

# Astrometriens udvikling og Brorfelde Observatorium

Erik Høg, Niels Bohr Institutet

Vi kender i dag positioner, bevægelser og spektre for næsten to milliarder stjerner fra observationer med to store ESA-satellitter Hipparcos og Gaia. I den udvikling spillede det astronomiske observatorium i Brorfelde en betydelig rolle, som fortælles her – med en forbindelse til de voldsomme begivenheder i Kina i 1989.<sup>1</sup>

## Brorfelde Observatorium

Et nyt dansk astronomisk observatorium åbnede i 1953, og det var begyndelsen til en ny epoke i dansk astronomi. Dengang havde Københavns Universitets Observatorium på Østervold en stab, der ses på figur 1. To astronomer er fraværende, professor Bengt Strömgren (1908-87), og dr. phil. Peter Naur (1928-2016), der arbejdede i Brorfelde. Professoren opholdt sig det meste af året i USA som direktør for to store observatorier, og den daglige ledelse i Danmark blev gennem brevveksling varetaget af observator Julie Vinter Hansen (1890-1960). Astronomi blev etableret ved Aarhus Universitet i 1950'erne, og der er nu over 120 astronomer i Danmark. Observator Julie Vinter Hansen er blevet hædret ved, at en stor, smuk gårdhave i den nye Niels Bohr Bygning på Jagtvej 155 bærer hendes navn, se [1].



**Figur 1.** Astronomisk Observatorium på Østervold med personale 1958. Fra venstre ses: Magister K. A. Thernøe, pedel Jensen, sekretær Lilly Rifbjerg, sekretær Yvonne Pedersen, observator Julie Vinter Hansen, værkstedsleder Poul Bechmann, magister Erik Høg og cand.mag. Svend Laustsen. Fotograf ukendt.

På en bakketop ved landsbyen Brorfelde, 13 km syd for Holbæk, blev der i 1953 opstillet et nyt instrument, der skulle være observatoriets hovedinstrument. Det var en meridiankreds, som dengang var det nøjagtigste instrument til måling af stjerners position på himlen. Den slags målinger kaldes astrometri til forskel fra astrofysik, der drejer sig om stjerner, planeter osv. som fysiske objekter. Positionerne er vigtige for at bestemme stjernernes bevægelser og dermed Mælkevejens opbygning.



**Figur 2.** Udsigt i 1955 over husene, hvor astronomerne skulle bo, og hvor byggeriet er i gang. Det er set fra toppen af meridiankredsbygningen, som er indsat. Foto: Erik Høg.

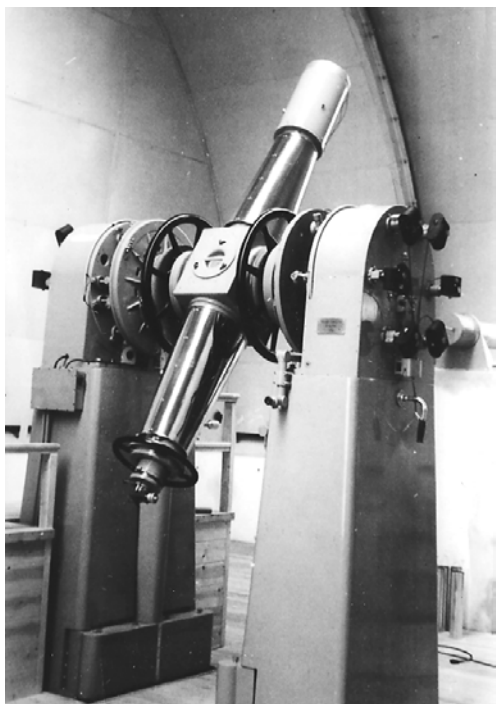
Artiklen her skal især handle om den rolle, Brorfelde Observatorium kom til at spille i udviklingen af astrometri, dog mest i det omfang, jeg var med i arbejdet. Jeg kan kun nå ganske kort at nævne de mange store bidrag fra hundreder af europæiske astronomer og ingeniører. Herom i KVANT [2] og mere udførligt i [3].

Brorfelde Observatorium voksede til en “forskerby” med op til 35 ansatte medarbejdere. I de fremragende mekaniske og elektroniske værksteder blev der bygget teleskoper og udstyr til danske og flere udenlandske observatorier. Studenter blev trænet i brug af instrumenter i Brorfelde, inden de kunne rejse til fx La Palma eller Chile for at observere med store teleskoper. I takt med den tekniske udvikling flyttede afdelingen i Brorfelde til København, da den i 1996 sammen med afdelingen på Østervold blev huset i en nyistandsat bygning nær Rigshospitalet.

Siden er astronomi, geofysik og fysik blevet samlet under navnet NBI, Niels Bohr Institutet, og har til huse i Niels Bohr Bygningen på Jagtvej 155. Så der er faktisk ikke længere noget, der hedder Astronomisk Observatorium ved Københavns Universitet. Dermed sluttede i 2005 en 363-års epoke, der begyndte i 1642 med indvielsen af Observatoriet på Rundetårn. Før det virkede vores mest berømte astronom, Tycho Brahe (1546-1601). Han hørte direkte under kongen og havde ingen tilknytning til Universitetet, der dengang var temmelig forbenet, mens Tychos observatorium på

<sup>1</sup>En stor tak skyldes jeg Jørgen Christensen-Dalsgaard, Claus Fabricius, Leif Helmer, David Hobbs, Aase Høg, Svend Laustsen, Lars Occhionero, Jens Olaf Pepke Pedersen og Jørgen Otzen Petersen for oplysninger og for kommentarer til udkast.

Hven var det mest moderne, der overhovedet fandtes, hvor man målte stjerner og planeters positioner med hidtil uset nøjagtighed. Se [4] om dansk astrometri efter Tycho Brahe. Astronomi er fysik, siger man nu, så sammenlægningen med Niels Bohr er meget rigtigt.



