

# Om dansk astrometri efter Tycho Brahe

Erik Høg, Niels Bohr Institutet

Efter Tycho Brahe blev astronomi ved Københavns Universitet fornyet, Rundetårn blev opført. Her skal kun nævnes arbejdet med måling af stjerners positioner på himlen, det der nu kaldes astrometri. Danske astronomer har bidraget til den enorme udvikling af astrometrien gennem de sidste et hundrede år, en udvikling der har sat spor i alle grene af astronomi og astrofysik<sup>1</sup>.

## Astrometri med meridiankredse

Måling af stjerners positioner på himlen med stor nøjagtighed kaldes "astrometri", idet stjernerne observeres som lysende punkter på himlen. Betegnelsen astrometri anvendes siden ca. 1900 for at skelne fra "astrofysik", den anden gren af astronomien, hvor man undersøger stjerner som fysiske objekter, glødende gaskugler, ved hjælp af fysiske love som varmeteori og atomteori, dvs. termodynamik og kvantemekanik.



**Figur 1.** Rundetårn, bygget til Trinitatis Kirke som astronomisk tårn, ikke et klokketårn.

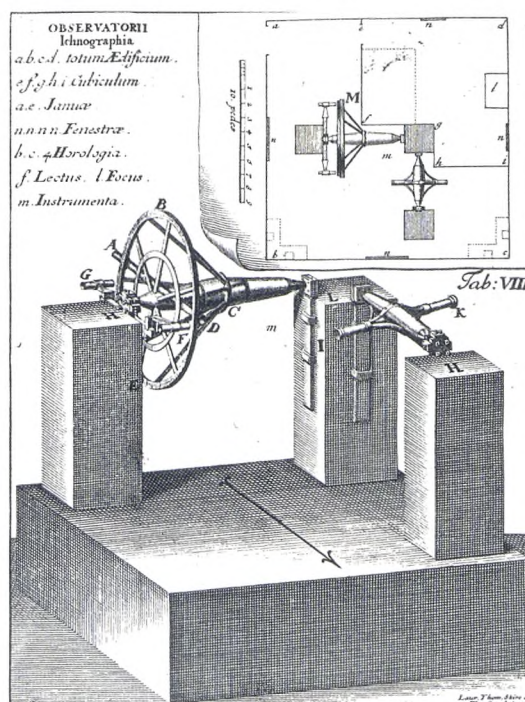
Tycho Brahe (1546–1601) udviklede astrometrien i stor stil, men betegnelsen var astronomi. Faktisk bestod astronomi indtil for godt hundrede år siden for størstedelen af astrometri og anvendelse af positionerne på studiet af stjerners bevægelser og afstande. Tycho Brahe var astrometriker, men han var også astrofysiker, idet han fandt den nye stjernes plads i universet, den var en fiksstjerne langt ude i den ottende sfære.

Tycho Brahe på Hven havde ingen direkte tilknytning til Københavns Universitet, men han var højt respekteret der. Astronomi/astrometri fik snart en fast plads på

Universitetet, og enkelte træk fra de følgende fire århundreder skal nævnes her.

Københavns Universitets Astronomiske Observatorium blev indrettet på toppen af det berømte Rundetårn, som blev bygget i 1642. Christen Sørensen Longomontanus (1562–1647), som havde været Tycho Brahes assistent på Hven, blev forstander. Han var professor i matematik og astronomi og skrev en række bøger om disse emner.

Ole Rømer (1644–1710) var professor i astronomi og udviklede nye typer instrumenter til måling af stjerners positioner, idet han forstod at anvende kikkerten som en vigtig fornyelse. Hans meridiankreds blev et forbillede i de følgende århundreder, næsten alle observatorier i 1800-tallet ejede en meridiankreds, som blev det fundamentale, mest nøjagtige instrument til astrometri. Ole Rømer er ellers mest kendt for sin opdagelse af "lysets tøven" altså lysets endelige hastighed, målt ved observation af tidspunkterne for formørkelser af Jupiters inderste måne, Io, og publiceret i 1676.



