

HANDLINGSPLAN FOR DET METROLOGISKE HOVEDOMRÅDE: FOTOMETRI OG RADIOMETRI

Udarbejdet af

Jan C. Petersen, Dansk Fundamental Metrologi

Kim Schüsler, Saab Metech A/S

Poul Erik Pedersen, DELTA Dansk Elektronik, Lys og Akustik

Bjarne Skipper, TDC Totalløsninger A/S

Per Thorsen, Ingeniørhøjskolen Århus

Harald Simonsen, Crystal Fibers A/S

Resumé:

Det metrologiske hovedområde fotometri og radiometri er opdelt i fire felter: radiometri, fotometri, kolorimetri og optiske fibre. Der findes i landet i øjeblikket tre DANAK akkrediterede laboratorier inden for hovedområdet. Det danske behov for sporbare kalibreringer inden for hovedområdet kan ikke tilfredsstilles af danske laboratorier.

Der foreslås følgende indsatsområder: Der bør arbejdes med forbedring af overføringsnormaler både i UV og IR området samt karakterisering af halvlederdetektorer. Eksisterende akkrediteringer indenfor radiometri bør udvides til højere strålingseffekt. Kalibreringsfaciliteter i de ultraviolette og infrarøde områder bør etableres. Den eksisterende akkreditering til kalibrering af spektral reflektans bør udvides til at omfatte spektral transmittans. Der bør etableres en akkreditering for fiberoptiske parametre i samarbejde med de andre nordiske metrologi institutter under et virtuelt institut. Arbejde omkring karakterisering (frekvensrespons og støj) af lyskilder og detektorer som anvendes til optisk kommunikation bør startes.

Abstract:

The metrological subject field photometry and radiometry is divided into four fields: radiometry, photometry, colorimetry and fibre-optics. Currently in the country there are three DANAK accredited laboratories within this subject field. Danish laboratories cannot satisfy the Danish demand for traceable calibrations within the subject field.

The following areas of focus are proposed: Work should continue on improving transfer standards for both the UV and IR spectral regions including the characterising photodiodes. Existing accreditations within radiometry should be expanded to higher power levels. Calibration facilities in the ultraviolet and infrared spectral regions should be established. The existing accredited calibration facility for spectral reflectance should be expanded to also cover spectral transmittance. An accredited calibration facility for fibre optic parameters should be established in collaboration with the other Nordic metrology institutes under the umbrella of a virtual institute. Work should be initiated on characterising (frequency response and noise) light sources and detectors that are used in optical communication.

Indholdsfortegnelse

1	Sammenfatning og konklusion.....	1
2	Indledning.....	2
3	Beskrivelse af hovedområdet fotometri og radiometri	4
3.1	Beskrivelse af det metrologiske felt radiometri	7
3.2	Beskrivelse af det metrologiske felt fotometri	8
3.3	Beskrivelse af det metrologiske felt kolorimetri.....	9
3.4	Beskrivelse af det metrologiske felt optiske fibre	9
4	Behovs- og ressourceopgørelse.....	10
4.1	Behovsopgørelser	10
4.1.1	Industriel anvendelse	10
4.1.2	Legal og anden forskriftmæssig anvendelse.....	13
4.1.3	Kalibrering og prøvning	13
4.1.4	Forskning.....	14
4.2	Ressourceopgørelser	14
4.2.1	Det metrologiske felt radiometri	14
4.2.2	Det metrologiske felt fotometri	15
4.2.3	Det metrologiske felt kolorimetri.....	15
4.2.4	Det metrologiske felt optiske fibre	15
5	Forslag til indsatsområder.....	16
5.1	Radiometri.....	16
5.2	Fotometri	17
5.3	Kolorimetri.....	17
5.4	Optiske fibre.....	17
5.5	Omkostninger.....	17
6	Forslag til etablering af nationale primær- og referencelaboratorier	18
7	Forslag til det videre arbejde	18
8	Appendikser	19
8.1	DANAK akkrediterede kalibreringslaboratorier under hovedområdet fotometri og radiometri	19
8.2	DANAK akkrediterede prøvningslaboratorier under hovedområdet fotometri og radiometri.....	19
8.3	Andre akkrediteringer af prøvningslaboratorier under hovedområdet fotometri og radiometri.	19
8.4	Almindelige laserlinier og deres anvendelser	19
9	Litteratur.....	21

1 Sammenfatning og konklusion

Det internationale krav til certificering af kvalitetsstyringssystemer fortsætter, og mange danske virksomheder får deres kvalitetssystem certificeret efter ISO 9000 serien. En væsentlig forudsætning, for at opnå certifikat på dette område, er blandt andet, at virksomhedernes måleudstyr kalibreres regelmæssigt og med sporbarhed til det internationale kalibreringshierarki. DELTA har haft stigende aktiviteter med hensyn til kontrol af industriens belysningsmåleudstyr til måling af belysningsstyrke og luminans. Efter nedturen for optisk kommunikation opleves nu igen en stigende efterspørgsel for at få kalibreret optiske effektmålere og optiske sendere. Både Saab Metech A/S og DFM forventer et øget behov for kalibrering af fiberoptisk udstyr fremover. Mere generelt forventes at den danske industri vil skærpe sine krav med hensyn til at få foretaget akkrediteret kalibrering af optisk måleudstyr her i landet, da der er forbundet væsentlige økonomiske og tidsmæssige omkostninger med kalibrering af industriens optiske måleudstyr uden for landets grænser, for opfyldelse af gældende ISO-standarder. Endvidere indgår nøjagtige målinger i væsentligt omfang som en konkurrenceparameter i industrien. Dansk industris konkurrenceevne vil fremover i stigende omfang være afhængig af adgang til kalibreringstekniske faciliteter og ressourcer samt forsknings- og udviklingsmæssige resultater inden for det optiske område.

Den optoteknologiske udvikling er for tiden meget intensiv både internationalt og i Danmark. Dette indebærer blandt andet, at der vil opstå mange nye målemetoder baseret på den optiske metrologi, der vil erstatte tidligere traditionelle målemetoder. Der anvendes således i stigende grad optiske teknikker til studier af mikrooptiske strukturer herunder optiske lysledere. Inden for miljø- og sundhedssektoren anvendes optiske målemetoder og målesystemer til bestemmelse og kontrol af forskellige former for forurening. Optiske teknikker anvendes i stigende grad i den medicinske sektor i forbindelse med både diagnose, behandling og kirurgi. Dette indebærer i sig selv, at der fremover vil fremkomme yderligere krav til kalibrering af radiometriske måleparametre.

En metrologisk forudsætning for indførelse af kalibrering af radiometriske, fotometriske og kolorimetriske måleparametre er, at der skabes reference til de grundlæggende enheder for strålingseffekt og bølglængde. DFM er primærlaboratorium indenfor optisk radiometri og skaber sporbarhed her i landet via sin primærnormal, et kryogent absolut radiometer. DFM udvider løbende sine bølglængdereferencer således at bølglængder kan bestemmes i andre dele af det optiske måleområde, 200 til 20000 nm. Dette kan således understøtte dels den allerede etablerede akkreditering nr. 333, Saab Metech A/S, og dels akkreditering nr. 73, som DELTA har for områderne fotometri, kolorimetri og radiometri. Herudover vil den del af den danske industri, der arbejder med optiske komponenter eller er afhængig af optisk måleteknik, drage fordel af den viden, laboratorierne opbygger i forbindelse med udvikling og etablering af kalibreringsmæssige faciliteter samt samarbejdet med relevante internationale laboratorier på det optiske område.

I Nordisk regi er det foreslået at etablere et virtuelt fiberoptisk institut til kalibrering og karakterisering af optiske fibre. Som det fremgår af tabel I er der over ti vigtige parametre relateret til optiske fibre. Den vigtigste er uden tvivl effektmåling i forbindelse med fiber transmission. Dette er også en parameter som kan måles / kalibreres i tre af de nordiske lande, medens få af de andre parametre kan måles enkelte steder eller slet ikke. Kundegrundlaget for alle andre parametre er heller ikke stort nok til at underbygge at faciliteter bygges op i hvert enkelt land; hvorimod en opdeling af de vigtigste parametre mellem de andre nordiske lande vil være mere hensigtsmæssigt. Det foreslås at der fra dansk side arbejdes på en sådan løsning.

Ud fra et økonomisk grundlag for drift af et reference- eller primærlaboratorium til kalibrering af optiske måleinstrumenter, kan ikke alle i handlingsplanen nævnte forslag siges på nuværende tidspunkt at blive rentable. Danmark har imidlertid behov for at markere sig på det internationale metrologiske område, således at vi kan forblive konkurrencedygtige. Metrologisk anerkendelse skaber mulighed for eksport af industrielle produkter især inden for det højteknologiske område. Ydermere skaber metrologisk anerkendelse mulighed for ligeværdigt samarbejde med andre internationale metrologi institutter, således at knowhow kan tilflyde Danmark. Det er således indsatsen værd, hvis vi opnår international anerkendelse for vore metrologiske forskningsresultater.

