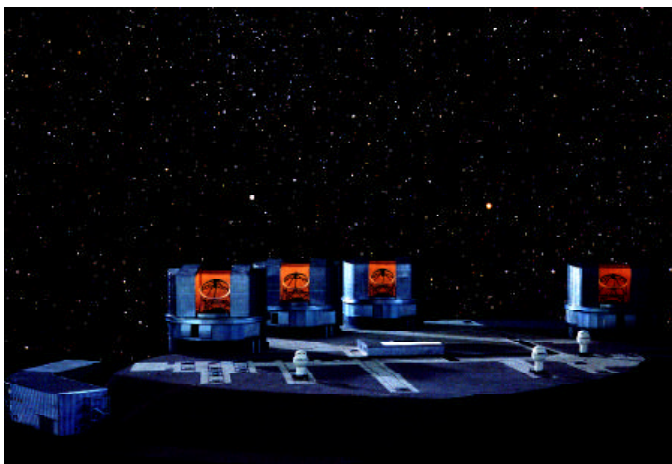


Very Large Telescope snart færdigt

Torben Andersen

Lund Universitet

Snart kan astronomer i de europæiske lande se stjerner med verdens største teleskopsystem. European Southern Observatory (ESO) har i en årrække arbejdet på at bygge fire store teleskoper på en bjergtop i det nordlige Chile. Projektet nærmer sig sin afslutning, og om få måneder ventes det første teleskop at se stjerner.



Figur 1. Tegning der viser beliggenheden af de fire 8.2 m enhedsteleskoper og de tre små 1.8 m mobile interferometriske teleskoper. (Tegning: ESO).

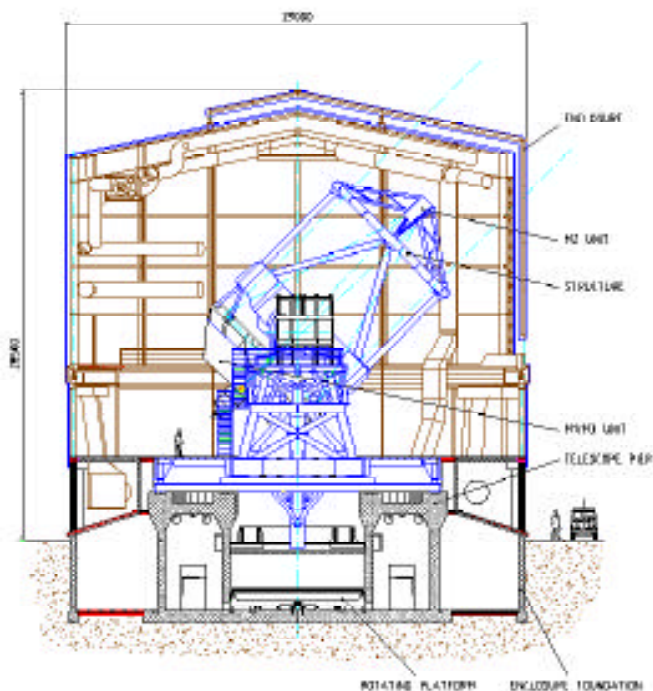
Danske astronomer og teknikere har deltaget aktivt i arbejdet. Det har givet danske specialister mulighed for at deltage i et spændende internationalt samarbejde, så Danmark kan tage del i den betydelige viden, som er opbygget omkring projektet.

Fire store kikkerterter

Very Large Telescope (VLT) består af et antal kikkerter, som kan arbejde sammen. Det er først og fremmest fire store kikkerter, hvis hovedspejle har en diameter på 8.2 m. Derudover er der planlagt to eller tre mindre teleskoper på 1.8 m.

De store teleskoper kan enten bruges sammen eller hver for sig. Ved samkørsel kan lyset fra teleskoperne kombineres både kohærent og inkohærent. Ved kohærent kombination fungerer teleskoperne som et interferometer, hvorved der opnås en opløsning på omkring 0.001 buesekund. Det svarer til synsvinklen til en mand på månen. Ved inkohærente observationer samles den indsamlede energi fra de fire teleskoper i ét fokus. Opløsningen er bestemt af de enkelte teleskoper.

