

Nyt fra Teknologihistorie DTU



2017:1



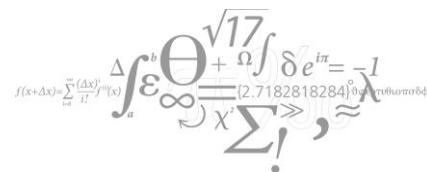
Foto: DFM

Historien om meteren og nøjagtig måling

$$f(x+\Delta x) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(\Delta x)^i}{i!} f^{(i)}(x)$$
$$\int_a^b \varepsilon \Theta + \Omega f \delta e^{i\pi} = -1$$

$\infty = \{2.7182818284\}$ $\approx \lambda$

χ^2 $\Sigma!$ \approx



Historien om meteren og nøjagtig måling

Af Louise Karlskov Skyggebjerg, Teknologihistorie DTU

Der er tilbud på 400 g oksekød. Boligen til salg er på 132 m². Bilen kører 31,3 km/l, og 120 g bouillon kan købes for kun 4,95. Disse tilfældige oplysninger er hentet fra en tilfældig avis en tilfældig dag i 2017. Hvis vi tjekker, og det viser sig, at der kun er 394 g kød i pakken, eller at boligen er på 128 m², føler vi os snydt.



Justitia, retfærdighedens gudinde (Maarten van Heemskerck, 1556). Foto: Wikimedia

Vi måler og vejer hele tiden uden at tænke nærmere over det. Det er selvfølgelig ikke en ny foreteelse, men før industrisamfundet var det især et spørgsmål om retfærdighed. I Det gamle Testamente advares der mod at have to slags vægtlodder, et sæt tunge, man bruger ved køb af varer, og et sæt lette, man bruger ved salg. Den form for snyd var ikke acceptabelt, hverken når det gjaldt handelsfolk eller myndigheder. Den slags er heller ikke acceptabelt i dag. Derfor skal den såkaldte legale metrologi sikre målingers nøjagtighed, hvor de har indflydelse på sundhed, sikkerhed og økonomiske transaktioner.

Standardisering og præcision

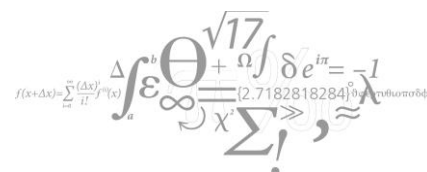
Metrologi er dog meget mere end et spørgsmål om retfærdighed. I takt med den teknologiske udvikling er der kommet et stigende behov for præcision. Det var i første omgang militæret, der fik brug for mere præcise målinger i takt med den våbenteologiske udvikling. Der blev simpelthen behov for at kunne producere kanoner og kanonkugler, der passede sammen hver gang, og at kunne måle på dem, så man brugte den rette mængde ammunition. Det førte til udviklingen af kaliberstokken i 1500-tallet.

Standardiserede måleenheder kom også på dagsordenen, og i Danmark blev der indført et nyt system i 1683, som videnskabsmanden Ole Rømer var stærkt involveret i. Han skulle udarbejde de såkaldte originaler og ud fra dem undersøge og godkende nye måle- og vejerredskaber. Han udarbejdede i den forbindelse en række tolerancer, for ellers blev det jo lidt tilfældigt, hvilke måle og vejerredskaber, der var præcise nok til at blive godkendt. Et alenmål af træ måtte ifølge Rømer ikke afvige mere end 1/500 fra originalen. Det gav en tolerance på 0,4%.

Det nye system betød, at alle gamle mål og vægte skulle ødelægges. Det gav selvfølgelig store problemer i praksis, og man skal ikke forestille sig, at det nye system blev indført fra dag til dag. Hvis myndighederne i dag fandt på, at vi i stedet for metersystemet skulle begynde at måle efter de amerikanske måleenheder, ville det jo også give store udfordringer og tage tid.

