

*I denne fortælling om det forunderlige Univers skal læseren med på en rejse i rum og tid tilbage til Big Bang, ligesom der er fokus på dannelse af stjerner og planeter og på det sorte hul, som ligger i Mælkevejens centrum. Solens magnetiske aktivitet bliver også omtalt, og til sidst diskuteres planeter omkring andre stjerner og muligheden for liv i rummet.*

**Hans Kjeldsen** er lektor i astronomi og har i de seneste 20 år arbejdet med at forstå stjernernes indre, bl.a. ved brug af asteroseismologi, hvor han som en af de første i 1995 var med til at måle stjerneskælv på andre stjerner end Solen. Siden 2004 har han deltaget i NASA's Keplerprojekt og har været med til at finde planeter omkring andre stjerner end Solen. Hans Kjeldsen er en aktiv forskningsformidler og holder ca. 50 populærvidenskabelige foredrag om året.

**Jørgen Christensen-Dalsgaard** er professor og leder af Stellar Astrophysics Centre (SAC), som i 2012 blev oprettet ved Aarhus Universitet med fokus på studiet af Solen, stjernerne og planeter omkring andre stjerner.


Jørgen Christensen-Dalsgaard er en pioner inden for studiet af Solen og stjernerne og har udviklet mange af de teoretiske modeller, vi i dag udnytter til at forstå stjernernes indre.

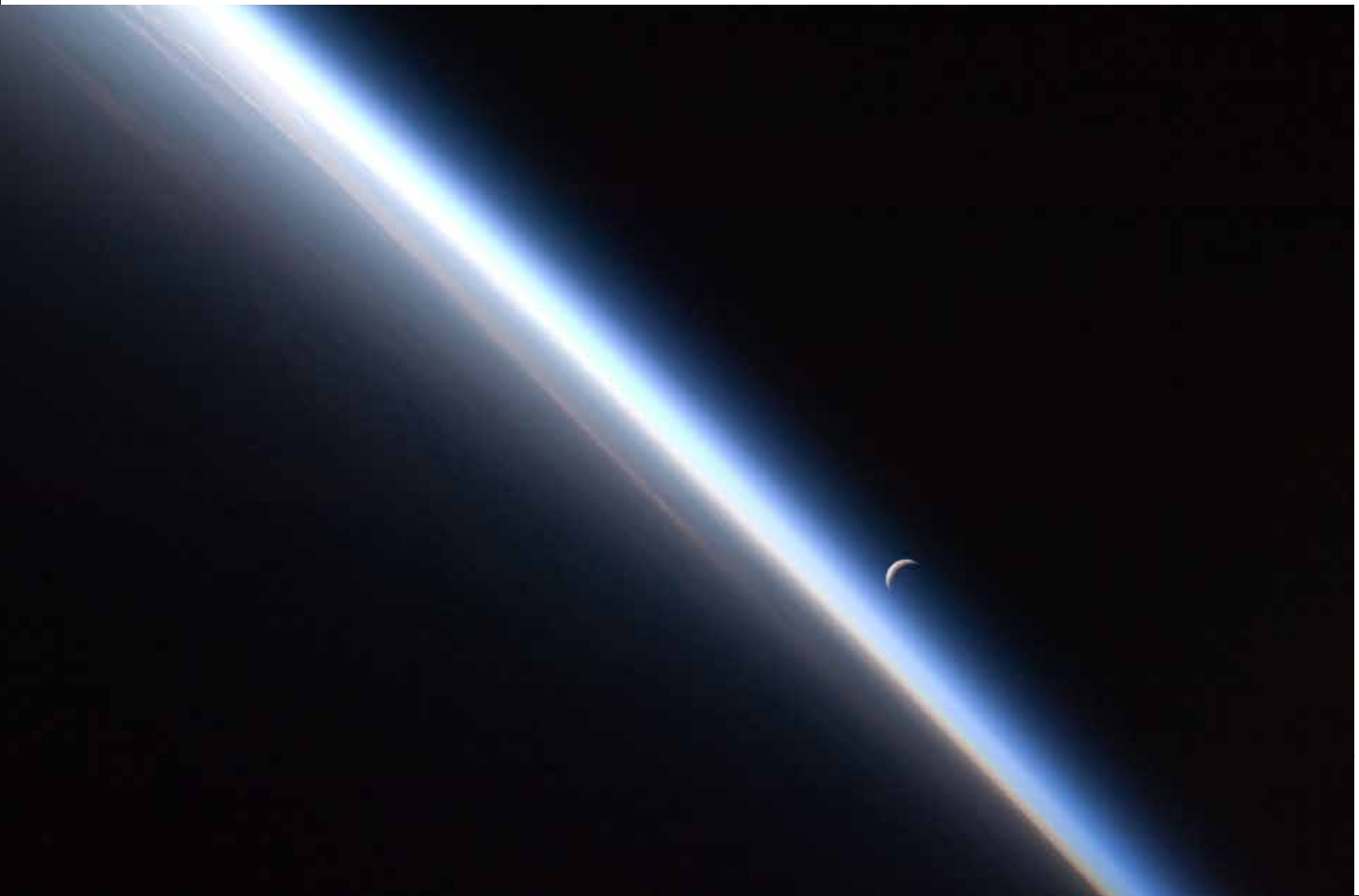
# Det forunderlige univers

*Af Hans Kjeldsen og Jørgen Christensen-Dalsgaard*

Moderne observationer af galakser, stjerner og planeter samt gas og støv i rummet afslører et komplekst, forunderligt og fascinerende Univers, hvor forholdene er meget forskellige fra det, vi kender på vores egen planet: Jorden. Når vi undersøger universet, er vi underlagt den begrænsning, at vi ikke kan foretage direkte målinger af det stof, vi finder i rummet. Vi er henvist til overvejende at foretage vore undersøgelser ud fra den elektromagnetiske stråling (dvs. synligt lys, ultraviolet lys, røntgen- og gammastråling, infrarødt lys, mikrobølgestråling og radiostråling), som vi modtager fra overfladen af de objekter, vi undersøger. Ved hjælp af de

mange forskellige teleskoper og apparater, vi har konstrueret til at måle på lyset, har vi i flere hundrede år – og specielt inden for de seneste 50 år – opbygget et mere og mere detaljeret billede af universet. Ved at analysere observationer og målinger af universet og fortolke målingerne – og sammenholde dem