De små teleskoper med spejldiameter på 1.8 m er udelukkende beregnet til interferometri. Disse teleskoper kan enten benyttes alene eller sammen



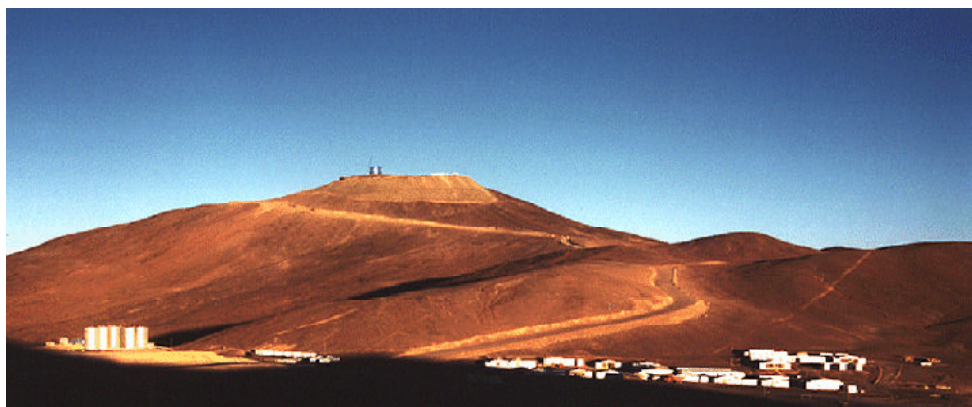
Figur 2. Snittegning af 8.2 m teleskop i bygning. (Tegning: ESO).

med de store teleskoper. De små teleskoper er flytbare. Det giver mulighed for at placere dem bedst muligt afhængigt af hvilket objekt, der observeres.

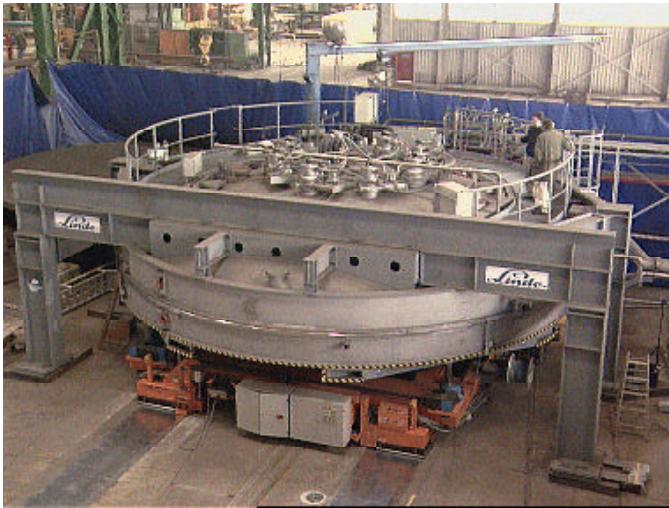
Teleskopernes indbyrdes placering fremgår af tegningen i Figur 1. Figur 2 er en snittegning af teleskop og bygning.

Paranal Observatoriet

VLT installeres i 2635 meters højde på bjergtoppen Paranal 1200 km nord for Santiago i det nordlige Chile. Se Figur 3. Observatoriet ligger 600 km fra det eksisterende observatorium på La Silla.

