

Tidlig dansk termometri

Erling Poulsen, Ole Rømer Museet.

I slutningen af 1600-tallet var det nyopfundne termometer i en rivende udvikling. Det debatteredes ivrigt, hvilken skala der skulle benyttes, og hvordan man fik gjort forskellige målinger sammenlignelige. Flere havde foreslået faste punkter for skalaerne, men man var ikke sikker på, hvor faste de foreslåede fikspunkter var. Rømers primære interesse var astronomien, men i forbindelse med udviklingen af hans husinstrument (fra 1690 observerede Rømer helst med et instrument der var opstillet i hans hjem), blev det nødvendigt at foretage temperaturkorrigering af pendullængden (tiden) og af den gradbue, hvor kikkertens retning blev aflæst. Derfor blev Rømer tvunget til at beskæftige sig med termometre.

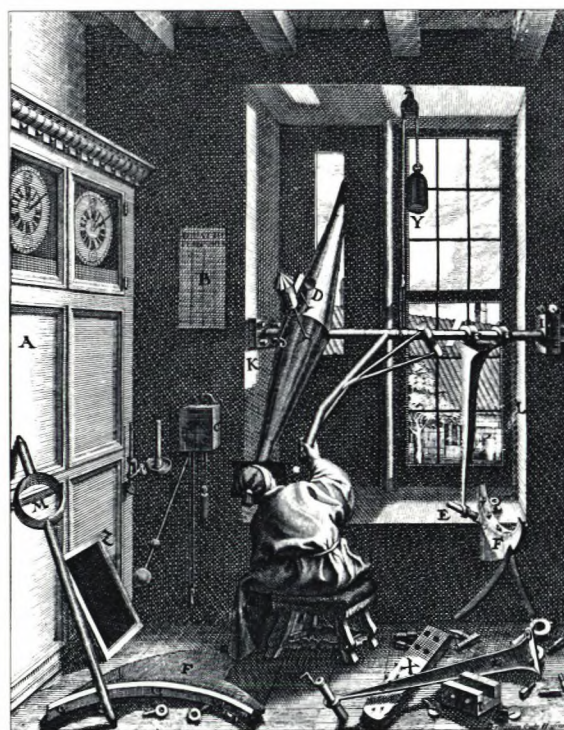
Det er vist velkendt, at Rømer, som den første, brugte vandets fryse- og kogepunkt som fikspunkter. Men hvordan så den mellemliggende skala ud, hvordan valgte han sit nulpunkt, hvilken termometervæske brugte han og hvor store var hans termometre? Der har også været en del mystik om fikspunktet "blodvarmt", som han åbenbart brugte ved kalibrering af termometre der ikke skulle gå op til vands kogepunkt. For en naiv betragtning er denne nemlig kun ca. 28,6°C og ikke ca. 35°C (målt i mundhulen). I det følgende refereres en undersøgelse, som kaster lys over disse spørgsmål.

Ole Rømers første målinger.

Ingen af Rømers egne termometre er bevarede, så en direkte måling af hans gradstørrelse eller af hans fikspunkter kan ikke foretages. Men vi kan foretage en indirekte undersøgelse, på grundlag af de længdeudvidelseskoefficienter han selv har målt, og som er omtalt i hans arbejdsrapirer "Adversaria"¹. De omtalte målinger er omtalt på side 119, og er foretaget d. 12/12 1692. Hans målinger er alle af en 3 fod lang stang af hvert materiale, som var inddelt i 6800 dele. Udvidelsen er også angivet i dele, og temperaturforandringen ved alle målinger er 24 grader.

Materiale	Rømers måling	Længdeudv. koeff. $\alpha^{\circ}\text{C}^{-1}$
Guld	5 dele	14.2×10^{-6}
Bly	$9\frac{1}{2}$ dele	29×10^{-6}
Kobber	5 dele	16.6×10^{-6}
Jern	$3\frac{1}{2}$ dele	12×10^{-6}
Sølv	$6\frac{1}{2}$ dele	19×10^{-6}
Glas	$3\frac{1}{2}$ dele	10×10^{-6}
Tin	$6\frac{1}{2}$ dele	21×10^{-6}

Tabel 1. Rømers målinger af længdeudvidelse og moderne værdier af udvidelseskoefficienter.



