

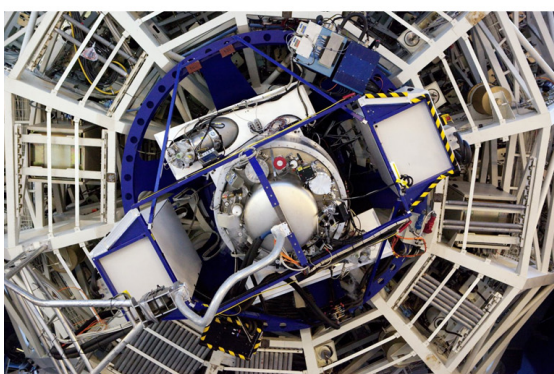
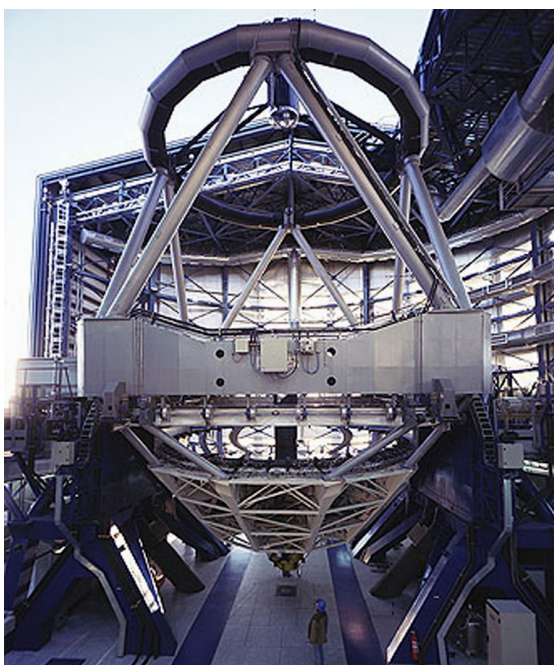
X-shooter instrumentet på VLT

Af Per Kjærgaard Rasmussen, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

X-shooter er en ny spektrograf til VLT, der dækker hele det spektrale område fra 300nm til $2,4\mu\text{m}$ i én optagelse. Instrumentet er bygget af et konsortium bestående af institutter fra Danmark, Frankrig, Holland, Italien samt ESO selv. Instrumentet er blevet testet på VLT teleskopet i løbet af 2008 og 2009 og har vist sig til fulde at leve op til forventningerne om at være den mest følsomme spektrograf af sin art i verden. X-shooter tages nu officielt i brug per 1. oktober 2009. Til gengæld for sit bidrag får Niels Bohr Institutet 45,5 nats observationstid på instrumentet.

Historie

Projektet med bygning af X-shooter startede i 2002 efter Det Europæiske Sydobservatorium (ESO) havde indkaldt forslag til nye – såkaldte anden generations instrumenter – til VLT [1].



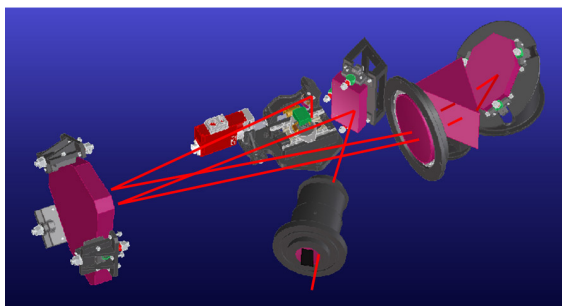
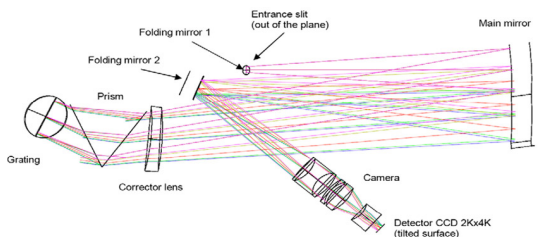
Figur 1. VLT (øverst) og X-shooter monteret på VLT (nederst). X-shooter ses nedefra: Den blå ring fastgør instrumentet til VLT, i midten sidder den infrarøde spektrograf, øverst til venstre sidder den visuelle spektrograf, nederst til højre sidder den blå spektrograf. De tre spektrografer er fastgjort til en fælles struktur kaldet Backbone. Kasserne nederst til venstre og øverst til højre indeholder elektronikken.