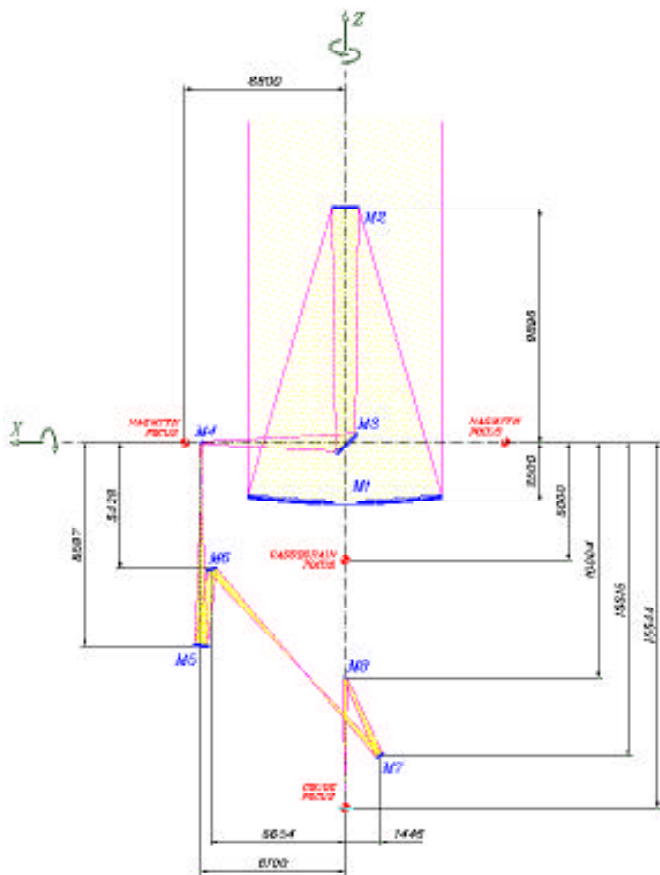


Figur 3. Paranal observatoriet ligger på en bjergtop i Atacama ørkenen i det nordlige Chile. (Foto: ESO).



Figur 4. Coatinganlæg for 8.2 m spejle. (Foto: ESO).

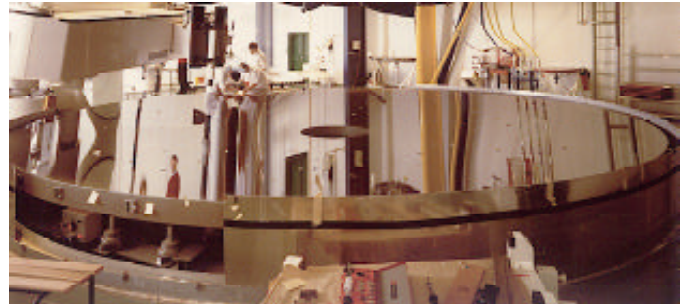
Observationsforholdene er perfekte på Paranal. Der er kun få skyer, og der kan observeres skyfrit 281 nætter om året. Luftfugtigheden er lav, hvad der er vigtigt for infrarøde observationer. Området er meget øde, og det har været nødvendigt at opbygge egen infrastruktur med veje, dieselgeneratorer, sovebaracker, satellitkommunikation, osv. Der er også installeret et stort coatinganlæg for hovedspejlene baseret på sputtering teknik (Figur 4).



Figur 5. Optisk layout af 8.2 m enhedsteleskoper i VLT. (Tegning: ESO).