 Jordens atmosfære strækker sig kun godt 100 km over overfladen, men den skærmer Jordens overflade mod de ugæstfrie forhold, som findes i rummet omkring Jorden. Fotoet er taget af astronauter på den internationale rumstation og viser Månen i horisonten kort før solopgang.



med de teorier, vi har opstillet for, hvordan naturkræfterne og naturlovene fungerer – er det lykkedes at erkende dybere sammenhænge og forhold i universet. At vi overhovedet kan forstå og fortolke det, vi ser, skyldes, at de naturkræfter og naturlove, der styrer de processer, som finder sted, er de samme overalt i universet i fortid, nutid og fremtid. Det antager vi i hvert fald. I virkeligheden er det en utrolig erkendelse eller påstand, om man vil, at universet overhovedet kan erkendes via direkte observation og fortolkning eller tænkning. Men resultaterne viser, at det er muligt at afsløre endda meget detaljerede egenskaber ved universet, selv i afstande på millioner og milliarder af lysår. Et lysår er den afstand, som lyset bevæger sig i løbet af et år svarende til 9.460.700.000.000 km.

I det følgende vil vi beskrive nogle af de forunderlige fænomener, vi finder i universet. Og samtidig kan man nyde billederne, som viser, hvor smukt og forunderligt universet er. Netop det er også centralt, idet forundring og fascination er to vigtige elementer i udforskningen af det uendelige Univers.

### **Hvor bor vi i universet?**

Universet er ikke uendeligt gammelt. Som vi vil komme tilbage til i næste afsnit, tyder målingerne af universet på, at det hele begyndte for 13,65 milliarder år siden med Big Bang. At universet ikke er uendeligt gammelt, betyder samtidig, at vi ikke kan se uendeligt langt væk. Lyset bevæger sig med omkring 300.000 km pr. sekund, og det fjerneste lys, vi i teorien kan modtage, har bevæget sig 13,65 milliarder lysår.

Observationer af universets geometriske egenskaber peger på, at rummet ikke krummer, og at man derfor vil fortsætte i det uendelige, hvis man rejser langs en ret linje i rummet. Samtidig viser observationerne af universet, at det er uendeligt stort, selvom vi altså kun kan se en endelig del af det.


Men lad os begynde med at se, hvor Jorden ligger i universet. Jorden er en planet,


som først og fremmest består af tungere stoffer, primært jern, oxygen, silicium, magnesium, svovl og nikkel. Ved Ækvator har den en diameter på 12.756 km og er omgivet af et tyndt luftlag, atmosfæren, som kun rækker godt 100 km op over overfladen, svarende til ca. 1 % af Jordens diameter. Atmosfæren skærmer os fra de livsfjendske forhold, som findes i rummet.

Jorden er en relativt lille planet sammenlignet med planeterne Jupiter og Saturn, som indeholder store mængder af gas, primært hydrogen og helium, men også kulbrinter (metan og ætan) og vand. I alt indeholder solsystemet fire klippeplaneter og fire gasplaneter samt en række måner, småplaneter, kometer, sten og støv og så naturligvis Solen, som indeholder 99,8 % af alt stof i solsystemet. Alle planeter i solsystemet er i kredsløb omkring Solen. Jorden er planet nummer tre fra Solen, og afstanden til de fjerneste planeter i Solsystemet er over en milliard km. Afstandene til selv de nærmeste stjerner er 10.000 gange større, og det er derfor mere hensigtsmæssigt at måle afstand i lysår. De nærmeste stjerner ligger få lysår borte fra Jorden. De fleste af nattehimmels stjerner ligger dog længere borte, og ser vi stjernerne i Mælkevejen, som om natten kan ses som et lysende bånd af stjerner, skal vi måle afstandene i tusinder af lysår.

Hele Mælkevejen udgør et stort fladtrykt spiralformet system med en diameter på omkring 150.000 lysår. Solen og Jorden ligger omkring 25.000 lysår fra Mælkevejens centrum, og vi ligger på indersiden af en af Mælkevejens spiralarme – den såkaldte Orionarm. I alt er der ca. 200 milliarder stjerner i Mælkevejen, og en af dem er Solen. Ser vi længere ud i universet, er det tydeligt, at Mælkevejen ikke er den eneste af sin slags. Der findes masser af lignende systemer bestående af milliarder af stjerner. Vi kalder sådanne systemer for galakser, og inden for den del af universet, vi kan iagttage, har vi



 Mælkevejen strækker sig som et bånd af stjerner og mørke gas- og støvskyer hen over himlen. Billedet viser den centrale del af Mælkevejen i stjernebillederne Skytten og Skorpionen. Den klare, orange stjerne til højre i billedet er kæmpestjernen Antares, som er omgivet af lysende gasskyer.

 Andromedagalaksen (også kaldet M31) er den store galakse, som ligger nærmest vores egen Mælkevej. Afstanden fra Jorden er 2,5 millioner lysår, og galaksens diameter er 260.000 lysår. Andromedagalaksen er en spiralgalakse, som er skiveformet, og vi ser skiven fra siden med en hældning på 13 grader. Billedet af galaksen er taget i ultraviolet lys, og det blå og hvide spiralbånd består af varme, lysstærke og unge stjerner. Disse stjerner er omgivet af støv- og gasskyer.

beregnet, at der må eksistere ca. 10.000 milliarder galakser.

Galakserne ligger ikke tilfældigt fordelt i universet, men er samlet i såkaldte galaksehobe. Den nærmeste store galaksehobe til Jorden er Virgohoben, som indeholder flere tusinde galakser. Afstandene til de fjerneste galakser er flere milliarder lysår, og lyset fra disse fjerne verdener har altså været undervejs i milliarder af år, inden vi observerer det med vore teleskoper. At måle præcise afstande til så fjerne systemer kan ikke gøres på samme måde, som vi måler afstande på Jorden. Vi benytter os af indirekte metoder, som rummer store usikkerheder, og tidligere var afstanden til de fjerneste egne af universet




ikke nøjagtigt kendt. I dag kendes afstanden til selv de fjerneste galakser med en usikkerhed på ca. 10 %.

