

Landgreven i Kassel og Tycho Brahe på Hven

Af Erik Høg, Niels Bohr Institutet

Tycho Brahe var kendt som sin tids største astronom og hans observationer fik afgørende betydning for videnskabens udvikling. Men han må dele æren for astronomiens fornyelse med Landgreve Wilhelm IV i Kassel, hvad der først for nylig er blevet fuldt erkendt. Omkring 1566 opnåede Wilhelm meget bedre nøjagtighed for stjerners positioner end alle tidligere astronomer, og tyve år senere målte man i Kassel med en nøjagtighed på ét bueminut, hvad Tycho Brahe nåede næsten samtidig. Vi skal følge denne udvikling og den gensidige læreproces mellem Kassel og Hven – som ikke var uden dramatik.

1500-tallet – Hven og Kassel

Vi kan takke Luther, Kopernikus og Tycho Brahe for tre store tanker. Martin Luther sagde, at mennesker skal læse Guds egne ord i Bibelen, de skal ikke kun høre, hvad Paven siger på latin. De reformer, der fulgte, blev meget omfattende. En følge var, at en stor del af det gods og den rigdom, som kirker og klostre havde samlet, tilfaldt konger og fyrster i de reformerte lande, i Danmark blev krongodset derved tredoblet. Tiende skulle stadig opkræves, men en trediedel heraf gik nu til kongens kasse i stedet for til bispernes. En anden følge var, at videnskaben friere kunne søge at finde Guds plan for verden gennem studium og måling af naturen. Tanken om *den almægtige Gud som verdens arkitekt* (se figur 1) var modnet gennem århundreder i det kristne Europa.

Stadig i første halvdel af 1500-tallet sagde Nikolaus Kopernikus, at Jorden ikke er verdens centrum, men at Jorden og alle planeterne kredser om Solen – det vender vi tilbage til.



Figur 1. Gud som verdens arkitekt. Fra middelalderbibel, Codex Vindobonensis, ca. 1250.

I århundredets sidste halvdel opdagede Tycho Brahe, at selve verdensrummet slet ikke er indrettet, som den store filosof Aristoteles havde tænkt sig til for næsten to tusind år siden. Det indså Tycho Brahe efter nøjagtig måling af positioner for den nye stjerne, der viste sig 1572 i stjernebilledet Kassiopeia. Ved at måle stjernens position i nogen tid kunne han bevise, at stjernen var længere borte end Månen. Men derude blandt vandrestjernerne, planeterne, lærte Aristoteles jo, at der kun er planeter. Så måtte den være helt ude

blandt fiksstjernerne, men der var alt jo uforanderligt. Tycho Brahe drog den slutning, at det var en helt ny fiksstjerne, og at det derfor var “det største mirakel siden verdens skabelse.” Undersøgelsen af “stella nova” og bogen derom fra 1573 gjorde den 27-årige Tycho Brahe berømt i hele Europa.

Denne artikel skal følge Tycho Brahes arbejde på Hven og det tilsvarende arbejde i Kassel, hvor Wilhelm IV, Landgreve af Hessen-Kassel, allerede fra 1560 var begyndt at måle stjerners positioner meget nøjagtigt. De nye instrumenter som blev designet og bygget de to steder var meget forskellige, store instrumenter af træ og jern på Hven overfor næsten lige så store instrumenter i Kassel, men i metal og finere mekanisk udførelse. Det viste sig, at finmekanikken i Kassel var nøjagtig, og det var vejen frem. Samspillet mellem Hven og Kassel kan følges gennem den megen litteratur der nu findes.

I artiklen gennemgås astronomiens udvikling gennem oldtid og middelalder som baggrund for forståelsen af det, der skete i Europa i 1500-tallet gennem design og konstruktion af nye astronomiske instrumenter og nye metoder til observation og beregninger. Målefejlen på positioner blev bragt ned, som det fremgår af de nyeste undersøgelser af de gamle stjerne kataloger, idet man nu kan projicere de moderne positioner tilbage i tiden med overlegen nøjagtighed.

Hovedsagen i denne fremstilling skal være Tychos instrumenter til observation af stjerner og planeter og en sammenligning med arbejdet i Kassel, så derfor vil jeg ikke gå meget ind på Tychos politiske opgaver, observationer af kometer, eller andre sider af livet på Hven, også fordi denne del af hans liv er skildret ofte før. To fremragende bøger på dansk om Tycho Brahes liv og virke er udgivet af Wittendorff [1] og Christianson [2] og en god bog på engelsk er af Christianson [3].

Fra astronomi og astrologi til moderne astrometri

Astronomiske målinger bestod i oldtid og middelalder mest i måling af positioner for stjerner, planeter, Månen og Solen. Målingerne blev brugt til at holde rede på tidsregningen og kalenderen, hvad der var vigtigt for forudsigelsen af Nilens oversvømmelser i Egypten og af påsken i det kristne Europa. De blev også brugt ved navigation og ved måling af Jordens omkreds for 2200 år siden. Den astrologiske tydning af himmelske fænomener som kometer spillede også en stor rolle, og i Kina var astronomerne kejserens ansatte, der risikerede dødsstraf, hvis de brød deres tavshedspligt, fordi de

astrologiske tydninger var statshemmeligheder, der kun vedkom kejseren.

I vor tid fra omkring år 1900 taler man om to grene af astronomien, dels "astrofysik", der drejer sig om stjerner og alt i universet som fysiske objekter, og dels "astrometri" til nøjagtig måling af stjerners positioner, bevægelser og afstande som det nødvendige fundament for alle grene af astrofysikken. Tycho Brahe dyrkede astrometri, men også astrofysik, da han tydede den nye stjerne som værende en ny fiksstjerne, idet han anvendte sin tids fysik skabt af Aristoteles. Derimod var det astrologi, når han opstillede horoskoper og uddrog varsler af nye kometer.

Ole Rømer (1644-1710) opdagede i 1675 at lyset har en endelig hastighed, det var ny fysik opdaget gennem astrofysiske målinger af Jupiters måne Io. Rømer fortsatte Tycho Brahes arbejde ved at udvikle og observere med nye astrometriske instrumenter. Hans meridiankreds blev opstillet nær København i 1704 og fik betydning i de følgende århundreder ved at blive et astronomisk hovedinstrument. Denne type instrument blev først forældet, da rumteknologien kom til. Den første astrometriske satellit Hipparcos opsendt af ESA i 1989 skabte et helt nyt fundament – bemærk at den græske astronom staves HipparCHos. Dette fundament vil blive forbedret gennem Gaia-satellitten opsendt i 2013, og som er en million gange så effektiv. Se tidligere artikler i Kvant af forfatteren [4, 5, 6].