**Figur 3.** Meridiankredsen i 1954. Det er en kikkert, der kun kan drejes om en øst-vestakse, hvor man observerer en stjerne, mens den passerer meridianen. Man registrerer tidspunktet for passagen og kikkertens vinkel om aksens ved aflæsning af en nøjagtig delekreds. Foto: Erik Høg.

Ved Aarhus Universitet fandt en lignende sammenlægning sted i 1992, da Institut for Fysik og Astronomi blev dannet. Astronomi var blevet indført ved udnævnelsen af den første professor i 1957, Mogens Rudkjøbing (1915-2007).

I 2013 købte Holbæk Kommune stedet i Brorfelde bakker, og der er indrettet et oplevelsescenter med fokus på alt mellem himmel og jord: Eller nærmere bestemt geologi, natur og astronomi. Mere om hele observatoriets historie siden 1953 kan læses i [5], hvor der er henvisning til Kjeld Gyldenkernes omfattende artikel fra 1986 om Brorfelde med billeder af alle observatoriets medarbejdere med navne.

### Meridiankredsens udvikling

Det blev min opgave som student fra 1954 at observere med den nye meridiankreds. Jeg blev fascineret af instrumentet og af den betydning, som astrometriske målinger har for hele astronomien ved at levere positioner, bevægelser og afstande til stjernerne. Astrometri blev faktisk min livsopgave, hvad jeg selvfølgelig ikke anede dengang, og endnu mindre at jeg skulle bidrage til en utrolig udvikling af astrometrien med to store satellitter. Nøjagtighed og antallet af stjerner blev forøget med over et tusind gange, og astrometrien har fået direkte betydning i alle grene af astronomi og astrofysik.

Ganske særlig betydning for min videnskabelige udvikling fik Peter Naur, som blev min vejleder i 1953.

Vi delte arbejdsværelse et par år på Østervold, hvor vi ikke kun talte om astronomi, men også tit om teknik og især computere, dengang noget ganske nyt, som blev kaldt elektroniske regnemaskiner, senere datamaskiner. Den første computer i Danmark var DASK, som blev bygget på Regnecentralen i København, og som blev driftsklar i februar 1958. Dengang troede man helt alvorligt, at en eneste computer ville kunne klare alle Danmarks beregninger, så hurtig som den jo var!

Naur var flyttet til Brorfelde i august 1955. Jeg arbejdede sammen med Naur i Brorfelde fra sept. 1956 til aug. 1958, mens jeg boede i hovedbygningen. Vi arbejdede på udvikling af elektronik til anvendelse af fotografisk teknik ved meridiankredsen, og jeg fandt på en ny metode til bestemmelse af fejl på delekredsens inddelinger, en metode der snart efter blev anvendt i Brorfelde og ved alle andre meridiankredse. I den anledning fik vi løst et ligningssystem på DASK med otte ubekendte, og det var ganske stort for den tid.

Peter Naur havde stor betydning for mig ved at lære mig bygning af den tids elektronik i praksis med radiatorer og lodning af ledninger, og han ledte mine tanker i retning af den senere udvikling med digitalisering af meridiankredsen i Hamborg. I 1958 sagde Naur, at jeg skulle en tid til udlandet, og jeg fik et stipendium til 10 måneder ved Hamborg Observatorium. Det blev imidlertid til 15 år, fordi jeg havde nye ideer, som man lige havde brug for dernede, hvad jeg kommer tilbage til. Snart blev jeg tysk tjenestemand på livstid.

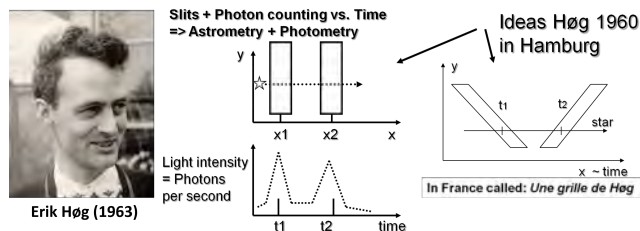
Peter Naur forlod helt astronomien i 1959 og blev snart Danmarks første professor i datalogi. Det var et stort tab for observatoriet, at Naur forlod det, men gennem sit arbejde med datalogi fik han langt større videnskabelig betydning, end han kunne have fået ved udvikling af fotografisk teknik til meridiankredsen. Han blev i 2005 belønnet med Turing-prisen, nobelprisen for datalogi.



**Figur 4.** Peter Naur var min vejleder i astronomi, men også i elektronik og computerteknik, som var noget helt nyt dengang. Vi mødtes til mit foredrag i 2010, hvor jeg havde inviteret ham. Foto: Poul-Henning Kamp.

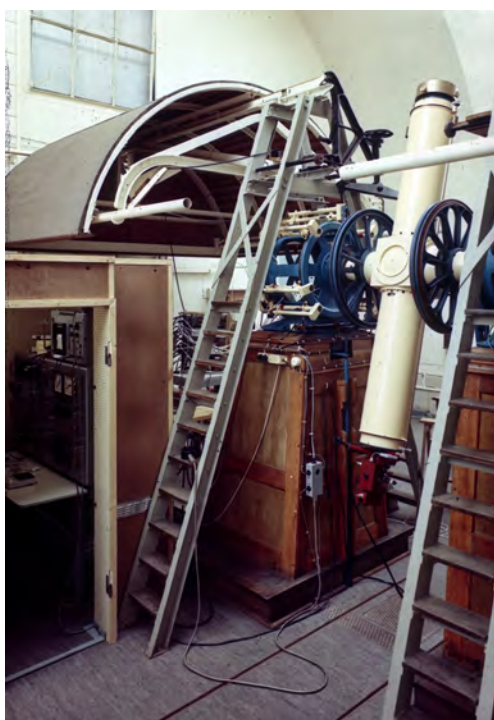
I mange år havde jeg ingen forbindelse med Naur, først i hans sidste år mødtes vi igen, og vi fik et meget positivt forhold. "Det er utroligt hvad du har nået, Høg!" sagde han efter mit foredrag i 2010, se figur 4, og han fik stor respekt for den nye astrometri. I et stort interview, se [7] i 2009 med historikeren Thore Bjørnvig siger han om

arbejdet i Brorfelde i 1950'erne: "... Der er ikke noget som udfordring i bare at [observere] - det er fuldkommen rutine. Der er ikke for fem øre videnskabelighed i det, det er ligesom landmålerarbejde [på himlen] ... den eneste interesse der kunne være ved det, ... altså videnskabelig interesse, det var at forbedre teknikken."