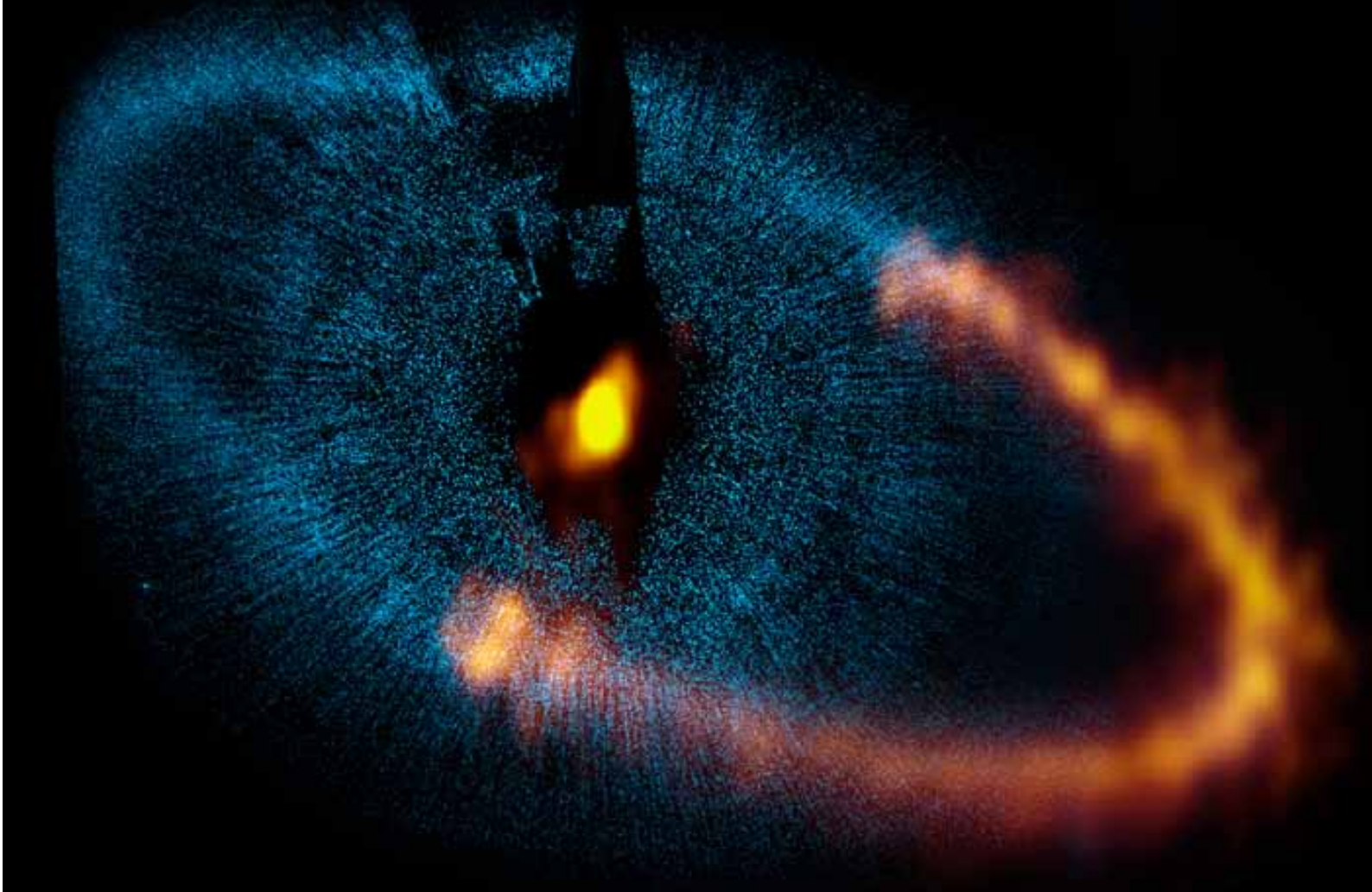
### **Hvordan har universet udviklet sig – og hvor kommer vi fra?**


Når vi studerer objekterne i fjernere og fjernere egne af universet, ser vi tilbage i tiden, fordi lyset fra de fjerneste egne har været undervejs i længere tid. Men vi kan ikke tage billeder af universets begyndelse – dvs. vi kan ikke gøre os håb om at finde lys, som blev udsendt lige efter universets begyndelse. På det tidspunkt var universet uigennemsigtigt, og først 380.000 år efter begyndelsen blev universet gennemsigtigt, og lys kunne bevæge sig frit i rummet.

Det er ikke muligt i denne artikel at foretage en detaljeret gennemgang af teorierne for de tidligste faser af universets udvikling, og derfor vil vi nøjes med at nævne nogle

 Billede af ioniseret gas i skykomplekset RCW120 observeret med APEX-radioantennen (det blå lys) fra Atacamaørkenen i Chile. I det indre af tågen ses lys fra hydrogen gas (rødt lys). RCW120 er ti lysår stor og under sammentrækning. Der dannes stadig nye stjerner i denne gas-sky. APEX kan ikke tage billeder af almindelige stjerner, og billedet fra APEX er derfor lagt oven på et billede af stjernehimlen taget i rødt og infrarødt lys for at vise de stjerner, som ligger omkring RCW120.

grundlæggende elementer. Universets udvikling begyndte som nævnt for 13,7 milliarder år siden med Big Bang. I den første fase var det ufatteligt varmt, og densiteten, altså tætheden, var ufatteligt stor. Universet udvidede sig hurtigt, og temperaturen og densiteten faldt hastigt. Udvidelsen af universet fortsætter også i dag, 13,7 milliarder år efter Big Bang. Vi observerer denne udvidelse ved, at alle fjerne galakser bevæger sig bort fra os, og hastigheden er større, jo længere væk de befinder sig. I de første faser af Big Bang



 Den klare stjerne Fomalhaut er en ung stjerne med en alder på ca. 400 millioner år. Stjernen er omgivet af en ring af støv, som ses på billedet med stjernen i midten. Rumteleskopet Hubble har tidligere opdaget, at der findes en planet nær ringen af støv. Nye observationer fra ALMA-radioteleskopet har afsløret, at der findes mindst to planeter i kredsløb om Fomalhaut, og at begge planeter formentlig er noget mindre end planeterne Uranus og Neptun i vores solsystem. Billedet viser optagelser fra Hubble-rumteleskopet (vist med blå farver) og ALMA (vist med gule farver). Bemærk, at ALMA indtil nu kun har observeret den ene halvdel af ringen.