Figur 1. Rømers husobservatorium, gengivet efter et stik i Peder Horrebow's Basis astronomiae. Meridiankredsen med lampe til belysning af trådkorset. Til venstre og højre for den observerende Rømer ses de to hovedinstrumenter: Uret og gradbuen.

Formlen for længdeudvidelse er $l_t = l_0 \cdot \alpha \cdot t$, hvor l_t er udvidelsen, l_0 startlængden og t temperaturstigningen i Celsiusgrader. Hvis vi kalder temperaturforskellen i Celsiusgrader for t_C og de grader han benytter for $t_{R\phi}$ kan vi skrive:

$$t_C = k \cdot t_{R\phi}$$

Her er k omregningsfaktoren. Indsættelse i formelen og udregning giver:

$$\begin{aligned} l_t &= l_0 \cdot \alpha \cdot k \cdot t_{R\phi} \\ k &= \frac{l_t}{l_0 \cdot \alpha \cdot t_{R\phi}} \\ k &= \frac{(\text{Antal Rømerdele})}{(6800 \cdot \alpha \cdot 24^{\circ}\text{R}\phi)} \end{aligned}$$

Det termometer Rømer har anvendt ved disse målinger har sandsynligvis været et italiensk fremstillet sprittermometer, som Rømer selv har kalibreret. Rømer angiver (1702) at han fastlagde vands frysepunkt ved $7\frac{1}{2}^{\circ}\text{R}\phi$ og et kogepunkt, der har været strid om, ved $60^{\circ}\text{R}\phi$, en forskel på $52\frac{1}{2}^{\circ}\text{R}\phi$. Det giver en middelværdi på $1,9^{\circ}\text{C}$ per grad, tæt på værdien i tabel 2.

Materiale	$k = t_C/t_{R0}$
Guld	2.16
Bly	2.01
Kobber	1.85
Jern	1.79
Sølv	2.10
Glas	2.14
Tin	1.90
Middelværdi	1.99

Tabel 2. Omregningsfaktoren mellem Rømergrader og Celsiusgrader.

Dette tyder på, at Rømer som den første, allerede i 1692 har fastlagt sit gradsystem ved hjælp af vands fryse- og kogepunkt. Hidtil har man ment, at han først gjorde det på sine hjemmelavede termometre fra 1702. Han har i en kommentar s.233¹, til nogle udenlandske målinger, nævnt at han først fra 1703 er sikker på stabiliteten af vands kogepunkt, men det forhindrer ikke, at han selv tidligere kan have brugt punktet til termometerinddelinger på et ikke universelt privat termometer. Huygens, som var medlem af pariserakademiet samtidig med Rømer, havde så tidligt som 1665 konstateret, at kogende vands temperatur er konstant.

Udvidelsesmålingerne er foretaget mellem $6\frac{1}{2}^{\circ}\text{Rø}$ og $30\frac{1}{2}^{\circ}\text{Rø}$, og disse temperaturer svarer til -2°C og 44°C på en lineær temperaturskala. Senere i denne artikel vil jeg argumentere for at temperaturintervallet snarere har været på 51°C . Dette bringer de målte udvidelseskoefficienter i tæt overensstemmelse med de nugældende.

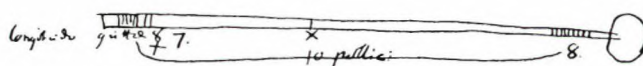
Det vides ikke hvordan målingen er udført. Rømer skriver at han gentog målingen 3-4 gange. Men hvordan en fast 3-fods længdereference blev etableret, ved vi ikke. Da målingen er foretaget d. 12/12 kan den lave temperatur vel have været udendørstemperaturen, og den varme være fremkommet ved enten en varmekasse eller et kraftigt opvarmet værelse. Usikkerheden ved hans målinger har været ca. $\frac{1}{4}$ inddeling, hvilket svarer til 5%.

Efter afsnittet om længdeudvidelser bruger Rømer resultaterne for jerns udvidelse til at udregne, hvor meget hans gradbue og tidsmåler påvirkes; gradbuen på husinstrumentet udvider sig $58\frac{1}{2}$ buesekund ved en stigning af temperaturen på 12°Rø . Uret går ca. 1 sekund langsomere per døgn ved en temperaturstigning på 1°Rø .