ESO mente, at efter dette teleskop havde været i rutinemæssig drift i et stykke tid, var det på tide at tænke på nye instrumenter. Oplægget fra ESO gik ud på bl.a. en spektrograf der skulle være så effektiv som muligt og samtidig dække hele det spektrale område fra 300 nm til $2,4\mu\text{m}$ i én optagelse. ESOs opfordring blev besvaret med i det væsentlig to forslag. De involverede institutioner, fra Danmark, Holland og Italien, blev venligt men bestemt samlet i ét konsortium, der senere blev udvidet med et fransk bidrag. Tidligere, for de første instrumenter til VLT, havde ESO selv stået for finansieringen og været hovedansvarlig for instrumenterne. Det nye ved X-shooter konsortiet var, at de involverede lande bidrog med hovedparten af finansieringen, både mht. arbejdskraft og udstyr. Til gengæld for deres bidrag fik de enkelte lande garanteret observationstid på instrumentet modsvarende størrelse af deres bidrag. For Danmarks vedkommende blev der underskrevet en kontrakt mellem ESO og Københavns Universitet (KU), hvor KU lovede at Niels Bohr Institutet bidrog med 19 mandeår. Samtidig havde Carlsbergfondet bevilget 5,6 mio. kr. til projektet. ESO lovede til gengæld, at de ville stille 45,5 nat til rådighed på instrumentet for NBI. Kontrakten mellem ESO og KU blev underskrevet af ESOs generaldirektør og den daværende pro-rektor for KU. Efter projektets afslutning, kan det konstateres at det tog 7 år at udvikle, fremstille og afprøve instrumentet, der løb op i en samlet pris på omkring 50 mio. DKK og ca. 70 mandeår.

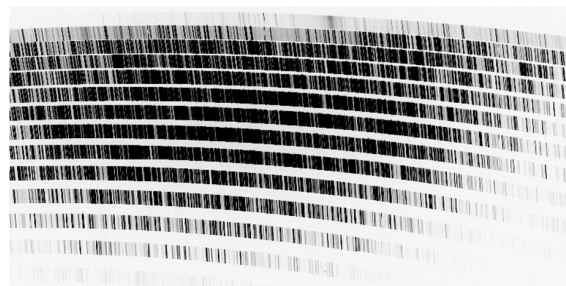
Instrumentkoncept

Målsætningen med instrumentet var at konstruere en spektrograf, der for ét objekt gav hele spekteret fra det ultraviolette til det infrarøde, og samtidig havde så høj en følsomhed, som overhovedet muligt. Optisk set er dette meget svært, i praksis kan den samme optik ikke både være meget effektiv og dække et meget stor område i bølgelængde. Løsningen var derfor – på en eller anden måde – at dele spekteret op. Det viste sig nu, at i praksis kunne man få meget effektive dichroiske filtre, der reflekterer den blå del af lyset meget effektivt, og som med næsten lige så stor effektivitet tillader det lys der er rødere at passere. Så vi endte med et instrumentkoncept hvor lyset efter at det samles i teleskopets brændplan, bliver splittet i tre områder: UV-blå (kaldet UV), visuelt/rødt (kaldet VIS) og infrarødt

(kaldet NIR) ved hjælp af to dichroiske filtre. UV reflekteres fra det første dichroiske filter, VIS fra det andet og NIR går lige igennem de to filtre. I selve brændplanen sidder der bl.a. et lille kamera hvor man kan se det felt af himlen teleskopet peger mod, og her så vælge det objekt man vil observere. De tre spektrografer, der nu kan optimeres og gøres meget effektive inden for det spektralområde de dækker, er alle indrettet efter samme princip. Lyset møder først en spalte, der definerer den spektrale renhed (opløsning) man kan få, og samtidig begrænser himmelbaggrundens indflydelse. Lyset sendes nu videre til en spejl kollimator, herfra sendes det parallelle lys videre gennem et prisme til et stort refleksionsgitter og til sidst videre til det optiske kamera, der danner det endelige spektrum på CCD-detektoren. Det optiske layout og den nøjagtige lysvej fremgår af figur 2.



Figur 2. Det optiske layout af UV/VIS spektrograferne. Lyset går igennem indgangsspalten og hen på et første foldespejl, der fra hen på det store kollimatorspejl, så videre gennem en korrektorlinse gennem et prisme til et stor refleksionsgitter. Herfra tilbage til kollimatorspejlet, der så danner et intermediært spektrum på foldespejl nummer 2. Endeligt går lyset videre til det optiske kamera, der danner det endelige spektrum på CCD-detektoren.