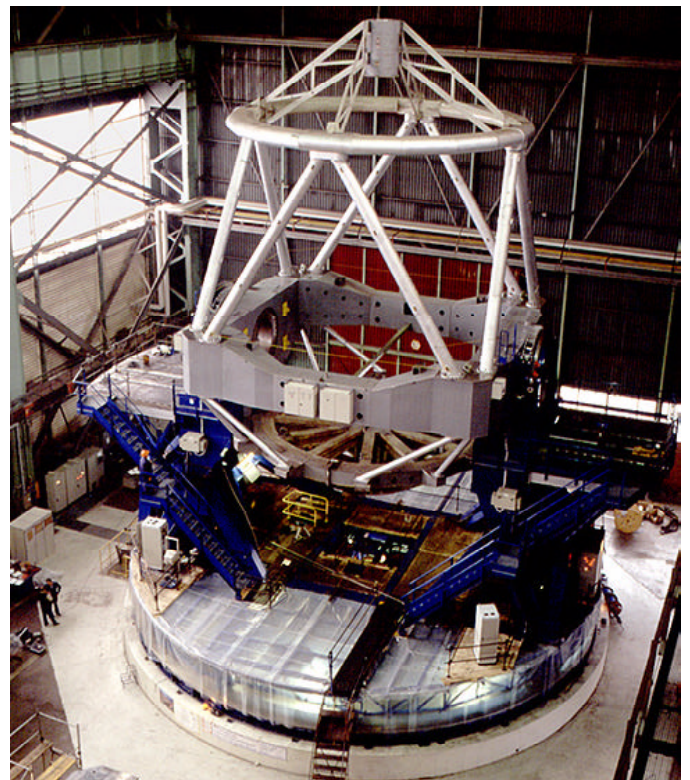
Optisk Layout

8.2 m teleskoperne har et konventionelt layout med Cassegrain og Nasmyth foki. Det optiske system er vist på Figur 5. For observationer i Nasmyth fokus er spejlgeometrien af Ritchey-Chretien type med hyperbolsk hoved- og sekundær spejl. En sådan optisk geometri giver et billede fri for sfærisk aberration og koma, men med en vis astigmatisme og feltkrumning. Ved observationer i Cassegrain fokus har systemet ikke en ægte Ritchey-Chretien geometri.



Figur 6. 8.2 m hovedspejl under laborietest. Bemærk hvor tyndt spejlet er. (Foto: ESO).

Skift fra Cassegrain til Nasmyth fokus sker ved at ændre hovedspejlets krumning ved brug af det aktive understøtningssystem beskrevet senere i denne artikel samt ved at indsætte et computerstyret foldespejl midt i teleskopet. Derved sendes lyset sidelæns ud af teleskoprøret til de store Nasmyth observationsstationer. Ved hjælp af relæspejle kan lyset derfra også sendes videre til Coude fokus, og lyset kan kombineres med lys fra andre teleskoper som tidligere beskrevet.



Figur 7. De store teleskopstrukturer under prøvemontage i en fabriksal i Milano. (Foto: ESO).

Fremstilling af hovedspejlet

Hovedspejlene er fremstillet af Zerodur® fra det tyske firma Schott. Det er et materiale med en termisk udvidelseskoefficient nær nul. Støbningen af spejlene er foregået i en roterende ovn. Derved har spejlskiverne fået en tilnærmelsesvis parabolisk form som udgangspunkt for den efterfølgende bearbejdning. Schott har fremstillet en speciel ovn til brug for udstøbningen.

Poleringen er udført af det franske firma REOSC, som også har fremstillet nye maskiner og opført en fabriksal til dette formål. Figur 6 viser et af hovedspejlene under test hos REOSC.

Stålstrukturer

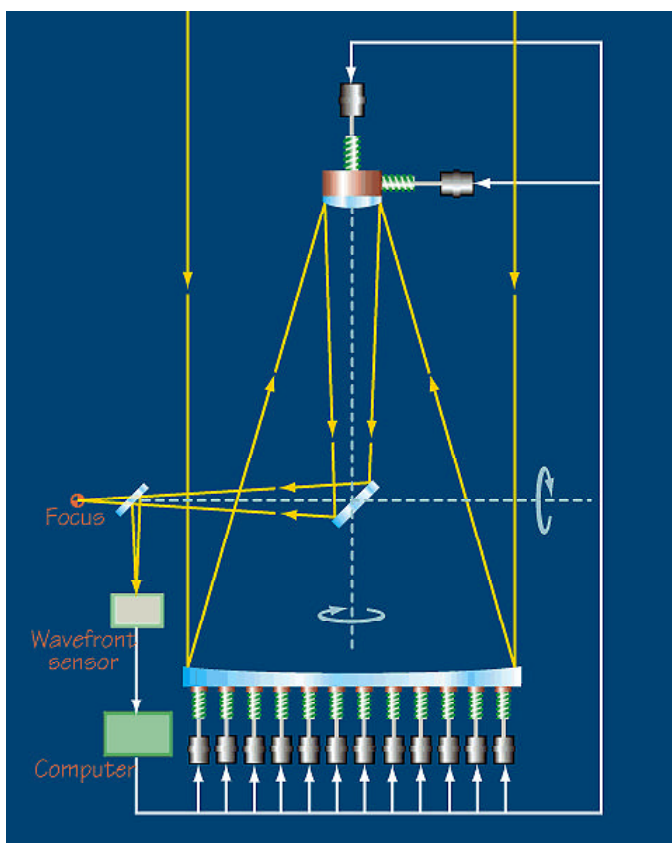
De bevægelige dele af teleskopet har en masse på 430 tons. Lejerne er hydrostatiske med en stabilitet af oliefilmen på 100 nm/minut. Motorerne er af permanent magnet type direkte koblet til de bevægelige dele uden gear.