Oldtid og middelalder

Den græsk-hellenske astronom Hipparchos fra Nicæa (-190 til -120) kaldet "astronomiens fader" samlede stjernedata af babylonsk oprindelse og supplerede med egne observationer. 250 år senere fjøjede Claudius Ptolemæus (100-180) i Alexandria flere observationer til, og det hele blev offentliggjort i hans "Megiste Syntaxis" (største sammenstilling). Dette værk hedder i arabisk oversættelse "Almagest" (den store bog), og det forblev i 1500 år den store autoritet. Værket indeholder også den geocentriske verdensmodel, idet Ptolemæus valgte at sætte Jorden i centrum, selvom han har kendt Aristarch af Samos' model, hvor Solen er centrum for Jordens og alle planeters baner. Ptolemæus regnes som en af de største astronomer nogensinde, og man kan ikke laste ham for, at hans verdensbillede blev det eneste gældende i hele middelalderen. Men både den arabisk-muslimske videnskab, de kristne filosoffer og kirkens ledere holdt fast ved det.

Almagest rummer et katalog med positioner for 1028 stjerner, angivet med hver stjernes længde og bredde i forhold til ekliptika, og Ptolemæus er den første der anvender et koordinatsystem på himlen. Kataloget får senere stor praktisk betydning for søfarende, idet måling om natten af stjerners højde over horisonten, når de passerer meridianen, eller måling af Solens middagshøjde bestemmer et skibs breddegrad. Bestemmelse af skibets længdegrad var meget vanskeligere, hvad vi ikke skal komme ind på.

Ptolemæus skrev andre værker om geografi, optik og astrologi, hvor han systematisk gjorde rede for

planeters og stjerners indflydelse på livet på Jorden og på det enkelte menneskes skæbne. Med disse værker om praktiske og åndelige emner var Ptolemæus en kendt skikkelse for middelalderens elite, men det er ikke derfor han tit afbildes med en kongekrone på hovedet, se figur 2. I hvert fald skyldtes det også, at man dengang forvekslede ham med Egyptens mange konger med navnet Ptolemæus.



Figur 2. Ptolemæus måler med krone på hovedet. Bag ham står Astronomia og hjælper ham. (Kilde: G. Reisch 1512).

Orientaliske fyrster bevarede interessen for den praktiske astronomi. Således grundlagde den mongolske fyrste Hulagu i 1259 et nyt observatorium i Maragha (ved Täbris) og Djengis Khans barnebarn, Ulugh Beg, byggede i 1428 ved Samarkand en kæmpe 90 graders murkvadrant med en radius på 40,4 meter, der stadig kan ses. Den benyttede han til måling af positioner for de 1028 stjerner i Almagest, der blev samlet i et katalog i 1437. Det forblev dog ukendt i Europa indtil 1665 og fik derfor ingen betydning for udviklingen i Europa. Kataloget indeholder også størrelsesklasser (et mål for stjerners lysstyrke) fra astronomen al-Sufi i 900-tallet.

I Europa blev Ptolemæus først kendt gennem oversættelser fra arabisk, især gennem udgaver med forenkling af den vanskelige matematik ved englænderen Johannes de Sacrobosco, engelsk: John of Holywood, (1195-1265), og som blev trykt i hele 240 udgaver i Europa.

Disse to kataloger blev undersøgt af Verbunt og Gent i 2012 [7], idet positionerne blev sammenlignet med Hipparcos-kataloget. Standardfejlen for ekliptisk længde er ca. 20 % større end for bredden, og for et Gaussisk fit er:

- Standardfejlen¹ hos Ptolemæus 25'
- Standardfejlen hos Ulugh Beg 20'

hvis man kun medtager stjerner med mindre fejl end 50'. Medtages stjerner op til 100' fås 10-15 % større fejl, så fejlfordelingen er ikke Gaussisk – til sammenligning har fuldmånen en diameter på 30 bueminutter.

Det viste sig, at en del af stjernerne i de to kataloger ligger meget langt fra virkelige stjerner på himlen, ca.

¹Vinkelenhederne bueminut og buesekund angives ved tegnene ' og ", idet en grad er lig 60' eller 3600".

20 stjerner hos Ptolemæus og kun en eller to stjerner hos Ulugh Beg ligger mere end 150' borte. Kun én stjerne hos Ptolemæus og tre hos Ulugh Beg kan slet ikke identificeres med nogen stjerne. Disse tal vidner om den udmærkede kvalitet af begge kataloger.

I Nürnberg indrettede Johannes "Regiomontanus" Müller i 1400-tallet et observatorium og observerede stjerner og planeter systematisk. Dette blev i mange år videreført af Bernhard Walther og Georg Hartmann – så der var aktive astronomer, men de efterlod ikke noget stjernekatalog.

Nikolaus Kopernikus

I 1500-tallet var hovedemnet i astronomien forslaget om Solen i centrum for planeternes bevægelser, det heliocentriske system ved Nikolaus Kopernikus (1473-1543). Hans arbejde var færdigt omkring 1530, og kirkens ledere tog godt imod det i begyndelsen, men han vægrede sig ved at offentliggøre sit værk. Det er tvivlsomt, om udgivelsen var blevet påbegyndt i hans levetid, hvis ikke hans eneste elev, G.J. Rheticus, straks var blevet begejstret og i 1540 havde udgivet sin *Narratio Prima* (Første beretning) med argumenter for det nye system. Selve værket *De revolutionibus orbium coelestium* (Om himmelsfærernes kredsbevægelser), udkom i Kopernikus' dødsår 1543,

Kopernikus fremhævede, at forslaget ikke er nyt, idet det heliocentriske system allerede blev foreslået af Aristarch (ca. -310 til -230). Derved fulgte han tidens skik, hvorefter man fremmer sin sag ved at sige at ideen er gammel og ærværdig, i modsætning til vor tid hvor man hellere skal fremhæve det nye. Vi skal nu vende os mod de to steder, Kassel og Hven, hvor den store udvikling af måleteknikken skete.

Det følgende bygger på [8, 9, 10, 11, 12, 13].

Landgreven i Kassel og Tycho Brahe

En central og vigtig person for den nye astronomi blev født i 1532 og kendes som Landgreve Wilhelm IV af Hessen-Kassel, figur 3 (øverst), der regerede fra 1567 til sin død i 1592. Wilhelm udmærkede sig ved intelligens og interesse for de aktuelle spørgsmål i tiden og han fik tilnavnet "den vise". Wilhelm var tidligt opmærksom på mangler i de gamle angivelser af positioner for Solen, Månen og planeter i forhold til stjerner, som baserede sig på observationer af islamiske astronomer. Det var mangler som også disse havde kendt siden as-Sufi i 900-tallet. Den klare stjerne Spica har en fejl på 27' hos Ptolemæus og der var systematiske fejl i stjernernes positioner på over 20'. Ingen astronomer har før Wilhelm gjort noget ved dette problem ud over at teoretisere, hvad der er forståeligt, når man ser, at kun en fyrste kunne have midler til at løse denne kæmpe opgave. Wilhelm IV besluttede at skaffe et sikkert fundament for kundskab om himlen ved måling af positioner for stjerner og planeter, mest ud fra sin praktiske interesse for planeture og astrologi, påviser [14]. Det første ur er fra 1559-1563 og viser planeterens stilling. Det tjente astrologiske formål og var dermed politisk nyttigt. Med dette praktiske syn på astronomien adskiller Wilhelm sig tydeligt fra Tycho Brahe. For Tycho var den videnskabelige indstilling om at naturen

kan erfares afgørende, i en tid hvor mange stadig siden oldtiden troede, at man alene ad tankens vej kunne forstå naturen.



