

24. maj 2023

Her følger en udskrift med billeder af en podcast, som Jens Degett lavede med mig den 15. maj 2023 til sine Science Stories. Han skrev kort efter: "Jeg kan sige så meget at der allerede er pæn interesse for din historie. Over 300 lyttere havde hørt den" efter bare en dag kun på SoundCloud.

Med venlig hilsen

Erik Høg

www: <https://nbi-staff.ku.dk/erik-hoeg/>

Astrometriker Erik Høg

<https://www.sciencestories.dk/da/artikler/astrometriker-erik-hoeg>

Måling af stjerners positioner på himlen med stor nøjagtighed kaldes "astrometri". Det går ud på at stjernerne observeres fra Jorden eller en satellit. 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 varmeteorier og atomteori. Astrometrien beskæftiger sig med at kortlægge stjerners position i verdensrummet, og den viden man tilvejebringer er grundlaget for en dybere forståelse af stjerner og planeter på mange niveauer.

Det er en teknik, som er flere tusinde år gammel, og som blandt andet blev anvendt af Tycho Brahe, men nøjagtigheden er siden forbedret helt enormt især ved anvendelse af satellitter.

Professor Emeritus Erik Høg fra Niels Bohr Institutet har i mere end 70 år arbejdet med astrometri, og selv om han har rundet 92 år, er han stadig en af de drivende ildsjæle bag næste store astrometriske mission, som skal sendes afsted i 2045.

Videnskabsjournalist Jens Degett interviewer.

Følg Science Stories på: Apple Podcast, SoundCloud, Spotify, Google Podcasts, Podimo, Twitter og Instagram.

16 sider med 11 figurer

Lydfilen ligger også her, hvor **man kan ændre afspilningshastigheden**:

<http://www.astro.ku.dk/~erik/xx/Erik Høg Interview mp3.mp3>

Jens Degett: En særlig gren inden for rumforskning og astronomi er astrometri. Den bygger på en teknik, som går helt tilbage til Tycho Brahe, og Danmark har spillet en vigtig rolle både herhjemme og internationalt i brugen af astrometri og udvikling af teknikken ved hjælp af rumteleskoper. En af de markante ildsjæle inden for astrometrien er Professor Emeritus Erik Høg fra Niels Bohr Institutet ved Københavns Universitet, som i en alder af 92 er i gang med at organisere det næste store projekt, der skal sendes af sted i 2045.

Erik Høg: du må lige forklare, hvad er astrometri og hvorfor er det så vigtigt?

Erik: Måling af stjerners positioner på himlen med stor nøjagtighed kaldes "astrometri", idet stjernerne observeres fra Jorden eller en satellit som lysende punkter på himlen. Og lad mig sige astrometri har man faktisk kendt i over 2000 år, fordi Hipparchos den gamle græske astronom målte stjerners positioner på himlen, så vi har et kort med 1000 stjerner fra hans tid. De er overleveret, og det var faktisk dem, som Tycho Brahe igen observerede.

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.

For 400 år siden udviklede Tycho Brahe astrometrien i stor stil, men betegnelsen var astronomi. Faktisk bestod astronomi indtil for godt hundrede år siden for største delen af astrometri og anvendelse af positionerne på studiet af stjerners bevægelser og afstande. Tycho Brahe var astrometriker, og målte derfor den nye stjerne i 1572, som blev fejret stort i 2022. Men han var også astrofysiker, idet han fandt dens plads i Universet, den var en fiksstjerne langt ude i den ottende sfære.

Hans observationer af planeter og et tusind stjerner gennem tyve år fik direkte betydning for vores liv i dag, fordi de førte til at Isaac Newton 100 år senere fandt de fysiske naturlove for kræfter og bevægelse. Disse naturlove blev grundlag for videnskaben og for den tekniske revolution.

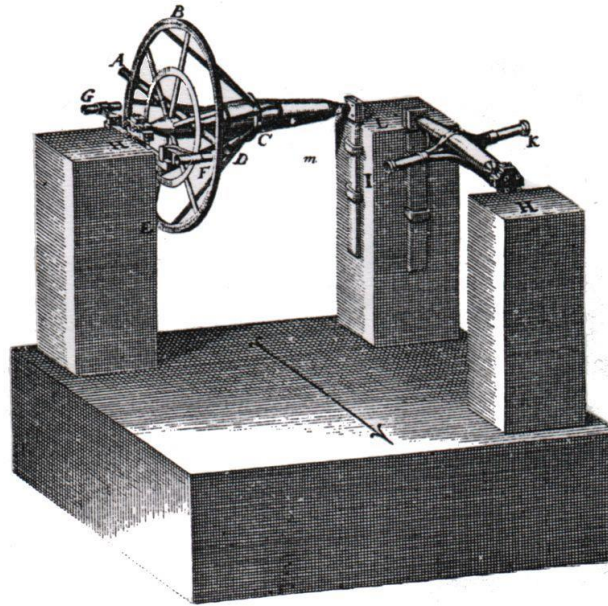
Jens: Men hvordan gik det så med astrometrien efter Tycho Brahe.

Erik: Det første der skete i Danmark, var at Christian den Fjerde byggede Rundetaarn, hvor astronomer ved universitetet observerede med den slags instrumenter, som Tycho havde udviklet på Hven.



Figur 1. Rundetaarn, bygget til Trinitatis Kirke i 1642 som astronomisk tårn, ikke et klokketårn.

100 år efter Tycho Brahe levede Ole Rømer, og han var professor i astronomi i København. Han udviklede nye typer instrumenter til måling af stjerners positioner, fordi han anvendte 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.

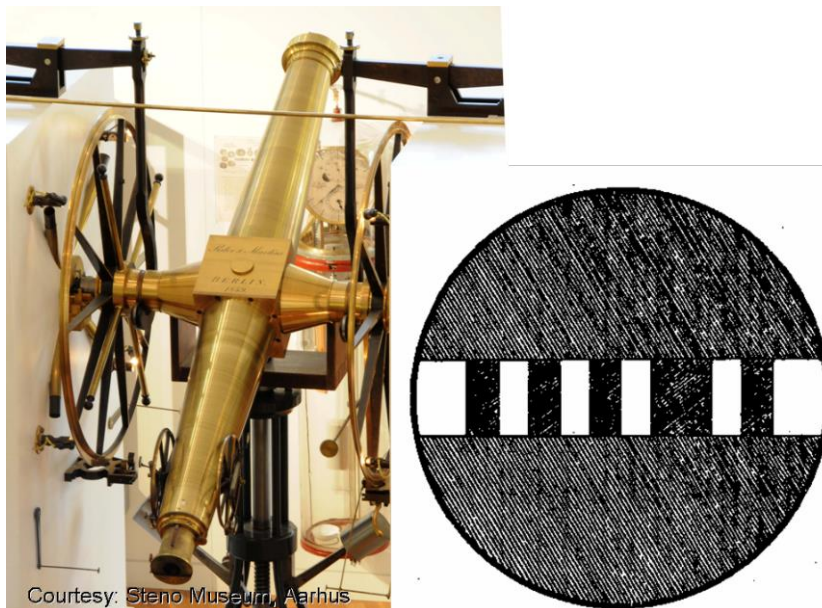


Figur 2. Ole Rømers meridiankreds og jævndøgnsinstrumentet til højre var 1705 opstillet nær Vridsløsemagle 20 km vest for København.