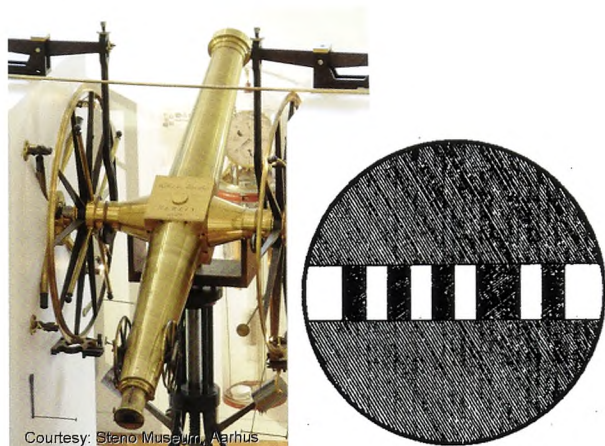
**Figur 2.** Ole Rømers meridiankreds fra 1705, opstillet nær Vridsløsemagle vest for København.

I 1861 flyttede observatoriet fra Rundetårn til en ny bygning på Rosenborg Bastion ved Østervold. I det nye

<sup>1</sup>En stor tak skylder jeg Claus Fabricius, Svend Laustsen og Lars Occhionero for hjælp til billeder og afklarende spørgsmål.

observatorium blev selvfølgelig også opstillet en meridiankreds, og ved dette instrument udførte den meget unge Bengt Strömgren (1908–1987) astrometriske målinger, som blev vejvisende for astrometriens udvikling. I 1925 eksperimenterede han med stjerners passage over spalter i meridiankredsen, (se figur 3), idet han registrerede den elektriske strøm i en fotocelle bag spalterne – det kaldes “fotoelektrisk astrometri”. Det var en ganske avanceret elektronisk forstærker efter den tids målestok, som denne unge mand fik bygget til formålet.

Bengt Strömgren blev i 1940 professor i astronomi, idet han afløste sin far, Elis Strömgren (1870–1847), og allerede samme år bestilte han en ny meridiankreds, som i 1953 blev opstillet på et højdedrag nær landsbyen Brorfelde syd for Holbæk, hvor et nyt observatorium blev opført.



**Figur 3.** Meridiankredsen i det nye observatorium på Østervold fra 1861, som findes udstillet i Steno Museum, Aarhus. Til højre det system af spalter, som Bengt Strömgren anvendte.

Bengt Strömgren blev en af de førende astrofysikere i 1900-tallet, men hans betydning for astrometri blev mindst lige så stor gennem den udvikling af astrometrien, han satte i gang med fotoelektrisk astrometri og med den nye meridiankreds i Brorfelde. I denne udvikling var danske astronomer altid helt fremme gennem udnyttelse af elektronik og satellitter og ved internationalt samarbejde, se mere i [1].

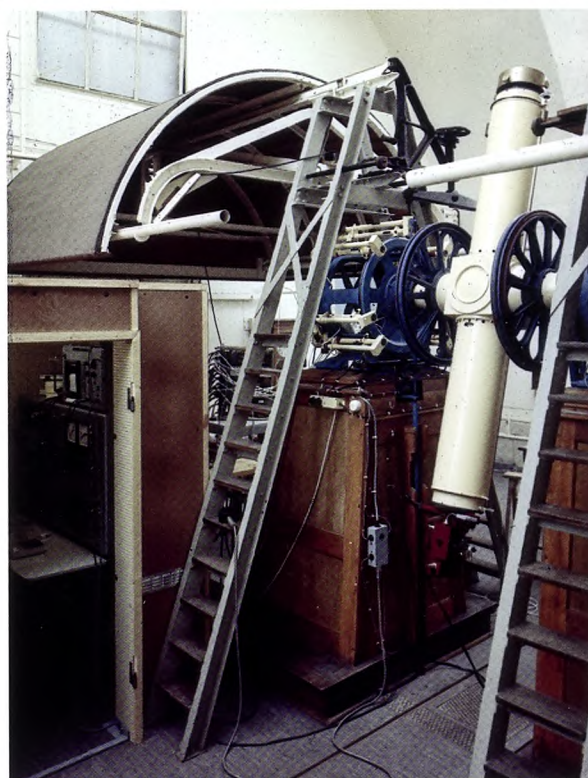
Her må nævnes Peter Naur (1928–2016), som blev min vejleder i astrometri fra 1953, og som fik stor betydning for min udvikling gennem mange samtaler om elektroniske regnemaskiner, i dag kaldet “computere”, og den tankegang, der ligger bag (se [1]). Han forlod observatoriet og astronomi i 1959 for at arbejde ved det danske firma “Regnecentralen” med udvikling af firmaets GIER-computer og af et nyt programmeringssprog ALGOL. Han blev Danmarks første professor i computer science.