Handlingsplanen foreslår følgende indsatsområder og videre arbejde:

- overføringsnormaler til yderligere bølglængdeområder, således at den danske primærnormal udnyttes fuldt ud
- kalibreringsfacilitet til UV-A og UV-B områderne med sporbarhed til kryogen radiometret

- effektmåling af stråling i det infrarøde spektralområde fra 2,5 til 20 μm
- dynamikområdet for effektmålinger ved 1310 og 1550 nm bør øges til intervallet 10 pW - 500 mW
- det bør undersøges om turbiditetsmålinger udføres på tilfredsstillende måde i Danmark
- undersøgelse af behov for partikeltælling
- det bør undersøges om der er behov for facilitet til certificering af lasere
- facilitet til kalibrering af transmittans
- oprettelse af et virtuelt Nordisk institut for fiberoptiske målinger
- stabile frekvensreferencer i kommunikationsbåndene
- studier af halvlederdetektorer egnet til brug i UV og IR områderne
- deltagelse i standardiserings- og pre-standardiseringsarbejde
- deltagelse i Round Robin's på nye og allerede standardiserede områder indenfor fiberoptiske målinger
- akkreditering på OTDR-målinger
- intensitetsstabilisering af lasere
- energimåling af pulsede lasere
- tunbare kilder i det synlige bølgelængdeområde
- måling af liniebredde/kohærens, spektralbredde og relativ intensitetsstøj af lyskilder
- måling af detektorers karakteristika (frekvensrespons og egenstøj)

2 Indledning

Nærværende handlingsplan afløser den i 1996 udarbejdede handlingsplan for fotometri og radiometri. Plan er opdateret med hjælp fra en række personer med kendskab til hovedområderne. Navne på disse personer og deres tilknytning fremgår af forsiden af denne rapport. Personerne er valgt så den bredest mulige repræsentation af bruger- og teknikersynspunkter kunne danne grundlag for opdateringen.

Handlingsplanen er en ud af ti handlingsplaner som dækker de metrologiske hovedområder

Masse
 Elektricitet
 Længde
 Tid og frekvens
 Termometri
 Ioniserende stråling og radioaktivitet
 Fotometri og radiometri
 Flow (strøm af fluide medie)
 Akustik
 Kemi

I 1996-handlingsplanen blev adskillige indsatsområder foreslået. Disse indsatsområder samt deres status er:

Arbejde med forbedring af overføringsnormaler inden for radiometri.

DFM er udpeget til primærlaboratorium for optisk radiometri. DFM har deltaget i en international sammenligning af primærnormaler med et godt resultat. Der har i perioden især været arbejdet med halvlederdetektorer til brug i de fiberoptiske kommunikationsområder (1310 og 1550 nm). Til disse to bølgelængdeområder eksisterer nu gode overføringsnormaler, som kan anvendes i spektralområdet 800 – 1700 nm. DFM er i gang med at udbygge den radiometriske facilitet til UV-B området (280 – 320 nm). Gode stabile detektorer (PtSi) er fundet og karakterisering ved udvalgte bølgelængder har fundet sted. En tunbar UV-B kilde er under udvikling, således at hele UV-B området forventes at kunne dækkes indenfor 2-3 år. Faciliteten skal især betjene områderne medicin og meteorologi. DFM deltager i et Nordisk projekt omhandlende selvkalibrering af silicium detektorer i den synlige del af spekteret. Dette kan eventuelt blive en alternativ metode til kryogent radiometret.

Stabilisering af lasere.

DFM har arbejdet med stabilisering af lasere i de optiske kommunikationsbånd og etableret en fiber laser, som er stabiliseret til acetylen. Denne fungerer nu som bølgelængdenormal i det optiske kommunikationsområde omkring 1550 nm. Frekvensfordobling af diode lasere til generering af stråling i UV-B området er gjort. Der arbejdes nu med at generere højere effekt og med at intensitetsstabilisere disse kilder.

Yderligere kompetence inden for måling af strålingsenergi for pulsede lasere.

Der er ikke sket tiltag indenfor dette område. Det anses stadig, at dette bør være et indsatsområde som beskrevet i nærværende handlingsplan.

Yderligere kompetence inden for effektmåling i det infrarøde område (2,5 - 20 μm).

Efter i en kort periode at have arbejdet med udvikling af en stabil cw CO₂ laser til effektkalibrering i 10 μm bølgelængdeområdet har DFM sat dette i bero på grund af anden prioritering. Der er i øjeblikket ingen planer om at genoptage arbejdet. Der findes således stadig ikke kompetence til kalibrering i nævnte bølgelængdeområde.

Behov for måling af turbiditet

Der er ikke lavet nogen undersøgelse; men der er nu sket direkte henvendelse fra industrien med hensyn til muligheden for etablering af en facilitet. Det anses at en behovsanalyse stadig er aktuel.

Etablering af kalibreringsfaciliteter for lysteknisk måleudstyr

DELTA har etableret faciliteter til kalibrering af luxmetre og luminansmetre, og der er etableret facilitet til test af UV-metre.

Anskaffelse af referencenormaler til fotometri (lysstyrke, belysningsstyrke, luminans, retroreflektans)

DELTA har anskaffet en referencenormal til sporbar kalibrering af lysstyrke. DELTA har ligeledes etableret faciliteter til kalibrering af belysningsstyrke, luminans, lysstrøm samt retroreflektans.

Etablering af facilitet til kalibrering af transmittans

Dette er ikke sket; men det indgår stadig i DELTA's planer at etablere en facilitet til kalibrering af transmittans.

Udvidelse af indsatsområder indenfor fiberoptiske kalibreringer

Både Saab Metech A/S (som siden forrige handlingsplan har overtaget kalibreringslaboratoriet fra DSC Communications A/S) og DFM har udvidet deres virke indenfor fiberoptiske kalibreringer. Således kan laboratorierne nu kalibrere fiberoptiske attenuatorer samt måle optisk effekt op til henholdsvis 27 og 23 dBm. Begge laboratorier har udvidet deres akkrediteringer til også at dække bølgelængdemålinger i de fiberoptiske vinduer. DFM har deltaget i en Nordisk sammenligning af fiberoptisk effektmåling op til 200 mW.

Sporbare OTDR målinger

Dette er ikke etableret; men er stadig relevant. Det foreslås et nordisk virtuelt fiberoptisk institut under NNERA paraplyen, hvor også andre parametre inkluderes.

De fleste europæiske lande erkender nu, at de ikke behøver at dække alle metrologiske hovedområder fuldt ud; men at de bør fokusere på metrologiske faciliteter på højt niveau indenfor de områder, som er af speciel vigtighed for landet. Ydermere er der for tiden et stigende behov for stadig mere komplekse målinger, der kræver apparatur og mandskab i en størrelsesorden, der kan være svær at håndtere for enkelte lande, selv for lande med store metrologiske institutter. Det stadig stigende behov for metrologiske ydelser er ikke blevet modsvaret af en tilsvarende økonomisk øgning. Disse kendsgerninger har ført til et meget konstruktivt samarbejde i nordisk regi omkring koordinering af metrologiske faciliteter. Et eksempel er forslaget til et Nordisk virtuelt fiberoptisk institut. I Norden er det koordinerende arbejde blevet udført under NNERA projektet. NNERA er den nordiske pendant til MERA og iMERA, to europæiske projekter¹, som har til formål, henholdsvis at undersøge behovet for og implementeringen af en bedre udnytte de samlede metrologiske midler der er til rådighed i Europa.

¹ MERA (Metrology in the European Research Area) er et afsluttet projekt som havde til formål at undersøge behovet i Europa. iMERA er et projekt som omhandler implementering af MERA og som vil blive søgt finansieret af EU. Den nordiske variant NNERA får støtte fra Nordisk InnovationsCenter.

3 Beskrivelse af hovedområdet fotometri og radiometri

Optiske måleteknikker finder stigende indpas mange steder i samfundet, eksempelvis inden for industrien, sundhedssektoren og miljøsektoren. Anvendelsesområder spænder fra industriel kvalitetskontrol over personsikkerhed til forureningsmålinger og materialebehandling. Fælles for alle områder er, at kravene til kvalitet og konkurrencedygtighed stiller stadigt større krav til sporbarhed og nøjagtighed af de benyttede målemetoder. Der er derfor et behov for at videreudbygge danske faciliteter og dansk ekspertise inden for de grundlæggende optiske måletekniske discipliner: radiometri, fotometri, kolorimetri og fiber optik.

Hovedområdet fotometri og radiometri bør omfatte sporbare målinger af alle fundamentale radiometriske måleenheder under SI-systemet i den del af det elektromagnetiske spektrum, som udgør det optiske område. Af praktiske årsager er det fundet formålstjenligt at dele det optiske hovedområde op i fire metrologiske felter, som det fremgår af tabel 1, som også indeholder de vigtigste målestørrelser, typiske måleområder og vigtigste normaler. Optisk stråling dækker bølgelængdeområdet fra ca. 200 nm til 20000 nm. Den nedre grænse er fastlagt ved de bølgelængder ved hvilke de fleste materialer, inklusiv luft, absorberer kraftigt. Den øvre grænse er fastlagt ved de bølgelængder over hvilke, der ikke er noget særligt behov eller hvor andre teknikker anvendes (dvs. mikrobølgeteknikker). Radiometri og fotometri er nært beslægtede områder. Valget af måleenhed afgøres af om den målte stråling vil blive observeret af det menneskelige øje (fotometri) eller ej (radiometri). Det menneskelige øje responderer på bølgelængder i området 380-780 nm. Transmission på optiske fibre og andre fiberoptiske teknologier er i en rivende udvikling, der til stadighed stiller krav om nye optiske måleteknikker.

Kommentarer til Tabel 1:

Måleparametre under feltet optiske fibre er medtaget af den årsag, at der indenfor den industrielle branche optisk kommunikation, er et stort behov for at kunne måle disse parametre med stor nøjagtighed. Det er af anvendelsesmæssige årsager yderst vigtigt for branchen, at netop de anførte parametre danner referencegrundlag for deres måleudstyr. Da parametrene afledes måleteknisk fra andre felter er der således behov for kalibrering af optisk effekt, bølgelængde, tid, frekvens og længde.

Under radiometri er også anført optiske komponenter. For disse drejer det sig om at udføre fundamentale målinger som effekt og fase.

I forbindelse med optiske problemer er det ofte nødvendigt at kende bølgelængden af den optiske stråling, der anvendes. Man skal derfor have kendskab og adgang til metoder til absolut måling af bølgelængder. Bølgelængdemåling er ikke medtaget særskilt i tabellen, idet det i princippet kan være et krav at kende den i hvert af de fire metrologiske felter.