Figur 3. Øverst: Landgreve Wilhelm IV. af Hessen-Kassel (1532-1592) med gemalinde Sabine, født hertuginde af Württemberg. Regneglobusen ses helt til venstre, et torquetum (se også figur 4) og en kvadrant i midten. Maleriet er dateret 1577 ved begge personer. Fra [12]. Nederst: Slottet i Kassel med to altaner til astronomiske observationer ved hjørnerne i sydvest og sydøst. Instrumenter blev kun stillet ud på en altan, når der skulle observeres. Fra [15].



Figur 4. Torquetum – dette apparat kunne måle i de tre koordinatsystemer: horisontal, ækvatorial og ekliptika. Fremstillet i Prag ca. 1590. Fra [15].

Indsigt i de astronomiske emner var for Wilhelm også en vej til at regere, for en prins i det 16. århundrede spillede astronomi en væsentlig rolle ifølge [14], og han nåede med sit fyrstehus til stor politisk anseelse i det tysk-romerske rige og sågar i Frankrig. Prins Wilhelms astronomilærer og rådgiver fra 1557 var Victorin Schönfeld, professor i matematik ved universitetet i Marburg, og de observerede himlen sammen.

Med tilbygning af to altaner på residensslottet, figur 3 (nederst), i Kassel skabte prins Wilhelm 1560/61 det første permanente observatorium i den tids Europa, og det blev benyttet i 37 år; slottet skimtes også midt i figur 3 (øverst). Det blev ødelagt ved en brand i 1811. Tycho Brahe betegner Landgreven som “den vigtigste astronom i Europa” og beretter, at Wilhelm mellem 1560 og 1563 “med egne øjne og hænder” har observeret 58 stjerner, det første Kassel katalog, og også den nye stjerne i 1572.

I 1575 indledte Tycho Brahe som 29-årig en ni måneders rejse gennem Europa for at finde det sted, hvor han ønskede at etablere sig. I april 1575 var han først gæst hos Landgreven i Kassel. Han rejste som den meget berømte astronom han var blevet efter udgivelsen af hans bog “Stella Nova”.

Han blev kun hen ved ti dage hos Wilhelm, da en lille prinsesse døde og Tychos ophold derfor måtte afkortes. Alligevel markerer dette korte besøg en milesten på vejen til den nye astronomi. Wilhelm fortalte med stor åbenhed om sine erfaringer og planer. Han overgav Tycho en afskrift af sit katalog fra 1567 og notater om kometen i 1568 samt supernovaen i 1572. Det vides ikke, om Tycho gengjaldt med sine tilsvarende notater ved denne lejlighed, men besøget blev indledning til en omfattende meget åben korrespondance indtil Landgreven døde i 1592. Tycho udgav 1596 disse breve i “Epistolarum Astronomicarum” på 350 sider.

Tycho fortsatte fra Kassel over Frankfurt, Freiburg og Basel til Venedig. Ved juletid vendte han tilbage til Danmark over Augsburg, Regensburg, – hvor Rudolf II blev kronet som tysk-romersk konge den 1. november – Nürnberg og Dresden. I sit skrift “Mechanica” fra 1598 skildrer han sin mening om Basel, hvorledes han i alle måder fandt dette sted at være det bedste.

Efter Tychos besøg i Kassel sendte Wilhelm et bud til den danske konge med en stærk anbefaling om at støtte Tycho. Udsendinge fra Frederik II besøgte Kassel kort efter og Wilhelm udtalte at “Tycho vil udrette store ting”. Efter hjemkomsten til Danmark blev Tycho modtaget meget venligt hos kongen og blev opfordret til at nævne sine ønsker. Da den forbausede Tycho tøvede, opfordres han til at overveje sagen, hvad han gør sammen med sine rådgivere. I februar sendte kongen et ilbud, som efter et natligt ridt nåede frem til Knudstrup i Skåne to timer før solopgang, hvor Tycho endnu lå i sin seng. Nu forstod Tycho, at han måtte komme straks og han mødte Kongen i dennes jagthytte nær København samme dags aften. Kongen havde hørt om Tychos plan om at flytte til Tyskland, og desuden forstod han, at politiske og sociale forpligtelser kunne hindre Tycho Brahe i forskningen. Kongens nye tilbud omfattede diverse indtægter fra kronen fx fra et len i Norge og fra domkirken i Roskilde, og Tycho fik øen Hven i Øresund, dengang beliggende midt i det danske rige. Der kunne Tycho koncentrere sig om astronomien, og nu accepterede Tycho.

En anden følge af Tychos besøg i Kassel var, at Wilhelm genoptog arbejdet med astronomien, som ellers havde ligget stille siden han var blevet regerende Landgreve i 1567.

De første observationer i Kassel

Lige fra starten i 1560 uddannede Wilhelm instrumentmagere til sit observatorium, og Eberhard Baldewein (1525-1593) var den første. Denne fremstillede omkring 1561 en regneglobus (figur 5) der blev anvendt til beregninger, den var altså en analog regnemaskine, hvorpå stjerner blev nøje indtegnet ved hjælp af en spidspasser. Beregninger af de sfæriske formler var et kæmpe problem, selv multiplikation og division var vanskelige inden logaritmen blev opfundet. Det mest interessante instrument var en azimutalkvadrant i messing fra 1560 (figur 6), der stadig findes, det ældste apparat i verden af denne art helt af metal.



Figur 5. Regneglobus med 72 cm diameter fra Kassel. Fremstillet 1561-1563 af Eberhard Baldewein og Hermann Diepel. F. Staudacher.



Figur 6. Kvadrant med 40 cm radius brugt i Kassel på Landgrevens observatorium fra 1560 til hans første katalog. Den findes nu på museet i Kassel og kaldes “Wilhelmkvadranten”. Fremstillet af Baldewein. Fra [14].

Disse instrumenter og et torquetum, som ses i billedet af Landgreven, figur 3 (øverst), og i figur 4, benyttede Wilhelm personligt især mellem 1560 og 1567 til fremstilling af sit andet katalog med de samme 58 stjerner. Nøjagtigheden var på 2,2' i RA (rektascension)

og 4,6' i D (deklinasjon), altså 4-6 gange mindre fejl end hos Ulugh Beg. Et gennembrud til stor nøjagtighed blev altså nået i Kassel i 1567. Selvom Wilhelm jo ikke har kendt disse tal for nøjagtigheden, har han sikkert været overbevist om, at han var på rette vej. Dog gik han først videre med observationer 18 år senere.

Torquetum bruges slet ikke senere, da det blev erstattet af den nøjagtigere sekstant bygget af Jost Bürgi til måling af vinkler. Et torquetum havde imidlertid den yderligere funktion at udføre en tre-dimensional overførsel af data til en regneglobus ved hjælp af ringe, der definerer koordinatsystemet. Dette kunne ikke udføres med sekstanten.