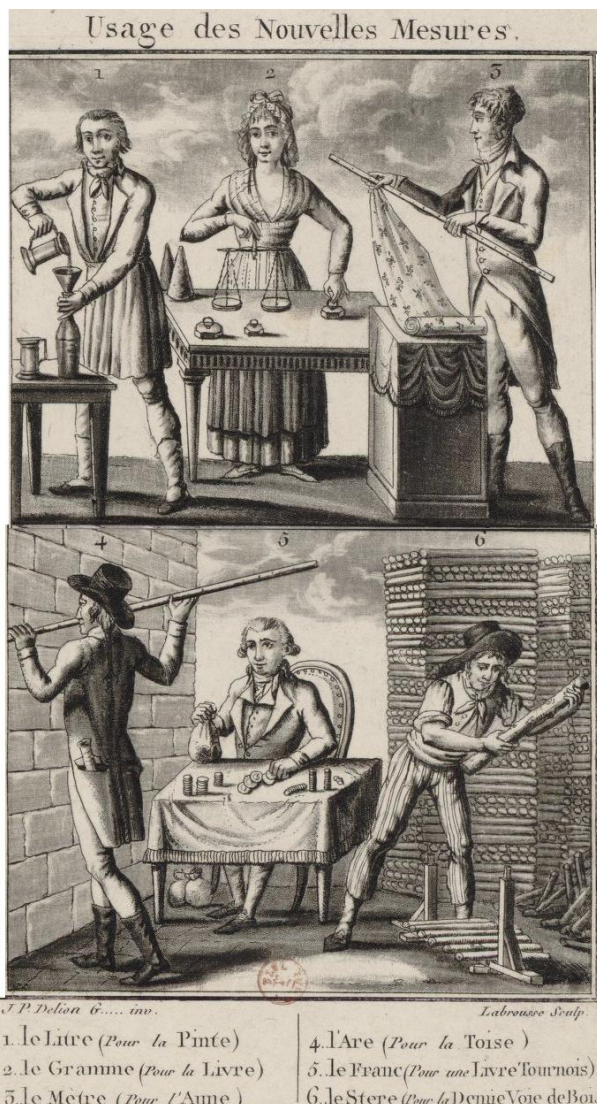


Ole Rømer. Foto: Teknologihistorie DTU



Det metriske system

At det tog tid at indføre et nyt målesystem gjaldt selvfølgelig også, da meterloven blev vedtaget i Danmark den 4. maj 1907. Man havde ellers haft god tid til at forberede sig, for loven havde været længe undervejs.



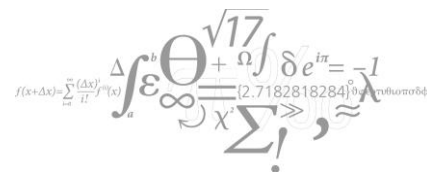
Sådan fik franskmændene forklaret det nye metriske system omkring år 1800. Foto: Wikimedia

Minut var 100 sekunder. Det gav forvirrede borgere, der skulle vænne sig til noget radikalt anderledes end, hvad de havde været vant til. Alt i alt skabte overgangen til det nye system derfor så store problemer, at det i 1812 blev delvist afskaffet igen. Først i 1837 kom en ny lov i Frankrig, der genindførte meteren. I mellemtiden var den blevet indført i Holland og Belgien, og efterhånden fulgte en række andre lande trop. I slutningen af 1800-tallet var det i Europa kun Danmark og Rusland, der endnu ikke var med på vognen.

Meteren blev første gang indført som måleenhed i Frankrig som et barn af den franske revolution. Den franske regering besluttede simpelthen, at nu skulle der indføres et helt nyt system med længdeenheden som basis for de andre enheder. Systemet kaldte man det metriske system, fordi det tog udgangspunkt i meteren, som både rummålet 1 liter og vægtenheden 1 kg blev defineret ud fra.