En meridiankreds består af en kikkert, der kun kan drejes om en akse, som ligger øst-vest. Observatøren kan altså kun se en stjerne, når den passerer "meridianen", dvs. nord-syd retningen. Han skal måle det nøjagtige tidspunkt for passagen og kikkertens hældning, og disse to tal omsættes til stjernens position, rektascension og deklination kalder vi dem, der svarer til længde og bredde for et sted på Jorden.

Ole Rømer måtte faktisk stjæle sig tid til astronomien, siger han selv, for kongen gav ham mange opgaver: han var politimester i København, højesteretsdommer, opmålte landets veje, ordnede mål og vægt i landet, og også andre ting.

Jens: Hvad skete der så videre med astrometri på Københavns Universitet?

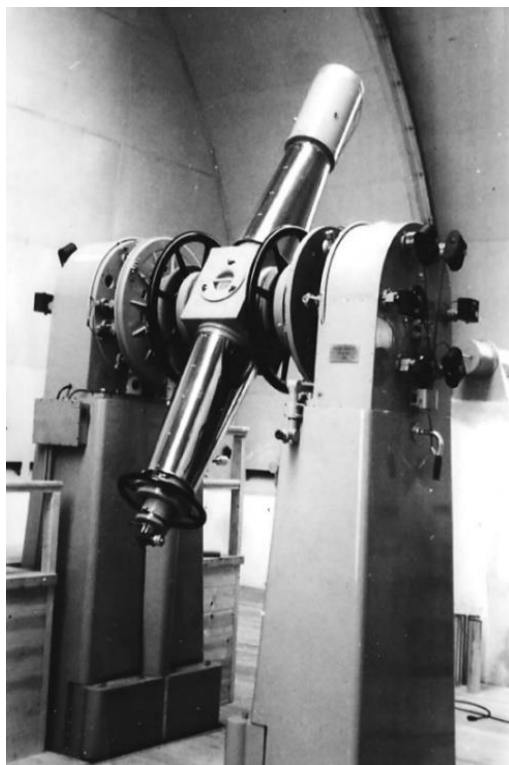


Figur 3. Meridiankredsen i det nye observatorium på Østervold fra 1861, som findes udstillet i Steno Museum, Aarhus. Til højre det system af spalter, som Bengt Strömgren anvendte i 1925.

Erik: I 1861 flyttede observatoriet fra Rundetaarn til en ny bygning på Rosenborg Bastion ved Østervold. I det nye observatorium blev der selvfølgelig også opstillet en meridiankreds, og ved det instrument udførte den meget unge Bengt Strömngren astrometriske målinger, som blev vejvisende for astrometriens udvikling.

I 1925 eksperimenterede han med stjerners passage over spalter i meridiankredsen, han registrerede den elektriske strøm i en fotocelle bag spalterne - det kaldes "fotoelektrisk astrometri". Det var en meget avanceret elektronisk forstærker efter den tids målestok, som denne unge mand på kun 17 år fik bygget til formålet.

Bengt Strömngren blev professor i astronomi. Han blev en af tidens førende astrofysikere, men han vidste at astrometri var vigtig for astronomien. Han bestilte derfor en ny meridiankreds til det nye observatorium, der blev bygget i Brorfelde syd for Holbæk, og der blev den nye meridiankreds opstillet i 1953.



Figur 4. Meridiankredsen i Brorfelde, da jeg som student i august 1954 begyndte at observere med den. Dette instrument og astrometrien fascinerede mig, og ganske ung var jeg, kun lige fyldt 22.

Erik Høg

Jens: Allerede da du var 22 år gammel blev du interesseret i astronomi, og du blev tilknyttet tilknyttet Brorfelde, det danske observatorium, og du begyndte at arbejde med meridiankredsen.

Hvad er en meridiankreds? Hvad var dit arbejde og forskning?

Erik: Lad mig lige sige, min interesse for astronomi stammer fra jeg var barn, da jeg var dreng. Jeg byggede kikkerter fra jeg var 14 år og byggede selv min spejlkikkert, mens jeg gik i skole. Nå, men hvad er en **meridiankreds**, ikke en meridiankreds, men en **meridiankreds**?

Ja, jeg skulle observere med det nye instrument, og jeg blev faktisk fascineret af selve instrumentet og af den vigtige opgave, der ligger i at udføre nøjagtig astrometri. Jeg har allerede forklaret hvad en meridiankreds

er, men lad mig sige det en gang til: En meridiankreds består af en linsekikkert, der kun kan drejes om en akse, som ligger øst-vest. Observatøren kan altså kun se en stjerne, når den passerer "meridianen", dvs. nord-syd retningen. Han skal måle det nøjagtige tidspunkt for passagen og kikkertens hældning, og disse to tal omsættes til stjernens position, som vi kalder rektascension og deklination, der svarer til længde og bredde for et sted på Jorden.

Jens: Hvad skal man så bruge målingerne til?

Erik: Stjerners position på himlen skal astronomerne kende for at kunne sige hvilken stjerne, de har observeret, så andre kan finde den igen på himlen. Stjerner flytter sig på himlen, men så langsomt, at positionerne skal måles meget nøjagtigt for at være nyttige. Stjerner flytter sig, fordi de bevæger sig med en vis hastighed derude, og disse langsomme bevægelser siger os, hvor stjerner bevæger sig hen. Det skal vi bruge for at sige, hvor stjernen befinder sig til enhver tid. Samtidig siger bevægelserne os noget om det stjernesystem, de tilhører.

Lad mig lige sige Tycho Brahe vidste ikke, at stjernerne flytter sig. Så han så stjernerne på samme sted på himlen som Hipparchos gjorde 2000 år tidligere. At stjerner bevæger sig på himlen imellem hinanden, det blev først opdaget omkring 1700.

Stjernerne bevæger sig også, fordi vi på Jorden farer rundt om Solen på et år. Størrelsen af denne kredsbevægelse er mindre jo længere er borte stjernen, og ved at måle den størrelse, kan vi måle stjerners afstande i verdensrummet. Så derfor er astrometri vigtig for alle grene af astronomien.

Jens: Hvordan lærte du om disse ting?