Tabel 1. Opdeling af hovedområdet fotometri og radiometri

HOVEDOMRÅDE: FOTOMETRI OG RADIOMETRI			
FELT	VIGTIGSTE MÅLESTØRRELSER	TYPISK MÅLEOMRÅDE	VIGTIGSTE NORMALER
Radiometri	Strålingseffekt (strålingsstrøm)	1 pW-10 W	Kryogent radiometer Kvantedetektorer Termopiler Pyroelektriske detektorer
	Udstråling (exitans)	$W_{m^{-2}}$	Detektorer
	Irradians	$10^4 - 10^7 W_{m^{-2}}$	Strålingskilder
	Spektral irradians	$W_{m^{-2}nm^{-1}}$	Strålingskilder
	Radians	$W_{sr^{-1}m^{-2}}$	Strålingskilder
	Spektral radians	$W_{sr^{-1}m^{-2}nm^{-1}}$	Strålingskilder
	Strålingsstyrke	$W_{sr^{-1}}$	Strålingskilder
	Strålingsenergi	1 nJ - 1 kJ	Detektorer
	Spektral transmittans	0 - 100%	Referencematerialer
	Spektral reflektans	0 - 100%	Referencematerialer
	Turbiditet	FTU / 0 – 40 FNU	Referencematerialer
	Partikelantal	partikler/ m^{-2}	Referencepartikler
	Bølgefront (optisk fase)	m/λ (vejlængde i bølglængder)	Interferometre
	MTF (Modulation transfer function)	%	MTF-målebænk
Brydningsindeks	1 - 4	Referencematerialer	
Fotometri	Lysstrøm	5 - 20.000 lm	Lyskilder
	Lysudstråling	$lm m^{-2}$	Lyskilder
	Lysstyrke	1 - 10^6 cd	Lyskilder
	Luminans	$10^{-5} - 10^7$ cd m^{-2}	Lyskilder Referencematerialer
	Spektralfordeling	cd nm^{-1}	Lyskilder Referencematerialer
	Belysningsstyrke	$10^{-3} - 10^6$ lx	Lyskilder
	Transmittans / Reflektans	0 - 100%	Referencematerialer

FELT	VIGTIGSTE MÅLESTØRRELSER	TYPISK MÅLEOMRÅDE	VIGTIGSTE NORMALER
Kolorimetri	Farvekoordinater	(x,y,Y); (u,v); (L,a,b)	Referencematerialer
	Farvetemperatur	1500 - 15000 K	Lyskilder Strålingskilder
Optiske fibre	Numerisk apertur (NA)	0,01 - 0,6	RTM eksisterer
	Radial feltfordeling i single mode fibre: Mode field diameter (MFD) Effektivt areal (A_{eff})	1 - 40 μm 1 - 1600 μm^2	RTM eksisterer Eksisterer ikke
	Brydningsindeks profil	Eksisterer ikke	Referencematerialer
	Ulineær brydningsindeks	Eksisterer ikke	Eksisterer ikke
	Spektral-dæmpning	0,1 - 20 dB/km	Eksisterer ikke
	Kromatisk dispersion	(-80) - (+20) ps/nm·km	RTM eksisterer
	Polarisationsmodedispersion (PMD)	0 - 100 ps	Referencematerialer
	Refleksion	-70 til -14 dB	Referencematerialer
	Cut-off bølgelængde	800 - 1450 nm	RTM eksisterer
	Tx Spektralbredde	1 - 100 GHz	Eksisterer ikke
	Forstærkning	5 - 40 dB	Referencematerialer
	Støjtal	3 - 10 dB	Referencematerialer
	Gain-slope (statisk og dynamisk)	0 - 2 dB/nm	Eksisterer ikke
	Slope effektivitet		Eksisterer ikke
	Pumpe absorption		Eksisterer ikke
	Dobbeltbrydning		Eksisterer ikke
	SBS tærskel	1 - 30 mW*	Eksisterer ikke
	SRS tærskel og gainkurve	1 W*	Eksisterer ikke
	Bølgelængde	800 - 1700 nm	Molekylære absorptionslinier
	Spektralbredde	100 Hz - 100 GHz	Eksisterer ikke
Relativ intensitetsstøj	-50 - -180 dBm/Hz	Eksisterer ikke	

* I single mode fibre med kerne / cladding størrelse 9 / 125 μm

3.1 Beskrivelse af det metrologiske felt radiometri

Inden for radiometrien beskæftiger man sig især med måling af strålingseffekt, irradians, radians og strålingsenergi fra det elektromagnetiske spektrum i området fra 200 nm til 20000 nm. Visse bølgelængder, hvor der eksisterer vigtige laserlinier, er specielt interessante. I appendikset er angivet nogle af de mest anvendte lasertyper, deres bølgelængder og anvendelser.

Strålingseffekt angiver mængden af optisk effekt som falder på en given overflade, hvor overfladen sædvanligvis er detektoren. Effekten måles ved omsætning af optisk effekt til elektrisk effekt. Effektkalibreringer foregår for tiden mest med reference til omhyggeligt udvalgte velkarakteriserede silicium, germanium, InGaAs og HgCdTe reference- eller arbejdsnormaler. Disse er enten kalibreret direkte mod primærnormaler eller er sporbar til denne via termiske detektorer. De større nationale laboratorier anvender et kryogen radiometer som primærnormal. Et sådant radiometer anvendes ved at foretage en sammenligning mellem den effekt, der afsættes af den indkommende optiske stråling og den ækvivalente dc elektriske effekt. En sådan primærnormal anvendes ved DFM.

Udstråling eller exitans er den totale stråling fra en kilde divideret med overfladen af kilden. Denne type måling er udelukkende relateret til kilden.

Irradians er den optiske effekt der rammer eller strømmer gennem en arealenhed vinkelret på strålingsretningen.

Radians er den effekt, der udstråles per arealenhed og per vinkelenhed fra en kilde.

Strålingsstyrke er den optiske effekt der udsendes af en kilde i en kendt rumvinkel. Strålingsstyrken er en egenskab ved kilden og er ikke altid en relevant parameter. Strålingsstyrken afhænger af den rumlige fordeling af den udsendte stråling.

Strålingsenergi (i joule) måles i forbindelse med pulsede kilder. For pulset stråling kan det ud over strålingsenergien også være nødvendigt at kende pulslængden (i sekunder) samt pulsformen. Det er således nødvendigt at anvende detektorer og elektronik med hurtig responstid.

Inden for radiometrien anvendes tre hovedtyper af detektorer. Disse er halvlederdetektorer (f.eks. silicium, germanium, InGaAs), fotomultiplikatorrør og termiske detektorer (f.eks. termopiler, pyroelektriske detektorer, bolometre). Valget af detektortype afhænger af, hvad der skal monitoreres og ved hvilken bølgelængde monitoreringen skal finde sted. Generelt kan man dog sige, at halvlederdetektorer vinder mere og mere indpas, idet de har et højt signal støj forhold, god linearitet, lille tidskonstant og en spektral-responsivitet, der er stabil i tid. Silicium detektorer er stadig de mest anvendte i det synlige område medens man har et stort udvalg af kvantedetektorer i det infrarøde område (2,5 til 20 μ m). Disse anvendes bl.a. inden for IR spektrometri, termografi og "remote" undersøgelser.

Målinger af optiske effekter for fiberoptiske systemer og komponenter udføres sædvanligvis med specielt designede effektmålere, og som sensorer anvendes nu mest germanium, InGaAs og silicium fotodioder. De bruges især til test af fiberoptiske netværk, produktevaluering og kvalitetskontrol og anvendes over et bredt dynamikområde; fra 10 mW til 1 pW. Anvendes fiberoptiske forstærkere øges dynamikområdet indenfor 1550 nm transmissionsvinduet typisk til 500 mW. For at kunne måle ved dette effektniveau kan dæmpefiltre foran fotodioderne anvendes eller integrerende kugler kan bruges. Absolut responskalibrering foregår normalt i 850, 1300 og 1550 nm transmissionsvinduerne for glasfibre. I forbindelse med pumpelasere til 1310 og 1550 nm fiberforstærkere er bølgelængde vinduerne omkring 980, 1053, 1064 og 1480 nm blevet relevante. Bølgelængdeintervallet 1600 - 1625 nm anvendes ofte i OTDR målesystemer og anvendes blandt andet i forbindelse med DWDM systemer på dispersionsskiftede fibre (ITU-T G.653 fibre).

Udbredelse af coarse WDM systemer (CWDM) betyder, at hele det spektrale transmissionsområde af fibren (fra 1300 – 1625 nm) anvendes. Der anvendes typisk en afstand på 40 nm mellem hver enkelt kanal og giver derfor krav om at kunne karakteriser både lyskilder og fibre over hele dette område.

Inden for feltet transmission og refleksion beskæftiger man sig med måling af parametre, der karakteriserer optiske transmissionsmediers eller optiske komponenters evne til som funktion af bølgelængde at afgive, overføre eller absorbere optisk effekt.

Turbiditet kan på dansk kaldes uklarhed og er et mål for uklarheden af f.eks. en væske. Turbiditet kan måles i enheden FTU (Formazin Turbidity Units) eller i enheden FNU (Formazin Nephelometric Units), der refererer til nogle standardopløsninger med formazin og som begge hovedsagelig anvendes i forbindelse med vand. Der er imidlertid anvendt mange andre enheder i litteraturen, blandt andet anvender bryggerier deres egen enhed i forbindelse med øl. En øget turbiditet fører til mindre gennemsigtighed, dvs. at væsken er mindre transparent. Uklarhed kan ikke altid umiddelbart registreres med det blotte øje, da det kan dreje sig om fine partikler, som mindsker lysets mulighed for at trænge gennem en væske. Der er for tiden en øget interesse for at kunne måle turbiditeten af en væske. Dette gælder både i forbindelse med drikke- og badevand samt f.eks. vin, øl og diverse husholdningsolier. Turbiditet kan måles på et reflektormeter. I forbindelse med vandundersøgelse findes en international standard til bestemmelse af turbiditet; ISO 7027:1999.