Peter Naur arbejdede fra 1956 i Brorfelde med udvikling af en fotografisk teknik til observation med meridiankredsen. Udviklingen af dette apparatur lykkedes for Svend Laustsen (f. 1927) i begyndelsen af tresserne. Svend sagde for nylig til mig, at han godt kunne se dengang, at den fotoelektriske metode til observation af stjerner, som jeg samtidig udviklede i Hamburg, måtte være fremtiden, men på det tidspunkt

var han naturligvis nødt til at fortsætte med den fotografiske metode.

Imidlertid havde udviklingen af fotoelektrisk astrometri taget fart fra 1960 med digitalisering af Strömgrens metode, idet jeg indførte “fotoelektrisk astrometri med fotontælling” på meridiankredsen ved Hamburg Observatorium (se figur 4). Det var dengang det største observatorium i Tyskland, hvor jeg arbejdede i årene 1958–73.

Instrumentet var halvautomatisk, en observatør drejede kikkerten i den retning, som assistenten i kabinen til venstre havde angivet ud fra en liste over stjernerne. Så kunne den ønskede stjerne måles, når den passerede meridianen, altså nord-sydretningen. Selve fotontællingen blev registreret på en hulstrimmel inde i kabinen, og hulstrimlen blev senere behandlet i en computer, den ovennævnte GIER. Dette instrument med GIER-computeren blev opstillet i Perth i Vestaustralien, som led i et stort internationalt samarbejde til måling af sydhimmels stjerner. I Perth observerede man 25.000 stjerner i fem år 1967–72 med en hidtil uset nøjagtighed.



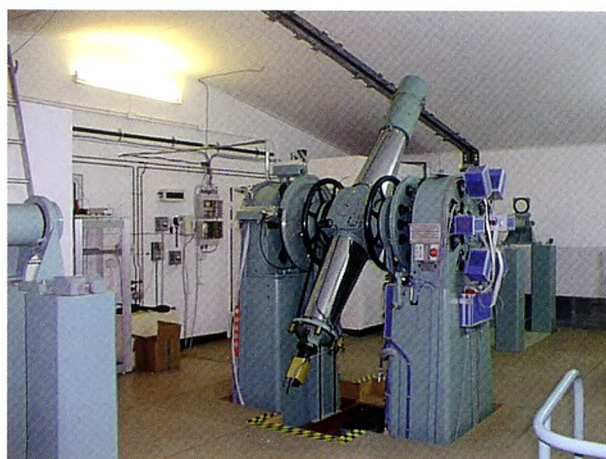
**Figur 4.** Meridiankredsen i Hamburg, der blev opstillet i Australien.

I 1973 blev jeg “hentet hjem” fra Hamburg, og meridiankredsen i Brorfelde blev udrustet med spalter og fotontælling, takket være den meget kompetente stab til mekanik, elektronik og astrometri. Men nu var en computer direkte knyttet til instrumentet. Ledet af Leif Helmer (f. 1943) og Claus Fabricius (f. 1954) og i et samarbejde med Royal Greenwich Observatory i England og Observatoriet i San Fernando i Spanien blev dette meget moderne instrument flyttet til en bjergtop på La Palma på De Kanariske Øer, hvor det kom i drift i foråret 1984. Man kunne som forventet få 100.000 observationer om året med stor nøjagtighed i de mange klare nætter på stedet.

Observationerne var fuldt automatiserede fra starten. Operatøren kunne sove natten igennem (medmindre der opstod et problem). I 1997 automatiseredes yderligere, så operatøren ikke længere behøvede at befinde sig på bjerget: kikkerten kunne betjenes fra Danmark, England eller Spanien.