Observationer i Kassel efter Tychos besøg

Som tidligere nævnt blev der kun observeret lidt efter 1567, men efter Tychos besøg i 1575 begyndte en ny aktiv fase med ansættelse den 15. juli 1579 af den svejtsiske urmager og astronom Jost Bürgi (1552-1632). Denne viste sig at være en gudbenådet instrumentmager, der i de kommende år fremstillede et stort antal måleinstrumenter og ure af højeste kvalitet. Fra 1579 fremstillede Bürgi en sekstant med 1,1 m radius. En horisontalkvadrant med 1,1 m radius fra 1559 blev udstyret med nye sigtemidler og inddelinger fra Bürgis hånd, og de to instrumenter er beskrevet og vist på figur 2 og 3 i [10]. I 1582 skrev Wilhelm til Kurfyrsten i Pfalz, at Jost Bürgi havde udviklet en måneteori, der var bedre end den, der blev anvendt til de "Alfonsinske Tabeller" og bedre end Kopernikus' teori.



Figur 7. Jost Bürgi (1552-1632).

I Kassel fik man i 1584 vigtige oplysninger om instrumenterne på Hven angående sigtemidler og aflæsning af skalaer, lige i rette tid til at ændre instrumenterne før en stor observationsserie skulle begynde. Det var Paul Wittich (1546-1586) der bragte disse oplysninger til Kassel efter et fire måneders ophold på Hven fire år tidligere, altså kort efter at Tycho havde begyndt observationer fra Uraniborg. Landgreven belønnede ham derfor med en guldkæde. Wilhelm skrev til Brahe, at "de matematiske instrumenter var blevet stærkt forbedret efter instruktioner fra Paul Wittich". I oktober 1585 meddelte Wilhelm stolt til Heinrich Rantzau, statholderen i de holstenske hertugdømmer, at man før knap kunne aflæse 2' skarpt, mens man

nu kunne aflæse mellem et halvt og et helt bueminut. Alt dette kom imidlertid som et chok for Tycho, fordi Wittich havde udgivet disse vigtige forbedringer af instrumenterne som værende hans, Wittichs, opfindelser uden at nævne at de skyldtes Tycho og hans stab, se figur 11.

Vi kan altså slutte, at erfaringer på Hven fik stor betydning for de fine resultater i Kassel, omend på en meget uskøn måde. Tycho var dog i stand til at komme sig over sin vrede, så den ikke gik ud over det gode forhold til Landgreven.

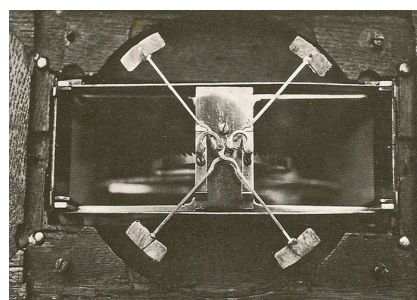
Rothmann og Bürgi observerer

I november 1584 blev astronomen Christoph Rothmann (1561-1601) ansat som hofmatematiker, og i januar 1585 begyndte Wilhelms tredje fiksstjerneprojekt. Fra 1585-1590 observerede Bürgi sammen med Landgreven og Rothmann med de således forbedrede instrumenter. Efter Rothmanns afgang observerede Bürgi alene fra 1590 til 1597 som "kommissarisk" hofastronom.

Jost Bürgis nye ure (figur 8 og 9) var forudsætning for anvendelse af en ny astronomisk målemetode, der siden er blevet standard i astronomien overalt, idet man målte det nøjagtige tidspunkt for en stjernes passage af en given retning. Især benyttedes meridianen, som betegner de retninger fra observatøren, der ligger på cirkelbuen fra syd over zenit til nord. Således når Solen sin største højde på himlen når den passerer meridianen.



Figur 8. Observatoriumsur med krydsflagshæmning, automatiseret optræk og savtandsur svarende til Kassel observatoriets sekundur fra 1585. Fremstillet af Jost Bürgi i Prag 1625. Fra [12].



Figur 9. Krydsflagshæmning af Jost Bürgi. To par masser er forbundet over tandhjul og svinger i modfase næsten isokront og harmonisk. Fra [12].

Observationsuret blev ofte aflæst med en nøjagtighed på et kvart minut og sjældent på 1/12 minut, hvad der svarer rimeligt til den nye forbedrede målenøjagtighed, idet en stjerne ved himlens ækvator bevæger sig et bueminut (1') på 4 tidssekunder (4 s). Vinkelen på kvadrant og sekstant blev aflæst med en nøjagtighed på et eller et halvt bueminut. På meridianen måltet højde og tidspunkt for passagen, men uden for meridianen måltet tidspunktet for stjernens passage af en indstillet højde.

Denne målemetode blev i første omgang afvist af Tycho Brahe som ubrugelig efter hans egne erfaringer på grund af urenes unøjagtighed. Rothmann og Bürgi observerede sammen, idet Rothmann målte Solens eller stjernens kulminationstid med kvadranten, mens Bürgi kontrollerede urets gang og noterede tidspunktet. Aflæsning af kvadrantens højdeskala ved måling i meridianen gav deklinationen, idet observatoriets breddegrad blev bestemt ved observation af stjerner omkring polen. Dette var en ny metode, da breddegraden ellers altid bestemtes ved måling af Solens kulminationshøjde ved solhverv, men dette er jo kun muligt to gange om året.

Der blev etableret et net af nøjagtige referencestjerner, hvormed nye objekter hurtigt kunne positioneres. Kassel systemet skulle indeholde 68 referencestjerner, og halvdelen af dem var udmålt på tre måneder. Således havde man grundlaget for det tredje katalog med 121 stjerner, der forelå i 1586, og allerede i 1587 stod det fjerde katalog "den store Hessiske stjernefortegnelse" færdig med 384 stjerner. Hermed var Wilhelms mål nået om ca. 400 stjerner, og vi ved det ikke var hans hensigt at måle Ptolemæus' 1028 stjerner, som det ellers hyppe er påstået.

Kataloget blev i 1587 skrevet på 36 dobbeltsider pergament i en repræsentativ form indeholdende en teoretisk redegørelse af Rothmann. En undersøgelse af A. Schrimpf (2016, privat kommunikation) viser nøjagtigheder på 1,17' og 1,10' for henholdsvis rektascension og deklination ved sammenligning med positioner målt med Hipparcos-satellitten.

Denne fejl på 1,1' er en reduktion til blot en tyvendel af fejlen hos de gamle forgængere og viser, at et gennembrud for astronomiske målinger blev nået i Kassel i 1587. Dette gennembrud i nøjagtighed tilskrives i litteraturen ellers udelukkende Tycho Brahes katalog fra 1598, en opfattelse der bør revideres. Gennembruddet er ikke blevet erkendt før Hamel (1998) gennemførte den første systematiske undersøgelse af kataloget fra Kassel [8]. Kataloget fik imidlertid ikke den betydning i samtiden, det fortjente, fordi det kun fandtes i nogle få afskrifter og først blev trykt i 1666 som appendix til Tycho Brahes observationsjournaler, altså på et tidspunkt da det kun havde historisk interesse.