Partikelantal bliver en stadig vigtigere parameter indenfor miljøbeskyttelse og sundhed. Forbrændingsprocesser danner små partikler som kan findes i omgivelserne, og som ofte kan være kræftfremkaldende. Arbejdsgrupper diskuterer for tiden fremtidige emissionsgrænser fra såvel køretøjer som industriel forbrænding. Herudover er partikelantal også en vigtig parameter i forbindelse med karakterisering af rene rum og partikelfilter tests. Mange fremstillingsprocesser foregår nu om dage i rene rum. Det er for eksempel tilfældet for fremstilling af visse former for medicin og elektronik. Partikeltælling kan være såvel en radiometrisk som en fotometrisk måling.

Bølgefrontmålinger dækker over de målemetoder, som anvendes til måling af fasen af et optiske felt.. Bølgefrontmålinger er en klassisk måleteknik, som med forekomsten af lasere har fået fornyet interesse og nye måletekniske muligheder. Målingerne anvendes i dag i vid udstrækning til kontrol af optiske komponenter, så som linser, spejle og hele afbildende systemer. Målingerne udføres med et interferometersystem, som typisk indeholder en laser, et interferometer, et CCD kamera og en computer til databehandling. Kommercielle systemer koster omkring en million kroner, og findes så vidt vides ikke i Danmark.

Modulation Transfer Function, MTF målinger er beslægtet med bølgefrontmålinger. Disse anvendes til at måle opløsningen af billeddannende systemer til kameraer, reproduktorer, osv.

Brydningsindeks er en materialeparameter, som det er vigtigt at kende for at få viden om udbredelsen af lys i materialer. Med den hurtige udvikling af nye materialer til brug ved optisk transmission er der en øget interesse i måling af brydningsindeks.

Af andre materialeparametre for optiske materialer kan nævnes dispersion, dobbeltbrydning, optisk aktivitet, fluorescens, elektrooptiske koefficienter, ulineære egenskaber, og effektterskel for skader (damage threshold). Disse målinger udføres med forskellige målemetoder, som er afledt af effekt- og fasemålinger.

3.2 Beskrivelse af det metrologiske felt fotometri

Inden for fotometrien arbejder man med målinger af lys baseret på den måde det menneskelige øje responderer på lys. Man behandler således det synlige spektrum med en vægtet spektralrespons, der er en tilnærmelse til spektralresponsen af det menneskelige øje. Fotometrien beskæftiger sig især med måling af rumlys, displays, kontrolpaneler, gadelys mm. Korrekt belysning er således vigtig for at mennesket kan fungere tilfredsstillende i hverdagen. De væsentligste størrelser er lysstrøm og lysstyrke. For at udføre fotometriske målinger må man have et meter med en detektor der er afpasset til den fotometriske kurve, som defineret af CIE (Commission Internationale de l'Éclairage).

Den fundamentale enhed for synligt lys er lumen (lm), som er enheden for lysstrøm, dvs. den fotometriske analog til radiometrisk watt, som er enheden for strålingseffekt. Af historiske grunde er enheden for lysstyrke, candela (cd = lm/sr), valgt som den fotometriske baserede grundenhed i SI systemet. Denne størrelse er vigtig i forbindelse med fabrikation og brug af lamper og armaturer. Siden 1979 har candelaen været defineret således:

En candela er den lysstyrke, i en givet retning, udsendt af en monokromatisk kilde med frekvensen $540 \cdot 10^{12}$ hertz, der har en strålingsstyrke i den givne retning på $(1/683)$ watt pr steradian.

Denne definition baserer enheden lumen direkte på watt ved en bølgelængde tæt på 555 nm, som er maksimum af den fotopiske visuelle respons funktion. Definitionen tillader at realisere candelaen v.h.a. et kryogent absolut radiometer, og behovet for en primærnormal for specielt synligt lys er derfor principielt

fjernet. Nationale referencelaboratorier anvender dog stadig en række kalibrerede lamper som standarder for belysningsstyrke og lysstrøm.

I det synlige område er de mest anvendte detektorer fotomultiplikatorrør, silicium fotodioder samt CCD arrays.

I den synlige del af spektret er der korrelation mellem radiometri og fotometri. Konversionen mellem fotometri og radiometri forudsætter at den spektrale fordeling er kendt.

3.3 Beskrivelse af det metrologiske felt kolorimetri

Farve kan betragtes som et visuelt sanseindtryk af et objekt. Kolorimetri eller farvemåling kan udføres efter tre metoder.

Farvetemperatur anvendes primært til karakterisering af lamper. Farvetemperaturen er i princippet et udtryk for den spektrale udstråling, som fremkommer fra et ideelt sortlegeme ved den pågældende temperatur. Som reference standard for farvetemperatur anvendes kalibrerede lamper.

Trestimulus kolorimetri udføres ved hjælp af 3 til 4 filtre, som anvendes til at matche de af CIE (CIE - Commission International d'Eclairage) fastlagte spektrale trestimulusfunktioner.

Spektralradiometri er den mest nøjagtige kolorimetrisk målemetode, hvor der foretages en radiometrisk måling over hele det visuelle spektralområde (380 - 720 nm). De fremkomne spektrale data vægtes efterfølgende med CIE trestimulus funktionerne, hvorefter farvekoordinaterne kan udregnes.

Ved trestimulusmålinger med filterbaserede instrumenter samt spektralradiometriske farvemålinger anvendes trestimulusprincippet. Det mest anerkendte trestimulus kolorimetrisystem er CIE systemet. Dette system er baseret på et internationalt anerkendt sæt af spektrale følsomhedsfunktioner. Vægtes den spektrale information ved disse følsomhedsfunktioner, fås trestimulusværdier. Ud fra disse værdier kan chromaticitetskoordinater udregnes. Der er i tidens løb af CIE vedtaget tre forskellige beregningsalgoritmer for udregning af farvekoordinater. Til beregning af farveforskelle har CIE ligeledes vedtaget beregningsalgoritmer.

Det afgørende ved farvemåling er, at de opnåede chromaticitetskoordinater udelukkende er gyldige for den målegeometri og lyskilde, der anvendes ved målingen. Valget af målegeometri og lyskilde er betinget af konventioner for de enkelte brancher, hvor farvemåling anvendes.

Som primærnormaler ved kolorimetri anvendes hvide og farvede plader af keramiske materialer. Ved hjælp af et præcisionsspektrokolorimeter overføres referencenormalerne til arbejdsnormaler, der anvendes til kalibrering af industrielle farvemålersystemer.

Der eksisterer i dag i Danmark faciliteter til at overføre referencenormaler til arbejdsnormaler, således at kalibrering af farvemålesystemer kan foretages.

3.4 Beskrivelse af det metrologiske felt optiske fibre

Det metrologiske felt optiske fibre dækker optiske målinger på både de egentlige optiske fibre, de relaterede optiske komponenter (konnektorer, koblere, isolatorer, cirkulatorer, forstærkere, dæmpeled ...) og transmissions-systemer og komponenter hertil (lasere, lysdioder, detektorer).

Det er karakteristisk, at de fleste relevante parametre indenfor feltet er afledt af målinger, der egentlig hører hjemme under det radiometriske felt. Når optiske fibre alligevel medtages som selvstændigt område, skyldes det dels feltets store kommercielle interesser, der nødvendiggør pålidelige målemetoder for de afledte parametre. Men også i EUROMET og anden metrologisk regi er optiske fibre en selvstændig disciplin under fotometri og radiometri.

Det største anvendelsesområde er i dag optisk telekommunikation på single-mode glasfibre ved bølglængderne 1310 og 1550 nm. Stort set al mellemcentral teletrafik i Danmark sker i dag over sådanne fibre. Udbredelse af coarse WDM systemer betyder dog at der er et stigende behov for målinger i hele bølglængdeområdet 1300 – 1625 nm. Et nyt marked med transmission over korte afstande på multimode glasfibre og plasticfibre er dog i kraftig vækst. Sidstnævnte fibre finder nu også stigende anvendelse i biler og fly til forbindelse af det stigende antal elektriske apparater i disse. Optiske sensorer baseret på fiberteknologi er

også i kraftig vækst. Sensorerne kan være baseret på almindelige single- eller multimode glasfibre, men også stærkt dobbeltbrydende (HI-BI) fibre og andre specialfibre anvendes. Flere og flere specialfibre udvikles i disse år. Det gælder for eksempel optiske fibre doteret med sjældne jordarter og andre materialer for at fremelske specielle egenskaber, krystalfibre med specielle transmissions- og ulineære egenskaber samt fibre med indskrevne Bragg gitre til bl.a. fibre lasere og sensorer.

Den teknologiske udvikling har bevirket, at nye optiske parametre er blevet relevante. De stadig højere bitrater har gjort polarisationsmode dispersion til en afgørende parameter. Fremkomsten af optiske forstærkere har gjort parametre som gain, gain-slope og støjtal relevant. Samtidig har forstærkerne stillet så store optiske effekter til rådighed, at det nu direkte er nødvendigt at tage hensyn til ulineære optiske effekter ved design af langdistance systemer. Kommende WDM-systemer vil formodentlig kræve veldefinerede bølglængdemålinger i 1310 og 1550 nm vinduerne. En liste over vigtige parametre er vist i tabel 1. Selvom der ikke eksisterer normaler er der bl.a. i ITU og CEN defineret reference test metoder (RTM), som ikke nødvendigvis er de mest nøjagtigt kendte metoder, men til gengæld er praktisk anvendelig for producenter m.fl.