I 2004 ophørte både den danske og engelske deltagelse i observationerne, som blev fortsat af observatoriet i San Fernando, der havde været deltager siden starten. Samtidig blev hele instrumentet overdraget Spanien for et symbolsk beløb til videre observationer, der ophørte i 2013. Instrumentet tilhører nu det Astrofysiske Institut på De Kanariske Øer.

Brorfeldeområdet med bygninger og instrumenter blev i 2012 erhvervet af Holbæk Kommune, der siden 2016 driver det som "et opdagelsescenter med fokus på astronomi, geologi, natur og teknik". Der formidles om meridiankredsen bl.a. ved en udstilling i den oprindelige kuppel.



Figur 5. Den automatiske meridiankreds på La Palma.

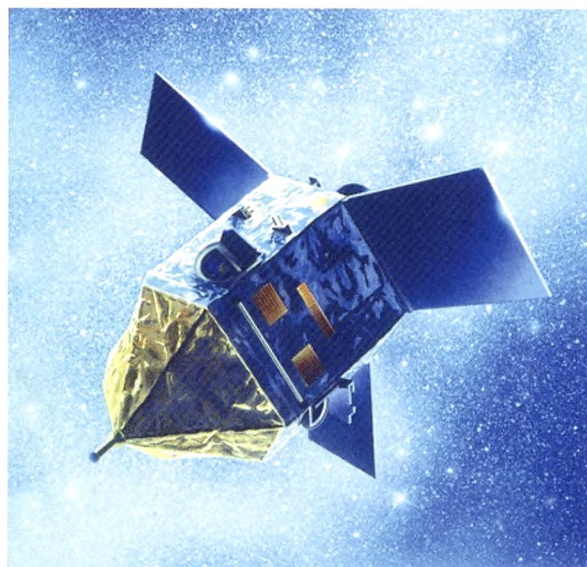
### Astrometri med satellitter

Denne teknik med fotontælling blev anvendt i ESAs første satellit til astrometri med Hipparcos (se [1]), som blev vedtaget af ESA i 1980 og opsendt i 1989. Satellitten drejede sig en gang om sin akse på et par timer og målte samtidigt stjerner i to retninger på himlen. Drejningen var programmeret, så hele himlen blev "scannet" mange gange systematisk i de tre år, observationerne varede.

Hipparcos observerede således 120.000 udvalgte stjerner én efter én, og det gav større astrometrisk nøjagtighed end nogensinde før. Samtidig målte Hipparcos de 2,5 millioner lysstærkeste stjerner på himlen i det såkaldte Tycho-eksperiment (se [1]), som jeg havde foreslået i 1981. Observationerne var ganske vist knap så nøjagtige som med selve Hipparcos, men alligevel nøjagtigere end det kunne gøres fra Jordens overflade for disse mange stjerner.

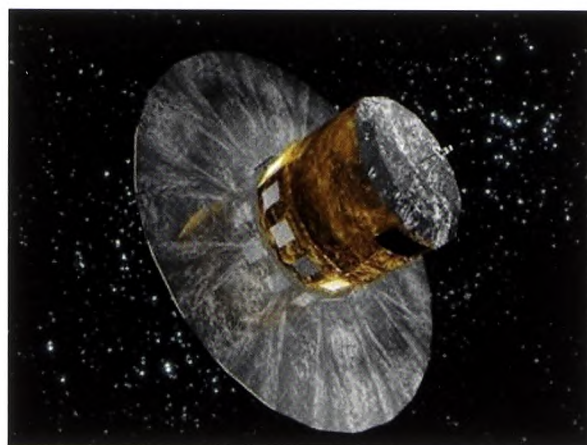
Til ESAs anden satellit, Gaia, foreslog jeg i 1992 (se [2]) at anvende en ny type detektor, en CCD (Charge Coupled Device), som er den slags detektor, der sidder i ethvert kamera nu om dage. Den hidtil anvendte detektor til fotontælling kunne faktisk kun måle én stjerne ad gangen, mens detektering med mange CCD'er betød,

at tusinder af stjerner kunne observeres samtidigt og meget nøjagtigere. Gaia blev opsendt i 2013 og har nu observeret to milliarder stjerner.