Rømers originaltermometre

Der er, trods ihærdig søgen, ikke blevet fundet nogen af Rømers originaltermometre. Der har sikkert eksisteret et i 1859 hvor E. Phillipsen i "Nordisk Universitets Tidsskrift" nævner et. Deres nøjagtighed kan derfor ikke direkte efterprøves, men i "Adversaria" beskæftiger han sig så indgående med de fundamentale termometerproblemer, at man må formode, originalerne har været præcise. I "Adversaria" gennemgår Rømer konstruktionen af termometre, både teoretisk og, heldigt for os, også med taleksempler. Da eksemplerne må formodes at have noget med virkeligheden at gøre, kan man benytte dem til

at finde målene på originaltermometrene. I det følgende vil vi gå ud fra, at Rømers termometerskala var fastlagt ved vands fryse- og kogepunkt. Da der imellem de to fikspunkter er $52\frac{1}{2}^{\circ}\text{Rø}$ får vi at $1^{\circ}\text{Rø} = 1,905^{\circ}\text{C}$. På side 202¹ viser Rømer, hvordan han beregner sig frem til dimensionerne af et termometer. Efter en teoretisk del kommer han med et taleksempel, og af det fremgår, at termometret består af en hul glaskugle med et påsmeltet glasrør. De gamle mål kan omsættes til nutidige ved: $1'' = 12 \text{ lin.} = 2,62 \text{ cm}$ ($1' = 12'' = 31,41 \text{ cm}$). Rørets indre diameter, beregnet ud fra længden og vægten af en indsuget kviksølvdåbe, er 0,43 lin. rørets længde er 18". Kuglens diameter er målt til 6,30 lin., om der menes den ydre eller indre diameter fremgår ikke; men da hele afsnittet handler om rumfangsforhold menes der sikkert den indre diameter. Rømer når frem til, at ved en temperaturstigning på 10°Rø vil termometervæsken stige 12,17 lin. = 2,65 cm, og altså udvide sig $0,018 \text{ cm}^3$. Hvis vi antager, at røret ved 15°C er ca. kvartfuldt, vil der være ca. $1,44 \text{ cm}^3$ væske i termometret. Den relative udvidelse er derfor $0,018 \text{ cm}^3 / (1,44 \text{ cm}^3 \cdot 10^{\circ}\text{Rø}) = 13 \times 10^{-4} \text{ Rø}^{-1}$,



Figur 2. Rømertermometer fra Adversaria

Vi kender ikke alkoholstyrken af den "spiritus vini", der er benyttet. Sandsynligvis har det været en almindelig brændevin. Reaumur, der iøvrigt mange steder får æren for opfindelsen af sprit-termometret, foreslår således langt senere, at der anvendes alkohol med en sådan styrke, at rumudvidelseskoefficienten er $8,0 \times 10^{-4} \text{ C}^{-1}$, hvilket svarer til ca. 40 % (vægt). Der kan alligevel foretages et skøn over hvilken styrke der er brugt. Hvis vi antager at Rømer har arbejdet omkring stuetemperatur, kan vi sammenligne den ovenstående måling med tabeller over ethanol/vand blandingers udvidelseskoefficienter ved 20°C . I tabel 3 er en sådan sammenligning givet

$k = t_C/t_{R0}$	Styrke vol.%
1.9	44
2.0	42
2.1	40
2.2	38
2.3	37

Tabel 3. Alkoholstyrken af Rømers termometervæske ved forskellige antagelser om k.

Da der mellem 0 og 100°C er $1,9^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{Rø}$ i gennemsnit, og udvidelsen af en alkohol/vandblanding ikke er proportional med temperaturen, må den søgte omregningsfaktor ligge noget over 1,9 så det må antages at alkoholstyrken har ligget i omegnen af $39\%(\text{vol}) \approx 32\%(\text{vægt})$. For denne koncentration er rumudvidelseskoefficienten $6,7 \times 10^{-4} \text{ C}^{-1}$

Man kan måske undre sig over, at Rømer brugte alkohol og ikke en anden væske; han benyttede jo kviksølv til at undersøge rørdiameter med, og Halley havde i 1688 foretaget forsøg med kviksølvs udvidelse. Forklaringen kan være, at kviksølv kun har en rumudvidelseskoefficient på $1,8 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ og derfor stiller store krav til et konstant - lille - tværsnit af røret, hvis da ikke termometerkuglen gøres ekstra stor og dermed meget tung. Først Fahrenheit var så dygtig en glasmager, at han kunne tillade sig at bruge kviksølv. Med en termometerlængde på 47 cm og en skala fra fryse- til kogepunkt på 16 cm er der da også i Rømers design taget højde for betydelige variationer i rørdiameter og alkoholstyrke. Vand ville være ubrugeligt, da det fryser ved en for høj temperatur og kun har en trediedel så stor udvidelseskoefficient som 32% alkohol, samt næsten ingen rumfangsændring mellem 0°C og 10°C .