Blandt de vigtigste instrumenter er det optiske tidsdomæne reflektormeter (OTDR), der i princippet består af en optisk effektgiver og en optisk effektmåler koblet til et oscilloskop. Effektgiveren sender korte impulser ind i fiberen, og effektmåleren måler det reflekterede lys som funktion af tid (og dermed længde). Målingen giver oplysninger om samlet strækningstab, lokal dæmpning som funktion af position på fiberen, splidstab, refleksioner m.m. Andre er attenuatorer, switche, optiske spektrum analysatorer, polarisationsmålere og dispersionsmåleudstyr.

Dæmpning kan måles mere direkte ved at sammenligne den indkoblede og udkoblede optiske effekt i fiberen med en optisk effektmåler. Spektraldæmpning måles ved at benytte en bredspektret kilde og sammenligne indkoblet og udkoblet effekt målt med en optisk spektrumsanalysator.

Cut-off bølglængden er den bølglængde over hvilken kun en enkelt bølgetype kan udbredes gennem fiberen. Den måles i princippet ved hjælp af en spektraldæmpningsmåling, idet man udnytter at dæmpningen når fiberen håndteres efter standardiserede retningslinier ændres kraftigt omkring cut-off bølglængden. Retningslinierne er beskrevet i ITU Rec. G.650., men anvendeligheden er endnu ikke fuldt afklaret.

Geometriske målinger af fibre spiller en vigtig rolle. Det er afgørende for konnektering og splisning af fibre at blandt andet kernen er placeret i centrum, og at fibre overholder bestemte dimensioner med tætte tolerancer.

4 Behovs- og ressourceopgørelse

De måletekniske behov inden for de 4 metrologiske felter under hovedområdet optisk metrologi er opgjort i afsnit 4.1.1 til 4.1.4 i henhold til hvilken type anvendelse, der er tale om. Nedenstående tabel 2 viser inden for hvilke metrologiske felter, der er et måleteknisk behov af de angivne anvendelsestyper.

Tabel 2. Måleteknisk behov

ANVENDELSE	FELT
Industriell anvendelse	Radiometri, fotometri, kolorimetri, optiske fibre
Legal og anden	Radiometri, fotometri, kolorimetri
Kalibrering og prøvning	Radiometri, fotometri, kolorimetri, optiske fibre
Forskning	Radiometri, optiske fibre

4.1 Behovsopgørelser

4.1.1 Industriel anvendelse

Den industrielle anvendelse af målinger inden for det radiometriske område er fordelt mellem mange forskellige industrigrene. Inden for byggematerialebranchen måles spektrale transmissions- og refleksionsforhold. Inden for apparaturbranchen og den grafiske branche udføres målinger af spektralradians på lyskilder

samt test af spektralfølsomhed for fotodetektorer, optiske filtre, komponenter og linsesystemer. Til kontrol af solariers irradians udføres godkendelsesmålinger af disse i bølgelængdeområdet 250 - 400 nm.

Inden for området øjenbeskyttelse udføres målinger på solbriller. Der har desuden i de senere år været en stigende efterspørgsel efter måling på laserbeskyttelsesbriller og svejsebriller. På dette område mangler imidlertid måle- og godkendelsesfaciliteter her i landet, idet kravene til dynamikområdet (10^8) på transmissionsmålinger er meget højt.

Der er et stigende behov for kontrol af lasereffekt, laserpulsenergi og pulsvarighed for lasere, der anvendes til materialebearbejdning. Der sker for tiden en ekspansion af lasere i det infrarøde område herunder især høj effekt diodelasere, som udover anvendelse ved materialebearbejdning også anvendes til grafik, belysning, lodning og varmebehandling. Lasere til materialebearbejdning når op på 25 kW CW eller 500 J per puls (for f.eks. CO₂), så disse udgør et helt specielt måleteknisk problem. Behovet for kalibrering inden for materialebearbejdning er nok ikke særligt erkendt, og det er gruppens indtryk, at brugerne nøjes med fabrikanternes angivelser. Bestemmelsen af en pulsform er vanskelig, specielt ved høje spidseffekter, hvor både lineære og ulineære forvrængninger i detektorer er betydelig.

UV lyskilder anvendes i stigende grad inden for materialeteknologi bl.a. til litografi, sterilisation, hærkning af lim og i solarier. Dette kræver spektralkalibrering af UV lyskilder med henblik på at fastlægge deres effektivitet til disse formål samt til at opnå korrekt dosering. Unøjagtige kendskab til UV kilder kan være årsag til mange fejl i produktion og sikkerhedsrisici. I forbindelse med solarier skal målinger udføres i forbindelse med klassifikation.

Inden for transmissions- og refleksionsmålinger forventes en stigende interesse for målinger af spektraltransmittans, reflektans og absorptans af energibesparende materialer i bølgelængdeområdet for global stråling.

Mange instrumenter har nu om dage displays. Det gælder almindelige apparater til hjemmebrug, udstyr til målinger indenfor sundhedssektoren, elektroniksektoren med mere samt udstyr anvendt i forbindelse med trafik. For at sikre læsbarhed og sikkerhed er det nødvendigt at de anvendte displays er karakteriserede blandt andet med hensyn til kontrastforhold, reflektansforhold og luminans. Herudover kan udmåling af displays tillade sammenligning mellem fabrikanten og til kvalitetskontrol hos fabrikanten.

Lys emitterende dioder (LED'er) anvendes i stigende grad som indikatorer og numeriske displays i elektronisk udstyr. Nye LED materialer sammenholdt med forbedrede produktionsprocesser har resulteret i LED'er med farver som dækker hele det synlige spektrum samt en betydelig del af det infrarøde. Med effekter større end almindelige pærer og nær ved fluorescensrør sammen med deres varighed, lille størrelse og vægt finder LED'er stigende anvendelse i lysindustrien. Dette stiller nye krav til optisk karakterisering af LED'er. Således skal fluxniveau spektrum og rumlig fordeling af strålingen bestemmes.

I forbindelse med den kraftige udvikling indenfor optisk kommunikation bliver kravene til lyskildernes og detektorernes egenskaber væsentligt skærpet. Det betyder, at der er krav om at kunne karakterisere og verificere parametre så som bølgelængde, spektralbredde / kohærens, spektralrenhed, frekvensrespons (både storsignal og småsignal) og relativ intensitets støj af lyskilder. Detektorer skal karakteriseres med hensyn til spektralrespons, frekvensrespons, egenstøj og følsomhed.

Turbiditet anvendes i stigende omfang til at monitorere produktionen af nydelsvæsker for at verificere deres kvalitet. Det gælder for eksempel øl, vin og spiseolier. Det forventes at turbiditetsmålinger vil anvendes i stigende grad, hvorfor sporbarhed i kalibreringen af måleinstrumenterne bør sikres.

To store danske farmaceutiske industrier samt en anden større industrivirksomhed har udtalt, at der er et behov for bedre adgang til sporbare målinger af partikeltæthed. Målingerne er specielt relevante i forbindelse med renrums faciliteter. Der er et stigende antal rene rum i Danmark, og der kan forventes et øget behov for partikeltælling.

Behovet for bølgefrontmålinger er til stede flere steder i danske virksomheder, som bruger optiske komponenter i produktionen, først og fremmest til kontrol af indkøbt optik af høj kvalitet. De kommercielt tilgængelige instrumenter er så dyre, at man i stedet forlader sig på fabrikanternes specifikationer og målinger, hvilket kan være problematisk. En dansk facilitet ville i dag være af interesse for enkelte virksomheder.

Måling af lysstyrkefordeling, lysstrøm, virkningsgrad og spektralfordeling anvendes hovedsageligt af lampe-, signal- og belysningsarmaturindustrien i forbindelse med udvikling og dokumentation af lyskilder og armaturer. Den opnåede dokumentation anvendes ved projektering af belysningsanlæg. Målingerne udføres ofte derudover som typetest ved større leverancer. Der udføres løbende målinger for mange skandinaviske virksomheder. For den danske belysningsindustri er det vigtigt, at målinger udføres på en sådan måde og med sådanne måleinstrumenter, at dokumentationen er direkte sammenlignelig med dokumentationer udført ved udenlandske institutter.

Inden for speciallyskilder, som f. eks. lysgivere til farvandsafmærkning, billygter, vejbelysning og lysgivere til redningsmateriel, udføres målinger ifølge nationale og internationale normer. Der udføres autoriserede målinger af lysstyrkefordelinger for danske producenter af lysgivere til farvandsafmærkning og billygter. Endvidere udføres accepttest af leverancer til danske myndigheder som f. eks. farvandsvæsenet.

Inden for belysningsstyrkemåling foretages målinger af arbejdspladsbelysning, kontorbelysning, vejbelysning etc. I forbindelse med virksomheders godkendelse til ISO 9000 kvalitetssystemerne er der stigende aktivitet inden for kontrol af luxmetre og luminansmetre, der anvendes i industrien.

Målinger inden for visuel transmission og refleksion finder anvendelse inden for måling af f.eks. vinduesmaterialer, bygningsmaterialer, maling samt armaturkonstruktionsmaterialer.

For en speciel gruppe materialer er det materialernes retroreflekterende egenskaber, der har afgørende betydning. Der foretages således måling af materialer til redningsmateriel, vejmateriel, vejtavler, kørebaneafmærkning og sikkerhedsbeklædning.

Farvemålinger anvendes i et stort antal brancher, f.eks. malings-, tekstil-, fødevarer-, elektronik- og bygningsmaterialebranchen. Inden for farvemåling på lyskilder ligger de traditionelle anvendelser på måling af chromacitetskoordinater for trafik- og signallys samt lysgiverne til farvandsafmærkning. Indførelse af ISO 9000 standarder i virksomhederne har på kort tid skabt et behov for kalibrering af tristimulusfarvemålere og spektralkolorimetre. Dette kalibreringsbehov kan i dag ikke tilfredsstilles af danske laboratorier.