Figur 6. Den første astrometriske satellit, ESAs Hipparcos.

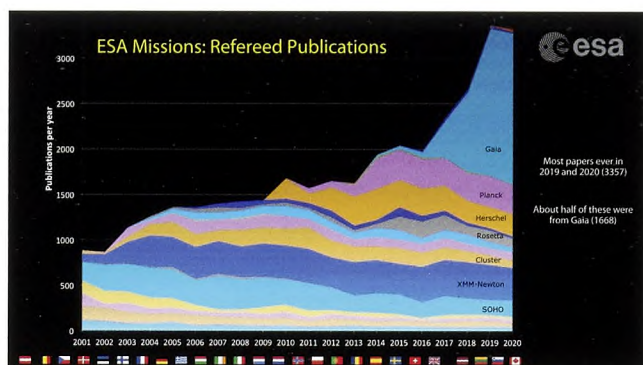
Resultaterne har været revolutionerende i alle grene af astronomi og astrofysik, de har i 2019 og 2020 givet lige så mange videnskabelige publikationer om året som alle andre ESA-missioner tilsammen, se figur 8, alene baseret på observationer fra de første 22 måneder. Der udkommer 4–5 Gaia-relaterede publikationer om dagen, og observationerne ventes at fortsætte til 2024, i alt i 10 år.



Figur 7. Gaia-satellitten.

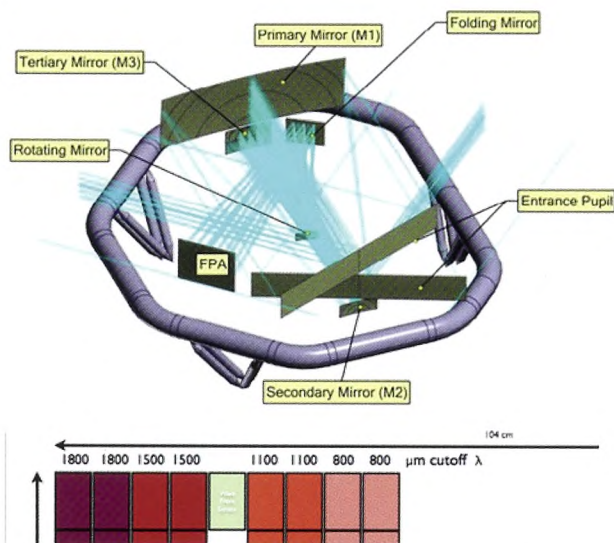
Nøjagtighed er alfa og omega i astrometri. Fremskridtet kan kort beskrives således: de bedste observationer med meridiankreds havde en nøjagtighed på 0,1" (buesekund), altså 600 gange mindre fejl end Tycho Brahes bedste målinger. Hipparcos-satellitten opnåede 0,001", og Gaia 0,00002".

I 2013 foreslog jeg, at en efterfølger skulle opsendes om ca. tyve år, fordi stjernernes bevægelser kan bestemmes meget nøjagtigt ved sammenligning af positioner målt med denne lange tid imellem, faktisk ti gange nøjagtigere end det er muligt med en enkelt satellit, der måler i tre år. Den følgende udvikling beskrives i et interview ved Michael Perryman [3].



Figur 8. Publikationer fra ESAs missioner.

Dette forslag har i 2021 fået ESA til at gå ind i nærmere undersøgelser, der sigter mod opsendelse af en Gaia-efterfølger i 2045. Den skal måle Gaia-stjernerne igen og samtidig have følsomhed for det nære infrarøde lys, da man så kan observere mange flere røde stjerner. Stjerner kan være røde, fordi de er koldere, eller fordi de ligger dybt inde i interstellare skyer, derinde kan støv og gas samles til nye stjerner, hvor tyngdekraften tager over.



Figur 9. Gaia-efterfølger, kaldet GaiaNIR. Øverst: det optiske system, nederst: fokalanlæg, FPA, hvor kun den ene af syv rækker detektorer er vist. Disse detektorer skal udføre astrometri og samtidig fotometri ved fire bølgelængder mellem ca. 400 og 2000 nanometer.