fandtes der intet stof. Efterhånden som universet udvidede sig og kølede af, dannedes de første partikler og senere elektroner og hydrogen- og helium-atomkerner. Så længe universet var varmt, kunne atomerne ikke holdes sammen, og først da temperaturen nåede ned på ca. 2.700 grader celsius, blev hovedparten af de elektroner, som fandtes frit i universet, bundet til hydrogen- og heliumkernerne. Universet overgik til en ny

fase, hvor det meste stof var bundet i atomer, og lys kunne bevæge sig frit i rummet. Frie elektroner stopper lyset, så først fra det øjeblik elektronerne blev bundet i atomer, blev universet gennemsigtigt. Det skete 380.000 år efter begyndelsen, og det er det tidligste tidspunkt, vi kan "se" tilbage til. Lyset fra dette tidspunkt finder vi i alle retninger, og det observeres som gløden fra Big Bang – den såkaldte kosmiske baggrundsstråling.

Trods den fortsatte udvidelse af universet begyndte stoffet allerede tidligt at klumpe sig sammen på grund af tyngdekraften. Det førte til dannelsen af galaksehobe, galakser og stjerner i galakserne – bl.a. vores egen stjerne Solen, som blev dannet for 4,568 milliarder år siden. Mælkevejens stjerner dannes ved sammentrækning af de gas- og støvskyer, som ligger mellem stjernerne. Det er tyngdekraften, som er ansvarlig for sammentræk-

ningen af gasskyerne og opdelingen i mindre skyer, der trækker sig sammen til stjerner.

Når en lille del af en gassky trækker sig sammen til en stjerne, vil den under sammentrækningen rotere hurtigere og hurtigere, hvilket vil forårsage dannelsen af en skive af materiale rundt om den nydannede stjerne. En sådan skive af materiale kaldes for en protoplanetarisk skive, og den vil under fortsat sammentrækning danne planeter, måner og alt, hvad vi finder i et planetsystem af små objekter (kometer, støv, meteoritter osv.). Jorden blev som de andre planeter i Solsystemet dannet ud fra den skive, som omgav den unge, nydannede Sol. I skiven var alle de stoffer, vi finder på Jorden og på de andre planeter. Foruden gas og faste stoffer var der bl.a. vand og forskellige organiske og uorganiske molekyler til stede i den protoplanetariske skive omkring Solen for 4,568 milliarder år siden. Med tiden forsvinder skiven omkring stjernerne og efterlader planeterne og månerne tilbage i de kredsløb, de blev dannet i.

### **Solen – en almindelig stjerne**

Bortset fra det faktum, at vi kredser omkring Solen, er der ikke noget, som gør Solen til en speciel stjerne. Faktisk kunne man sige, at den er lidt kedelig og almindelig. Solen ændrer sig nemlig ikke meget i tidens løb. Alligevel er Solen meget fascinerende at studere, og med moderne observationsmetoder er det lykkedes at undersøge ikke bare Solens overflade, men også dens komplekse atmosfære, Solens magnetfelt og Solens indre. I Solens centrum er temperaturen 15,7 millioner grader, og her er temperatur og densitet så høje, at hydrogenatomkerner langsomt omdannes til heliumkerner ved fusion. Der er tale om en proces, som på ca. 10 milliarder år vil omdanne alt hydrogen i Solens kerne til helium. Ved fusionsprocessen sker der et tab af masse, idet de fire hydrogenatomer, som indgår i dannelsen af en heliumkerne, vejer en smule mindre end et heliumatom. Den


tabte masse bliver i processen til energi, som udstråles fra Solens overflade og giver lys og varme på Jorden.

Vi har i dag et indgående kendskab til forholdene dybt i Solens indre. Det skyldes, at vi på overfladen af Solen har iagttaget vibrationer som ses ved at soloverfladen periodisk bevæger sig ud og ind med en periode på omkring fem minutter. Vibrationerne stammer fra, at hele Solen skælver eller svinger, og disse svingninger er forårsaget af lydbølger, som bevæger sig ind gennem hele Solen – også gennem Solens varme centrale dele. Da hastigheden af bølgerne afhænger af de fysiske forhold i det indre af Solen, vil vi ud fra vibrationsperioderne kunne bestemme forholdene i Solens indre. Det er en teknik, som har været anvendt i mange år til at undersøge Solens indre, og i de seneste godt 15 år er det også lykkedes at anvende samme teknik på andre stjerner end Solen. Metoden kaldes astero-seismologi. Det er et forskningsfelt, hvor astronomerne ved Aarhus Universitet er blandt verdens førende.

Selvom Solen er en stabil og som sagt lidt kedelig stjerne, sker der alligevel voldsomme fænomener på Solens overflade og i dens atmosfære. Det skyldes Solens magnetiske aktivitet. Den magnetiske aktivitet på Solen forårsager bl.a. mørke pletter på Solens overflade, såkaldte solpletter, og udslyngning af stof til Solens ydre atmosfære – den såkaldte korona. Moderne observationer fra satellitter viser løbende, hvad der sker på Solens overflade og i dens atmosfære, og vi kan følge og undersøge i detaljer, hvordan stof kastes bort fra Solen ved magnetiske eksplosioner. Solens magnetfelt varierer i tidens løb og har så længe, vi har målt det, varieret nogenlunde periodisk med 11 år, således at magnetfeltet på overfladen er kraftigst hvert 11. år.

I 2012-13 nåede Solen et nyt maksimum i magnetisk aktivitet, som dog var svagere end det, der fandt sted omkring år 2001. Vi forstår endnu ikke, hvorfor Solens magnetiske aktivitet ikke nåede samme niveau som tidli-



 I samarbejde med Københavns Universitet og IAC på Tenerife har astronomerne ved Aarhus Universitet etableret et teleskop i 2,4 km's højde ved Teide-Observatoriet på Tenerife. Teleskopet er det første i et netværk af teleskoper, som skal placeres rundt på Jorden, og som vil tillade observation af vibrationer på Solens og stjernernes overflader. Det vil give astronomerne indsigt i stjernernes indre.

gere, men observationerne af magnetfeltet giver os et billede af de variationer, som finder sted over perioder på årtier og århundreder.