Erik: Jeg lærte ved at høre forelæsninger og ved at læse. Men meget vigtigt var det for mig, at jeg havde nogle fremragende lærere. Det var især Bengt Strømgren og Peter Naur. Peter Naur havde jeg daglig kontakt med i nogle år, da jeg delte kontor med ham på Østervold. Han var kun fire år ældre end jeg, men allerede meget erfaren. Af Peter Naur lærte jeg praktisk elektronik, og jeg fik indblik i computerteknik, hvad kun meget få astronomer havde dengang, og det var lige noget, der lå for mig. Jeg havde jo allerede bygget en spejlkikkert til mig selv, mens jeg gik i skole og observeret variable stjerner med den. Jeg boede dengang ude på landet på Lolland, hvor der ikke var gadebelysning dengang i 1940'erne, så de smukke stjerner lokkede mig virkelig.

Peter Naur forlod astronomien snart efter i 1959, og han blev Danmarks første professor i datalogi ved universitetet med det formål at opbygge et Datalogisk Institut, kendt som DIKU. Peter Naur er eneste dansker, der har modtaget den prestigefyldte Turing pris, som kaldes nobelprisen i computer science.

En tilføjelse her: Da jeg kun 22 år gammel blev sendt til Brorfelde for at observere helt alene, var Peter Naur bekymret for mig. Han sagde ifølge et brev til ledelsen dengang, at det nok var en sikker måde at dræbe interessen for astronomi i et ganske ungt menneske. I grunden havde han ret, men jeg var åbenbart anderledes, jeg blev jo fascineret af instrumentet og astrometrien, selvom jeg var ganske alene derude.

Hamburg

Jens: Du arbejdede i Brorfelde, men i 1958 flyttede du til observatoriet i Hamburg. Hvad var grunden til det?

Erik: Det var Peter Naur, der sagde at jeg skulle en tid til udlandet. Jeg sagde, at jeg ikke var dygtig nok til det endnu, jeg måtte lære noget mere først. Naur svarede, at jeg skulle ud nu, det var jo derude, jeg virkelig kunne lære noget. Det skulle vise sig, at jeg kunne lære noget, men også at jeg kunne lære dem derude noget: det var først og fremmest digitalisering, som dengang var nærmest ukendt. Valget faldt på

Hamburg, hvor det største observatorium i Tyskland lå dengang. Der skulle jeg arbejde med astrofysik, for astrometrien blev dengang betragtet som gammeldags astronomi, fremtiden lå i astrofysik.

Jens: Men du arbejdede ikke kun med astrofysik i Hamburg.

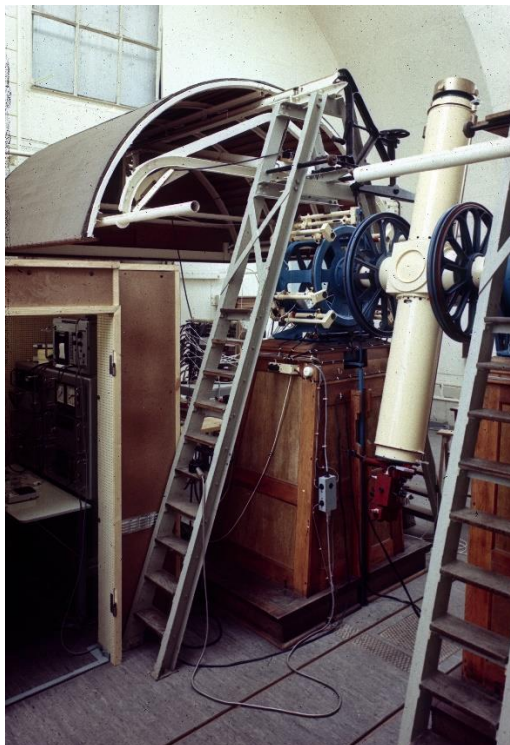
Erik: Jeg arbejdede en tid med et astrofysisk projekt, men så fik jeg en fantastisk god ide om astrometri! Jeg indså i juli 1960, at Bengt Strømgrens ide med spalter i en meridiankreds og fotoelektrisk måling af lyset bag spalterne, når en stjerne passerer dem, kunne realiseres med noget helt nyt. Man skulle tælle lysets fotoner og registrere disse tal på en hulstrimmel. Den skulle så senere behandles i en computer. Det var faktisk digitalisering af en meridiankreds, den først i verden.

Denne ide med spalter og fotontælling til astrometri blev allerede fire år senere taget op i Frankrig, hvor astronomen professor Pierre Lacroute tænkte på at måle med en satellit. Så ville man være over Jordens atmosfære, som forstyrrer nøjagtigheden af astrometriske målinger fra Jordens overflade. Det var en fantastisk god ide, men vanskelig og kostbar, og det kommer vi senere til, det er rumastrometri

Min ide blev straks positivt modtaget, og direktøren i Hamburg professor Otto Hechmann gik ind for ideen. Han skaffede hurtigt den store bevilling, jeg byggede apparaturet, og det tog syv år, meget længere end ventet. Det meste blev bygget af et firma i Berlin, og jeg havde i begyndelsen kun mig selv som elektrotekniker og ingeniør.

Jens: Det må vi høre lidt nærmere.

Erik: Meridiankredsen blev halvautomatisk, en observatør drejede kikkerten i den retning, som assistenten havde angivet ud fra en liste over stjernerne.



Figur 5. Meridiankredsen i Hamburg, der blev opstillet i Australien 1967.

Så kunne stjernen måles, når den passerede meridianen, altså nord-syd retningen. Selve fotontællingen blev registreret på en hulstrimmel, og hulstrimlen blev senere behandlet i computer, det var den danske GIER. GIER var faktisk ti gange hurtigere end den billigste IBM computer, vi kunne købe. Peter Naur havde netop stået for udvikling af det ny programmeringssprog ALGOL, som vi var meget glade for.