Landgrevens katalog har ganske vist været astronomer bekendt, men dets betydning og kvalitet har været ukendt. Jeg selv har kun læst om det i den meget udbredte bog om astrometri af Eichhorn (1974) [16], hvor der (s. 101) omtales et katalog fra 1594 med positioner for 1004 stjerner og middelfejl på 6', mens det virkelige katalog fra 1587 med 384 stjerner havde fejl på kun 1,1'.

Først gennem samtaler med professor A. Schrimpf i Marburg i november 2015 blev jeg klar over dette. Pannekoek [17] omtaler Landgreven meget positivt men uden talmæssige angivelser. Han skriver bl.a., "from Cassel came the first West-European catalogue of stars based on new measurements", og Landgrevens brev til kong Frederik om Tycho Brahe omtales som meget vigtigt. Om Tycho skriver Pannekoek, at middelfejlen ved sammenligning med moderne værdier ser ud til at være omkring 1'.



Figur 10. Bürgi sekstant. Sekstant efter 1604 nu i Prag, muligvis fremstillet af Jost Bürgi. Radius er 1145 mm. Til transport eller opstilling på et bord eller en mur ved observationer kan sekstanten tages af stativet. Bürgi udvikler i 1582 en sådan sekstant med radius 1,1 m! Den kan betjenes af kun en observatør, mens Tychos store træsekstant (figur 12) kræver to observatører. Sekstanten er helt i metal, og viserstaven med spaltevisir føres via et drivtandhjul langs målebuen (limbus). Dette visir rettes mod den ene af de to stjerner man ønsker at måle vinkelen imellem, idet sekstanten drejes om de to akser, der ses i midten, og om en lodret akse. Et andet visir til den anden stjerne har formodentlig siddet på den ene ende af målebuen.

Efter Rothmanns bortrejse fra Kassel i 1590 intensiverede Bürgi sine egne observationer. Han udførte i løbet af de næste otte år over 1000 observationer af planeter i forhold til stjerner, og han observerede Solen, Månen og nogle stjerner. Sandsynligvis har Kepler benyttet sig af Bürgis mange observationer, så meget mere som Bürgi fra midt i 1603 stadig var i hans nærhed. Kepler verificerede Brahes data og supplerede dem, hvad der er særlig vigtigt ved Mars, som han observerede i 1602 og 1604 med en Bürgi sekstant, men offentligt roste han kun Tychos nøjagtighed. Kepler kunne overhovedet ikke risikere at nævne andre end Tycho i sine to hovedværker "Astronomia Nova" og "De Rudolfiniske Tavler", da Brahes arvinger meget strengt havde krævet, at han kun anvendte dennes data som betingelse for at få dem overladt.

Uraniborg bygges på Hven

Tycho Brahe begyndte at arrangere sig på Hven straks efter modtagelse af gaven fra Kongen, en gave Kongen kunne give uden at tage noget fra nogen adelsmand, for der havde aldrig før været nogen herremand på Hven. Derfor mødte Tycho mennesker, bønder, der altid havde kunnet bestemme over sig selv, og nu blev sat til at bygge et slot for Tycho, sammen med fagfolk

mest fra Holland. Hver gård skulle yde to dages arbejde om ugen fra solopgang til solnedgang, mens de til gengæld slap for at betale skat til kongen. Det had mod Tycho, der hurtigt oparbejdedes, har holdt sig næsten til vore dage, for jeg mødte for nogle år siden en mand, der inviterede mig hjem i sin stue. Der lå en smukt forarbejdet sten, som havde siddet i Tychos Uraniborg. Manden fortalte, at den tidligere sad i muren i faderens svinestald, og hver gang faderen gik forbi, spyttede faderen på den. I vore dage derimod er beboerne glade for den opmærksomhed de får takket være Tycho.

Det første spadestik til Brahes "himmelborg" (Uraniborg) blev taget i sommeren 1576 og grundstenen blev højtideligt lagt den 8. august, en dato der omhyggeligt blev valgt efter stjernerne. Da Tycho fyldte 30 den 14. december udførte han den første observation af Solen, og om vinteren fortsatte han med regelmæssige observationer for første gang i sit liv, ofte kun nogle minutter for at observere Solen eller en planet, 10-15 gange om måneden.

Det skulle snart vise sig, at den gunst han nød hos kongen trak ham ind i politiske sager, skønt han netop ville undgå dette. Han blev nomineret som rektor magnificus af universitet af et enstemmigt konsistorium i maj 1577. Tycho følte sig enormt beæret, men formåede at afslå æren med henvisning til hans mange opgaver på Hven. Den 1. juni skulle den ny prins døbes, og det måtte han nødvendigvis overvære i sit fornemste antræk. Han deltog dog nok ikke i alle festlighederne, der varede over to uger, for nu havde han fået sin første opgave fra kongen, at stille horoskopet for prinsen, den kommende Christian IV. Det gjorde han selvfølgelig meget omhyggeligt, idet det gav ham mulighed for derefter at takke for den gunst han nød.

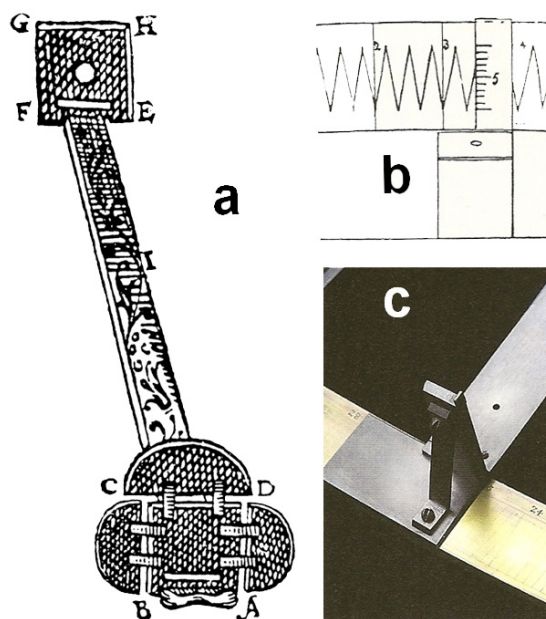
Man må sige, at Tycho havde et meget gammeldags verdenssyn og mange ejendommelige forestillinger, især ved begyndelsen af sit virke. Det har slået mig, hvor kolossalt springet er fra Tycho til Rømer, et hundrede år senere. Når man læser Rømer, fornemmer man en moderne person, man ville kunne føre en fornuftig samtale med, mens Tycho hører til i en formørket fortid.

Tychos instrumenter

I foråret 1577 fik Tycho sit første ur, formentlig fra den københavnske urmager Steffen Brenner, der havde arbejdet for hoffet. Uret viste ikke kun timer og minutter men også sekunder, men det var ikke godt nok, for i de næste fire år købte han yderligere tre ure. Tycho forsøgte længe at måle rektascensioner direkte fra stjernernes passagetider i meridianen, men i 1581 måtte han endelig erkende, at urene var for unøjagtige. Han gik derfor over til at forbinde stjernerne og Solen gennem observationer af Venus, når denne stod passende på himlen, og det lykkedes gennem observationer fra 1585-1588. Han bad Wilhelm i et brev fra 1592 om at hjælpe med at finde en dygtig fagmand til at bygge instrumenter og ure, og det menes at han benyttede Bürgis ure efter 1593.