De største stålstrukturer leveres af et italiensk konsortium. Et firma i Milano har stået for fremstilling af de største af delene og har udført en prøvemontage i en fabriksal i Milano (Figur 7).

Aktiv Optik

De fire store teleskoper har spejle med en diameter på 8.2 m og en tykkelse på 177 mm. Spejloverfladen skal være korrekt inden for 25-50 nm. Med mindre forholdsregler tages, vil gravitationskræfter, friktion og anden ordens effekter let deformere hovedspejlet og ødelægge billedkvaliteten.

De store teleskoper har derfor et aktivt system, der løbende korrigerer formen på hovedspejlet til den bedst mulige (Figur 8). Dette gøres ved hjælp af en bølgefront-sensor, der måler billedkvaliteten og dermed aberrationerne. I en computer



Figur 8. Princippet i aktiv optik. (Tegning: ESO).



Figur 9. Sekundærspejlet af Beryllium har en letvægtsstruktur.

konverteres de målte aberrationer til hovedspejlets mekaniske eigenmodes. Dernæst indstilles spejlets understøtninger automatisk på en sådan måde, at spejlet deformeres til den bedst mulige form.

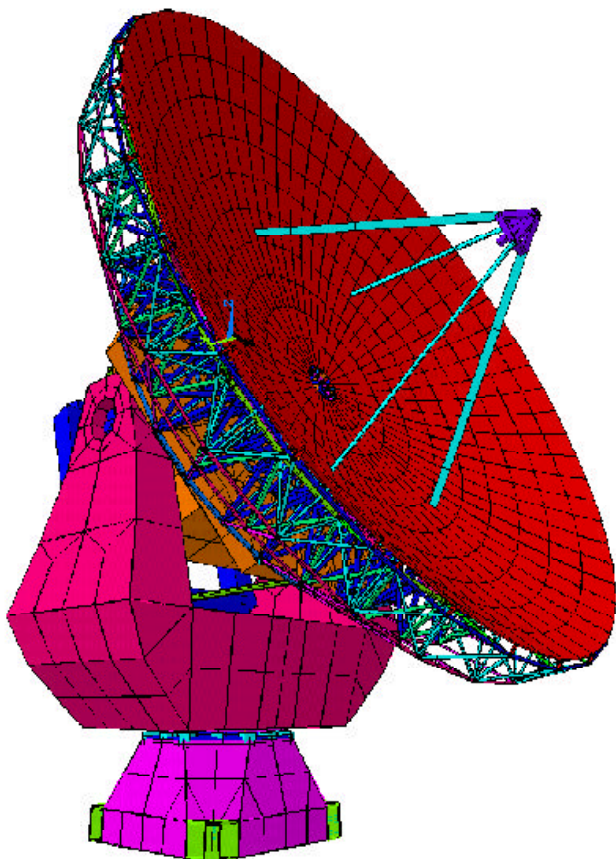
Adaptiv Optik

VLT vil blive forsynet med adaptiv optik. Det er et system, der korrigerer for atmosfærens udtværende effekt („seeing“). Der benyttes en bølgefront-sensor med båndbredde på omkring 1 kHz til at måle billedkvaliteten i afhængighed af atmosfæriske fluktuationer. Med relæoptik afbildes hovedspejlet (eller turbulente lag i atmosfæren) på et deformerbart spejl, der styres med en båndbredde på flere hundrede Hz. Det er herved muligt at opnå en billedkvalitet, der nærmer sig diffraktionsgrænsen (0.02-0.08 buesekund) for et 8.2 m teleskop ved de aktuelle bølgelængder.