Meteren valgte man at definere som 1/10.000.000 del af jordkvadranten, som man målte som afstanden mellem nordpolen og ækvator langs meridianen gennem Paris. For at få styr på den afstand sendte man to videnskabsfolk ud på en flere år lang rejse for at måle afstanden mellem Dunkerque og Barcelona helt nøjagtigt op. Det blev dermed jorden selv, naturen, der blev udgangspunktet for al måling, og det var hele pointen. Man ville simpelthen have, at det nye mål skulle tage udgangspunkt i en naturkonstant. Helt naturligt blev det dog ikke, for de to videnskabsfolk fik faktisk målt forkert. At meteren i praksis bygger på en målefejl er dog en historie, der først blev kendt mange år efter dens indførelse.

Som en del af metersystemet gik man væk fra at regne med halve, kvarte, ottendedele, sekstendedele osv., men indførte i stedet konsekvent 10-talssystemet. Man vedtog derfor i Frankrig, at en cirkel skulle bestå af 400 grader, mens en dag skulle bestå af 10 timer, der hver var 100 minutter lange, og hvert



De danske mål tilpasses

Langsommeligheden i Danmark skyldtes hverken manglende interesse eller viden. Man havde fra starten fulgt med i, hvad der skete i Frankrig, og den danske astronom Heinrich Christian Schumacher havde allerede i 1830 fået fremstillet en kopi i platin af det franske kilo. Den kopi er i øvrigt stadig i brug hos Dansk Fundamental Metrologi (DFM), der er ansvarlig for de danske normaler i dag.

Man fandt det dog ikke nødvendigt at indføre metersystemet. I Danmark havde vi nemlig allerede fra Ole Rømers tid et målesystem, der byggede på et længdemål. Det byggede dog ikke på en naturkonstant, og man valgte derfor i begyndelsen af 1800-tallet at omdefinere den danske fod og det danske pund, så de mål tog udgangspunkt i sekundpendulets længde. Det udgangspunkt havde på det tidspunkt sine fortalere, men da den længde afhænger af tyngdekraften, var det faktisk ikke verdens bedste idé. Den danske fod blev dog i 1835 netop defineret som 12/38 af længden af sekundpendulet ved 45 grader nordlig bredde på Skagens meridian. Dermed ændrede den længde fra 0,31407 m til 0,31385 m og blev identisk med den preussiske fod. Det danske pund var på det tidspunkt lig med 499,7 franske gram.

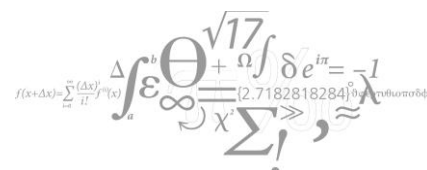
De nye normalodder i messing, der blev udviklet i forbindelse med den nye definition, blev lavet på Polyteknisk Læreanstalt (i dag DTU). De mange grå hår, det gav i hovedet på værkstedsleder Poulsen, kan man læse om i artiklen "Mechanicus Poulsens kamp med kiloene" på [Teknologihistorie DTU's hjemmeside](#). Det lykkedes ikke Poulsen at blive færdig med lodderne, før man i 1839 omdefinerede pundet, så det blev lig 500 franske gram. Den tilpasning til det franske system havde bl.a. H.C. Ørsted talt varmt for, og myndighederne var velvillige, så længe ændringerne bare ikke var så store, at de generede almindelige borgere. Faktisk var de heller ikke større, end at man stadig kunne bruge de messinglodder, som Poulsen endelig blev færdig med mere end et årti senere.

Meteren breder sig

I 1875 gik en lang række lande sammen om vedtagelsen af den internationale meterkonvention, og det internationale bureau for mål og vægt, Bureau international des poids et mesures, blev oprettet i Paris. Danmark var med, og det var egentlig bare et spørgsmål om at få gennemført den relevante lovgivning. I 1876 lå der da også et lovforslag klar, der skulle indføre meteren i Danmark. Det kom gennem landstinget, men strandede i en strid mellem regering og folketing. Loven blev genfremsat med jævne mellemrum i de følgende årtier, men først da der var kommet lidt mere ro over dansk politik efter systemskiftet i 1901, blev meterloven vedtaget i 1907. Herefter fulgte en årelang indkøringsfase.