Indenfor telesektoren anvendes optiske måleinstrumenter primært til indregulering, driftskontrol og fejlfinding på optiske transmissionssystemer. Til disse formål omfatter telesektorens måleudstyrssamling optiske lyskilder og effektmålere til bølglængdevinduerne 850, 1310 og 1550 nm. Derudover anvendes i stor udstrækning optiske reflektormetre (OTDR'ere), der bruges til lokalisering af eventuelle fejlsteder på optiske kabler samt til kontrol af splidsetab, tabsbudgetter med mere. I mindre omfang anvendes specialudstyr til f.eks. spektrale dæmpningsmålinger og målinger af polarisationsmode dispersion. Til laboratoriebrug findes herudover en del specialudstyr bl.a. optiske spektrumsanalyser.

For at sikre god transmissionskvalitet af de optiske signaler, skal de anvendte optiske måleinstrumenter til drift og vedligeholdelse være stabile, pålidelige og måle med en rimelig nøjagtighed. Dette sikres hovedsageligt ved sammenligningsmålinger mellem instrumenter af samme type og eventuelt med sporbart, kalibreret udstyr af samme type. Der er i dag kun i begrænset omfang behov for egentlig sporbar kalibrering af de anvendte instrumenter, men behovet vil formodentlig stige i antal og form.

Behovet for kalibrering er noget større i den til telesektoren knyttede industri. Behovet gælder især spektraleffekt i bølglængdeområdet 850-1600 nm. Der må også forventes et kommende behov for kalibrerede bølglængdemålinger i 1300 og 1550 nm områderne. Der er et stigende behov for kalibrering ved høje effektive niveauer, helt op til 1 W.

Det største behov for metrologisk ekspertise på feltet optiske fibre kommer fra den teknologiske udvikling, som hele tiden nødvendiggør pålidelige målinger af nye optiske parametre. For at sikre relevante, internationalt anerkendte definitioner og målemetoder for disse parametre er det nødvendigt med deltagelse i standardiseringsarbejde i organer som ITU og ETSI og ikke mindst i præstandardiseringsarbejde som laboratorier sammenligningsmålinger (Round Robins).

Nye typer af optiske fibre inden for området specialfibre har udvidet de typiske måleområder for en lang række målestørrelser. Et eksempel er numerisk apertur (NA) for hvilke værdier over 0,6 nu er en realitet. Der har desuden været en betydelig udvikling inden for dotede fibre til laser anvendelser, og en række nye målestørrelser som for eksempel slope efficiency er en vigtig parametre. Der findes for standard fibre en række af RTMs til måling af de forskellige størrelser. De er dog langt fra dækkende og specielt for nye

fibre som krystalfibre kan man ikke direkte overføre disse metoder. I takt med at disse nye områder modnes vil der komme en stigende krav til sporbare kalibreringer.

4.1.2 Legal og anden forskriftmæssig anvendelse

Mange lasere har en lille strålingsdiameter, således at irradiansen ofte er stor, selv for lasere med lav effekt. Laseren kan derfor forvolde skade på mennesker ved bestråling af enten hud eller øjne. Lasersikkerhed er et område, der vil blive stadig vigtigere, og det forventes, at det vil blive nødvendigt med certificerede målinger ved eksport til især USA. Lasere kan opdeles i følgende bølgelændeområder (IEC 60825): UV-C & UV-B (200-315 nm), UV-A (315-400 nm), synlige (400-700nm), nær infrarøde IR-A (700-1400 nm) og infrarøde IR-B & IR-C (1400-10⁶ nm), og fareklasserne er bestemt ikke alene af den udsendte effekt, men også ved den maksimalt forekommende eksterne effekttæthed, og ved lyskildens radian. Det kan derfor blive nødvendigt med såvel en effektmåling som en måling af fokuseret beamstørrelse. Den internationale standard for lasersikkerhed fra IEC (International Electrotechnical Commission) foreskriver hvorledes lasere klassificeres og hvorledes man eksperimentelt foretager klassificeringen. Standarden er IEC 60825-1:1993 med tillæg fra 1997 og 2001 samt en anvendelsesvejledning IEC TR 60825-10.

Ifølge drikkevandsbekendtgørelsen er der kvalitetskrav til vand som skal overholdes. Dette gælder blandt andet turbiditet, for hvilket den højeste tilladelige værdi 0,5 FTU. Herudover findes også krav til badevand. Det er vigtigt at disse krav efterleves med sporbare målinger for at opretholde livskvaliteten.

De legale krav til antallet af partikler i omgivelserne kommer hovedsagelig fra det amerikanske Food and Drug Administration. Kravene omhandler blandt andet krav til rene rum, som anvendes i forbindelse med medicinfremstilling. Det er vigtigt at sådanne krav efterleves, idet det ellers kan føre til handelshindringer. Herudover er der krav til antal partikler som udsendes ved emission fra blandt andet køretøjer.

Inden for det fotometriske område godkendes autolamper ved, at hver lysstyrke måles i specificerede retninger efter gældende forskrifter. Ligeledes kontrolleres reflektmaterialer for retroreflekterende egenskaber efter internationale forskrifter.

Fotometriske og kolorimetriske målinger anvendes ved godkendelse af lysstyrke og farver på signallys og lanterner inden for alle grene af transport jvf. internationale standarder. Autolamper godkendes bl.a. efter internationale normer.

4.1.3 Kalibrering og prøvning

Flere og flere virksomheder forventes, i forbindelse med at de bliver certificeret efter ISO 9000 standarden vedrørende kvalitetsstyringssystemet, at skulle indføre kalibrering af eventuel optiske måleværktøjer. Ifølge ISO 9000 standarden kræver dette sporbarhed til det internationale kalibreringshierarki ligesom kalibreringsprocedurer med mere er i overensstemmelse med ISO 17025 standarden.

Det forventes, at der for optiske instrumenter og lyskilder vil blive stillet sikkerhedskrav om typegodkendelse samt regelmæssig kontrol. Dette indebærer, at klassifikation og kontrol af optisk udstyr, kun kan foretages ved autoriseret prøvning med sporbarhed til det internationale kalibreringshierarki på målestørrelser vedrørende radiometri og optiske fibre.

For sundhedssektoren forventes, som følge af krav om større kvalitet, at anvendte optiske instrumenter til medicinsk brug regelmæssigt skal kontrolleres ved hjælp af sporbare målinger. Dette indebærer, at den medicinske verden får behov for sporbarhed på optiske målestørrelser, primært effekt og bølgelængde. Der er også en stigende interesse for at måle UV stråling fra atmosfæren. Disse UV målinger er p.t. behæftet med store usikkerheder (op til 20 %). Tilsvarende gælder i forbindelse med behandling af patienter med UV stråling, hvor det er ønskeligt at kunne dosere mere nøjagtigt, specielt i UVB området.

For meteorologer, der monitorer langtidsvariationer af UV stråling ved jordoverfladen, er det vigtigt at alle instrumenter er kalibrerede og sporbare til internationalt anerkendte normaler således at målinger foretaget forskellige steder på kloden med forskellige instrumenter kan sammenlignes. Der er adskillige eksempler på at anvendte måleinstrumenter har været behæftede med usikkerheder, der svarer til eller er større end de variationer man observerer, og de begrænser derfor anvendelsen af normalt dyrt udstyr.

Der forventes et stigende behov for velkarakteriserede detektorer, som kan anvendes ved absolut kalibrering. Det er blandt andet vigtigt at have kendskab til deres responsivitet (A/W), homogenitet (responsvariation hen over overfladen) og stabilitet.

Den danske armaturindustri er inde i en kraftig vækst, der hovedsageligt finder sted på eksportmarkedet. Fra at være en branche karakteriseret ved mange mindre virksomheder er denne, på grund af fusioner og produktionsaftaler, blevet en branche med betydeligt færre, men større virksomheder. Dette forhold har nu gjort det økonomisk rentabelt for virksomhederne at anskaffe avanceret måleudstyr. Der er derved skabt et behov for kalibrering af dette udstyr. Dette kalibreringsbehov kan i dag ikke tilfredsstilles af danske kalibreringslaboratorier, hvilket er et problem i forbindelse med ISO 9000 certificering af firmaerne.

Inden for det kolorimetrisk område har indførelsen af kvalitetsstyringsystemer skabt et behov for kalibrering af farvemålesystemer. Dette behov kan i dag ikke tilfredsstilles af danske kalibreringslaboratorier.

4.1.4 Forskning

Der sker for tiden en betydelig forbedring af kendte og udvikling af nye kvantedetektorer til brug fra det ultraviolette til det fjern infrarøde bølglængdeområde. Sådanne detektorer har vundet stigende indpas til effektmålinger på grund af deres lille tidskonstant, forbedret kvanteeffektivitet og lave mørkestrøm. Modelering og materiale karakterisering er en vigtig del af dette arbejde. For eksempel er det vigtigt at kende materialesammensætningen i de typisk anvendte doterede halvledere.

Indenfor feltet optiske fibre og relaterede teknologier foregår stadig en betydelig forskning. Herunder udvikling af nye type fibre som fotoniske krystal fibre. Ulineære optiske effekters begrænsende virkninger for transmissionssystemer er af stor betydning og studeres i detaljer. Dette gælder også for ulineære effekter i nye materialer, som forsøges anvendt i optisk integrerede kredsløb.

I forskellige formelle og uformelle samarbejder mellem industri, telesektor og universiteter foregår udvikling af nye optiske komponenter som f.eks. nye specialfibre og passive og aktive optiske bølgeledere i glas, film og halvledere. Den optiske fiberforstærker er i dag et kommercielt produkt, men der foregår stadig forskning i distribuerede optiske forstærkere.