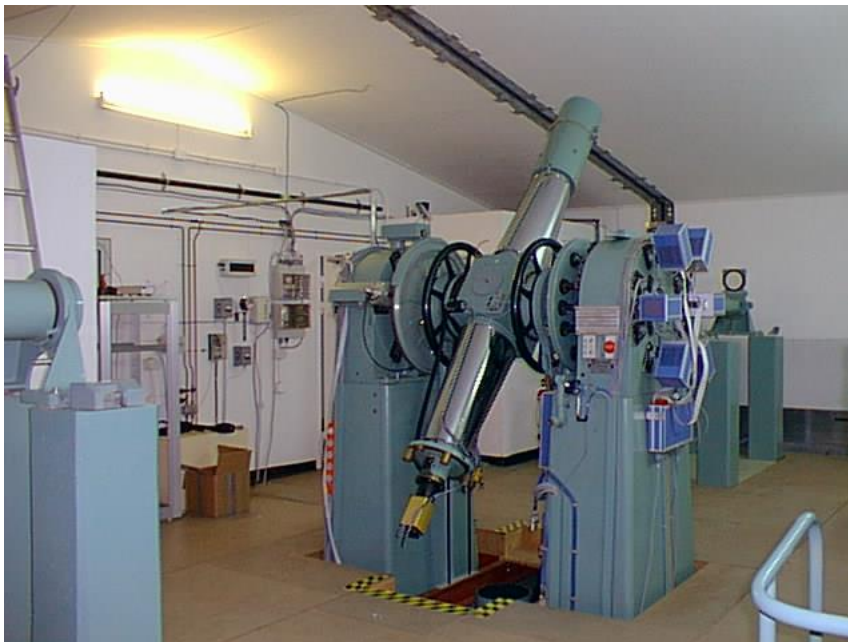
Således blev digitalisering og en computer for første gang indført ved et astrometrisk teleskop. Dette instrument med GIER computeren blev i 1967 sendt til Perth i Vestaustralien, som led i et stort internationalt samarbejde til måling af sydhimlens stjerner. I Perth afløste op til ti observatører hinanden ved teleskop og computer, og de var meget omhyggelige med at holde dette instrument i gang, som egentlig kun var en prototype. De observerede planeterne og 25000 stjerner i fem år med hidtil uset nøjagtighed.

Tilbage til Brorfelde

Jens: Men du flyttede fra Hamburg efter 15 år. Det var jo ellers gået godt, så hvorfor?

Erik: I Hamburg var ledelsen efterhånden helt indstillet på at indskrænke astrometri, for astrofysik var fremtiden. Men heldigvis havde de brug for mig i Brorfelde og jeg fik en stilling, selvom der ellers var stop for stillinger ved universitetet.

I 1973 blev jeg "hentet hjem" og meridiankredsen i Brorfelde blev udrustet med spalter og fotontælling, takket være den meget kompetente stab til mekanik, elektronik og astrometri. Astronomerne Leif Helmer og Claus Fabricius stod i spidsen, to ildsjæle. De knyttede en computer direkte til instrumentet, både til at dreje kikkerten i stilling, til at registrere fotonerne fra stjernen og til alle beregningerne.



Figur 6. Den automatiske meridiankreds på La Palma fra 1984 efter udvikling i Brorfelde.

I et samarbejde med Royal Greenwich Observatory i England blev det topmoderne udstyr flyttet til en bjergtop på La Palma i de Kanariske Øer, hvor det kom i drift i foråret 1984, altid med en operatør til stede, og man kunne få 100 000 observationer om året med hidtil uhørt nøjagtighed i de mange klare nætter på stedet. Fra 1997 var observationerne fuldt automatiseret, idet selve indstillingen af kikkerten blev drevet af en motor, og fjernstyring skete fra Brorfelde eller England.

Men meridiankredsens tid som det fundamentale astrometriske instrument var forbi med Hipparcos satellitten, som vi snart kommer til. Først skal vi dog snakke om et vigtigt møde, jeg havde i 1973 med en meget ung svensk astronom.

Jens: Vi har hørt om tre meridiankredse i København, Brorfelde og Hamborg, som fik særlig betydning for astrometriens udvikling. Hvornår kommer vi til den fjerde, som du har snakket om?

Erik: Den fjerde meridiankreds, der blev vigtig, ja afgørende for astrometriens udvikling stod i Lund Observatorium i Sverige. En ung student, Lennart Lindegren kun 23 år i 1973, blev inspireret af det hundred år gamle instrument, som ingen brugte, men som fascinerede ham fra det første øjeblik han så det, sådan skriver Lennart (på engelsk) i sin selvbiografi fra 2022.



Figur 7. Meridiankredsen i Lund Observatorium med Lennart Lindegren og mig i 2023. Astrometrien og dette instrument fascinerede den meget unge Lennart i 1973, ganske som det var sket for mig i Brorfelde 20 år tidligere, da jeg var i samme alder.

Han fortæller videre, at han arbejdede med instrumentet, og ønskede at arbejde med astrometri til sin PhD. Det var meget usædvanligt på den tid i 1970erne, da optisk astrometri blev betragtet som gammeldags. På dette punkt kunne hans "karriere let have taget en anden retning, hvis det ikke havde været for et usandsynligt sammenfald i tid og sted", skriver han videre, idet "Erik Høg netop var vendt hjem til Danmark efter 15 år ved Hamburg Observatorium". Vi mødtes i efteråret 1973, og jeg blev Lennarts "de facto PhD vejleder, kollega og ven". Jeg gav ham observationerne af planeter fra meridiankredsen i Australien, og han lavede en brillant analyse.

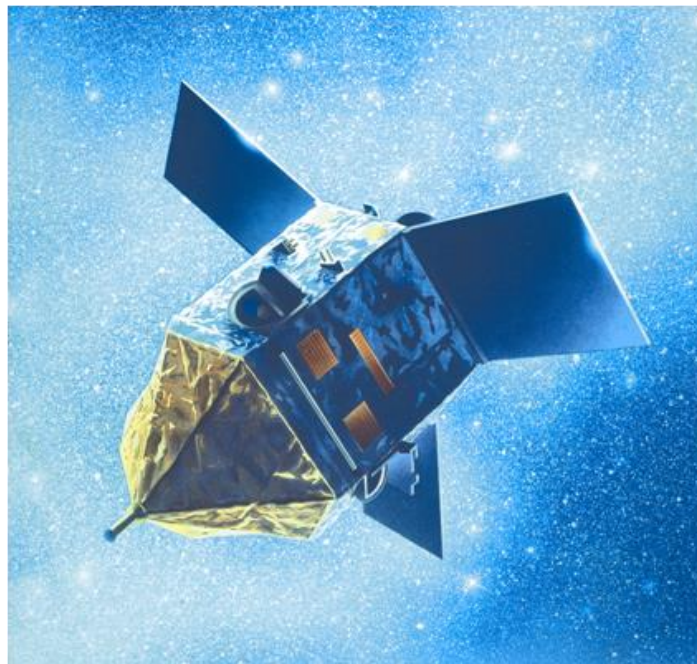
I 1976 havde jeg indset, at målingerne med mit design af en astrometrisk satellit ville føre til et system af 10 millioner ligninger med en halv million ubekendte, som syntes umulige at løse med den tids computere. Jeg fortalte Lennart om problemet, og fire uger senere sendte han mig en beskrivelse af en metode med alle matematiske formler. Denne metode brugte vi faktisk, da Hipparcos observerede, og det blev den største samlede datareduktion i astronomiens historie indtil da. Alle data om stjernerne og instrumentet skulle jo behandles som en samlet enhed. Som Lennart begyndte med astrometri i 1973, er han fortsat, han er stadig den centrale person i Gaia missionen, og beskedenheden selv. Uden Lennart Lindegrens matematiske evner og ubegrænsede arbejdslyst ville astrometriens utrolige fornyelse ikke være sket så hurtigt – og måske slet ikke.