Slottet stod færdigt i 1580 som den første bygning i Europa i nyere tid målrettet til at være et forskningscentrum. Tycho blev imidlertid klar over, at slottet ikke var stort nok til alle aktiviteter, og instrumenterne

stod ikke stabilt nok på platformene. Udgravninger til et nyt observatorium, Stjerneborg, begyndte i foråret 1584 ca. 30 meter fra den sydlige vold om Uraniborg. Stjerneborg lå i niveau med terrænet, instrumenterne stod på fast grund, himlen kunne ses hele vejen rundt. Her blev de nye store instrumenter opstillet.



Figur 11. T.v. (a): Tychos sigtemiddel fra 1580. Øverst t.h. (b): Transversaldeling af Christoph Rothmann og Jost Bürgi. Fra 1585 anvendes dette forfinede koncept til aflæsning af skalaerne. Det tillader aflæsning med en nøjagtighed på en trediedel bueminut. Nederst t.h. (c): Transversaldeling på messingkreds-buen af en Bürgi sekstant fra 1593, men den er knap nok til at se. Viserlinealen med sigtespalter føres meget præcist. Fra [12].

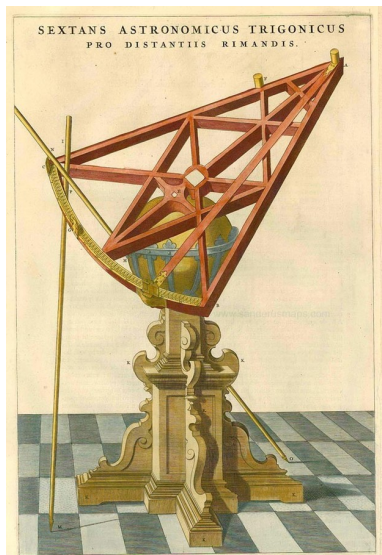
Tycho lod hele 22 astronomiske instrumenter bygge i tidsrummet ca. 1576-1590 og i hans "Mechanica" fra 1598 findes figurer og beskrivelse af deres anvendelse. Alle observationer noteredes med angivelse af instrument og observatør. Ingen astronom før ham har dokumenteret sit arbejde så omhyggeligt, i årene omkring 1590 skrev og trykte han over 1000 sider om instrumenter og teoretiske undersøgelser. Imidlertid bestemtes hans muligheder også af den faglige viden og kunnen hos dem, der skulle bygge instrumenterne. De har tit haft vanskelighed ved at forstå de særlige krav, der blev stillet og som lå langt uden for det de var vant til. Tycho forsøgte fra 1573 med små instrumenter. En 40 cm kvadrant fra 1573 var næsten ubrugelig, men en 60 cm kvadrant fra 1580 blev en stor succes især fordi han havde indført de nye sigtemidler og skalaer, figur 11.

Han indrettede et værksted på Hven og ansatte folk hvoraf vi kun kender én ved navn, lederen Hans Crol, men det er klart at Tycho ikke havde held til at finde og ansætte et geni som Jost Bürgi. Tycho byggede efterhånden store instrumenter med radius omkring 1,5 meter for at kunne inddele og aflæse skalaen med den krævede nøjagtighed på et bueminut svarende til 0,44 mm. Bürgis instrumenter havde næsten samme radius, fx 1145 mm for sekstanten i figur 10, men de gav faktisk bedre nøjagtighed end Tychos.

Nogle instrumenter krævede 5-6 mand i tre år til fremstillingen, og omkring 1590 har han ladet dem alle rejse, bortset fra en eller to mand til reparationer. Mange instrumenter måtte forbedres og endda bygges helt om. Megen tid gik med at vente på levering af instrumentdele eller forbedringer. Han stoledede først rigtig på målingerne med murkvadranten efter at han fra 1585 kunne verificere ved måling med den store armille og de drejelige kvadranter.

Efter 1585 observerede han sjældnere personligt, men han har nok været til stede det meste af tiden, en ikke ringe præstation, da der var ca. 185 observationsrunder om året i de tyve år Uraniborg eksisterede. Det har været muligt for Thoren [13] at påvise, hvorledes Tycho gjorde erfaringer med hvert instrument, gode eller dårligere, så han kunne beslutte hvad han videre skulle gøre, og han havde resurser til alt dette. Det må derfor skyldes manglende viden og nogen arrogance, når nogle forfattere har skrevet, at "Tycho blev ved med at bygge instrumenter for at holde sine instrumentmagerne beskæftiget". Tycho vigtigste instrumenter, som alle var til rådighed fra 1586, var en sekstant, to kvadranter og en armille. Når disse instrumenter gav overensstemmende resultat kunne han stole på det.

Tycho opfandt sekstanten i 1569 som afløser for den håndholdte krydsstav til måling af vinklen mellem to stjerner, og han fik bygget adskillige under en stadig udvikling af denne instrumenttype. Den modne, fuldt udviklede sekstant er fra ca. 1582, se figur 12. Den var af træ og skulle betjenes af to observatører, idet den kunne drejes i alle retninger om en halvkugle.



Figur 12. Brahes sekstant fra ca. 1577 har 155 cm radius er fremstillet af træ med indlagt skala og sigteindretninger af messing. Den kan drejes og hældes om en halvkugle og skal betjenes af to observatører.

Kvadranter anvendtes til måling af en stjernes højde over horisonten. Tycho fremstillede i tidens løb mange kvadranter som kunne drejes om en lodret akse, så stjerner på alle dele af himlen kunne måles. Tychos første virkeligt gode instrument var en lille drejelig kvadrant med 39 cm radius fra 1580, som han brugte i mange år. Den var en milepæl, fordi den var forsynet med avancerede sigtemidler og inddeling af skalaen, figur

11. Den første store drejelige kvadrant med en radius på næsten to meter blev indviet den 21. marts 1581 som det første af otte store instrumenter fra værkstedet indenfor et tidsrum på to og et halvt år. Men resultatet var ikke godt, bl.a. på grund af et ustabil fundament. Den store murkvadrant, figur 13, forbindes særligt med Tychos navn fordi den var så smuk og illustrativ, og den anvendtes meget, men der er meget lidt i den af Tychos originalitet.



Figur 13. "Murkvadranten". Tycho Brahe på sit observatorium Uraniborg med en murkvadrant på 2,5 meter radius samt ure og tre assistenter i arbejde. Der ses rum til forskning og ophold, alkymilaboratorium nederst, og observationsplatforme med instrumenter for oven.

