2	meters	measurement set-up
9	other DC and low frequency measurements			
	9.1	electric charge		
		9.1.1	sources	q-source
		9.1.2	meters	q-meter
	9.2	phase angle		
		9.2.1	sources	phase source
		9.2.2	meters	phase meter
	9.3	current and voltage waveform		
		9.3.1	mains frequency current harmonics	mains frequency harmonics analyser, flicker meter
		9.3.2	voltage harmonic distortion	signal generator, distortion meter, level meter
10	electric and magnetic fields			
	10.1	electric fields below 50 kHz		
		10.1.1	electrostatic field strength	electrostatic field meter, electrostatic generator
		10.1.2	electric field strength	field strength probe, electric field meter
	10.2	magnetic fields below 50 kHz		
		10.2.1	magnetic flux	flux meter, flux etalon
		10.2.2	DC magnetic flux density and applied magnetic field strength	magnetic flux density meter, magnetic field strength meter
		10.2.3	AC magnetic flux density and applied magnetic field strength	magnetic flux density meter, magnetic field strength meter
		10.2.4	DC shielding factor (ratio of DC magnetic flux density)	
		10.2.5	AC shielding factor (ratio of AC magnetic flux density)	
		10.2.6	turn area (ratio of magnetic flux and magnetic flux density)	pick up coil
		10.2.7	magnetic flux density or magnetic field strength per unit current	field coils
		10.2.8	magnetic field gradient	gradiometers
	10.3	electromagnetic fields above 50 kHz		
		10.3.1	electric field strength	field probe
		10.3.2	magnetic field strength	field probe
		10.3.3	power flux density	field probe
		10.3.4	magnetic flux density	
		10.3.5	magnetic field strength per unit current	
		10.3.6	turn area (ratio of magnetic flux and magnetic flux density)	

11	radio frequency measurements		
	11.1	RF power	
		11.1.1	absolute power on coaxials power meter, power source
		11.1.2	absolute power on waveguides power meter, power source
		11.1.3	calibration factor and effective efficiency on coaxials thermistor, barretter and power sensor
		11.1.4	calibration factor and effective efficiency on waveguides thermistor, barretter and power sensor
		11.1.5	non-CW power (absolute or relative) peak power sensor, sensors with time resolution
	11.2	RF reflection coefficient and attenuation (Note: not using a VNA or similar device)	
		11.2.1	reflection coefficient on coaxials (values in linear terms) passive device
		11.2.2	reflection coefficient on waveguides (values in linear terms) passive device
		11.2.3	attenuation on coaxials (values in dB) passive device
		11.2.4	attenuation on waveguides (values in dB) passive device
	11.3	scattering parameters (using a VNA or similar device)	
		11.3.1	reflection coefficient (S _{ii}) on coaxials (values in linear terms: real and imaginary or magnitude) passive device, generator, coaxial termination
		11.3.2	reflection coefficient (S _{ii}) on waveguides (values in linear terms: real and imaginary or magnitude) passive device, generator, waveguide termination
		(Note: an additional line is requested for a presentation in magnitude)	
		11.3.3	transmission coefficient (S _{ij}) on coaxials (values in linear terms: real and imaginary or magnitude and phase, or magnitude in dB) passive devices
		11.3.4	transmission coefficient (S _{ij}) on waveguides (values in linear terms: real and imaginary or magnitude and phase, or magnitude in dB) passive devices
		11.3.5	multiports directivity, effective source match, splitter
	11.4	noise	
		11.4.1	noise temperature or excess noise ratio in coaxials noise source
		11.4.2	noise temperature or excess noise ratio in waveguides noise source
		11.4.3	amplitude noise parameters 2 port amplifier, mixers
		11.4.4	phase noise oscillator, 2 port device
		11.4.5	radio brightness temperature, spectral radiance in free space wide aperture noise radiometer
	11.5	antenna properties	
		11.5.1	antenna factor antenna dipole, horn antenna, loop antenna
		11.5.2	antenna gain antenna dipole, horn antenna, log periodic
		11.5.3	other properties (pattern, beam width, ...) antenna dipole, horn antenna, log periodic
	11.6	signal and pulse characteristics (phase noise s. 11.4.4)	
		11.6.1	pulse amplitude oscilloscope, pulse & function generator
		11.6.2	pulse time parameters oscilloscope, pulse & function generator
		11.6.3	modulation, AM and FM signal generator, spectrum analyser, modulation meter, jitter meter
		11.6.4	distorsion and harmonic content signal generator, spectrum analyser, distortion meter
	11.7	RF voltage and current	
		11.7.1	RF-DC difference thermal voltage converter, ac-dc current stan-