Til brug for adaptiv optik behøves en kraftig (punkt-)kilde nær det astronomiske objekt, der observeres. I de fleste tilfælde er der ikke et sådant objekt til rådighed. Til brug for adaptiv optik arbejdes der for tiden mange steder på at generere „kunstige“ stjerner med laserlys. I teleskopets strålegang sendes lys op gennem atmosfæren, og i ca. 90 km's højde vil der dannes en tilnærmelsesvis punktformet lyskilde ved fluorescens af Na-atomer.

Styrbart sekundærspejl

Sekundærspejlene i de fire store teleskoper bæres af avancerede elektromekaniske enheder, som er computerstyrede. Det er muligt at styre sekundærspejlernes position i tre translatoriske koordinater og to rotatoriske. De to sidstnævnte kan benyttes til hurtig tip/tilt-styring, hvorved der kan korrigeres for billedbevægelser, som skyldes atmosfæriske forstyrrelser eller vindpåvirkninger af teleskopet. Båndbredden af tip/tilt-styringen er op mod 70 Hz. For at opnå en så hurtig styring er sekundærspejlet udført af beryllium, og der er udfræsninger bag på spejlet for at minimere massen og maksimere egenfrekvenserne (Figur 9).



Figur 10. CAD-tegning af 12 m radioteleskop for bølgelængder ned til 0.35 mm. Forstudie udført på ESO.

Projektet

Projektet er gennemført af European Southern Observatory med bistand fra europæisk industri. Prisen ligger på lidt over 2 milliarder kroner.

Et projekt af den størrelsesorden forudsætter anvendelse af moderne projektstyringsværktøjer. Der har været en stram styring af tidsplan og økonomi. Desuden har discipliner som Systems Engineering, Quality Assurance og Configuration Control spillet en væsentlig rolle.

Montage i Chile

På nuværende tidspunkt (januar 1998) er det første af teleskoperne monteret mekanisk, og montage af teleskop nummer to er i gang. I første omgang benyttes en attrap for spejl og spejlunderstøtning („spejlcelle“) til teleskop nr. 1. Den rigtige spejlcelle og spejlet befinder sig allerede på bjerget. For at kunne teste teleskopet uden risiko for spejlet vil spejlcellen i første omgang blive monteret sammen med et attrapspejl af cement. Topenheden med sekundærspejlet er på vej til Chile med fly. Det er planen at tage de første astronomiske billeder senest d. 15. juni 1998.

Konstruktion og fabrikation af de interferometriske små teleskoper med hovedspejle på 1.8 m vil blive påbegyndt først på sommeren. Der vil gå nogle få år, før det totale interferometriske system kan tages i brug.

I parallel med teleskopet har ESO og astronomiske institutter i visse medlemslande bygget en række instrumenter til detektion

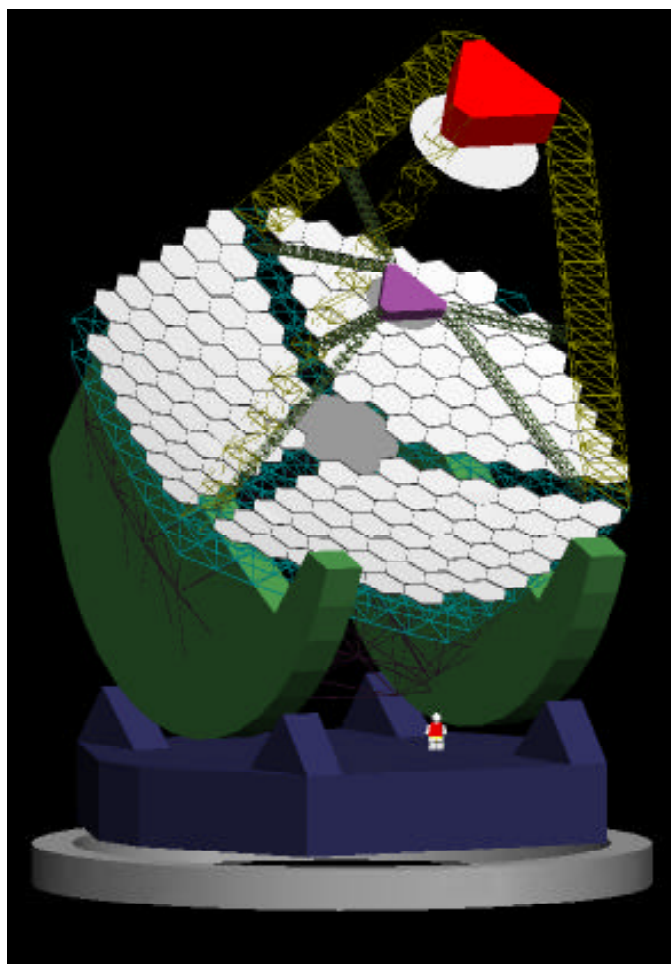
af lyset. Fremstillingen af disse forløber efter planen, og instrumenterne vil blive monteret på teleskoperne, efterhånden som teleskoperne bliver færdige.