**Figur 5.** Skitse af den nye metode til astrometri ved tælling af fotonerne. Tegning: Erik Høg.

Egentlig er jeg enig med Peter Naur, nu da jeg har fået adgang til selve teksten fra interviewet, for i 1950'erne og også senere var det en selvfølge, at man med en meridiankreds observerede stjernerne én efter én. Men i 2010 fik det mig til at bruge titlen: "En landmåler i himlen" til min artikel i KVANT [2], for astrometri var jo blevet mit himmerige. Jeg havde i Hamburg fået lejlighed til gøre observationerne halvautomatiske ved meridiankredsen, se figur 6. Og det var kun en begyndelse.



**Figur 6.** Den digitaliserede, halvautomatiske meridiankreds i Bergedorf, den første i sin art. En person i hytten til venstre passede apparaturet og sagde til observatøren ved kikkerten, hvordan han skulle dreje denne manuelt, så den ønskede stjerne kom ind i synsfeltet. Derefter blev fotonerne talt og registreret digitalt. Delekredsen, som ses til venstre på akse, blev samtidig målt gennem mikroskoper og også registreret på hulstrimmel. Foto: Wilhelm Dieckvoss.

Ved Hamburg Observatorium i Bergedorf ville jeg være astrofysiker, for jeg havde efterhånden mærket, at astrometri blev anset for at være gammeldags blandt

astronomer. Så jeg arbejdede en tid på et projekt med måling af spektre fra den store Schmidt-kikkert i Bergedorf, og jeg udrustede måleapparatet med registrering på hulkort. Elektronikken kunne jeg selv bygge, og en sådan digitalisering var noget ganske nyt i Bergedorf.

Men i 1960 fandt jeg på en helt ny målemetode til astrometri, idet jeg foreslog at tælle fotonerne, mens en stjerne går hen over spalter i kikkerten på en meridiankreds, figur 5. Disse tællinger skulle registreres på en hulstrimmel og senere behandles i en computer.

Disse ideer faldt i god jord, fordi man havde planer om at sende meridiankredsen i Bergedorf til Perth i Vestaustralien for at observere 25.000 stjerner på sydhimlen som led i et stort internationalt samarbejde. Direktøren, professor Otto Heckmann, gik ind for sagen og havde tillid til mig, han havde jo netop set mit arbejde med digitalisering. Man troede først, at det nødvendige apparatur (figur 6) kunne bygges på et par år, men det tog faktisk syv år, inden det kunne sendes til Australien.

Det blev til en ekspedition, der varede fem år, og hvor op til ti observatører var i sving. To personer observerede godt 100 stjerner på en nat, og de samme to lavede kort efter beregningerne om dagen. Computeren til formålet var den danskbyggede GIER, der viste sig at være den eneste, der var hurtig nok. Den var 10 gange hurtigere end den bedste af de andre computere, vi havde råd til at købe. Peter Naurs ALGOL60 var heldigvis netop blev klar til brug ved programmeringen, da vi købte computeren til Hamburg i 1964. Det var den første computer på observatoriet, og den blev brugt flittigt af alle astronomer i de tre år, indtil den skulle til Australien. Resultatet var et katalog med alle stjernerne, og nøjagtigheden overgik de andre i det internationale samarbejde.

Den fotografiske teknik til meridiankredsen i Brorfelde, som blev iværksat af Bengt Strömberg og Peter Naur, blev videreudviklet af Svend Laustsen, og kunne tages i brug i 1962. Men den nødvendige udmåling af de fotografiske plader viste sig at være en flaskehals i processen, og man blev klar over, at der ikke var fremtid i den fotografiske metode.

Svend Laustsen, der boede i Brorfelde fra januar 1959 til juli 1968, sagde til mig for nogle år siden, at han godt kunne se dengang, at den fotoelektriske metode til observation af stjernerne, som jeg samtidig udviklede i Hamburg, måtte være fremtiden, men på det tidspunkt var han naturligvis nødt til at fortsætte med den fotografiske metode. Han udviklede også en metode til registrering af delekredsen på hulstrimler, ganske som vi gjorde i Hamburg, og det var et kæmpe fremskridt.

Faktisk blev jeg hentet hjem fra Hamburg i 1973, hvor jeg for længst havde fået en livstidsstilling som tysk tjenestemand, og hvor jeg havde hus og hjem med en dansk kone og tre børn. På Hamburg Observatoriet var betingelserne for astrometri blevet meget ugunstige fra ledelsens side, så det var mit held, at jeg blev hentet væk på det tidspunkt. I Brorfelde var der et velfungerende videnskabeligt og teknisk miljø, skabt ved professor Anders Reiz' (1915-2000) talent for at udnytte de "gyldne tressere" til en stor udvidelse af hele observatoriet.

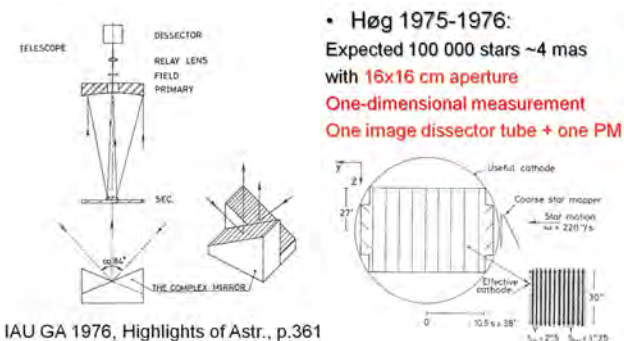


**Pierre Lacroute** 1978      **Jean Kovalevsky** 2010      **Catherine Turon** 1978

**Figur 7.** Tre franske astronomer med ledende roller i Hipparcos-missionen. Fotos fra nettet og fra Catherine Turon.

## Hipparcos-satellitten

Nu tilbage til mit forslag i 1960 om en ny målemetode til astrometri. Der var interesse, og ganske særlig betydning fik det, at professor Pierre Lacroute tog ideen op. Han var direktør for observatoriet i Strasbourg og havde den store vision at måle astrometri fra en satellit i kredsløb om Jorden. Derude ville målingerne være fri for atmosfærens forstyrrelse, og instrumentet ville ikke være påvirket af tyngdekraften. Lacroute begyndte allerede i 1963 at arbejde med disse tanker og lavede flere forslag til et instrument, som han også publicerede. Men jeg selv og flere andre syntes, at forslagene var ganske urealistiske.