Jens: Hvordan stod det til med udvikling af astrometri i resten af verden, altså uden for Europa?

Erik: Der var interesse for astrometri mange steder, men den gik først i retning af rumastrometri efter at Hipparcos var vedtaget af ESA i 1980. Så fulgte projekter om noget lignende i de følgende år i USA, USSR og Japan, men ingen af dem er blevet til virkelighed.

Man må sige, at i 1973 var grundlaget til stede for rumastrometrien. De fire meridiankredse havde spillet vigtige roller, Pierre Lacroute med støtte i Frankrig havde den store vision om en astrometrisk satellit, og der var stadigvæk mange astronomer i Europa, der gik ind for astrometri, og som faktisk bar projektet igennem. Det var ESA, European Space Agency, der samlede kræfterne, båret af 22 lande i Vesteuropa.

Hipparcos 1989 – Gaia 2013.



Figur 8. Den første astrometriske satellit, ESAs Hipparcos, som observerede i årene 1989-93.

Jens: Hipparcos blev sendt i bane af ESA i 1989 og Gaia i 2013. Hvad var din rolle i at få projekterne op at stå?

Erik: Skal det siges ganske kort: jeg lavede de første realistiske design i 1975 af Hipparcos og i 1992 af Gaia. Så arbejdede jeg sammen med mange mennesker på udviklingen og på at beskrive det forventede videnskabelige udbytte. Det blev for mit eget vedkommende til 25 års arbejde med Hipparcos og

15 år med Gaia. Efter min pensionering for tyve år siden har jeg skrevet mange artikler og holdt foredrag om denne historiske udvikling af astrometrien.

Jens: ... lad os først høre om Hipparcos, den første astrometriske satellit. Jeg har hørt, at du egentlig slet ikke troede på ideen om rumastrometri. Hvordan skal det forstås?

Erik: Jeg kunne selvfølgelig godt se, at atmosfæren ikke ville forstyrre målinger fra en satellit, men de forskellige design af instrumentet, som Pierre Lacroute havde foreslået, siden han begyndte i 1964, de var ganske urealistiske. Lacroute havde en stor vision om rumastrometri, og han fik jo ret til sidst, men hans design var ikke gode. Det var klart ud fra mine erfaringer med den slags.

Desuden havde jeg helt andre visioner for astrometriens udvikling, som ville give lige så gode resultater, som Lacroute havde skrevet om. Der var automatiseringen, som faktisk blev en realitet med meridiankredsen på La Palma, og så havde jeg ideer om en helt ny type meridiankreds, som jeg kaldte en Glasmeridiankreds. Disse ideer var kinesiske astronomer meget interesseret i, og vi havde op gennem 1980'erne et intenst samarbejde om udvikling af Glasmeridiankredsen. Jeg var i Kina mange gange, og jeg havde kinesiske medarbejdere boende i Brorfelde i nogle år – men det er en anden historie.

Jens: Hvordan kom du så på bedre tanker om en satellit til astrometri?

Erik: Det skete, fordi jeg blev inviteret til at deltage i en lille studiegruppe hos ESA. Ved det første møde i oktober 1975 spurgte jeg lederen, hvad for et af Lacroutes to forslag vi skulle se nærmere på. Han svarede, at vi bare skulle glemme de eksisterende forslag og kun tænke på, hvordan vi kunne udnytte rumteknologien til vores videnskab.

Det gjorde en enorm forskel for mig, nu kunne jeg tænke frit. Jeg havde ganske vist aldrig interesseret mig for rumteknologi, men nu blev jeg pludselig begejstret for tanken. På seks uger kunne jeg designe en skanderende satellit, der var 100 gange så effektiv som Lacroutes forslag og samtidig mindre og enklere at fremstille. Den skulle måle 100 000 stjerner med større nøjagtighed end Lacroutes satellit. Samtaler med vores ingeniør i Brorfelde og et besøg hos ESA i Holland var vigtige for mig.

Lad os springe tekniske detaljer over og bare sige, at forslaget blev meget godt modtaget overalt. Jeg kaldte straks satellitten TYCHO, men det blev senere ændret til Hipparcos, efter den store græske astronom Hipparchos, som blev født 190 fvt. Det var et godt navn, men TYCHO var da også godt.

Jens: Mon du brugte din ide med tælling af fotonerne?

Erik: Ja, teknikken med fotontælling blev anvendt i Hipparcos, som var den første satellit til astrometri. Den blev vedtaget af ESA, European Space Agency, i 1980 i stærk konkurrence med astrofysiske projekter, og den blev opsendt i august 1989. Satellitten drejede sig en gang om sin akse på et par timer og målte samtidigt stjerner i to retninger på himlen. Drejningen var nøje programmeret, så hele himlen blev "scannet" mange gange systematisk i de tre år, observationerne varede.

Hipparcos observerede faktisk 120 000 udvalgte stjerner en efter en, og det gav større astrometrisk nøjagtighed end nogensinde før. Samtidig målte Hipparcos de 2,5 millioner lysstærke stjerner på himlen i det såkaldte Tycho eksperiment. Det foreslog jeg i 1981, altså efter at missionen var vedtaget og design dermed egentlig lagt fast, så det krævede en ekstra bevilling. Nu blev navnet Tycho til min store glæde straks accepteret.

Tycho var ganske vist knap så nøjagtig som selve Hipparcos, men alligevel bedre end det kunne gøres fra Jordens overflade, og resultaterne har været meget anvendt til styring og navigation af satellitter og kikkerter

på Jorden siden de blev offentliggjort i 2000. Hipparcos målte altså faktisk 25 gange så mange stjerner, som det var forudset ved vedtagelsen i 1980.

Jens: Det er da godt at høre, men I stoppede jo ikke ved Hipparcos. Hvordan begyndte Gaia projektet?

Erik: Jeg glemte at fortælle om den totale fiasko, vi stod overfor efter opsendelsen i august 1989. Jeg oplevede opsendelsen på nærmeste hold, kun få kilometer fra raketten. Det så først ud til at gå godt, men dagen efter skulle den elliptiske bane gøres cirkulær, så Hipparcos kunne ende i en geostationær bane stående hele tiden over det samme sted af ækvator i en afstand af 36000 km fra Jorden. Men den indbyggede raket tændte ikke, så Hipparcos blev hængende i den aflange bane. Det var en katastrofe, så jeg var dagens gæst i begge fjernsynskanaler, da jeg kom hjem fra Sydamerika. For en katastrofe er jo godt stof for pressen.