Figur 3. UV spekteret fra en spektrallampe. UV spekteret er i det væsentlige dækket af echelle-ordnerne 13 (øverst) til 24 (nederst). Bølgelængden midt i orden 13 er 568,8 nm og midt i orden 24 er den 308,1nm. Bemærk at orden gange bølgelængde er konstant for en given udfaldsvinkel (f.eks. midt i hver echelle orden).

Gitteret er et såkaldt echelle gitter, der opererer i en høj orden, hvilket betyder, at hver orden kun dækker et begrænset bølgelængdeområde. Da de forskellige ordner falder oveni hinanden skilles ordnerne ad vha.

prismet, der spreder lyset vinkelret på den retning gitteret spreder lyset. Man har en konstruktion der kaldes “en krydset echelle”, som er specielt velegnet til en kvadratisk detektor [2]. Et eksempel på et resulterende spektrum er vist i figur 3. CCD’ens størrelse er 2048 × 4096 pixels.

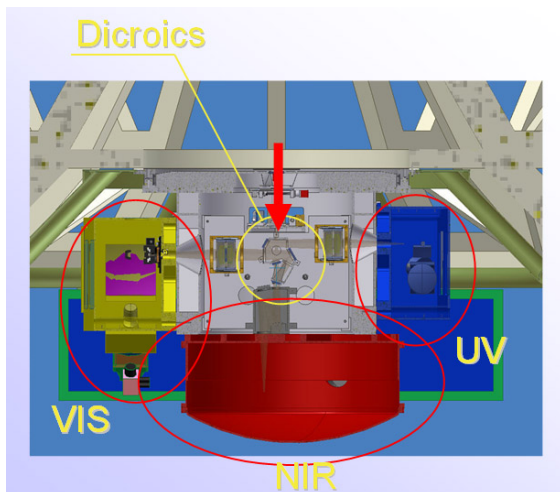
Beliggenheden af de forskellige ordner er i øvrigt styret af gitterligningen $m\lambda = gk(\sin \alpha + \sin \beta)$, hvor m er interferensordenen, λ er bølgelængden, gk gitterkonstanten, og α og β er hhv. indfalds- og udfaldsvinkel på refleksionsgitteret. Man bemærker, at i en given retning (β) er $m\lambda$ konstant, så bølgelængden midt i hver echelleorden skal opfylde denne betingelse. Endelig må man karakterisere spektrograferne ved deres opløsning, $\Delta\lambda$, dvs. hvor fine detaljer man kan se i spekteret. Sædvanligvis udtrykker man opløsningen som $R = \lambda/\Delta\lambda$, dvs. hvor mange spektrale elementer man kan opløse. Når man, som her, vil dække hele spektralområdet, kan opløsningen ikke blive meget høj, for X-shooters vedkommende varierer opløsningen fra 5.000 (UV spektrografen) til 8.000-10.000 (VIS spektrografen) for brug af en spalte på 1”.

Med udgangspunkt i det oven for beskrevne koncept blev det naturligt at dele X-shooter instrumentet op på følgende måde: En central fælles struktur kaldet Backbone, der indeholder alle fælles funktioner og hvor lyset bliver splittet op i de tre arme: blå, visuelt og infrarødt og de tre spektrografer kaldet UV, VIS og NIR. Der hører selvfølgelig elektronik med tilhørende software til instrumentet, der sørger for styring af de enkelte funktioner. Og endelig, som en naturlig del af ethvert moderne instrumentprojekt, bliver der udviklet en dedikeret reduktions pipeline der omsætter de rå optagelser til færdige spektre.

Fordelingen af de forskellige X-shooter dele blev følgende: Danmark (ved Niels Bohr Institutet) kom til at stå for Backbone med alle de fælles funktioner, bænken for UV og VIS spektrograferne samt det meste af hardwaren til den elektroniske kontrol af instrumentet. Italien skulle konstruere de to “optiske” spektrografer og kontrol softwaren, mens Holland tog sig af den infrarøde spektrograf. Det sidste er en forholdsvis stor opgave, fordi hele spektrografen skal være i vakuum og være kølet med flydende kvælstof til ca. 140 K, og desuden bruge en speciel infrarød detektor. Endelig kom Frankrig til at bidrage med data reduktions pipeline samt en lille (men vigtig) enhed, der kaldes en Integral Field Unit. ESO selv skulle stå for detektorerne, de dichroiske filtre, den overordnede styring af projektet samt den endelige samling og afprøvning af instrumentet, først ved ESO’s europæiske hovedkvarter i Garching ved München, og senere ved VLT teleskopet, på Paranal, i Chile.