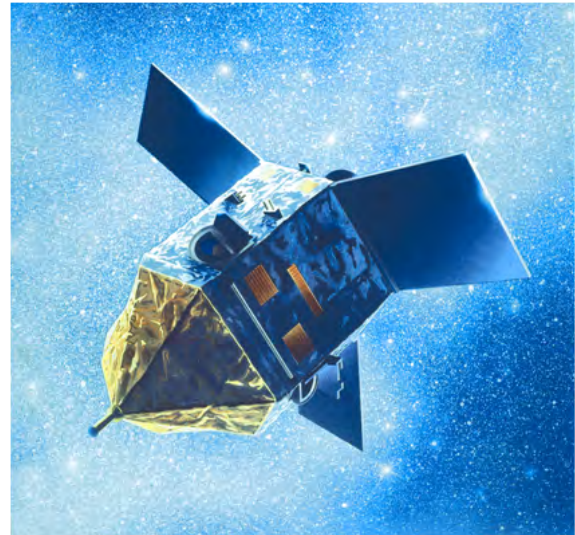


**Figur 8.** Forslag til en astrometrisk satellit. Lacroutes ideer er bibeholdt med en satellit, der skanner hele himlen mange gange, idet den roterer, og med et spejl, der reflekterer to felter ind i kikkerten. Mange andre ting er dog anderledes end hos Lacroute, se [2,3].

I Frankrig kom andre med i arbejdet, se figur 7, men kun der, og det var faktisk et rent fransk projekt. Omkring 1973 blev det imidlertid besluttet, at Frankrig ikke mere skulle opsende egne satellitter, men kun inden for ESA. Professor Jean Kovalevsky, direktør for et astrometrisk observatorium i Sydfrankrig, så de store muligheder i Lacroutes vision, og han var den drivende kraft i at få det ind i ESA. I 1975 blev jeg opfordret af ESA til være med i en studiegruppe om rumastrometri. Det gik jeg med til trods min skepsis, og ved det første møde i oktober forstod jeg, at vi kunne tage det helt fra grunden og bruge rumteknologien til vores videnskab uden særligt hensyn til Lacroutes forslag. Så kunne jeg tænke frit og kom på seks uger med forslag til en satellit, der så realistisk ud, det blev meget positivt modtaget. Ralph Florentin i Brorfelde hjalp mig, da jeg

lavede det nye design, især med den nye detektor, en Image Dissector Tube, IDT, der gjorde satellitten 100 gange så effektiv som hos Lacroute, der kun brugte photomultiplikatorer.

Nogle måneder senere kunne jeg tegne figur 8. Med disse principper blev Hipparcos-satellitten udviklet af ESA og industrien i samarbejde med astronomer, vedtaget af ESA i 1980 og sendt op i 1989, figur 9.



**Figur 9.** Hipparcos-satellitten opsendt af ESA i 1989, og som observerede i tre år. I alt 120.000 stjerner blev målt med meget stor nøjagtighed, og 2,5 millioner blev målt med noget mindre nøjagtighed i det såkaldte Tychoeksperiment, som jeg foreslog i 1981.

## Brorfeldes meridiankreds

Under arbejdet med Hipparcos gik udviklingen videre i Brorfelde imod en automatisk meridiankreds, som skulle styres af en computer, der sigtede kikkerten mod den ene stjerne efter den anden. Målingerne skulle samles af denne computer og behandles videre af den.

Fra 1973 arbejdede jeg i Brorfelde på bygning af et nyt fotoelektrisk mikrometer, mere raffineret end det vi havde sendt til Perth, og en forudsætning for den efterfølgende succes med den automatiske meridiankreds. Her må jeg, især hvad det tekniske angår, nævne lederen af det mekaniske værksted, Poul Bechmann (f. 1916, pens. 1986), og lederen af det elektroniske værksted, Ralph Florentin Nielsen (1940-95), som begge spillede en meget stor rolle for mit arbejde. Bechmann kunne designe mekanik meget bedre, end jeg havde kendt i Hamborg, og det var en vigtig forudsætning for det nye mikrometer. Fra 1980 stod de to ildsjæle Leif Helmer og Claus Fabricius for arbejdet, og førte det videre gennem mange år til stor succes. Jeg havde fået andre jern i ilden med Hipparcos og med en helt ny type meridiankreds.

Efter at Svend Laustsen havde forladt Brorfelde i 1968, blev arbejdet med det fotografiske mikrometer ført videre af Hans Jørn Fogh Olsen (1943-2023), og han var en af de drivende kræfter i etablering af det samarbejde med England og Spanien, som nu skal omtales. Omkring 1976 var der kontakt med Royal Greenwich Observatorium, RGO, i England om et samarbejde, hvor vores automatiske instrument skulle opstilles på La Palma, en af de Kanariske Øer. På en

bjergtop, Roque de los Muchachos, blev i de følgende år bygget et stort observatorium, som stadig er i drift og som nyder godt af en klar himmel langt de fleste nætter. Ved RGO var der en lang tradition for astrometri med meridiankredse, hvor man stadig observerede visuelt, og staben ønskede bedre videnskabelige muligheder. Et samvirke blev vedtaget, hvor også en spansk gruppe fra observatoriet i San Fernando kom med.