4.2 Ressourceopgørelser

4.2.1 Det metrologiske felt radiometri

4.2.1.1 Normaler og andet udstyr

DFM er nationalt primærlaboratorium inden for optisk radiometri. DFM råder over en primærnormal til kalibrering ved udvalgte bølglængder i det synlige del af spektret. Ved hjælp af arbejdsnormaler transfernormaler kan kalibreringer foretages i bølglængdeområdet 550 - 1650 nm. Arbejdsnormalerne er "trap" detektorer i det synlige område og integrerende kugler i det nærinfrarøde område. Transfernormalerne er termiske detektorer. DFM kan måle detektorers linearitet.

Det radiometriske udstyr ved Saab Metech A/S er beskrevet under pkt. 4.2.4.1.

DELTA har referencenormaler inden for irradians og spektralirradians, der dækker området 200 - 1100 nm. Disse kalibreres hos PTB og SP (200-400 nm hos SP og 360-1100 nm hos PTB). Desuden råder DELTA over spektralt kalibrerede detektorer i de ultraviolette og visuelle bølglængdeområder.

4.2.1.2 Personalemæssige ressourcer

DELTA råder over to ingeniører og en tekniker til udførelse af lysteknisk prøvning (DANAK akkreditering nr. 73).

Saab Metech A/S beskæftiger 1 ingeniør og 2 teknikere med kalibrering inden for optisk metrologi ved deres kalibreringslaboratorium (DANAK akkreditering nr. 333).

DFM råder over en fysiker og en tekniker til kalibrering inden for optisk radiometri (DANAK akkreditering nr. 255)

4.2.1.3 Økonomi inkl. omsætning og finansiering

Den totale omsætning inden for optiske målinger/kalibreringer (både akkrediterede og ikke-akkrediterede) beløber sig til ca. 1,7 Mkr. på årsbasis.

4.2.2 Det metrologiske felt fotometri

4.2.2.1 Normaler og andet udstyr

DELTA råder over standardlamper inden for lysstrøm og lysstyrke. Standardlamperne kalibreres hos PTB.

Foruden disse referencenormaler, råder DELTA over følgende apparater: luxmetre til måling af belysningsstyrke (lux), luminansmetre, spektrofotometre, to optiske bænke (20 meter og 3 meter lange) forsynet med goniometer, tre integrerende kugler (0,5, 2 og 3 meter i diameter) til måling af lysstrøm og virkningsgraden af armaturer, detektorer til måling af lysstyrkefordeling af billygter, projektører, transmittans og reflektans. Til måling af den rumlige lysstyrkefordeling og virkningsgrad af lamper og armaturer, anvendes et lysfordelingsfotometer.

4.2.2.2 Personalemæssige ressourcer

Ressourcerne, der anvendes til fotometri, kan ikke adskilles fra de, der anvendes i de øvrige områder, se pkt. 4.2.1.2.

4.2.2.3 Økonomi inkl. omsætning og finansiering

Omsætningen inden for dette område kan ikke adskilles fra den øvrige omsætning, se pkt. 4.2.1.3.

4.2.3 Det metrologiske felt kolorimetri

4.2.3.1 Normaler og andet udstyr

DELTA råder over udstyr til måling af farvetemperatur samt et spektroradiometer til måling af spektral reflektans. Desuden haves to sæt kalibrerede referencenormaler for spektral reflektans samt tilsvarende udstyr (0.5 m integrerende kugle). Normalerne kalibreres hos NPL.

4.2.3.2 Personalemæssige ressourcer

Ressourcerne, der anvendes til kolorimetri, kan ikke adskilles fra de, der anvendes i de øvrige områder, se pkt. 4.2.1.2.

4.2.3.3 Økonomi inkl. omsætning og finansiering

Omsætningen inden for dette område kan ikke adskilles fra den øvrige omsætning, se pkt. 4.2.1.3.

4.2.4 Det metrologiske felt optiske fibre

4.2.4.1 Normaler og andet udstyr

Saab Metech A/S er akkrediteret på felterne vedrørende kalibrering af optiske effektmålere i området fra 600 til 1600 nm og bølgelængdemålere i området fra 300 nm til 1800 nm. Til dette formål har Saab Metech A/S to termopile detektorer, en pyroelektrisk detektor, fem højpræcisions kvantedetektorer, tre integrerende kugler med kvantedetektorer samt diverse lamper, lasere, spektral analysatorer og bølgelængdemeter m.m. Endvidere råder Saab Metech A/S over et omfattende sortiment af specialudstyr, som benyttes ved fiberoptiske målinger.

Det radiometriske udstyr ved DFM er beskrevet under pkt. 4.2.1.1. DFM har desuden udstyr til bølgelængdekalibrering i de fiberoptiske vinduer.

4.2.4.2 Personalemæssige ressourcer

Ressourcerne, der anvendes til optiske fibre, kan ikke adskilles fra de, der anvendes i de øvrige områder, se pkt. 4.2.1.2.

4.2.4.3 Økonomi inkl. omsætning og finansiering

I telesektoren med tilknyttet industri måles den totale omsætning med relation til det fiberoptiske anvendelsesområde i milliarder af kroner. Til egentlig metrologisk arbejde anvendes et betydeligt mindre beløb i størrelsesorden 0.75 Mkr. (standardiserings og pre-standardiseringsarbejde medregnet). Saab Metech A/S udfører årligt ca. 400 optiske kalibreringer for interne og eksterne kunder til en værdi af ca. 0.75 Mkr. Telesektorens deltagelse i standardiserings og pre-standardiseringsarbejde skønnes at udgøre ca. 0.25 Mkr. Arbejdet er stort set selvfinansieret.

Desuden er der en del omkostninger vedr. kalibrering af måleudstyr hos visse fiberoptiske handelsvirksomheder, hvilket ikke er taget i betragtning her.

5 Forslag til indsatsområder

5.1 Radiometri

Med den stigende anvendelse af lasere indenfor industri, medicin, miljøundersøgelse, telekommunikation og forskning forventes et øget behov for kalibrering af diverse parametre associeret med lasere. Herunder vil især effektkalibrering være af stor betydning. Der bør fortsat arbejdes med forbedring af overføringsnormaler, således at der kan gøres brug af primærnormalens nøjagtighed udenfor det synlige område. I en del af det synlige del af spektret (550 - 860 nm) anvendes silicium trap detektorer til dette formål. I de infrarøde og ultraviolette områder findes endnu ikke halvlederdetektorer med tilsvarende egenskaber. Der bør derfor ved DFM foretages studier af halvlederdetektorer især med henblik på deres responsivitet, kvanteeffektivitet, homogenitet og stabilitet til mulig anvendelse i lignende trap detektorer, således at nu anvendte termiske detektorer kan udskiftes, idet disse er mere ustabile og mindre nøjagtige end halvlederdetektorer. Undersøgelse af selvkalibreringsteknikken foregår i øjeblikket i nordisk regi. Dette er en teknik hvorved man forventer at man ud fra en grundig karakterisering af en detektor kan bestemme dens responsivitet.

Behovet for præcisionsmålinger er stigende og i større og større grad anvendes optiske teknikker. Mange af disse teknikker involverer lasere. Nogle af de fundamentale krav til lasere er, at de er stabile med hensyn til intensitet (f. eks. indenfor radiometrien, fotometrien og transmissions- og refleksionsmålinger) eller med hensyn til frekvens (længdemåling, tidsmåling). Udvalget foreslår derfor, at stabilisering af lasere fortsat skal være et indsatsområde, som varetages af DFM. DFM råder over stabiliserede HeNe lasere (543 nm, 633 nm) og diode lasere (630 - 640 nm) i det synlige område, en fiber laser i 1550 nm området og har for nylig foretaget frekvensfordobling af diodelasere, således at referencer kan opnås i UVB området. Det er ønskeligt at sidstnævnte bliver gjort mere intensitetsstabil samt at få etableret stabile referencer i det optiske kommunikationsbånd omkring 1310 nm og 1625 nm.

Mange af de lasere, der anvendes, er pulsede lasere. For disse er det ikke altid tilstrækkeligt at kende middeleffekten, som man vil måle med effektmålere. Til visse formål er det nødvendigt, at kende energien i en puls samt pulsbredden. Disse parametre har man kun begrænset mulighed for at måle i Danmark endnu. Det ville være ønskeligt at et projekt blev startet på dette område.

Der forefindes ingen akkrediterede kalibreringsfaciliteter her i landet til effektmåling af stråling i det infrarøde spektralområde fra 2,5 til 20 μm . Idet der forudses et stigende behov for kalibrering i ovennævnte område blandt andet på grund af indførelse af lasere til materialebearbejdning foreslås at en facilitet etableres i Danmark. DFM vil være en kandidat til at oprette en sådan facilitet, da den kan gøres sporbar til primærnormalen.

En radiometrisk kalibreringsfacilitet til UV-A området bør udvikles til gavn for industrielle anvendelser samt til at opnå forbedrede nøjagtigheder ved kalibrering af udstyr, der anvendes indenfor medicin og meteorologi.

Turbiditet måles her i landet blandt andet i forbindelse med undersøgelser af både drikke- og badevand. Hertil anvendes standarden DS 290, som der henvises til i Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 637. Denne standard er imidlertid erstattet af en nyere international standard (ISO 7027:1999). Det bør undersøges hvor stort behovet er for sporbare målinger af turbiditet her i landet, ikke blot indenfor ovennævnte områder; men mere generelt. Hvis industrien finder det ønskeligt, at der oprettes en facilitet foreslås at DELTA i samarbejde med DFM at foretage de nødvendige tiltag.

Partikeltællere anvendes i stor udstrækning i forbindelse med rene rum, som er karakteriseret ved et maksimalt antal tilladelige partikler pr rumenhed. Der har været givet udtryk for et vist behov i Danmark (se 4.1.1.) for at forbedre situationen omkring kalibrering af partikeltællere. Det foreslås, at DFM i samarbejde med de interesserede industrielle partnere undersøges hvor stort det reelle behov er og om nødvendigt igangsætter oprettelse af en kalibreringsfacilitet.