I virkeligheden tog det os rigtig lang tid at beslutte os for det endelige layout af hele instrumentet. Vi måtte gennem mange undersøgelser og overvejelser inden vi nåede frem til det endelige design. Der blev afholdt to store reviews: “Preliminary Design Review” i december 2004, og endelig “Final Design Review”

i juni 2006. Til begge reviews blev der skrevet 40-50 dokumenter, der i detalje redegjorde for designet (optik, mekanik, elektronik, instrumentsoftware, datareduktionssoftware) [3]. Efter det første review fik vi mere eller mindre pålagt at udvide det infrarøde område fra $1,8\mu\text{m}$ til ca. $2,4\mu\text{m}$, noget der komplicerede, fordyrede og – viste det sig – forsinkede bygningen af den infrarøde spektrograf. Et overblik over instrumentet er givet i figur 4.



Figur 4. Overblik over X-shooters forskellige dele. De tre spektrografer, UV, VIS og NIR ses monteret på Backbone, der igen er monteret på VLT.

Det danske bidrag

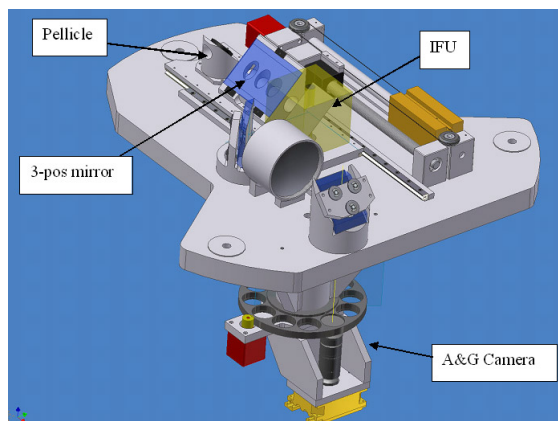
Det vigtigste danske bidrag er den fælles mekaniske struktur, hvorpå de tre individuelle spektrografer er monteret. Backbone indeholder desuden de to enheder *Aquisition and Guide Unit* (A&G Unit) og *Preslit Optical Table* (POT). Disse to enheder, der beskrives detaljeret i det følgende, indeholder en række funktioner der er fælles for de tre spektrografer.

Backbone er designet og konstrueret af den astronomiske instrumentgruppe ved NBI, hvor næsten hele gruppen har været involveret mere eller mindre heltids i perioden 2003 til og med 2007. Et mindre men vigtig bidrag til beregninger af styrke og nedbøjninger i Backbone er ydet af Dansk Rumforsknings Center.

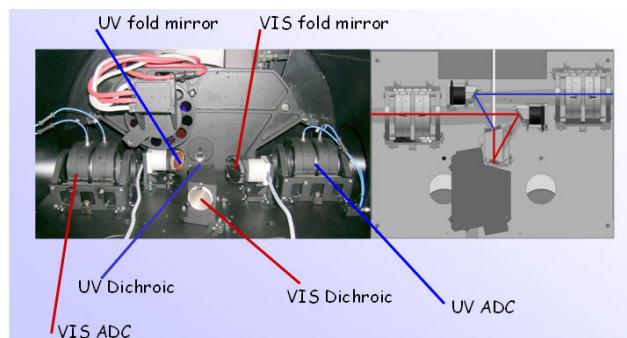
Aquisition and Guide Unit: Det første stjernelyset møder på sin vej er denne enhed, der sidder i teleskopets brændplan. Enhedens vigtigste funktion er at isolere det objekt man ønsker at observere med en bred spalte (der sidder på en stor slæde, se figur). Desuden indeholder enheden et lille CCD-kamera hvormed man kan se det felt på himlen, som teleskopet peger mod, og her kan man så finde sit objekt og centrere dette på den store spalte. Kameraet er forsynet med et filterhjul med standard filtre således at man også kan udføre fotometriske målinger med kameraet.