De rør Rømer havde rådighed over var ret ujævne. Ved hjælp af sin kviksølvråbe sorterede han de mest uregelmæssige fra, så han havde nogle svagt koniske rør at lave termometre af. Rømer forsøgte at inddele sine termometre så hver grad svarede til en lige stor rumfangsforøgelse. Dette gjorde han ved at inddele de 60°R i fire dele efter rumfang hvorefter hver del blev inddelt i 15 lige lange stykker. Selve nulpunktet blev sandsynligvis fundet ved at afsætte $1/7$ af intervallet mellem mærkerne udfor vands fryse- og kogepunkt under frysepunktsmærket.

Rømers "korte" termometre

I Fahrenheits brev til Boerhaave (hollandsk kemiker), sendt fra Amsterdam d. 17. april 1729, beskrives hans besøg hos Rømer. Han fortæller, hvordan Rømer ansporede ham til at forbedre termometeret; det skete, da han en morgen i året 1708 hjemme hos Rømer så flere termometre stå i isvand og senere i "bloedwarm"t vand (at der skrives *staa*, tyder på, at termometrene har været nedsænkede i længere tid; det er nødvendigt, hvis de indeholder meget termometervæske); de to punkter, termometervæsken havde nået, blev afmærket på dem alle. Derpå blev halvdelen af afstanden mellem de to punkter fundet og overført neden under punktet mærket isvands temperatur, og til sidst blev hele termometret inddelt med 0 nederst, $7\frac{1}{2}$ ved vands frysepunkt og $22\frac{1}{2}$ ved det varme vands temperatur. Fahrenheits beretning tyder på, at Rømer har fremstillet termometre, der ikke gik op til kogepunktet. Han skriver derudover, at han delte hver Rømergrad i 4 således at frysepunktet svarede til 30°F og blodvarmen til 90°F . I 1717 ændrede han de 90 til 96 og de 30 til 32, sikkert fordi underinddelingen så kan foretages som en serie af 63 halvinger idet $2^6 = 64$.

En grund til at Rømer fremstillede termometre kan være, at han, ifølge svenskeren Wallerius, som besøgte København i 1708, havde mistet sin indtægt på 2000 rigsdaler fra kongen, og derfor sammen med sin assistent Schiwe, som var den der modtog besøget, bl.a. måtte ernære sig ved termometerfremstilling. Eventuelle købere ville kun interessere sig for "normale" temperaturer, hvorfor de fremstillede termometre kun skulle vise sådanne.

Dimensionerne af disse "korte" termometre kendes ikke, men i "Adversaria"¹ er beskrevet noget, der minder om et "kort" termometer. På side 11 er beskrevet et forsøg over luft og vands udvidelse. Til dette forsøg bruges et apparat, som består af en kugle med en diameter på $1\frac{1}{2}$ " og et påsmeltet glasrør. Ved hjælp af sin sædvanlige metode med kviksølv finder Rømer, at $16\frac{1}{3}$ " af røret indeholder $1/22$ 'del af kuglens rumfang. Apparatet ligner meget et termometer, også længden på ca. 18". Kuglens rumfang bliver $31,68 \text{ cm}^3$ og de $16\frac{1}{3}$ " indeholder $1,44 \text{ cm}^3$, røret har derfor en indre diameter på 2,07 mm. Det kunne være et "kort" termometer, men passer dimensionerne, således at væsken vil udvide sig rimeligt? Vi bruger udvidelseskoefficienten fra vore tidligere regninger på $6,7 \times 10^{-4}$ og finder, at en skala fra 0 til $22\frac{1}{2}^\circ\text{R}$ bliver 27 cm lang, en størrelse, der er stor nok til, at graderne er let læselige (12 mm/grad) og samtidigt så lille i forhold til rørets samlede længde, at unøjagtigheder under konstruktionen betyder meget lidt. Arbejdet afsluttes med, at vands frysepunkt og en kontrolleret temperatur afmærkes og derimellem afsættes graderne. Det er en fordel ved disse, ret vide, termometerør, at graderne kan sættes lige store, fordi unøjagtighederne betyder relativt mindre end i de tynde rør. Til sidst kan nulpunktet findes, som Fahrenheit beskriver.