Magnetfeltet på Solens overflade danner som sagt solpletter. Solpletterne opstår, fordi temperaturen i den gas, som ligger i de kraftigste dele af magnetfeltet, er lavere end i den omkringliggende gas, og det fører til, at gassen inde i de kraftigste områder af magnetfeltet lyser mindre, og en mørk plet opstår. Antallet af solpletter kan derfor ses som et mål for, hvor stærk Solens magnetiske aktivitet er på et givet tidspunkt.

Ser vi tilbage på antallet af solpletter gen-


nem tiderne, kan det ses, at solaktiviteten foruden 11-årsperioden også varierer over længere tidsskalaer, og at der har været tider, hvor solpletterne har været næsten helt væk. I 1650-1720 var der næsten ingen solpletter – en periode, vi kalder Maunder minimum – og det diskuteres blandt astronomer, om det fald i solaktiviteten, vi har observeret i 2012-13, er tegn på, at Solen igen er på vej mod et minimum som det, der [indtraf](#) i 1650-1720.


At Solen lige nu opfører sig anderledes end i de seneste årtier, er dog tydeligt. Det ses bl.a. ved, at magnetfeltet på Solens nordlige halvkugle allerede nåede maksimum i 2011-12, mens den sydlige halvkugle tilsyneladende først vil nå maksimum i 2013-14. Det næste minimum forventes i 2020, og det bliver spændende at se, om solpletterne efter dette minimum ikke vender tilbage, og om Solen går ind i et minimum som det, der startede i 1650.

Solens magnetiske aktivitet påvirker





 Eksempler på tre eksplosioner forårsaget af magnetisk aktivitet på Solens overflade. Observationerne er foretaget af solsatellitten SDO den 31. august 2012, den 16. juni 2011 og den 18. september 2012. Alle optagelser er i ultraviolet lys.

 Solens magnetiske aktivitet forårsager udslyngning af stof fra Solen, som forstyrrer Jordens magnetfelt, og en del af de elektrisk ladede partikler i Jordens magnetfelt vil afbøjes ind i atmosfæren og her støde sammen med atmosfærens molekyler og atomer og afgive energien i form af nordlys og sydlis. Copyright: Bud Kuenzli

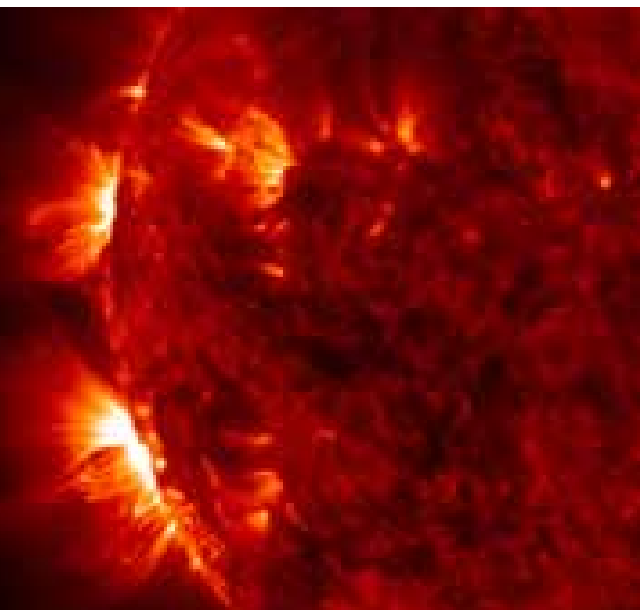


Jordens magnetfelt og de elektrisk ladede partikler, som er fanget i Jordens magnetfelt. Når Solens magnetiske aktivitet forårsager udslyngning af stof fra Solen, forstyrres Jordens magnetfelt, og en del af de elektrisk ladede partikler i Jordens magnetfelt vil så afbøjes ind i Jordens atmosfære. Her støder de ladede partikler sammen med atmosfærens molekyler og atomer, hvorved de afgiver deres energi. Fænomenet kan vi observere som nordlys og sydlis.

Fordi Maunder solpletminimum falder sammen med en periode med koldt vejr – vi kalder det den lille istid – er der belæg for at sige, at Solens magnetiske aktivitet kan forårsage klimavariationer, så det generelt er koldere, når Solens magnetiske aktivitet er lav. Sammenhængen mellem Solens aktivitet og Jordens klima er et forskningsfelt, som forskere ved Aarhus og Københavns Universiteter arbejder med. Præcist, hvor stor denne Jord-Sol-effekt er, vil vise sig i de kommende år, hvis Solens magnetiske aktivitet falder til det niveau, vi observerede i 1650-1720 (den lille istid).

### **Stjernernes endeligt**

Om godt fem milliarder år vil Solen begynde at udvide sig voldsomt, fordi den har omdannet alt hydrogengas i kerneområdet. I dag har Solen opbrugt ca. halvdelen af sin hydrogengas. Solen bliver til en kæmpestjerne, som i løbet af nogle hundrede millioner år vil nå





en størrelse, som svarer godt og vel til afstanden mellem Solen og Jorden. Når Solen når sin maksimale størrelse, vil Merkur, Venus og Jorden blive opslugt af Solen. Processerne i Solens kerne vil på det tidspunkt gøre, at helium omdannes til kulstof ved fusion. Processen er dog ikke stabil, og Solens ydre dele vil om godt syv milliarder år blive kastet bort fra Solen, mens selve kernen trækker sig sammen til en varm, kompakt stjerne, som har en diameter på størrelse med Jorden. Det stof, som Solen slynger ud, vil kunne ses som en gaståge, der udvider sig, og som vil være synlig i nogle tusinde år.