Poulsens messinglodder er for længst sendt på pension. Det sker måske også snart for det nuværende danske kilo. I hvert fald arbejdes der internationalt på en redefinition af kiloet i 2018. Foto: DFM



Allerede i 1889 havde man hentet et sæt kopier af normalmeteren og normalkiloet i Paris til Danmark, men disse rigsprototyper i platin og iridium havde ligget hengemt i Nationalbankens kældere, mens politikerne skændtes. Først i 1910 blev de taget frem og fragtet til Polyteknisk Læreanstalt, hvor de er blevet opbevaret lige siden, når de altså ikke lige har været i Paris til kalibrering. Den dag i dag befinder de sig hos Dansk Fundamental Metrologi (DFM), der er et datterselskab til DTU.

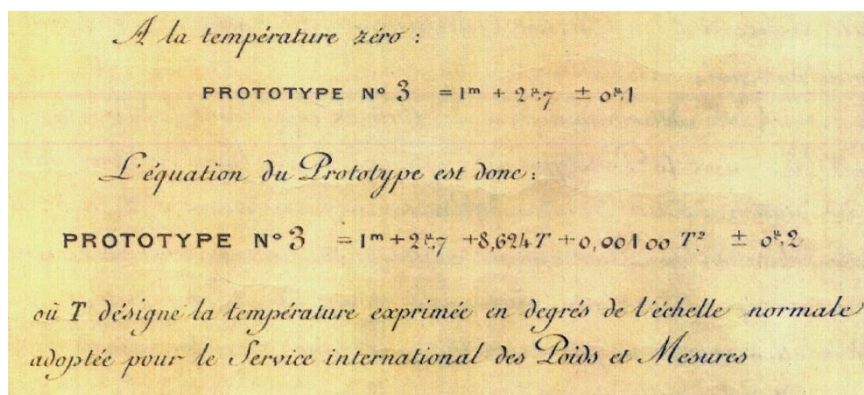


Den danske meter og dens certifikat fra Paris. Foto: DFM

Meteren omdefinieres

Meterprototype nr. 3 i platin og iridium har dog ikke længere sin funktion som den danske primærnormal. I 1960 blev meteren nemlig omdefinieret, så den blev defineret ud fra bølgelængden af det orange lys, der udsendes fra en kryptonlampe, og fra 1983 ændredes definitionen til den afstand lyset bevæger sig i det tomme rum i løbet af et bestemt tidsrum. Siden 1980'erne har det været tre He-Ne-laseropstillinger hos DFM, der har fungeret som de danske primærnormaler for længde. Laserne kan realisere meteren, eller rettere lyset bølgelængde, med en nøjagtighed ud på 11. decimal og blev oprindeligt bygget på Århus Universitet ud fra den "køgebogsopskrift", som alle lande i dag bygger deres længdeprimærnormaler efter.