				ard
		11.7.2	RF voltage sources	RF generator
		11.7.3	RF voltage meters	RF voltmeter
		11.7.4	RF current	RF current generator
	11.8	lumped impedance/admittance (above 50 kHz)		
		11.8.1	resistance/conductance (R, G)	
		11.8.2	inductance (L)	
		11.8.3	capacitance (C)	
		11.8.4	quality factor (Q)	Q-standard, Q-meter
	11.9	characteristic impedance		
		11.9.1	mechanical dimensions	coaxial airline, waveguide
		11.9.2	electrical parameters	coaxial airline
12	measurements on materials			
	12.1	electrical conductivity		
		12.1.1	metallic materials	metallic bar, sheet, reference material
		12.1.2	liquids (see also subject field "Amount of Substance")	liquid, reference material, electrolytic cell
	12.2	dielectric properties		
		12.2.1	relative permittivity: real and/or imaginary part	solid materials, liquid materials
		12.2.2	dielectric loss tangent: $\tan \delta$	solid materials, liquid materials
	12.3	soft magnetic sheet and powder materials		
		12.3.1	specific total power loss	Epstein, ring and single sheet sample
		12.3.2	peak value of DC magnetic polarisation	Epstein, ring and single sheet sample
		12.3.3	peak value of AC magnetic polarisation	Epstein, ring and single sheet sample
		12.3.4	peak value of magnetic field strength	Epstein, ring and single sheet sample
		12.3.5	RMS value of magnetic field strength	Epstein, ring and single sheet sample
		12.3.6	specific apparent power	Epstein, ring and single sheet sample
		12.3.7	peak permeability	Epstein, ring and single sheet sample
		12.3.8	complex relative permeability	
		12.3.9	density	Epstein, ring and single sheet sample
		12.3.10	resistivity	Epstein, ring and single sheet sample
	12.4	soft Magnetic bulk material		
		12.4.1	magnetic polarisation	rod, cylinder
		12.4.2	magnetic field strength	rod, cylinder
		12.4.3	remanent magnetic flux density	rod, cylinder
		12.4.4	coercive magnetic field strength	rod, cylinder
		12.4.5	magnetic saturation polarisation	rod, cylinder
		12.4.6	permeability	rod, cylinder
	12.5	feebly magnetic, paramagnetic and diamagnetic material		
		12.5.1	DC magnetic susceptibility or relative magnetic permeability	rod, cylinder
	12.6	hard magnetic material		
		12.6.1	remanent magnetic flux density	cylinder, rectangular parallelepiped
		12.6.2	coercive field strength (HCB, HCJ)	cylinder, rectangular parallelepiped
		12.6.3	maximum energy product (B-H)max	cylinder, rectangular parallelepiped
		12.6.4	magnetic moment	cylinder, rectangular parallelepiped
		12.6.5	magnetic flux density	cylinder, rectangular parallelepiped
		12.6.6	magnetic polarisation	cylinder, rectangular parallelepiped
		12.6.7	recoil permeability	
	12.7	magnetic data storage media		
		12.7.1	signal amplitude of magnetic stripes	magnetic stripes
		12.7.2	surface profile of magnetic stripes	magnetic stripes
		12.7.3	reference field of diskettes	diskettes

	12.7.4	signal amplitude of diskettes	diskettes
	12.7.5	resolution of diskettes	diskettes
	12.7.6	peak shift of diskettes	diskettes
	12.7.7	overwrite of diskettes	diskettes