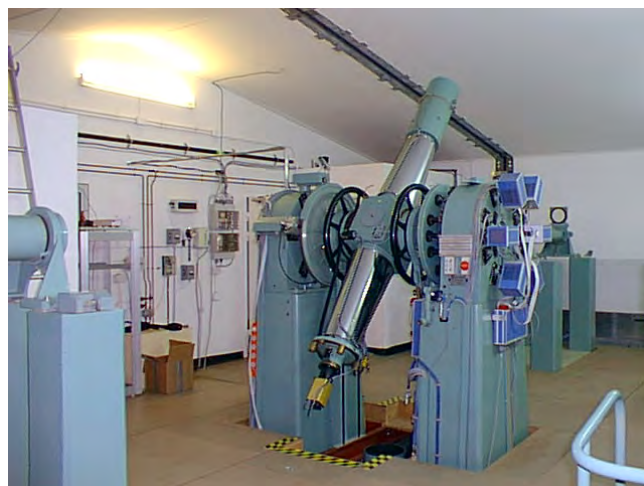
**Figur 10.** Fra et møde i august 1980 i Brorfelde om det fælles projekt med flytning af meridiankredsen fra bakken i Brorfelde til en bjergtop på La Palma i de Kanariske Øer. Personerne er fra de tre deltagende lande: nr. 3 og 5: L.V. Morrison og R.H. Tucker fra UK, nr. 2: L. Quijano fra Spanien, nr. 1, 4 og 6: L. Helmer, C. Fabricius og J.V. Clausen fra Danmark. Foto modtaget fra Claus Fabricius.

Leif Helmer, se figur 10, arbejdede ved meridiankredsen fra 1969 og var leder fra 1979. Han og jeg stod i 1974-76 for udgivelsen af kataloget med 25.000 stjerner fra observationerne med Hamborg-meridiankredsen i Australien. Leif arbejdede faktisk indtil 2004 med observationer og udgivelse af de sidste kataloger fra La Palma på CD-rom. Lige efter at vi var flyttet til København i 1996, udviklede han programmelt på La Palma, så man kunne styre kikkerten med fjernkontrol via internettet og udvikle videre på softwaren samt hente alle data hjem til de tre respektive lande, har han fortalt mig. I 2005 overtog Spanien instrumentet på La Palma.

Claus Fabricius arbejdede ved meridiankredsen 1980-94, se figur 10 og 12. Claus begyndte allerede som student og fortsatte som en bærende kraft under hele udviklingen og flytningen til La Palma. Her blev opnået en hidtil uset produktivitet for en meridiankreds på 100.000 nøjagtige observationer om året.

Cook-meridiankredsen fra Royal Greenwich Observatory i Herstmonceux blev installeret i meridiankredskuplen i Brorfelde i begyndelsen af 1990'erne og brugt ved afprøvningen af CCD-mikrometre til måling af stjernen og til aflæsning af delekredsen, inden de blev sendt til La Palma. Den blev senere overført til National Maritime Museum i Greenwich. I 1996 blev de nye mikrometre taget i brug på La Palma efter bygning i Brorfelde. De anvendte CCD-detektorer i stedet for at bruge fotontælling, så man nu kunne observere langt flere og meget svagere stjerner med større nøjagtighed.

Carlsberg-meridiankredsen overgik alle andre, men sluttede, idet meridiankredse faktisk var blevet forældet gennem observationerne med Hipparcos-satellitten.



**Figur 11.** Carlsberg Automatic Meridian Circle på La Palma fra 1984 efter udvikling i Brorfelde. Instrumentet leverede 100.000 observationer af stjerner om året som planlagt og meget mere efter 1998, da CCD-detektorer var blevet installeret. Carlsbergfondet har givet midler til instrumentet lige fra anskaffelsen i 1940erne og til hele udviklingen. Foto: Dafydd Wyn Evans.

### Glasmeridiankredsen, en ny type meridiankreds

I mange år havde man tanker om en ny type meridiankreds fx i USSR, USA, Canada og Portugal, og jeg fik mine første idéer herom i 1967. Det skulle være et horisontalt liggende instrument uden en lang kikkert, der skulle rettes op mod stjernen. Man mente, at bøjning af det tunge kikkertør som følge af tyngdekraften ændrede sigteretningen i forhold til den delekreds, hvor kikkertens hældning blev aflæst, og som skal give stjernens "deklinations" på himlen. Denne nedbøjning af kikkertørret (tube flexure, "rørbøjning") ville give systematiske fejl i deklinationen, som havde været kendt siden omkring 1900. Men man havde ikke noget bevis for, at rørbøjning virkelig var årsagen, det var kun den almindelige mening om dette "klassiske" problem.

Gennem de mange års udvikling af mit instrument, glasmeridiankredsen, GMC for Glass Meridian Circle, fandt jeg ganske uventet den virkelige årsag til problemet, og vi var i stand til at fjerne fejlen med et simpelt udstyr skruet på instrumentet på La Palma [6]. Den opdagelse, er jeg lige så glad for, som for de andre astrometriske forbedringer, jeg har fundet på, skønt den ikke fik nogen stor betydning, fordi meridiankredsen på det tidspunkt var forældet. Det var så fundamentalt, og løsningen så simpel, og dog tog det mig henved 20 år.

Den virkelige årsag til det, man kaldte rørbøjningen, var ikke en bøjning af kikkertørret, men skyldtes en refraction inde i røret, fordi luften derinde har en lodret gradient, temperaturen er lidt højere ved oversiden af røret end forneden, og det giver en afbøjning af lyset afhængig af gradientens størrelse. Det problem var jeg faktisk klar over, lige siden jeg begyndte med ideen om en horisontal meridiankreds i 1967, men først i 1980 blev jeg i stand til at måle størrelsen med et nyt elektronisk termometer ved et eksperiment i Brorfelde, jeg fandt

nogle tiendedele grader. Først da fik jeg den tanke, at det samme måtte ske inde i en sædvanlig meridiankreds.