Det lykkedes dog for ingeniørerne at ændre banen lidt, og vi fik faktisk alle de observationer, vi havde håbet på, ja faktisk mange flere end vi havde ventet. Hipparcos/Tycho blev en komplet succes.

Jens: Sikke et eventyr! Men nu må vi høre, hvordan Gaia begyndte.

Erik: Det begyndte allerede i 1990 kort efter at Hipparcos var sendt op, altså på et tidspunkt, da alle i Hipparcos havde fuldt op at gøre med at hente data fra satellitten og behandle disse enorme datamængder i computere rundt om i Europa. Flere hundred astronomer og teknikere i fire konsortier havde fordelt opgaverne mellem sig, og det hele blev centralt ledet af et "Hipparcos Science Team" som mødtes regelmæssigt. Dette Science Team havde en halv snes medlemmer, hvor Lennart og jeg var med.

Jeg var i 1990 gæst i det store Pulkova Observatorium nær Leningrad, som byen hed dengang. Jeg skulle selvfølgelig fortælle mine kolleger om Hipparcos, som de var meget interesseret i. Men de havde også inviteret mig på en længere rejse i 14 dage, først til rumcenteret ved Moskva, hvor man styrer også de bemandede missioner. Derefter til deres observatorium Kislovodsk i Kaukasus bjergene. Det var en spændende rejse med kolleger, som jeg kom til at holde meget af, og vi havde meget at tale om.

Russerne havde faktisk hele tre projekter for efterfølgere til Hipparcos, som jeg allerede havde læst om. Jeg prøvede under rejsen nærmere at forstå det ene af disse projekter, som mine tre ledsagere var med i. Det gik sådan, at jeg ikke rigtig kunne forstå, hvordan det virkede, og efter en dags samtaler opdagede jeg, at jeg var mere optaget af at designe en forbedret Hipparcos.

Jens: Havde du virkelig tid til det, når du jo havde ledelsen af arbejde med både Hipparcos og Tycho?

Erik: Jamen, jeg kunne jo ikke lade de tanker ligge. Lad mig fortælle om den første nat på observatoriet i Kaukasus. Om dagen havde vi set hele observatoriet, og vi spiste hyggeligt sammen med personalet, russere er jo festlige mennesker. Om natten vågnede jeg og tænkte på mine ideer om en bedre Hipparcos. Jeg satte mig ved bordet for at tegne noget ved instrumentet, som jeg altid gør. Da jeg havde siddet lidt med det, bankede det på ruden udefra. Det var Mark Chubey, leder af gruppen, som bekymret spurgte om jeg var syg. Det var jeg jo ikke, så kom han med en bedre lampe til mig, og jeg fortsatte lidt endnu.

Næste dag var det klart vejr, og vi kunne i det fjerne se Mount Elbrus, Europas højeste bjerg. En meget smuk udslukt vulkan med to sneklædte toppe.

Jens: Hvordan fortsatte I samarbejdet?

Erik: I de følgende dage blev vi enige om at fortsætte vores samarbejde. Og det lykkedes virkelig. I de følgende to år mødtes vi skiftevis i USSR, Danmark og Sverige, for jeg fik Lennart med i denne proces.

Ved hvert møde kunne jeg fortælle om mit og Lennarts projekt, der hver gang var blevet 10 gange bedre, og russerne fortalte om deres ideer.

Ved et møde i København i august 1991 oplevede vi sammen med russerne kuppet i Moskva mod Gorbatsjov, som blev slået ned efter kun tre dage. Snart efter blev en af russerne, Valeri Makarov fra Pulkova min medarbejder i København, hvor han og Claus Fabricius arbejdede sammen i syv år på Tycho data reduktionen.

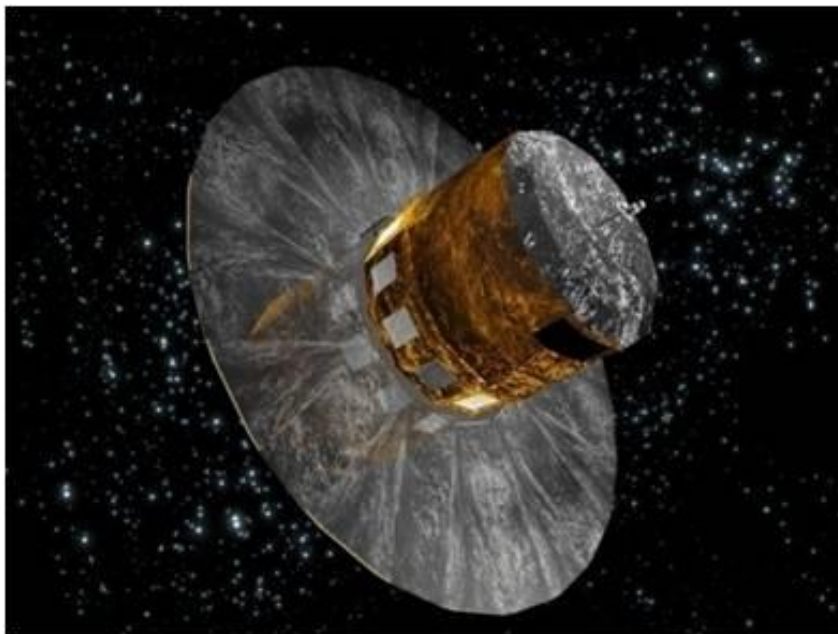
I 1992 foreslog jeg en satellit med en ny type detektor, en CCD (Charge Coupled Device), som er den slags detektor, der sidder i ethvert moderne kamera. Den hidtil anvendte detektor til fotontælling kunne faktisk kun måle en eneste stjerne ad gangen, mens detektering med mange CCDer betød, at tusinder af stjerner kunne observeres samtidigt og meget nøjagtigere. Nu var satellitten 100 000 gang så effektiv som Hipparcos med omtrent samme størrelse teleskop. Ved et symposium i Shanghai samme år vakte det stor interesse.

Jens: Så det var begyndelsen, men hvordan blev det til selve Gaia?

Erik: Efter hvert af møderne med russerne havde jeg ganske kort fortalt om fremskridt med en ny mission, når vi mødtes i Hipparcos Science Team, men der var absolut ingen interesse. Alle var jo optaget af dataene fra Hipparcos i den forkerte bane, ikke af planer om en ny mission.

Det slog fuldstændig om, da de så forslaget om at bruge CCDer, som jeg kaldte ROEMER. Det gjorde indtryk, og vi mødtes nogle stykker i København i marts 1993. Vi skrev et forslag til ESA om ROEMER under ledelse af Lennart. Det blev godt modtaget i konkurrence med andre forslag til nye missioner, endda som det videnskabeligt bedste. Men med den tilføjelse, at det var for tidligt efter Hipparcos, og at det skulle være ti gange så nøjagtigt. Det burde være en såkaldt Hjørnestens Mission.