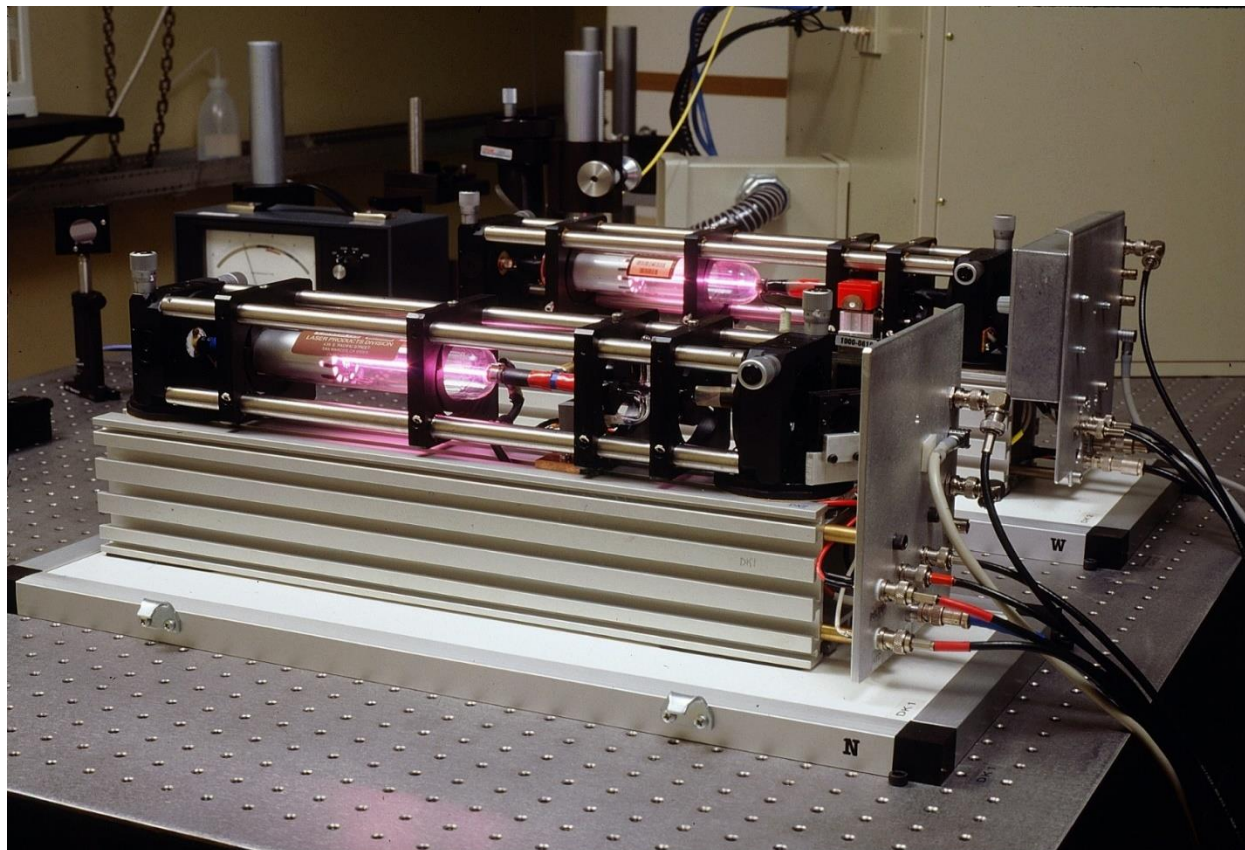
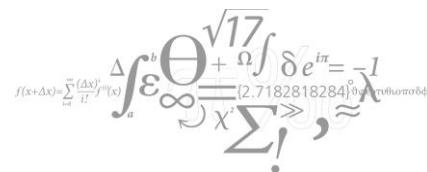
Laseropstillingerne hos DFM bruges til at kalibrere andre lasere, som igen benyttes til at kalibrere måleklodser med ved hjælp af et såkaldt optisk interferometer. Disse måleklodser bruges så til at kalibrere andre måleklodser af dårlige kvalitet, og de dårligste måleklodser bruges så igen til at kalibrere



I certifikatet fra 1889 til den danske meter er dens nøjagtighed fastlagt ved 0 grader og ved andre temperaturer. Foto: DFM

mikrometerskruer, skydelærer o.l. Laserne danner dermed udgangspunkt for den vigtige sporbarhedskæde, der kan føre alle målinger tilbage til den "rigtige" meter, men med større og større usikkerheder, jo længere væk fra originalen, man kommer.

Omdefineringen af meteren i 1960 skyldes, at den gamle meter var blevet overhalet af videnskabens og teknikkens udvikling og ikke var en præcis nok målestok længere. Og dog. Hos DFM sendte man faktisk den danske normalmeter til kalibrering i Paris så sent som i 1980, for den blev frem til midten af 1980'erne stadig brugt til at sammenligne andre metre med i en såkaldt SIP-komparator.