Denne gradient kunne fjernes ved en langsom rotation af luften omkring den optiske akse, og det kunne ske ved at blæse luft ind i røret tangentielt og således holde rotationen i gang. Det blev installeret på La Palma i 1985 og viste sig at virke godt. Det førte samtidig, ganske uventet, til en forbedring af målingen af refraktionen i atmosfæren, som man samtidig foretager ud fra observationerne af stjernerne. [6].



**Figur 12.** En model (1:1) af Glasmeridiankredsen ved værkstedet i Brorfelde i august 1980. Seks meridianastronomer fra tre lande: nr. 1 og 3: L.V. Morrison og R.H. Tucker fra UK, nr. 2 og 6: J.L. Muiños og L. Quijano fra Spanien, nr. 4 og 5: C. Fabricius og E. Høg fra Danmark. De benytter et møde om deres fælles projekt på La Palma til at se på et projekt for fremtiden. Foto modtaget fra Claus Fabricius.

### Kinesere i Brorfelde

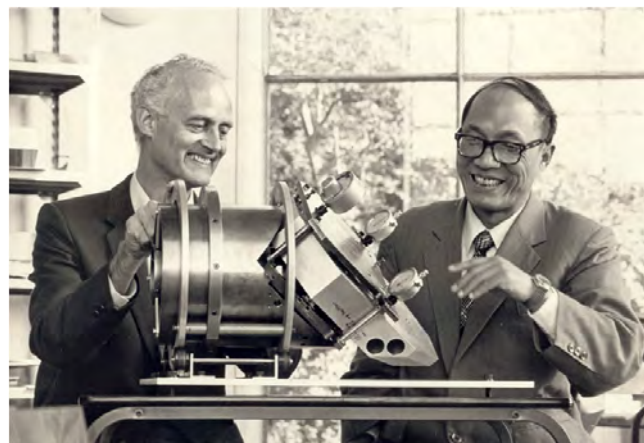
Ideerne om Glasmeridiankredsen tog form for mig omkring 1967, og jeg holdt mange foredrag om den ved internationale møder. I 1973 blev en Study Group for Horizontal Meridian Circles oprettet under IAU (International Astronomical Union), og jeg var formand indtil 1991. I 1978 traf jeg ved IAU-kongressen i Montreal professor Ye Shuhua, som var "the grand lady of Chinese astronomy". Senere traf jeg hende igen ved næsten alle mine besøg i Kina, og en sidste gang i 2019 ved IAU i Wien, hvor vi snakkede om Gaia og den efterfølger for Gaia, der kommer om tyve år, som vi arbejder på i ESA.

Ye Shuhua sendte mig i juli 1980 en invitation til et lille møde i Shanghai i september, hvor jeg først blev sendt på en rejse rundt i Kina ledsaget af en tolk. Rejsen gik fra Hongkong og Guangzhou til Xian i Shaanxi-provinsen, hvor jeg besøgte Shaanxi Astronomical Observatory (SAO) i Lintong, åbenbart et hovedmål for rejsen, hvad jeg ikke vidste på forhånd. Derfra gik det til Beijing, Hangzhou og Suzhou. I Shanghai blev der holdt et lille møde om astrometri med kun to andre udenlandske astronomer: Paul Couteau fra Nice og Walter Fricke fra Heidelberg. Jeg holdt foredrag om Hipparcos-projektet, der netop var blevet vedtaget af ESA, og om Glasmeridiankredsen på observatorierne i Shaanxi, Beijing og Shanghai.



**Figur 13.** Den første aften i Xian i september 1980 gik jeg ud på gaden foran hotellet og snakkede med folk, de fleste klædt i blåt Mao Zedong tøj. Den næsten aften gik jeg over gaden ind mellem husene og ventede lidt ved en lille plads. Da kiggede den unge pige ved min venstre side ud ad døren, jeg sagde "god aften, jeg er fra Danmark, jeg taler kun meget lidt kinesisk". Hun sagde, at jeg talte rigtig godt og kom et øjeblik efter ud med en lav stol, jeg skulle sætte mig på, jeg fik en kop te på den lille skammel. Så dukkede børnene op, jeg viste dem nogle fotos fra Australien og Danmark, og vi snakkede i to timer, kun kinesisk. Foto: Erik Høg.

I de følgende år besøgte jeg Kina mange gange, og jeg havde inden den første rejse lært at tale en smule kinesisk, en time hver dag i de seks uger inden rejsen, hvad der var til stor nytte og fornøjelse, se figur 13. Mine værter var altid meget opmærksomme på, at der blev tid til både arbejde, hvile og socialt samvær. Vi besøgte Kinas skønne natur og utrolige og ældgamle arkæologiske og kunstneriske seværdigheder fra Kunming til den store mur, og ved besøgene i 1988 og 1991 var min kone Aase også gæst med mig.

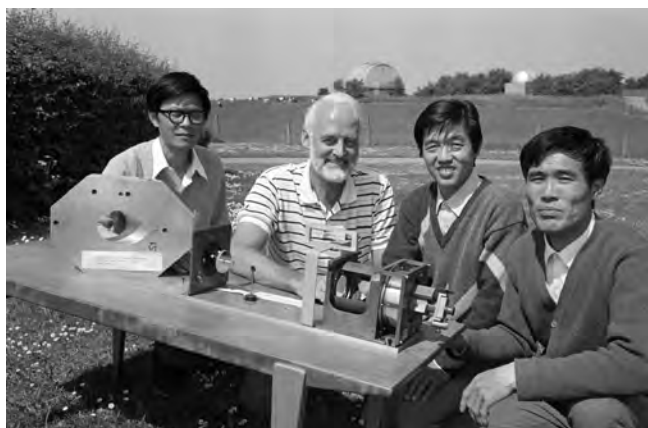


**Figur 14.** Erik Høg med Dr. Hu Ningsheng ved Glasmeridiankredsen under besøget i Brorfelde 1981. Foto: Politiken.

I 1981 besøgte Dr. Hu Ningsheng, direktør for Nanjing Astronomical Instrument Factory (NAIF), Brorfelde, se figur 14. I juni 1982 arrangerede Dr. Hu en workshop på observatoriet i Shaanxi om Glasmeridiankredsen med deltagere fra fem institutter i Kina, hvortil jeg ankom på hjemrejsen fra Japan efter en måneds ophold som gæst ved Tokyo observatoriet. Der installerede man netop en ny meridiankreds med fotoelektrisk mikrometer bygget af Zeiss i Tyskland. Jeg holdt foredrag om ideerne til instrumentet og om

Hipparcos/Tycho-missionen. Man besluttede i samråd at gå videre med instrumentet som et teknisk udviklingsprojekt, idet man ikke kunne garantere, at det ville lykkes.