Jens: Jamen så sluttede jo det eventyr? Hvornår kommer vi til Gaia?



Figur 9. Gaia satellitten, der blev skudt op i 2013.

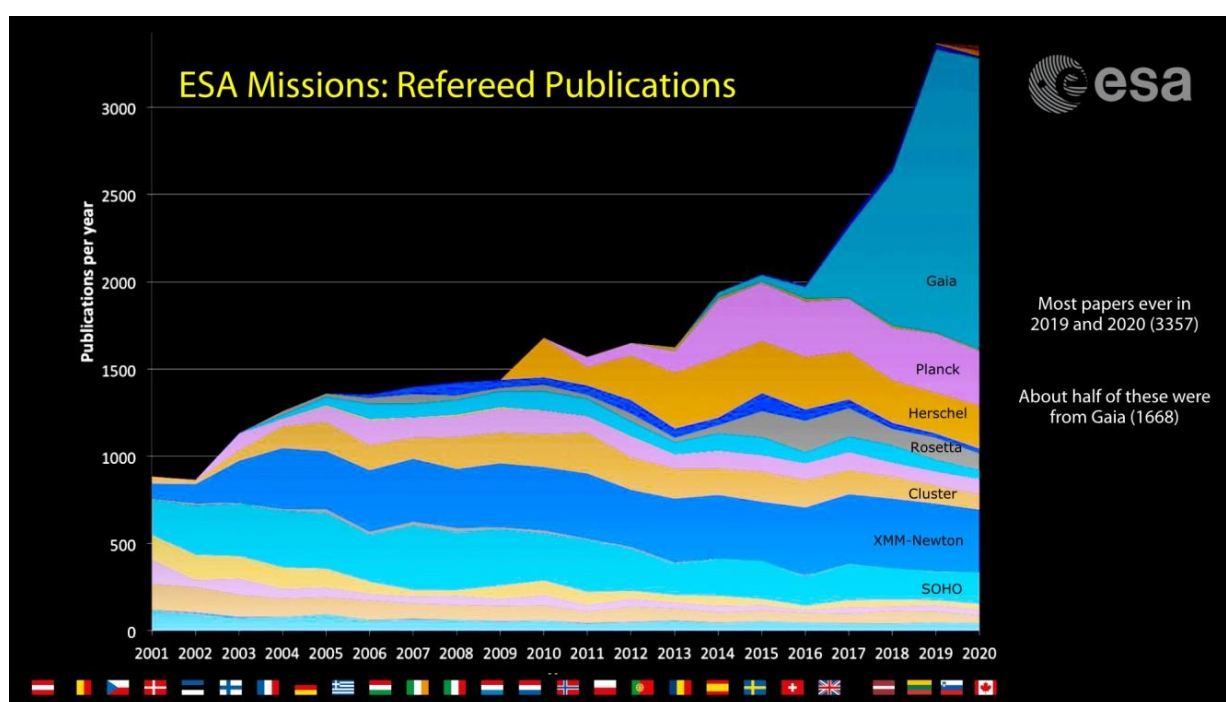
Erik: I oktober 1993 foreslog Lennart Lindegren og Michael Perryman, som var leder af Science Team, til ESA at studere "en stor Roemer mission og en interferometrisk mission" som Hjørnestens Mission. Den sidste version kaldte de GAIA, hvor det store bogstav I står for interferometri. Det var meget klogt, fordi den slags teknik var noget man drømte om dengang, og faktisk blev vi alle, også jeg, begejstret for ideen og arbejdede på den.

Men allerede i januar 1998 blev det klart, da industrien havde set på det, at interferometri var en rigtig dårlig ide til astrometri. Vi vendte tilbage til Roemer designet, men beholdt navnet GAIA, som dog blev ændret til Gaia nogle år senere. Så Gaia er faktisk en stor Roemer mission.

Ganske kort nu: Det blev til ESAs anden astrometriske satellit Gaia, som kom i bane i 2013 og skal måle i mindst ti år. Den har indtil 2022 alene ud fra de første tre års observationer leveret positioner og nøjagtige lysstyrker for næsten to milliarder stjerner, og samtidig fx radialhastigheder for 33 millioner stjerner.

Hvad er resultaterne?

Jens: Hvad er resultaterne? Hvad kan de resultater bruges til?



Figur 10. Publikationer fra ESAs missioner gennem årene 2001-20. Gaia har i 2019 og 2020 givet lige så mange videnskabelige publikationer om året som alle andre ESA-missioner tilsammen.

Erik: Nøjagtighed er supervigtig i astrometri. Fremskridtet kan kort beskrives sådan: 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 100 gange mindre fejl, og Gaia yderligere næsten 100 gange mindre.

De astrometriske resultater fra Hipparcos og Gaia overgår langt de forventninger om nøjagtighed og antal stjerner, vi havde ved missionernes vedtagelse. Tilsvarende gælder for de videnskabelige resultater, Opsendelsen af videnskabelige missioner stiller særlige krav til industrien, som bidrager med udviklingen af ny teknologi, der også kan finde mere dagligdags anvendelse, og alle medvirkende bliver dygtigere gennem arbejdet med disse krævende opgaver.

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

Jens: Du må altså nævne nogle eksempler.

Erik: Her er nogle anvendelser i forskellige grene af astronomien, men du må bare stoppe mig hvis det bliver for meget:

1. Positionerne er så nøjagtige, at man kan rette kikkerten mod stjernen og være sikker på, at lyset rammer spalten i spektrografen uden en yderligere kontrol, som tidligere var nødvendig.

2. Et helt ny forskningsområde er blevet skabt. Man kan studere Plutos atmosfære med teleskoper fra Jorden, altså uden at sende nogen rumsonde derud. Man observerer, hvordan en stjernes lys svækkes, når det går gennem Plutos atmosfære. Det er blevet muligt, fordi man med de nøjagtige positioner kan beregne de steder på Jorden, hvor det kan ses, og hvornår dette sker. Amatørastronomer kører gerne ud til stedet og med deres små kikkerter registrerer de lyskurven, som så analyseres af astronomer i Paris. Man har på denne måde observeret asteroider og derved opdaget, at en af dem har et ringsystem.

3. Stjernernes bevægelse på himlen måles så nøjagtigt, at man kan studere bevægelserne selv i de fjerneste dele af vores Mælkevejssystem og i de nærmeste andre galakser. Man studerer således vores galakses struktur og udvikling. Man har opdaget, at nogle stjerner i vores galakse stammer fra andre galakser, der har mødt hinanden for millioner af år siden.

Jens: Hvad med exoplaneter? Tanken om liv på fjerne planeter om andre stjerner er jo spændende.