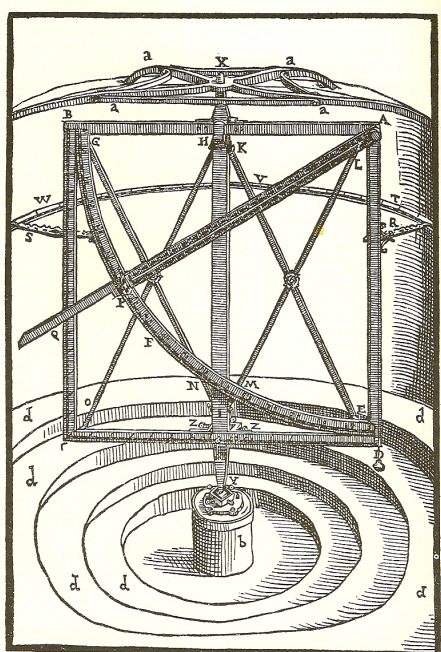


Figur 14. Den store armille i Stjerneborg. Dens skala i messing har en radius på 136 cm hvorved 1' = 0,40 mm og instrumentet anvendes til måling af deklinationer.

Samtidig med at han eksperimenterede med kvadranter, studerede Tycho mulighederne i den traditionelle familie af instrumenter, armillerne. Armillen blev oprindeligt anvendt både til at vise stjernernes

bevægelser rundt om jorden og som måleinstrument. Den kendes fra oldtiden og typen blev forbedret af persiske og arabiske astronomer i 800-tallet. Den blev uafhængigt opfundet i Kina, og den spillede en stor rolle i senmiddelalderen i Europa, dels som symbol på visdom og som måleinstrument. Tycho byggede først en klassisk type med flere ringe svarende til ækvator og ekliptika og 60 cm radius, men han indså at den ikke var nøjagtig og forenkledede derfor konstruktionen som på figur 14. Denne armille fra ca. 1585 var et af Tychos bedste instrumenter til måling af deklinationer. En fordel var at den kunne anvendes på stjerner over hele himlen, og at deklinationen kunne aflæses direkte uden beregninger.

En drejelig kvadrant af træ med radius 1,5 meter blev færdig i begyndelsen af 1586. En anden kvadrant kom i brug to år senere (se figur 15). Den var af stål, havde en radius på 1,75 meter og var i virkeligheden en ombygning af kvadranten fra 1581, nu opstillet på et solidt fundament. Med disse to store kvadranter var udrustningen på Hven i det væsentlige afsluttet, altså i 1588.



Figur 15. Den store kvadrant af stål i Stjerneborg ca. 1588. Den har en skala i messing med radius 194 cm, og instrumentet anvendes til måling af deklinationer.

Den mand der synes at have været Tychos vigtigste tekniker var Hans Crol, han var også en af de mest pålidelige observatører. Tycho havde stadig brug for ham ved modifikationer eller reparationer, og han blev på Hven indtil sin død i november 1591.

Med de instrumenter Tycho brugte indtil 1581 havde observationerne fejl på omkring 4', hvad der var langt fra hans mål på 1'. Det opnåede han med sine nye instrumenter omkring 1585 ifølge Thoren [13] s. 190.

Tychos katalog på 1004 stjerner fra 1598 findes i en version af Tycho selv og en af Kepler trykt i 1627. Nøjagtigheden af Keplers udgave er blevet undersøgt med største grundighed af Verbunt & Gent i 2010 [18], der sammenlignede med Hipparcos-kataloget. Der fandtes god overensstemmelse med undersøgelser af Dreyer i 1916 og Rawlins i 1993, og det konkluderes at fejlene

i ekliptikal længde og bredde har fordelinger med en vidde (standard afvigelse) på 2', idet der dog var flere stjerner med større afvigelser end i en Gaussfordeling. Der var ca. 15 % med afvigelser over 10' hvilket tilskrives regne- eller skrivefejl. Tychos ni standardstjerner havde en nøjagtighed omkring 30 buesekunder.

Nøjagtigheden er også undersøgt af Hamel i 1998 [8] hvilket ikke nævnes af Verbunt & Gent. Hamel fandt standardafvigelser i rektascension og deklination på henholdsvis 2,3' og 2,4' for de 794 sikkert identificerede stjerner i Tychos katalog, i rimelig overensstemmelse med ovennævnte 2'.

Konklusion

Mange år inden Tycho flyttede til Hven havde Wilhelm IV, Landgreven af Kassel, opnået meget bedre nøjagtighed for stjerners positioner end alle tidligere astronomer, idet han i 1567 havde målt 58 stjerner med en nøjagtighed på ca. 3,4'. I Kassel opnåedes en nøjagtighed på 1' i et katalog fra 1586 med 384 stjerner, en nøjagtighed som Tycho Brahe samtidig nåede. Så æren for det store gennembrud i nøjagtighed må deles mellem observatorierne i Kassel og på Hven. Tychos stjerne-katalog fra 1598 indeholder 1004 stjerner med en nøjagtighed på 2', og Tycho observerede planeterne gennem 20 år hvad der fik stor betydning for Keplers anvendelse.

Det ses i de historiske kilder, at begge resultater blev bedre gennem det de lærte fra den anden, og Wilhelms anbefaling til den danske konge efter Tychos besøg i Kassel i 1575 har haft stor betydning for kongens storstilede gave til den unge Tycho.

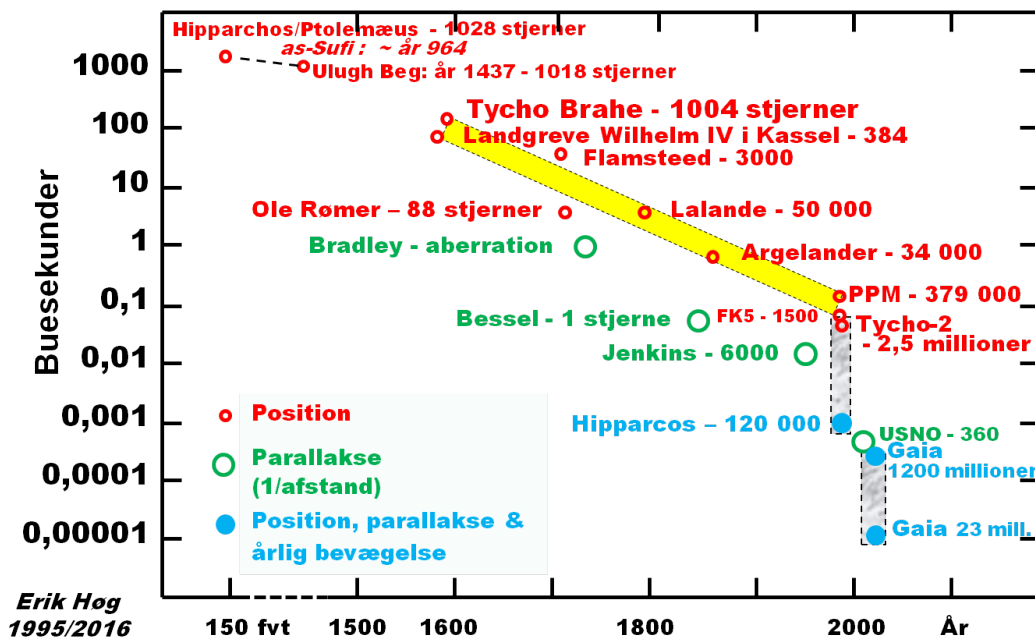
Der er en slående forskel på de instrumenter der anvendtes de to steder. På Hven fremstilledes instrumenter både af træ og metal med radius på typisk 150 cm. De begrænsede håndværksmæssige færdigheder gjorde størrelsen nødvendig for at nå bueminuttet, men samtidig blev instrumentet bøjet under sin egen vægt. I Kassel havde man instrumenter af metal med en noget mindre radius på 115 cm for sekstanten på figur 12, men her fandtes mekanik fra både Baldewein og Bürgi i langt finere og lettere udførelse end Tychos instrumenter af træ og metal. Takket være denne finmekanik har man haft mindre bøjning af instrumentet. Det er interessant at se, hvorledes Hamel [8] overdriber størrelsen af Tychos instrumenter, idet han fx på s. 68 skriver, at armillen havde en "radius på hele 3 meter", skønt det dog er diameteren der er omtrent så stor nemlig 2,6 meter, så radius er 1,3 m. Gradinddelingernes nøjagtighed har nok også været forskellig på Hven og i Kassel, men det nævnes ikke noget sted.