Fra maj 1984 kom mange gæster fra Kina på længere ophold, hvor de boede i Brorfelde i det hus, jeg selv boede i med min familie i 1973-74. Det var blevet indrettet som gæstehus i 1976. Først kom Dr. Li Zhigang, astronom fra SAO, og kort efter Yao Qingqu, ingeniør fra NAIF. Den første boede der et år og den anden i to år, mens de arbejdede med mig på udvikling af Glasmeridiankredsen. Jeg besøgte Brorfelde som regel en dag om ugen for at arbejde med mine gæster, idet jeg fra juli 1980 havde mit kontor i Observatoriet på Østervold.



**Figur 15.** Dansk kikkert til Kina, Erik Høg med tre kinesiske ingeniører i Brorfelde. Fra venstre: Hu Qiquan, Erik Høg, Li Huanxin og Fang Fusheng. Foto: Lars Hansen, Ritzaus Bureau.

Alt dette blev fulgt tæt af Holbæk Amts Venstreblad og det lokale TV og et par gange af Politiken. Planen var Danish Chinese Meridian Telescope, som skulle udvikles i fællesskab og derefter bygges på fabrikken i Nanjing til opstilling ved observatoriet nær Xian i Shaanxi.

## Mørke udsigter



**Figur 16.** Mørke udsigter. Astronomen i stribet trøje genkendes fra figur 15. Dagens tegning i Politiken den 15. juni 1989.

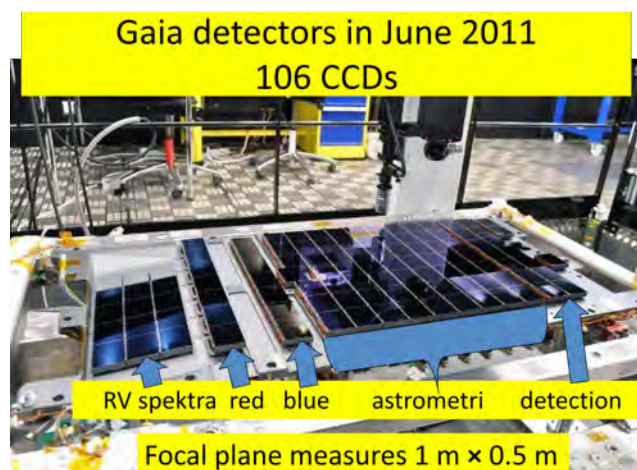
Min kollega lektor Johannes Andersen (1943-2020) fra Brorfelde besøgte i den anledning Kina en uges tid i

april 1986 på vegne af Københavns Observatorium. En delegation på tre VIPer, præsidenten for Shaanxi Videnskabernes Selskab og to fra SAO, besøgte Danmark i 1987, herunder Brorfelde, Østervold og Nordisk Optisk Teleskop, som stod næsten færdig i Helsingør.

I Brorfelde boede i vekslende tidsrum fire ingeniører fra SAO og NAIF med samme formål indtil juni 1989. Xu Xinqi, elektronikingeniør fra NAIF, boede der i henvend tre år fra 1986. I 1989 var tre ingeniører nogle uger i Brorfelde, se figur 15 og 16. Det var samtidig med de voldsomme begivenheder i Beijing. Deres eneste kommentar var: "It is very dangerous", og jeg tror ikke, de havde nogen tanker om demokrati.

Vi var dengang i pressen vidne til en opstand for demokrati i Kina, som kulminerede, da vi den 5. juni så en enlig demonstrant standse en kolonne af fremrykkende tanks på Den Himmelske Freds Plads i Beijing, men derefter blev opstanden slået ned med mange tusind dræbte.

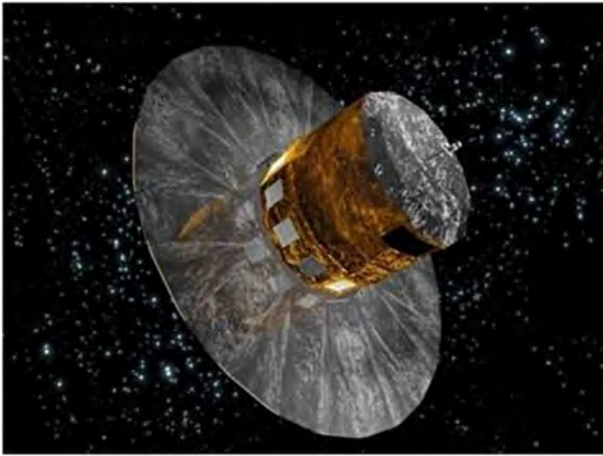
I 1991 besøgte jeg igen Kina, men projektet standse, da Hipparcos-satellitten var blevet en succes og derved havde gjort meridiankredse forældet.



**Figur 17.** De 106 CCDer på Gaia. Stjernerne bevæger sig fra højre mod venstre takket være satellittens langsomme rotation, og der måles samtidigt på tusindvis af stjerner. Det var det største areal med CCDer på nogen videnskabelig satellit ved opsendelsen i 2013. Det er næsten samme slags CCDer som i et digitalt kamera, men her observerer en milliard pixel samtidig, næsten et tusind gange så mange som i et almindeligt kamera. Figur: ESA.