Det bør undersøges, om der er et behov for at lasere kan certificeres her i landet efter de eksisterende normer. Desuden bør det undersøges om der er behov for at oprette kurser i lasersikkerhed, da den store udbredelse gør at mange mennesker uden tidligere erfaring med lasere kommer i berøring med disse.

5.2 Fotometri

I øjeblikket foreslås ingen nye aktiviteter på dette felt. Dog bør de eksisterende faciliteter udbygges i takt med at industriens behov ændres.

5.3 Kolorimetri

Der er tidligere opbygget et spektrometrisk kalibreringsudstyr (inkl. hjemtagning af sporbare normaler fra NPL) og opnået DANAK akkreditering til sporbar kalibrering af spektralreflektans. Behovet for sporbar kalibrering af transmittans er ikke dækket. Det foreslås derfor, at der opbygges faciliteter og anskaffes referencenormaler på dette.

5.4 Optiske fibre

Der foreslås at de nuværende kalibreringslaboratorier fortsætter deres virke, men udvider deres indsatsområder. Det foreslås at DFM indgår i et virtuelt Nordisk fiberoptisk institut, som vil beskæftige sig mere måling af fiberoptiske parametre udover effekt- og bølglængdemåling. Det allerede etablerede samarbejde mellem DFM og Saab Metech A/S vil blive fortsat og Saab Metech A/S vil således blive informeret om tiltag i det virtuelle institut. Behovet for sporbare OTDR målinger forventes kraftigt stigende, hvorfor en facilitet til akkrediteret måling bør etableres for eksempel indenfor rammerne af det Nordisk institut.

Dynamikområdet for absolutte effektmålinger ved 1310 og 1550 nm bør udvides til intervallet 10 pW - 500 mW. Ligeledes er der et stigende behov for sådanne ydelser i 1625 nm området.

Danmarks betydelige engagement i fabrikation og anvendelse af optiske fibre bør resultere i kvalificeret deltagelse i standardiserings og pre-standardiseringsarbejde på området, men også deltagelse i Round Robins på såvel nye områder som allerede standardiserede områder.

Det foreslås at en facilitet til karakterisering og verificering af lyskilder med hensyn til spektralbredde / kohærens, spektralrenhed, frekvensrespons (både storsignal og småsignal) og relativ intensitets støj. Ligeledes skal detektorer karakteriseres med hensyn til frekvensrespons og egenstøj.

5.5 Omkostninger

Tabel 3 nedenfor angiver estimerede omkostninger i forbindelse med etablering og vedligehold af de i handlingsplanen anbefalede større opgaver. Omkostningerne er estimerede, som omkostninger udover de der i øjeblikket anvendes til metrologi indenfor hovedområdet. De er delt i omkostninger til etablering af faciliteter (personer og udlæg) og vedligehold (personer)

Tabel 3 Omkostninger

FELT	OPGAVE	Etablering (person-år)	Vedligehold (person-år)	Etablering Udlæg (Mkr.)
Radiometri	Kalibreringsfacilitet til UV-A og UV-B områderne	1	0,25	1,5
	Facilitet til måling af energi og pulsbredde i pulsede lasere	1	0,25	1,5
	Facilitet til effektmåling i det infrarøde spektralområde fra 2,5 til 20 µm	1,5	0,25	3
	Undersøgelser af behovet for turbiditetsmålinger, målinger af partikelantal og certificering af lasere.	0,25		
	Stabile frekvensreferencer i de optiske kommunikationsbånd	0,5	0,2	0,5
Fotometri	Ingen			
Kolorimetri	Sporbar kalibrering af transmittans	0,25	0,1	0,1
Fiberoptik	Nordisk virtuelt institut hvor DFM dækker NA og MFD	0,5	0,1	0,5
	OTDR kalibreringsfacilitet under det Nordiske institut (opgaven foreslås løst af SP)	0	0	0
	Udvidelse af dynamikområde for effektmåling ved 1310, 1550 og 1625 nm	0,25	0,1	0,25
	Karakterisering og verificering af lyskilder og detektorer	1	0,25	2
TOTAL		6,25	1,5	9,35

6 Forslag til etablering af nationale primær- og referencelaboratorier

Der foreslås ikke på nuværende tidspunkt etableret nye nationale primær- og referencelaboratorier, men en udvidelse af de eksisterende faciliteter.

7 Forslag til det videre arbejde

Primærnormalen indenfor radiometri er designet således at den højeste nøjagtighed opnås ved brug af ko-hærente lyskilder, vil det være ønskeligt at der arbejdes hen mod at DFM får tunbare lyskilder i det synlige område samt andre områder hvor radiometrisk arbejde udføres. DFM råder over tunbare kilder i 1310 og 1550 nm områderne.

DFM bør arbejde videre med undersøgelse af anvendelse af det kryogene radiometer i den kortbølgede del af det synlige område samt i UV-A og UV-B området. Det arbejde, der foregår ved DFM med frekvensstabilisering af lasere bør fortsættes.

Der bør arbejdes videre på etablering af bølglængdenormaler i det optiske kommunikationsområde. DFM har via et EU og et Nordisk projekt gjort betydelig fremskridt indenfor bølglængdekalibrering i disse områder. En nøjagtighed af størrelsesorden $1:10^9$ er ønskeligt på laboratorium niveau og en størrelsesorden mindre for overføringsnormaler. DFM er godt rustet til dette arbejde.

Der er ved DELTA etableret faciliteter samt opnået akkreditering til sporbar kalibrering inden for områderne: lysstrøm, lysstyrke, belysningsstyrke og luminans. Disse faciliteter bør udvides i takt med industriens behov.

På det fiberoptiske område kan behovet for effekt- og bølgelængdekalibrering dækkes af de eksisterende akkrediterede laboratorier eventuelt ved udvidelser af deres udstyr. I et virtuelt Nordisk institut bør arbejde med udvidelse af de nordiske kalibreringsfaciliteter fortsætte, således at væsentlige parametre kan måles i Norden. Der er væsentlige behov for en indsats i deltagelse i standardiserings og prestandardiseringsarbejde med udarbejdelse af praktisk relevante reference test metoder.

8 Appendikser

8.1 DANAK akkrediterede kalibreringslaboratorier under hovedområdet fotometri og radiometri

Af nedenstående tabel fremgår at der er tre akkrediterede laboratorier, samme antal som i 1996 (den tidligere akkreditering 251 er i forbindelse med at Saab Metech A/S overtog laboratoriet lagt ind under akkreditering 333).

Akkreditering nr.	Laboratorium	Aktivitet
73	DELTA	Kalibrering af spektralreflektans, lysstyrke, belysningsstyrke, lysstrøm,
255	Dansk Fundamental Metrologi	Kalibrering af optiske effekt, dæmpning og optisk bølgelængde
333	Saab Metech A/S	Kalibrering af optiske effekt, optisk responsivitet, optisk dæmpning, og optisk bølgelængde

8.2 DANAK akkrediterede prøvningslaboratorier under hovedområdet fotometri og radiometri.

Akkreditering nr.	Laboratorium	Aktivitet
73	DELTA	Fotometrisk, kolorimetrisk og radiometrisk prøvning

8.3 Andre akkrediteringer af prøvningslaboratorier under hovedområdet fotometri og radiometri.

Ingen

8.4 Almindelige laserlinier og deres anvendelser

λ (nm)	Type/Anvendelse	Effekt (CW)	Energi (pulset)
193 248 308 351	Excimer gaslasere/ Materialebearbejdning Engraving Øjenkirurgi		Max. 2J @ 35 ns
325 442	HeCd laser/ Holografi Litografi Flow Defekt detektion	500 mW	
510	Kobberdamlaser/ Dermatologi		
355 532	Nd:YAG laser/ materialeprøvning		<mJ - ½J

350 476 488 514	Argon gaslasere/ Lysshow Grafisk industri Måleudstyr Øjenkirugi Dermatologi Holografi Stereolitografi	Max. 30 W	
633	HeNe gaslasere/ Butikscanner Pointer Geodætiske instrumenter m.m.	Max. 100 mW	
600-780	Synlige diodelasere/ Laser printer Scanner Pointer Compact disc m.m.	pt. max. 20 mW	
780-1400	NIR diodelasere/ Måleinstrumenter Pumpning af Nd-lasere Line-of-sight kommuni- kation m.m.	Max. 10W (stack) Max. 3W (monolitisk) Typ. 10 -100 mW	1 kW @ 100 ns
980 1480	Diodelasere/ pumpning af fiberoptiske forstærkere	Max. +27dBm	
1053	Diodelaserpumpet Nd:YLF lasere / Fiberoptiske forstærkere	Typ. 1 W	
1064	Diodelaserpumpet Nd:YAG lasere / Fiberoptiske forstærkere	Typ. 1 W	
1064	Nd:YAG faststoflasere/ Materialebearbejdning Øjenkirugi	Max. 2kW Typ. 0,1 - 0,5 kW	Max. 80 J @ 1 - 20 ms
1300-1550	IR diodelasere/ Fiberkommunikation	Max. 20 mW Ved optisk forstærkning: Max. 27 dBm (500 mW)	
1523	HeNe	Max. 20 mW	
1600-1625	IR diodelaser/ OTDR	Middeleffekt: 0 dBm Spidseffekt: 20 dBm	
10600	CO ₂ gaslaser/ Svejsning Skæring Kirurgi	Max. 25 kW Typ. 1 - 5 kW	Max. 500 J @ 1 s

9 Litteratur

"Transport/Kommunikation - en erhvervsøkonomisk analyse". Ressourceområdeanalyse. Erhvervsfremme Styrelsen. Oktober 1993