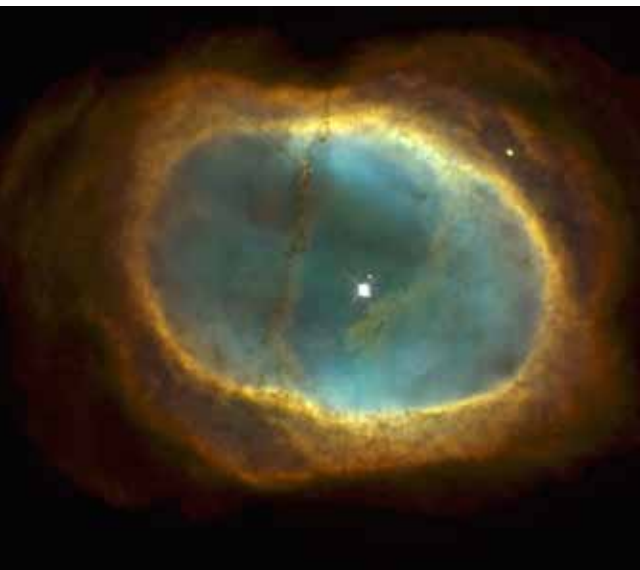
Stjerner, som har en masse, der er meget større end Solen, vil ikke afslutte deres udvikling på samme måde som Solen. Disse stjerner vil derimod fortsætte deres energiproduktion ved at danne tungere og tungere stoffer ved fusion. Det vil fortsætte, indtil stjernen har dannet store mængder af kulstof, oxygen, nitrogen, neon, svovl, jern og nikkel. Når stjernen har dannet en stor kerne

af jern og nikkel, vil den ende i en ustabil tilstand, hvor hele stjernens kerne styrter sammen på en brøkdel af et sekund, og hvor det meste af stjernen slynges ud i rummet med voldsom fart. I denne varme eksplosion – som kaldes for en supernova – dannes grundstoffer tungere end jern og nikkel. Alle de tunge grundstoffer, vi kender på jorden, er således dannet i forbindelse med afslutningen på udviklingen af en stjerne med stor masse.

Når du ser dig selv i spejlet om morgenen, er det værd at tænke over, at det stof, vi består af, er dannet af stjernestøv.

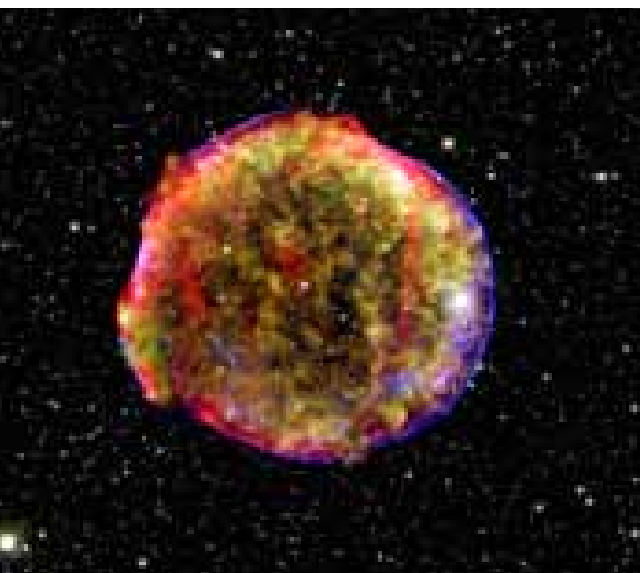
### **Et sort hul i Mælkevejens centrum**

25.000 lysår fra Jorden i stjernebilledet Skytten ligger Mælkevejens centrum. I synligt lys kan centrum ikke ses på grund af store skyer af støv og gas, som skygger for udsynet. Støv og gas er dog mere gennemsigtigt i infrarødt lys, og hvis man laver observationer i infrarødt lys, er det derfor muligt at se stjernerne



☞ *Gastågen NGC 3132 er omkring et halvt lysår i diameter og befinder sig omkring 2.000 lysår fra Jorden. Gastågen er dannet ved afslutningen af en sol lignende stjernes udvikling – en fase, som Solen vil nå om syv milliarder år. I midten ses den varme, kompakte rest af stjernens kerne.*

☞ *Resterne af den stjerne, som den danske astronom Tycho Brahe så i 1572, er her optaget med flere forskellige teleskoper (Chandra, Spitzer og Calar Alto) i røntgenstråling, infrarødt lys og synligt lys. Tågen udvider sig hastigt og vil med tiden blandes med de interstellare gasskyer, som ligger i Mælkevejen.*



og det er disse bevægelser, som gør, at vi ser universet uskarpt. Der findes dog en genial måde at fjerne denne udtværing på. Jordens atmosfære virker som en linse, der gør billedet uskarpt, og hvis man kan lave en linse eller et lille spejl, som præcist ophæver den afbøjning, som atmosfæren laver, kan man danne et helt skarpt billede. Problemet er, at Jordens atmosfære ændrer sig flere gange pr. sekund, så man skal i princippet lave en ny linse eller et nyt spejl flere gange i sekundet.


Ved at lave et fleksibelt spejl kan det faktisk godt lade sig gøre, og det sidste problem er så at måle, hvilken form spejlet skal have på et givet tidspunkt for netop at korrigere for effekten af Jordens atmosfære. Formen kan udmåles, hvis man har en klar stjerne, som ligger lige i nærheden af det objekt, man gerne vil studere. Et problem er dog, at der jo ikke findes klare stjerner tæt på alle spændende objekter. Men også det problem har man fundet en løsning på. På store teleskoper i Chile er det muligt at lave kunstige stjerner ved at skyde lyset fra en kraftig laser op i Jordens atmosfære, og her får laserlyset luften i den ydre del af Jordens atmosfære til at lyse. Hermed skabes et lysende punkt, som ligner en stjerne, og det kan bruges til at korrigere effekten fra Jordens atmosfære.

Ved at foretage observationer i infrarødt lys, udnytte kunstige stjerner skabt ved brug af laserstråler og korrigere udtværingen af lyset i Jordens atmosfære har vi nu i over 15 år

samt støv- og gasskyerne, som ligger tæt på Mælkevejens centrum.

Det er imidlertid ikke kun absorption af lys fra foranliggende støv- og gasskyer, som hindrer os i at observere Mælkevejens centrum. På grund af den store afstand ligger stjernerne så tæt på hinanden, at der skal store teleskoper til for at adskille de enkelte stjerner, og her støder vi på det problem, at Jordens atmosfære udtværer lyset, når det passerer fra rummet og ned til Jordens overflade. Udtværingen skyldes, at luften i Jordens atmosfære bevæger sig,



 NASA's Spitzer-teleskop har taget dette imponerende billede af de centrale dele af Mælkevejen. Billedet er taget i infrarødt lys, hvor det er muligt at se igennem de store mængder af støv og gas, som hindrer udsynet i synligt lys. På billedet ses store mængder af unge stjerner, gas og støv.

jævnligt lavet målinger af stjernerne i nærheden af Mælkevejens centrum. Det interessante er, at stjernerne nær selve centrum bevæger sig rundt med stor fart, og at de tilsyneladende kredser omkring et usynligt punkt, som må have en stor tyngdekraft og en stor masse for at kunne forklare afbøjningerne af stjernernes baner. Massen af det usynlige objekt er ca. fire millioner gange Solens masse, og alle observationer peger på, at der er tale om et gigantisk sort hul. Vi mener at have iagttaget gas, som befinder sig tæt på selve det sorte hul, blive opslugt.