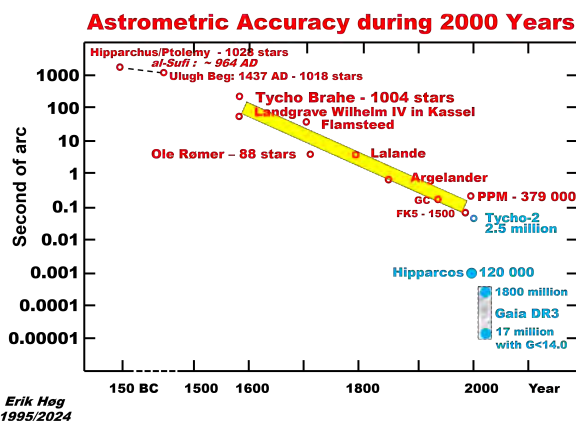
## ESAs Gaia-satellit til astrometri

Mens Hipparcos observerede, var jeg i gang med tanker om en efterfølger, der skulle være meget mere nøjagtig og observere mange flere og meget svagere stjerner. Den ide drøftede jeg især med kolleger i USSR og med min kollega Lennart Lindegren i Lund, og i 1992 var jeg klar over, at CCD, Charge Coupled Device, var den oplagte detektor. Den er ti gange så lysfølsom som detektorerne i Hipparcos, og en enkelt CCD rummer millioner af enkelte sensorer kaldet pixels. Astronomer brugte allerede CCDer, men ikke til astrometri, og der var tvivl om den mekaniske stabilitet til dette formål.



**Figur 18.** Gaia-satellitten blev i 2013 sendt op til en position 1,5 millioner km fra Jorden i retning væk fra Solen. Det store panel med solceller til venstre har ti meter diameter og giver skygge, så direkte lys fra Solen, Månen eller Jorden aldrig rammer teltet med optik og elektronik. Derved holdes temperaturen meget konstant for at sikre den stabilitet, der kræves for at nå den store astrometriske nøjagtighed. Den rektangulære åbning for den ene af de to kikkerter ses sort til højre, de to spejle måler 1.45x0.5 m<sup>2</sup>, 22 gange større areal end i Hipparcos. Figur: ESA.

Ralph Florentin i Brorfelde var en vigtig rådgiver, og af ham lærte jeg på første hånd om CCDens egenskaber, et helt nyt område for mig. I 1992 kunne jeg ved en kongres i Shanghai forelægge et design kaldet Roemer, som kunne måle 500 millioner stjerner med ti gange større nøjagtighed end Hipparcos. Hele udviklingen af Gaia, som den kaldes, er skildret i [3], ganske kort: ESA vedtog missionen i 2000, den (figur 17 og 18) blev opsendt i 2013, og den har nu observeret i over ti år, idet observationerne indstilles 15. januar 2025. Egenbevægelserne bliver således meget nøjagtigere end med de forudsete fem års observationer, og antallet af nye exoplaneter med lange perioder bliver mangedoblet.



Erik Høg  
1995/2024

**Figur 19.** Astrometrisk nøjagtighed gennem 2000 år. Figur: Erik Høg.

## De store spring

Resultater fra Gaia for 1,8 milliarder stjerner fra de første tre års observationer er publiceret på nettet i juni 2022 og har revolutioneret brugen af astrometri i alle grene af astronomien. Gaia har målt spektre for stjernerne, inklusiv i de første tre år mere end en million

kvasarer og andre ekstragalaktiske punktformede objekter, radialhastigheder for 33 millioner stjerner, desuden nøjagtige positioner for 158.000 asteroider og 31 måner til planeter.

Figur 19 viser udviklingen i astrometrisk nøjagtighed gennem over 2000 år. Kort før år 1600 blev nøjagtigheden meget forbedret af landgreve Wilhelm IV i Kassel og af Tycho Brahe i Danmark. De følgende 400 år bragte gradvist endnu større forbedringer, indtil rumteknologien startede en ny æra for astrometri. Med de to ESA-satellitter er der sket to spring i nøjagtighed på tilsammen ti tusind gange - indtil år 2022.

I 2013 åbnede ESA for nye missioner. Jeg sendte et forslag om en efterfølger til Gaia, som blev behandlet af ESA sammen med mange andre forslag. Denne proces og det videnskabelige formål for en efterfølger beskrives i [3], hvor figur 21 fra 2017 viser et design udført af ESA. En international gruppe af forskere arbejder på dette projekt kaldet GaiaNIR, koordineret af David Hobbs, Lund Observatorium. En ny detektor er under udvikling med passende størrelse, hastighed og støj og med følsomhed også i det nære infrarøde ud over CCDens 1000 nm. Hos ESA ventes en ny fase i planlægning af missioner at begynde i 2026, og en opsendelse i 2045 er en mulighed, hvis projektet vedtages.

## Litteratur

- [1] E. Høg, S. Laustsen og J. Otzen Petersen (2024) "Julie Vinter Hansen Event". <https://zenodo.org/records/13744520>.
- [2] E. Høg (2010) "En landmåler i himlen," *Kvant*, bind 21, nr. 3, side 3–8.
- [3] E. Høg (2024) "A review of 70 years with astrometry". Research Memoir. Invited review for Astrophysics and Space Science, 32 sider, kun online: <https://rdcu.be/dzp2o> eller <https://arxiv.org/abs/2402.10996> til download.
- [4] E. Høg (2022) "Om dansk astrometri efter Tycho Brahe", *Kvant*, bind 22, nr. 2, side 32–35.
- [5] J.K.L. Bouchet og M.B. Olsen (2014) "Brorfelde Observatorium åbner som oplevelsescenter," *Kvant*, bind 25, nr. 4, side 14–17.
- [6] E. Høg og C. Fabricius (1988) "Atmospheric and internal refraction in meridian Observations". *Astron. Astrophys.*, bind 196, side 301–312.
- [7] T. Bjørnvig og K. Tybjerg (2010) "Dansk astrometri fra 1950 til i dag: Metoder, mål og midler". Baseret på talrige interviews. <https://zenodo.org/records/14252551>, som vil blive opdateret.



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.