### Observatoriet lukker efter 363 år

Observatoriet i Brorfelde blev lukket for videnskab, da hele staben flyttede til København i 1996, hvor de flyttede sammen med staben fra Østervoldgade til en istandsat ældre bygning. Københavns Universitets Observatorium eksisterer imidlertid ikke mere, idet denne 363 år gamle institution i 2005 blev absorberet i Niels Bohr Institutet – uden nogen festlighed eller begravelse.

Observatoriets hovedinstrument var meridiankredsen i Brorfelde lige fra begyndelsen i 1953. Jeg var meget bevidst herom, da jeg begyndte mit arbejde derude efter samtaler med Bengt Strömberg, hvori også astrometriens store betydning for astronomi var klar. Ingen kunne dengang ane, at dette instrument skulle

komme til at spille en kæmperolle i en udvikling, hvorunder det blev det mest avancerede og nøjagtige i sin art, endside at det ville blive en udvikling, som til sidst gjorde meridiankredse overflødige og forældede. Som hovedinstrument fik det i årtier uforbeholden støtte fra observatoriet og fra Carlsbergfondet, der donerede instrumentet i anledning af Rømers 300-årsdag i 1944, senere suppleret i 1946 ved Tycho's 400-årsdag.

Arbejdet ved observatoriet med de astrometriske satellitter forløb samtidig, støttet gennem mine årlige ansøgninger til Statens Forskningsråd og af en stor donation sidst i 1990'erne fra Velux Fonden til fremstilling af Tycho-2-kataloget. I mange år var jeg leder af to internationale konsortier, der forestod reduktion af data fra selve Hipparcos og fra Tycho-eksperimentet, jeg var medlem af ESAs Science Teams for Hipparcos og Gaia i årene 1975–2007 og ledede en gruppe for Gaia-fotometri. Dette er belyst for nylig i tre interviews ved Michael Perryman, og de kan findes gennem links i [3].

Astronomien i København er nu helt fokuseret på astrofysik, hvad der er meget naturligt og rigtigt. Der var jo ikke basis for en dansk deltagelse i Gaia-data-reduktionen. Dette store arbejde varetages af et konsortium på 400 personer fordelt i Europa, og jeg glæder mig over, at Lund Observatorium deltager i det med en stor gruppe. Mit samarbejde om astrometri med Lund Observatorium begyndte i 1973, da Lennart Lindgren (f. 1950) blev interesseret i en astrometrisk opgave, jeg gav ham som ganske ung student, og han kom straks til at spille en central rolle både i Hipparcos og Gaia takket være sit matematiske geni.

De to sidste danske astrometrikere i den lange række siden Tycho Brahe er Claus Fabricius, der har arbejdet med både meridiankreds og Hipparcos og nu arbejder på Gaia-data i Barcelona, og så er der mig selv (f. 1932), der stadig har kunnet bidrage til astrometri ved at dokumentere astrometriens udvikling og ved at arbejde på en efterfølger for Gaia.

### Litteratur

- [1] E. Høg (2010) "En landmåler i himlen", *Kvant*, bind 21, nr. 3, side 3–8. <http://www.kvant.dk/upload/kv-2010-3/kv-2010-3-EH-astrometri.pdf>
- [2] E. Høg (2013) "Gaia-missionens snørklede tilblivelse", *Kvant*, bind 24, nr. 4, side 30–34. <http://www.kvant.dk/upload/kv-2013-4/kv-2013-4-EH-Gaia.pdf>
- [3] E. Høg (2022) "Letter on Gaia". <http://www.astro.ku.dk/~erik/xx/hoeg3-letter.pdf>



Erik Høg er dr.scient. i astronomi. Han har arbejdet ved Hamborg Observatoriet 1958–73 og ved Københavns Universitet 1953–58 og 1973–2002, hvor han gik på pension. Han har især arbejdet med måling af positioner, bevægelser og afstande af stjerner med højest mulig præcision, fra Jorden og med to satellitter, Hipparcos og Roemer/Gaia. En efterfølger til Gaia til opsendelse i 2045 er på vej.