Fremtidige observationer vil formentlig kunne vise os billeder af selve det øjeblik,


hvor stof forsvinder ned i hullet og opsluges af den kolossale tyngdekraft, som hersker i dette utrolige objekt.

### **Planeter omkring andre stjerner – ligner de Jorden?**

Som beskrevet tidligere vil dannelse af nye stjerner føre til dannelse af en skive omkring stjernen, som senere trækker sig sammen og danner planeter. Vi har derfor i mange år forventet, at de fleste stjerner vil være omkredset af planeter. Observationer i de seneste godt 15 år har vist, at der ganske rigtigt findes masser af planeter omkring andre stjerner, og i de senere år er vi begyndt at finde planeter, som minder mere og mere om vor egen planet, Jorden. Dog har vi endnu ikke fundet en planet, som har helt de samme egenskaber som vores planet. Med opsendelse af NASA's Keplersatellit den 7. marts 2009 fik vi adgang til observationer, som inden for en årrække



 En kraftig laserstråle skydes fra et af ESO's 8,2 m teleskoper (som samlet udgør det såkaldte Very Large Telescope, VLT) direkte op mod Mælkevejens centrum og danner i Jordens atmosfære i 90 km's højde en kunstig stjerne af lysende natriumatomer. Den kunstige stjerne bruges til at korrigere effekten af den atmosfæriske udtværing af lyset og tillader detaljerede studier af Mælkevejens centrum.

 De inderste dele af Mælkevejen, optaget ved brug af ESO's Very Large Telescope, viser de enkelte stjerner, som ligger tæt på det kolossale sorte hul, som befinder sig i selve centrum.

Credit line: ESO/S. Gillessen et al.



forventes at føre til opdagelsen af planeter af Jordens størrelse.

Keplersatellitten har allerede ført til opdagelsen af en række fascinerende planeter – et arbejde, som astronomer fra Aarhus Universitet deltager aktivt i. Vi ved nu, at de fleste stjerner er omkredset af planeter, men kun ca. 15 % af alle stjerner har en kæmpe gasplanet som Jupiter og Saturn (med en diameter på ca. ti gange Jordens diameter). På den måde er vores eget solsystem ualmindeligt. De fleste af de nye planeter, som Keplersatellitten har fundet, har en størrelse, som er mindre end planeterne Uranus og Neptun. Statistikken tyder på, at en gennemsnitsstjerne har 5-10 planeter med en størrelse på 1-4 gange Jordens diameter (fire gange Jordens diameter svarer til diameteren af Uranus og Neptun). De mellemliggende størrelser – altså større end Jorden og mindre end Uranus og Neptun – er en type planeter, vi slet ikke kender i vores solsystem.

Ud fra Keplersatellittens målinger tyder det på, at planeter med en temperatur som på Jordens overflade og en størrelse omkring Jordens diameter er meget almindelige, og der er formentlig milliarder af den slags

planeter i universet. Det handler blot om at finde dem.

Den næste opgave bliver så at undersøge, om en given planet er beboelig, og ultimativt, om der er tegn på biologisk aktivitet på overfladen. Vi vil i første omgang lede efter, om det reflekterede lys fra overfladen tyder på, at overfladen er dækket af plantevækst, og om sammensætningen af atmosfæren tyder på biologiske kredsløb. Oxygen i Jordens atmosfære er fx tegn på liv, og hvis vi finder frit oxygen i atmosfæren på nogle af de nye planeter, vi finder, vil det være et første tegn på, at liv formentligt findes på overfladen. Fremtidige superteleskoper som ESO's ELT forventes om ca. ti år at kunne bidrage med observationer af en kvalitet, som er nødvendig for at kunne undersøge de detaljerede egenskaber ved de nye planeter.

### Er der liv derude?

Selvom vi ud fra Keplersatellittens målinger har forventninger om, at det vrimler med jordlignende planeter, har vi endnu ikke fundet en planet, som kan siges at være en nøjagtig kopi af Jorden. Men vi har fundet planeter, som potentielt kunne være beboelige, også selvom de ikke er kopier af Jorden.


Vi vil slutte fortællingen om det forunderlige Univers med at give nogle eksempler på planeter, der er fundet og karakteriseret med Keplersatellitens målinger.