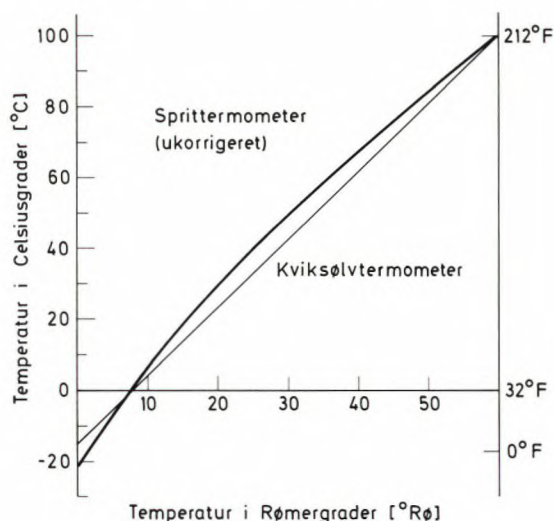
Ny fortolkning af Rømers termometerskala

Man har tidligere fundet at Rømers målinger af temperaturen under strenge vintre var urealistisk høje. Derfor er der grund til, mere detaljeret, at vurdere Rømers temperaturskala.

Et væsketermometer er et dilatometer, ved hjælp af hvilket man måler, hvor meget termometervæsken har udvidet sig, og man skal så relatere udvidelsen til en temperatur. Ikke alle væsker er lige velegnede; Fahrenheits store fortjeneste, inden for termometrien, var brugen af kviksølv som termometervæske, idet dets udvidelseskoefficient er meget lidt temperaturafhængig. Dette gør, at væsken udvider sig næsten lineært med temperaturen. Rømers ethanol/vand-blandinger har udvidelseskoefficienter der er meget mere temperaturafhængige og det må man tage hensyn til, når hans målinger skal vurderes.

I figur 3 ses oversættelseskurven mellem Rømer- og Celsiusgrader, under hensyntagen til ulineariteten i spritblandingers udvidelse og til udvidelsen af termometerkolben. Ved beregningen er der anvendt tabelværdier i intervallet -20 – 60°C . Uden for det nævnte område er der ekstrapoleret ud fra en antagelse af, at udvidelseskoefficienten vokser proportionalt med temperaturen ($\beta = \beta_1 + \beta_2 \cdot t$), hvilket betyder, at udvidelsen ved 100°C er noget usikker; β_1 og β_2 er bestemt ved mindste kvadraters metode ud fra opgivelserne fra -20°C til 60°C . De er på denne måde bestemt til $5,68 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ og $2,06 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$. Alternativt kan der konstrueres et lukket termometer efter Rømers anvisning fol. 117b¹; da det er usikkert hvor meget luft, der står oven over væsken i et sådant, sammenlignet med et originalter-

momenter, er målingen usikker. Rømer Museet har dog ladet en rekonstruktion udfærdige og måling på den viser pæn overensstemmelse med disse overvejelser.



Figur 3. Den krumme kurve er oversættelseskurven mellem Rømer og Celsiusgrader, under hensyntagen til temperaturafhængigheden af 39% spritblandings udvidelseskoefficient og til termometerkolbens udvidelse. Den optrukne linie er den hidtil anvendte lineære fortolkning af Rømergraderne.

Efter anvisning fra Rømers elev P. Horrebow deler man nu udvidelsen fra vands frysepunkt til kogepunktet i 7 dele, hver svarende til $7,5^{\circ}\text{Rø}$. En af disse dele føres ned under vands frysepunkt, og derved er de 0°Rø fundet. Af tabellerne fremgår følgende:

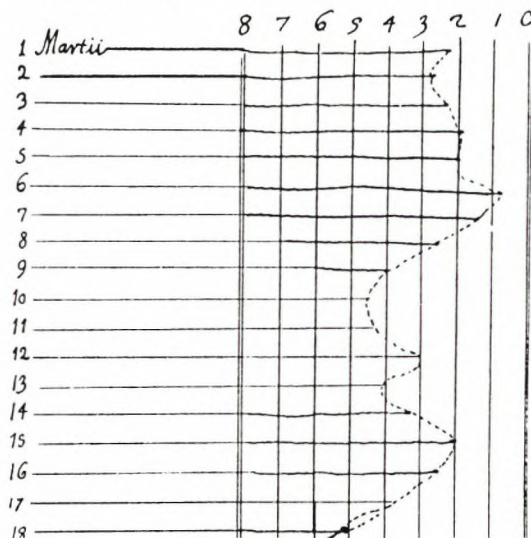
$$\begin{aligned} 0^{\circ}\text{Rø} &\approx -21,5^{\circ}\text{C} \text{ og} \\ 22,5^{\circ}\text{Rø} &\approx 34,8^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Det bemærkes, at 39% (vol.) ethanol begynder at fryse ved ca. -23°C , hvorfor et nulpunkt for denne termometervæske omkring denne temperatur er "naturlig". Hvis vurderingen af kurvens forløb over 60°C synes for grov, skal det bemærkes, at en lidt anderledes vurdering kun ændrer fastlæggelsen af Rømergraderne en smule, en anden vurdering af ethanol/vand procenten vil også kun have ringe indflydelse på fastlæggelsen af temperaturskalaen. Dersom der bruges ethanol med en styrke på 70 % (vol.) fås temperaturer der afviger ca. 1°C fra de nævnte. Da det i begyndelsen af 1700-årene var vanskeligt at måle ethanolprocenten, må det antages at den har varieret fra termometer til termometer. Rømer kunne have brugt en flydevægt til måling af procenten, men trods ihærdig søgen har jeg ikke fundet noget om det i "Adversaria".

Det "nye" fikspunkt

Nu kan det ses, at Fahrenheits bemærkning fra hans besøg i 1708 hos Rømer, om at $22,5^{\circ}\text{Rø}$ var "bloedwarm" er yderst fornuftig. Den er ikke uforståelig som andre har hævdet, der har regnet med, at $22,5^{\circ}\text{Rø}$ var ca. $28,6^{\circ}\text{C}$; de har regnet med en temperaturafhængig udvidelseskoefficient.

Rømer har sikkert bemærket, at menneskets temperatur, målt i mundhulen, lå tæt på $22,5^{\circ}\text{Rø}$ på hans "lange" (køgepunktskalibrerede) termometre; derfor har han benyttet denne temperatur som fikspunkt på sine "korte" termometre. De $22,5^{\circ}$ og $7,5^{\circ}$ var praktiske, når nulpunktet skulle findes på dem, og det er så tydeligt "korte" termometre Fahrenheit har set ved sit besøg i København. Derudover viser tallene, at Rømers nulpunkt må rykkes kraftigt ned. Det betyder, at verdens ældste temperaturkurve, der stammer fra Rømers laboratorium, fra fimbulvinteren 1708/09, bliver mere forståelig.



Figur 4. Lidt af Danmarks ældste temperaturkurve. Den viser temperaturvariationerne i begyndelsen af marts 1709

Der findes fra denne vinter forskellige beretninger; eksempelvis kunne de tungeste læs køres over Storebælt; d.11/3 gik to husmænd fra Falster til Warnemünde, d.16/3 gik to tjenere fra Bornholm til Simrishamn, så sent som d. 9/4 kunne man gå over Øresund til Sverige, og i Københavns Havn nåede isen en tykkelse på 27" (73 cm); alt i alt må denne vinter kunne sammenlignes med vinteren 1942, hvor den laveste temperatur blev målt til ca. -32°C . Når man tager hensyn til, at det termometer, Rømers temperaturkurve er målt med, sandsynligvis har befundet sig i hans vindue i husobservatoriet eller i kammeret øverst i Rundetårn (det var på de steder, der efter hans død blev registreret termometre), betyder det, at de målte temperaturer har ligget et stykke over de reelle. Målingerne bliver således mere forståelige med et nulpunkt på $-21,5^{\circ}\text{C}$ end med $-14,3^{\circ}\text{C}$, som det altid tidligere har været hævdet.

Konklusion:

Der er tegn på, at Rømer allerede fra 1692, ud fra vands fryse- og kogepunkt, har fastlagt en termometerskala. Hans 1702 termometre har været forsynet med en ca. 39%(vol.) ethanol/vand blanding som termometervæske; den var i øvrigt gul-farvet med safran. Tidligere^{2,3} har Rømers temperaturskala altid været opfattet som lineær. Termometrene har været inddelt i tilnærmelsesvis

lige rumdele, men termometervæskens stærkt temperaturafhængige udvidelseskoefficient fører til at temperaturskalaen bliver ulineær.