Vil man nævne syv helte i dette drama om udvikling af astronomiske instrumenter og observationer, må det være Wilhelm IV, Eberhard Baldewein, Tycho Brahe, Jost Bürgi, Christoph Rothmann, Hans Crol og Paul Wittich. Wittich skal med blandt de syv, skønt han også var skurken i dramaet. Wittich bragte nye beregningsmetoder til Hven – hvilket der dog er tvivl om hos Thoren [13] (s. 283) – og fra Hven bragte han oplysninger om Tychos instrumenter, som Bürgi og Rothmann gjorde brug af i Kassel så deres observationer til det fjerde katalog blev nøjagtigere.

Wilhelm IV fik dog ikke betydning for astronomiens udvikling gennem sit katalog, fordi det blev offentliggjort for sent. Hans historiske betydning ligger i hans bud til Frederik II i 1575 om at støtte den unge Tycho Brahe og i Bürgis observationer og instrumenter, som Kepler gjorde brug af. En helt ny astronomisk målemetode blev udviklet i Kassel, måling af passage-

tider og dermed rektascensioner, uret blev et nøjagtigt astronomisk måleinstrument, mens en omtrentlig tid ellers kun blev brugt til at angive en epoke for observationer. Ole Rømer var den første der på denne måde målte rektascensioner ved anvendelse af kikkert med sit passageinstrument fra 1691. Hovedsagen i denne artikel² har været at gøre rede for det historiske forløb.

Astrometrisk nøjagtighed gennem 2000 år



Figur 16. Astrometrisk nøjagtighed gennem 2000 år. Det fremgår, at Landgreven i Kassel og Tycho Brahe næsten samtidig når et gennembrud til meget bedre nøjagtighed for positioner af stjerner med ti gange mindre fejl end forgængerne. Der følger en gradvis forbedring med en faktor 1000 over et tidsrum på 400 år, fulgt af en forbedring med en faktor 10.000 gennem de to astrometriske satellitter Hipparcos og Gaia opsendt af ESA. Den enorme forøgelse af antallet af stjerner fremgår af diagrammet, ligeså forløbet for måling af parallakser, der giver afstande, og af årlige bevægelser. For Gaia er angivet hvad der i 2016 forventes fra fem års observationer. Tegnet af forfatteren (2016).

Litteratur

[1] Wittendorff, A. (1994), Tycho Brahe. G.E.C. Gad, København. 327 pp.

[2] Christianson, J.R. 2008, Tycho Brahe – Renæssancen på Hven. Nyt Teknisk Forlag.

[3] Christianson, J.R. (1999), On Tycho's Island -Tycho Brahe and His Assistants, 1570 1601. Cambridge University Press.

[4] Høg E. (2010), En landmåler i himlen. Kvant 3.

[5] Høg E. (2011), Astrometri fra antikken til i dag. Kvant 3.

[6] Høg E. (2013), Gaia-missionens snørklede tilblivelse. Kvant 4.

[7] Verbunt, F. og Gent, R.H. (2012), The Catalogues of Ptolemaios and Ulugh Beg. *A&A* **544**, A31.

[8] Hamel, J. (1998, 2002), Astronomical research in Kassel under Wilhelm IV. (Tysk titel: Die astronomischen Forschungen in Kassel unter Wilhelm IV.). *Acta Historica Astronomiae*, vol. 2, p. 1-173. 1998, 2002, Verlag Harri Deutsch, Thun and Frankfurt am Main.

[9] Hamel, J. & Rothenberg, E. (2007), Rothmann, Christoph. På side 987f af *The Biographical Encyclopedia of Astronomers* af Virginia Trimble et al. (eds.), Springer Science+Business Media.

[10] Repsold, Joh.A. (1919), Zur Geschichte der astronomischen Messwerkzeuge. *Astron. Nachr.* Band **209**, 14 Sp.193-210.

[11] Ræder Hans, Elis og Bengt Strömgren (1946), TYCHO BRAHE'S, description of his instruments and scientific work, Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, København 1946.

[12] Staudacher, Fritz (2013), Jost Bürgi, Kepler und der Kaiser, Uhrmacher, Instrumentenbauer, Astronom, Mathematiker, 1552-1632. Verlag Neue Züricher Zeitung, Zürich, 1st Edition 2013, 293 pp. Tredje udgave (2016) er på 312 sider.

[13] Thoren, V.E. (1990), The Lord of Uraniborg, A Biography of Tycho Brahe. Cambridge University Press, Cambridge, 523 pp.

[14] Gaulke, K. (2010), William IV of Hesse-Cassel – the purpose of astronomy for a princely court in the 16th century. *Acta Historica Astronomiae* (tysk), vol. **40**, p. 47-66.

[15] Mackensen, L. von (1982), Die erste Sternwarte Europas mit ihren Instrumenten und Uhren – 400 Jahre Jost Bürgi in Kassel. Calwey Verlag München, Zweite Auflage, s. 1-160.

[16] Eichhorn, H. 1974, Astronomy of star positions. Frederick Ungar, New York.

[17] Pannekoek, A. (1961), A history of astronomy. George Allen and Unwin, London.

[18] Verbunt, F. og Gent, R.H. (2010), Three editions of the star catalogue of Tycho Brahe. *A&A* **516**, A28.



Erik Høg er dr.scient., emeritus, Niels Bohr Institutet. Medlem af ESA science teams for Hipparcos- og Gaia-satellitterne 1975-2007, formand for Hipparcos- og Tycho-konsortier 1981-97, formand for arbejdsgruppen for fotometri med Gaia.

²Forfatteren ønsker at takke følgende personer for oplysninger og kommentarer til manuskriptet: Poul Darnell, Claus Fabricius, Povl Høyer, Svend Laustsen, Claus Lund, Francois Mignard, Jørgen Otzen Petersen, Andreas Schrimpf og Fritz Staudacher.