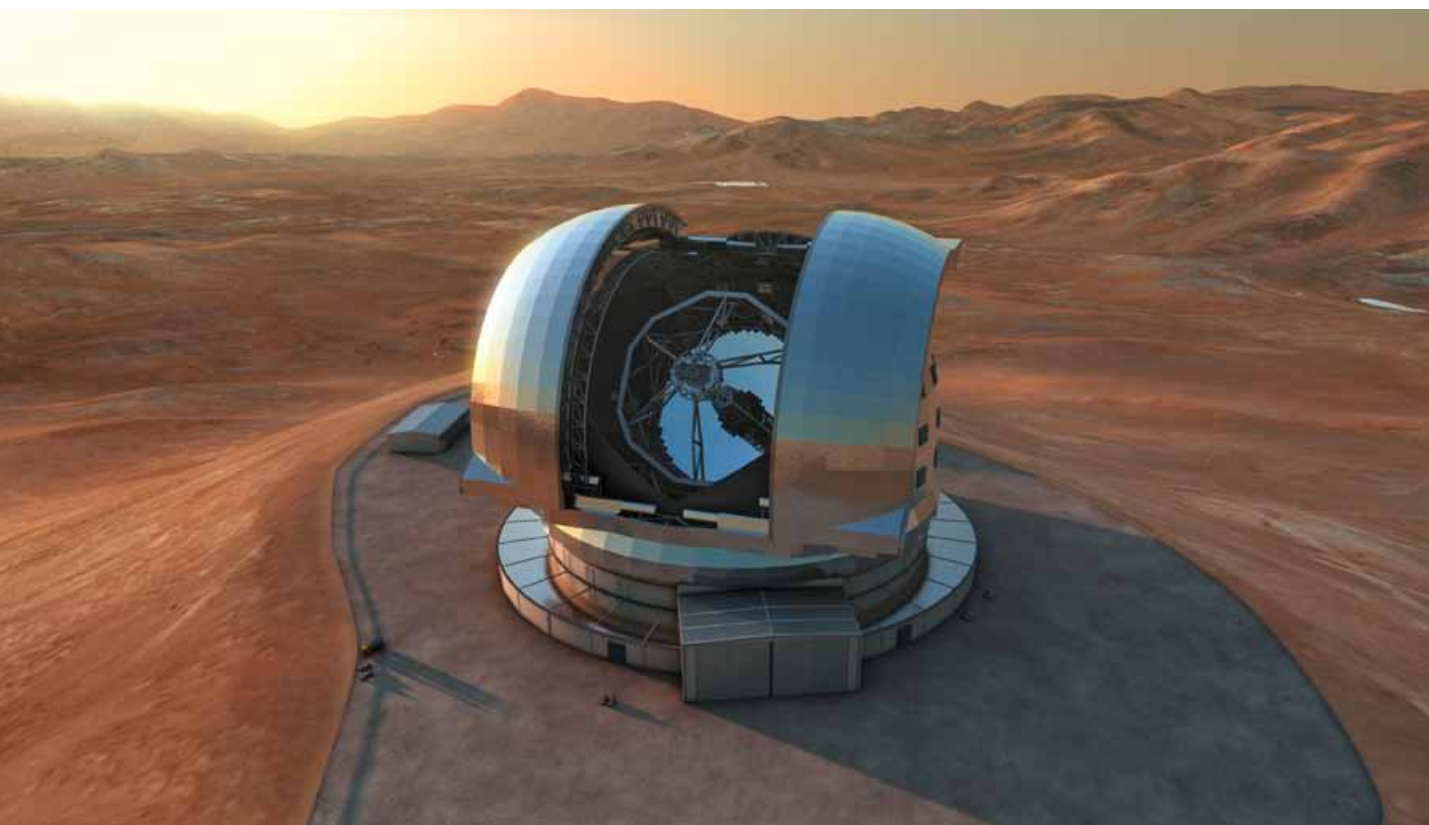
Den ene er planeten Kepler-11b, som er en af seks kendte planeter i det planetsystem, som bærer navnet Kepler-11. Det gør denne planet særligt interessant, at den – med en diameter på to gange Jordens diameter og en masse på fire gange Jordens masse – har en densitet, som svarer til den, en vandrig planet vil have. Beregninger viser, at ca. 75 % af planetens masse består af vand. Planetens overfladetemperatur er over 500 grader celsius, og derfor består dens atmosfære formentlig af hede skyer af damp. Dybt under atmosfæren er der mulighed for et hav, hvor temperaturen er væsentligt under kogepunktet. Måske er der liv i dette dybe og enorme ocean.

Er der ikke liv på Kepler-11b, er Kepler-22b en måske endnu mere oplagt kandidat til


en planet, hvor liv kunne eksistere. Kepler-22b er en planet med en diameter på godt to gange Jordens diameter. Planetens masse er ukendt, men dens omløbstid omkring sin moderstjerne er 290 døgn, hvilket betyder, at afstanden mellem Kepler-22-stjernen og Kepler-22b er 127 millioner km (85 % af Jord-Sol afstanden). Ud fra kendskab til moderstjernens lysudsendelse estimeres overfladetemperaturen til at ligge mellem 0 og 100 grader celsius, så vand på planetens overflade vil være flydende. Om der findes liv på Kepler-22b, ved vi ikke endnu, men eftersøgningen af liv og livsbetingelser fortsætter.

I 2013 offentliggjorde NASA i samarbejde med forskere fra bl.a. Aarhus Univer-

 *Extremely Large Telescope (ELT) vil om ca. ti år stå klar på bjergtoppen Cerro Armazones i 3.060 meters højde i Chiles Atacamaørken. Med sit 39 meter store spejl kan teleskopet samle så meget lys, at studier af fjerne planeters egenskaber bliver mulige.*





 En kunstners opfattelse af planeten Kepler-22b, som er den af de kendte planeter, som ligner Jorden mest. Inden for en årrække vil vi formentligt finde mange flere og endnu mere jordlignende planeter.

sitet det mest jordlignende planetsystem, vi endnu har fundet. Planeterne Kepler-62e og Kepler-62f har diametre på hhv. 1,6 og 1,4 gange Jordens diameter, og de befinder sig i afstande fra deres moderstjerne, som gør, at temperaturen på overfladen af begge planeter tillader flydende vand. Mens Kepler-62e sikkert er en varm, skydækket planet, er det sandsynligt, at Kepler-62f er en planet med is og vand på overfladen. Kepler-62-systemet befinder sig 1.200 lysår fra Jorden.

Med den udvikling, forskningen er inde i lige nu, er det ikke udelukket, at vi inden for de kommende ti år vil have de første målinger, som fortæller os, at der er liv derude – hvis livet ellers har udviklet sig andre steder end på Jorden. I de kommende år venter der os således masser af spændende nyt fra det forunderlige univers.

### Mere om emnet

- Bruun, L., Pedersen, K. (red). (2009). *Dansk astronomi i kikkerten*. Forlaget Epsilon.dk.
- Finster, K.W., Temkiv, T.S. & Kjeldsen, H. (2013). Er der liv derude? *Aktuel Naturvidenskab*, 1, 22-25.
- Hannestad, S. (2003). *Universet: fra superstrengte til stjerner*. Aarhus Universitetsforlag.
- Jørgensen, U. G. (2013). 10 milliarder planeter som Jorden – hvor er beboerne? *Aktuel Naturvidenskab*, 1, 16-21.
- Teuber, J. & Nørgaard, H. (2012). *Vores kosmiske forbindelse – himlen set fra jorden*. Gyldendal.
- Film af Lars Becker-Larsen (2009): Den bevægede Jord, og tilhørende bog: En ny himmel. Verdensbilleder fra kugleskaller til kvanteskum. Aarhus Universitetsforlag.