Ifølge denne nyfortolkning af Rømers temperaturskala bliver nulpunktet ca. -21.5°C og 22.5°Rø kommer til at svare til ca. 34.8°C . Dermed bliver Rømers angivelser af legemtemperatur og temperaturmålinger under kolde vintre langt mere forståelige.

Fahrenheit har hos Rømer lært at bruge de to fikspunkter, vands frysepunkt og menneskets temperatur i mundhulen. Han har også overtaget Rømers termometerskala, dog blev alle grader ganget med 4; det noget højere nulpunkt hos Fahrenheit skyldes at han udskiftede Rømers termometervæske med kviksølv, hvis udvidelseskoefficient er næsten uafhængig af temperaturen. Senere ændrede han sin skala en anelse, derved blev den lettere at inddele.

Hverken Rømer eller Fahrenheit havde brug for en kuldeblanding til at finde deres nulpunkter, de konstruerede sig frem til dem. De har brugt kuldeblandinger til eksperimenter, og har sikkert ved dem opdaget hvor uanvendelig en kuldeblanding er ved fastlæggelsen af et fikspunkt.

Referencer:

- 1) Ole Rømers Adversaria, ved Thyra Eibe og Kirstine Meyer, Bianco Lunos Bogtrykkeri 1910.
- 2) Temperaturbegrebets udvikling gennem tiderne, afhandling af Kirstine Meyer, 1909.
- 3) Ole Rømers videnskabelige liv, Mogens Phil, Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab 1944.



Erling Poulsen er medarbejder ved Ole Rømermuseet, han har i mange år beskæftiget sig med astronomi og videnskabshistorie. Og har lavet udstillinger om dette emne i Rundetårn og på Tycho Brahe Planetariet.

MODERNE VAKUUMTEKNIK TIL FORSKNING OG INDUSTRI



ALCATEL 2-trins pumpe succes giver uændrede priser i 1993.

Type	Kapacitet m^3h^{-1} nominel/Pneurop	Sluttryk hPa (mbar) partial/total/+gasballast	Pris kr. excl. moms
2002	2,0 / 1,7	$<2 \times 10^{-3} / <5 \times 10^{-3} / <2 \times 10^{-2}$	8.075,-
2005	5,4 / 4,8	$<1 \times 10^{-4} / <2 \times 10^{-3} / <1 \times 10^{-2}$	12.550,-
2010	9,7 / 8,5	$<1 \times 10^{-4} / <2 \times 10^{-3} / <1 \times 10^{-2}$	14.500,-
2015	15,0 / 12,5	$<1 \times 10^{-4} / <2 \times 10^{-3} / <1 \times 10^{-2}$	15.850,-
2021	20,7 / 16,5	$<1 \times 10^{-4} / <2 \times 10^{-3} / <1 \times 10^{-2}$	19.450,-
2033	35,0 / 30,0	$<1 \times 10^{-4} / <3 \times 10^{-3} / <6 \times 10^{-3}$	25.500,-
2063	65,0 / 60,0	$<2 \times 10^{-4} / <3 \times 10^{-3} / <6 \times 10^{-3}$	39.650,-
2100	120,0 / 105,0	$<2 \times 10^{-4} / <3 \times 10^{-3} / <6 \times 10^{-3}$	83.775,-

* robuste * tryksmurte * støjsvage * indbygningsvenlige * specialudførelser for korrosive gasser * reservedele og service i DK.

ALLE FORMER FOR OLIEFRI & OLIESMURTE ROTATIONSVAKUUMPUMPER • FEDTSMURTE TURBOMOLEKULAR- SPIRO- & HYBRIDPUMPER • DIFFUSIONS- & CRYOPUMPER • VAKUUMMÅLEINSTRUMENTER, VENTILER, HV & UHV FITTINGS • HELIUMLÆKSØGERE & MASSESPEKTROMETRE • SPUTTER- ELEKTRONKANON- & ÆTSEANLÆG • RF & HV STRØMFORSYNINGER • RUSTFRI SPECIALKAMRE & DELE • OMBYGNING AF VAKUUMANLÆG

WENZEL VAKUUM TEKNIK APS NYBROVEJ 283 DK-2800 LYNGBY TLF 45 87 97 35
SHOWROOM, SERVICE, LAGER NYBROVEJ 193 BIL 30 42 63 00 FAX 45 93 32 93