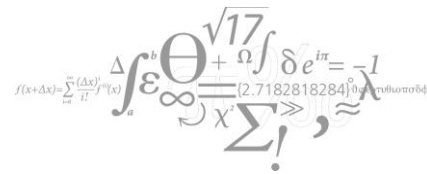


Sådan ser den danske meter ud i 2017. De nuværende laseropstillinger hos DFM, der realiserer meteren, bliver cirka hvert 10. år taget med til udlandet for at se, om de stadig giver samme resultat som de udenlandske primærnormaler. Er vores meter kort sagt lige så lang som meteren i resten af verden? Foto: DFM

Ny kilodefinition på vej

I dag arbejdes der også på at erstatter kiloet i Paris, som det danske kilolod stadig sammenlignes med, med en naturkonstant. Helt konkret er det meningen, at kiloet i 2018 skal omdefineres, så det tager udgangspunkt i Plancks konstant. Det volder dog vanskeligheder at få fastlagt et eksperiment, så man kan sammenligne konstanten med massen af et fysisk lod. Det prøver man bl.a. at løse ved hjælp af en såkaldt Watt-vægt, men det er dog et både dyrt og vanskeligt eksperiment, så det er formodentlig en opstilling, som kun vil findes få steder i verden og aldrig i Danmark.

I gamle dage foregik det med dampskib og i en flot trækasse, der stadig står hos DFM, når det danske kilolod blev bragt til Paris for at blive sammenlignet med det kiloet der. I dag foregår det med fly og i en mere praktisk lille transportkasse, der kan ligge i en rygsæk. Helt nemt er det



dog ikke at rejse med den slags i en tid, hvor sikkerhedsfolkene i lufthavnene ikke er glade for at slippe mærkelige metalgenstande igennem, de ikke må røre ved.

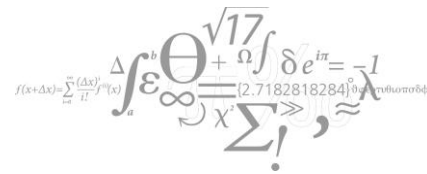


Fire forskellige massekomparatorer hos DFM gør det muligt for laboratoriet at kalibrere lodder i størrelsen fra 1 mg til 20 kg. Foto: DFM

Ruhedsmåling

I dag er præcise målinger afgørende i megen videnskab og produktion. Systematiske målinger med kendte usikkerheder er fx helt centralt i industriel kvalitetsstyring. Vi er også begyndt at måle på andre ting, end hvad der optog dem, der udtænkte det metriske system. På DFM er det centrale spørgsmål i dag derfor ikke at finde frem til en mere præcis måling af meteren, men inden for længdemåling forskes der nu primært i at udvikle præcisionsmålinger på nanoskala.

En af de nye ting, man begyndte at måle på i 1900-tallet, var ruhed. I efterkrigstiden betød automatisering og stigende kvalitetskrav, at industrien fik behov for at kunne fremstille emner med en højere grad af præcision. Mindre tolerancer krævede bedre målinger, og det gik hånd i hånd med udvikling af stadigt bedre og billigere måleudstyr. Alt i alt voksede både interessen for måleteknik generelt og for ruhedsmåling mere specifikt. Ruheden synes vi måske ikke umiddelbart lyder så afgørende, men den styrer mange funktioner som fx en genstands optiske egenskaber, friktion, slid og varmeudviklingen inde i en motor. Overfladens topografi er også afgørende for, hvor meget maling, der fx skal til for at dække en overfalde.



Opmærksomhed på ruhedens betydning har gjort, at ruhed i dag er noget, der ofte defineres på en arbejdstegning. I dag kan vi nemlig i høj grad designe en overflade, som vi gerne vil have den, frem for at det – som det tidligere var – er noget, der mere eller mindre tilfældigt var bestemt af processen, altså af om en genstand fx blev støbt, drejet, fræset eller sandblæst.