Erik:

4. Exoplaneter, altså planeter der kredser om en anden stjerne end vores sol, er blevet til en stor ny videnskab, siden den første exoplanet blev opdaget i 1995. Nu kender man over 5000 af slagsen, opdaget med forskellige metoder fra Jorden eller fra satellitter, men med disse metoder finder man kun planeter med ret korte omløbstider op til ca. to år, kun en snes stykker har længere.

Man må dog også have fat på planeter med de lange omløbstider for at forstå systemerne og deres udvikling. Vores egen Jupiter har en omløbstid på 12 år og Jupiter har stor betydning for systemets hele udvikling, hvor der flyttes rundt på de planeter, der er i systemet til at begynde med. Vi ved, at man vil finde mange tusind systemer ved hjælp af astrometri, når man har resultaterne fra ti års observationer med Gaia.

Udviklingen af systemerne kan føre til, at der kommer små og måske beboelige planeter på rette plads. På den måde kan astrometrien lære os noget om, hvor hyppigt der findes planeter derude med mulighed for liv.

5. Afstande til stjerner kendes fra Gaia gennem observation af parallakser. En stjerne går rundt i en lille kreds på himlen på et år, fordi Jorden går rundt om Solen. Størrelsen af denne kreds kaldes parallaksen. Alene fra observationer i de første 34 måneder har man fået afstande for 98 millioner stjerner med 10 % nøjagtighed og for 6 millioner med 1 %. Det er et enormt fremskridt for astrofysiske undersøgelser, når man sammenligner med, at man for 25 år siden kun kendte 940 afstande med en nøjagtighed på 10 % eller bedre, og Hipparcos gav os godt 20 000 med denne nøjagtighed ved publikationen i 1997.

Nyt stort projekt

Jens: I maj 2013 så du et nyt opslag fra ESA hvor man bad om forslag til nye store projekter.

Erik: Ja, en kollega sendte mig det opslag. Der var ganske vist kun fjorten dage til forslag skulle være indsendt. Men jeg vidste straks, hvad det skulle være. Det skulle være en efterfølger til Gaia, og jeg nåede at sende det ind til ESA.

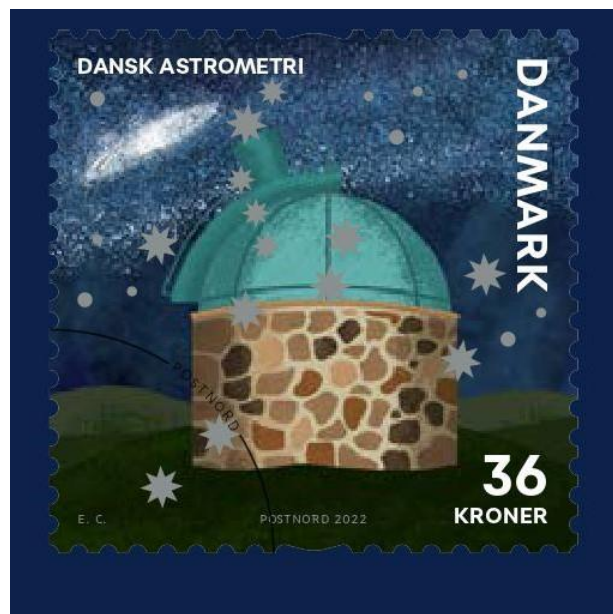
Der er gode udsigter for fremtiden, der arbejdes på en efterfølger til Gaia med opsendelse omkring 2045. I 2013 begyndte jeg straks at skrive om de mange videnskabelige gevinster gennem en udveksling af mail med

mange kolleger. Forslaget er siden blevet studeret med støtte fra ESA. Arbejdet på en ny mission ledes siden 2016 af David Hobbs, der er med i Gaia konsortiet, og som er Lennarts kollega i Lund. Der udvikles en ny detektor, der skal være mere følsom for infrarødt lys, så man kan nå rødere stjerner og stjerner inde i Mælkevejens støvskyer. Det skulle så blive til i alt 12 milliarder stjerner. De fleste af Gaias stjerner bliver observeret igen, og de to positioner med over 20 år imellem vil give os meget nøjagtigere bevægelser.

Planer for fremtiden

Jens: Hvad er dine planer for fremtiden.

Erik: Jeg vil gerne gøre nytte og gøre andre mennesker glade – så bliver jeg jo selv glad. Det drejer sig om nytte for astronomien, og for mine nærmeste. Det er blevet sagt om mig, at jeg jo engang ville være astrofysiker, men ved at vende tilbage og revolutionere astrometrien har jeg gjort mere for astrofysikken, end jeg nogen sinde kunne have gjort som astrofysiker.



Figur 11. Frimærke for DANSK ASTROMETRI. Fem frimærker om astronomi udkom i 450-året for Tycho Brahes nye stjerne i 1572.

Jeg er meget glad for at danske astronomer har været med til at forny astrometrien i de sidste 100 år – vi har jo også Tycho Brahe og Ole Rømer at leve op til, men nu skal jeg da ikke gå hen og blive højtidelig. De danske bidrag er påskønnet ved et frimærke for DANSK ASTROMETRI. PostNord udgav fem frimærker om astronomi og rumfart i 450-året for Tychos nye stjerne i 1572. Jeg tror der også vil være dansk deltagelse i en kommende Gaia efterfølger.

Jens: Hvor stort projekt er det at kortlægge hele vores egen galakse, Mælkevejen?

Erik: Det har vi faktisk allerede gjort med Gaia, ganske vist ikke alle stjerner i Mælkevejen, men de lysstærkeste stjerner kan vi måle ude i de fjerneste egne.

Jens: Hvad med stjerner i andre galakser. Hvor svært er det at kortlægge dem?

Erik: Det gør vi faktisk også allerede med Gaia for mange af de nærmeste galakser.

Jens: Vil man stadig om 100 år bruge astrometri til at kortlægge verdensrummet?

Erik: Ja, det er nødvendigt for astronomisk forskning, så hvis sådan noget findes om 100 år...

Jens: Erik, du er vant til astronomiske perspektiver. Hvad tænker du om fremtiden?

Erik: Meget er jo usikkert, når man ser fremad, men mon ikke menneskene kan samarbejde i nogenlunde fred, som vi dog har nu i nogle dele af Verden? Så det går nok. Lad os se på fremtiden, som Martin Luther gjorde. Han sagde: **Selv hvis jeg vidste, at Verden skulle gå under i morgen, ville jeg plante et træ i dag.**

Credit for figurer:

1. Rundetaarn 2. Det Kgl. Bibliotek 3. Steno Museet 4. Erik Høg 5. Archive of Hamburg Observatory 6. Dafydd Wyn Evans 7. Lennart Lindegren 8. ESA 9. ESA 10. ESA 11. PostNord