Radioteleskoper

Det tager lang tid at forberede store, banebrydende projekter. Der er derfor allerede nu fra astronomisk side pres for at komme i gang med forberedelserne til et eller flere nye projekter.

I den forbindelse har ESO primært interesseret sig for et interferometrisk array af submillimeter radioteleskoper for bølgelængder ned til 0.35 mm (ca. 850 GHz). Studier i submillimeterområdet tiltrækker sig interesse, fordi rødsiftet af fjerne objekter betyder, at vigtige spektrallinier genfindes her.

Submillimeterantenner må have en overfladepræcision bedre end 25 nm rms. For at opretholde den nødvendige præcision under påvirkning af vind og tyngdekraft tænkes radioteleskoperne forsynet med interne lasersystemer til løbende detektion af overfladenøjagtigheden.



Figur 11. CAD tegning af det foreslåede 25 m teleskop med segmenteret hovedspejl (Lund Observatorium).

Et sådant array kunne tænkes at bestå af 64 radioteleskoper med en diameter på omkring 12 m. Antennerne vil i givet fald blive opstillet i en højde af 5000 m i det nordlige Chile.

De indledende forstudier har fundet sted i samarbejde med institutter i medlemslandene. I dette arbejde har Sverige spillet

en vigtig rolle. Det diskuteres for tiden, om et samarbejde med USA kan etableres for dette projekt.

Figur 10 viser en CAD tegning af et 12 m radioteleskop fra et forstudium udført på ESO i efteråret 1997.

Kæmpeteleskop

En anden projektmulighed, som studeres af ESO, er etablering af et kæmpe optisk teleskop med en spejldiameter på 25-100 m. Et sådant teleskop vil have et segmenteret hovedspejl med 100 000-500 000 segmenter, som alle skal være styrbare med båndbredder op til omkring 500 Hz. Ved brug af adaptiv optik vil teleskopet kunne gøres tilnærmelsesvis diffraktionsbegrænset og dermed detektere ufatteligt svage objekter med opløsninger af størrelsesordenen 0.005-0.02 buesekunder.

Det astronomiske potentiale for et sådant teleskop er enormt, ikke mindst inden for studier af planeter i fremmede solsystemer og inden for kosmologien. Den synlige del af universet ville blive udvidet over en million gange.

Også i dette projekt spiller svenske astronomer en væsentlig rolle. Et teleskop af denne art blev fra svensk side allerede

foreslået for 5-6 år siden, og der er i den mellemliggende periode udført en del studier, som nu kan nyttiggøres i samarbejde med ESO. Figur 11 viser en CAD tegning af et muligt 25 m teleskop, som foreslået af svenske astronomer.

Torben Andersen er professor i optomekanisk konstruktion på Lund Universitet. Han har tidligere været leder af Nordisk Teleskopgruppe på Risø, hvor han bl.a. var ansvarlig for konstruktion og fremstilling af Nordisk Optisk Teleskop på La Palma. Indtil oktober 1997 var han Head of Telescope and Systems Engineering for VLT projektet ved European Southern Observatory.