K.V. Olsen arbejdede med ruhedsmåling på DTH (i dag DTU). Hans arbejde var bl.a. grundlaget for denne ruhedsmåler fra Brüel & Kjær fra omkring 1960. Foto: Teknologihistorie DTU

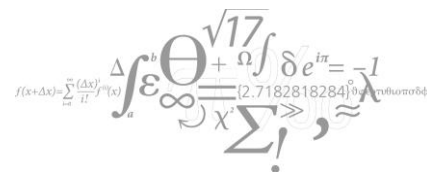
På Teknologihistorie DTU har vi gemt nogle ruhedsmålere fra omkring 1960 for at kunne dokumentere historien om ruhedsmåling, der også handler om det, man i 1978 i en artikelserie i *Ingeniøren* kaldte for værkstedsteknisk metrologi. Begrebet skulle understrege, at moderne dimensionsmåleteknik i højere grad var baseret på et videnskabeligt fundament end den empirisk udviklede praksis, der hidtil havde domineret i industrien.

I artikelserien blev det beskrevet, hvordan målenøjagtigheden i industrien historisk var blevet forbedret fra stregmålet og skydelæren til laseren og 3D-målemaskiner. Forfatteren forklarede, at den maksimale målenøjagtighed ved brug af mekaniske og optiske instrumenter

var blevet opnået i 1950'erne, og at det først var ved indførelsen af elektroniske og digitale instrumenter, at man kunne øge nøjagtigheden igen.

Udviklingen af nye måleinstrumenter handlede dog ikke kun om nøjagtighed, men også om at kunne måle hurtigere og foretage mere komplekse målinger. Og så var prisen på måleinstrumenterne selvfølgelig også en væsentlig faktor. Den havde fx stor betydning for, om de nye måleinstrumenter kun stod på laboratorierne, eller om de også blev brugt i det løbende kontrolarbejde i produktionen. Ruhedsmålere kostede på det tidspunkt fra ca. 10.000 kr. til mere end 100.000 kr.

I dag er ruhedsmåling også noget, man arbejder med hos DFM. Her har man nemlig overtaget akkrediteringen til kalibrering og prøvning af ruhedsnormaler fra Center for Geometrisk Metrologi på DTU Mekanik, der i Danmark havde den rolle fra 1992 til 2016.



Litteratur

- Alder, Kenn. *The Measure of all Things. The seven-year odyssey and hidden error that transformed the world.* New York: The Free Press, 2002.
- Bennich, Per. "Værkstedsteknisk metrologi - måleteknik for alle." *Ingeniøren*, særtryk af artikelserie juli-august 1978.
- Carneiro, Kim. *Metrologi i Den Store Danske.* Gyldendal. n.d.
<http://denstoredanske.dk/index.php?sideId=124894> (accessed april 4, 2017).
- De Chiffre, Leonardo, and René Sobiecki, interview by Teknologihistorie DTU (Louise Skyggebjerg). *Interview om ruhedsmåling* (april 18, 2017).
- Hald, Jan, and Lars Nielsen, interview by Teknologihistorie DTU (Louise Skyggebjerg). *Interview om metrologi (længde og vægt)* (april 25, 2017).
- Howarth, Preben. *Metrologi - kort og godt.* Lyngby: Center for Dansk Fundamental Metrologi, 1999.
- Petersen, Kurt. *Mål & vægt i Danmark.* Kgs. Lyngby: Polyteknisk Forlag, 2002.
- Prytz, K. *Beretning fra meterudvalget om dets virksomhed fra tiden fra dets nedsættelse den 9. juli 1907 indtil den 31. marts 1914.* Kjøbenhavn: Trykt hos J.H. Schultz A/S, 1915.
- Udvalget til førelse af Tilsynet med Rigsprototyperne for Maal og Vægt. *Protokol.* Registreret hos Teknologihistorie DTU som 3000.130.1, 1911-1963.