I *Aquisition and Guide Unit* sidder også forskellige enheder, der kan bruges til ingeniørmæssige checks, og endelig sidder der en enhed kaldet "Integral Field Unit" (IFU). IFUen kan skære et område på $2'' \times 4''$ på himlen op i tre områder som kan stables oven på hinanden i spaltens længderetning. Enheden bruges på to måder,

enten hvis man har et meget svagt objekt hvis position ikke er helt velbestemt, eller hvis man har et udstrakt objekt hvor man gerne vil have et spektrum flere steder i objektet.



Figur 5. Aquisition and Guide Unit med de forskellige enheder markeret. På den store slæde sidder en pellicle, et 3-positions spejl, og IFUen. Vha. pelliclen (som er et tyndt gennemsigtigt og spejlende folie) kan man med kameraet se spektrograf spalterne. Den centrale brede spalte er i en af positionerne af det store spejl. En åben position tillader lyset at passere til A&G kameraet.



Figur 6. Både *Aquisition and Guide Unit* (A&G) og *Preslit Optical Table* (POT) ses her monteret i Backbone. Øverst bunden af A&G Unit, med kamera (med vandslanger til køling) og filterhjul for kameraet. Nederst ses POT, der står vinkelret på A&G Unit. Positionen af de dichroiske filtre, foldespejlene og ADC'erne er vist. Strålegangen for UV og VIS spektrograferne er vist på figuren til højre.

Preslit Optical Table indeholder de øvrige fælles funktioner før stjernelyset rammer indgangsspalterne for de tre spektrografer. Her splittes lyset op til de tre spektrografer og her er mulighed for at korrigere for mekaniske nedbøjninger i Backbone. I enheden kan man også korrigere for, at jordens atmosfære danner et lille spektrum af stjernerne, og endelig gøres billedet af stjernen mindre for at det kan passe til billedelementerne på CCD-detektorerne. Stjerne betyder selvfølgelig her bare det objekt man observerer, og kan lige så godt være en galakse eller noget andet.

Lyset splittes ved hjælp af dichroiske filtre (eller spejle), og to foldespejle forsyner hhv. UV og VIS spektrograferne med lys. Når teleskopet peger mod forskellige områder på himlen vil tyngdekraften skabe små nedbøjninger (deformationer) i Backbone strukturen, som gør, at de tre spektrografs spalter ikke

“ser” det samme område på himlen. For at korrigere for disse deformationer, er der monteret små piezo drevne tip-tilt borde under foldespejlene. Derved kan man sikre, at lyset kommer præcist igennem alle tre spektrografers spalter.

En stjerne afbildes ikke som et punkt af teleskopet. Pga. jordatmosfærens indflydelse afbildes stjernen som en lille skive, størrelsen af denne skive kaldes “seeingen” og ligger typisk mellem 0,5”-1”. Desuden vil seeing skiven normalt også afbildes som et (meget) lille spektrum pga. af at jordens atmosfære spreder lys lige som et svagt prisme (hvis stjernen står eksakt i zenit er der ingen effekt, jo nærmere horisonten stjernen står jo større er effekten). Denne effekt er uønsket, fordi man risikerer at miste noget af stjernens lys når man isolerer stjernen vha. spalten. Man kan korrigere for denne effekt vha. 2 prismer som drejes ift. hinanden – et sådan system kaldes en “Atmosfærisk Dispersions Korrektor” (forkortet ADC). I X-shooter bliver lyset til UV og VIS spektrograferne sendt gennem en ADC inden det når spektrografens indgangsspalte. I det infrarøde er den atmosfæriske spredning af lyset så ringe, at man her undlader at korrigere for effekten.

En vigtig del af en spektrograf er indgangsspalten, der isolerer den del af stjernes lys der slipper igennem til spektrografen. Belyses spalten med lys af en bestemt bølgelængde, vil der på spektrografens detektor (her en CCD) dannes en billede af indgangsspalten på det sted der svarer til den pågældende bølgelængde. Spalten definerer den spektrale opløsning eller renhed. For ikke at miste for meget lys må spalten have omtrent samme bredde som bredden af seeing skiven. På den anden side må billedet af spalten (som altså er givet ved seeing skiven) også have en bredde der svarer til CCD’ens billedelementer. En typisk størrelse af CCD’ens billedelementer, kaldet pixels, er omkring 15 μm . Man ønsker nu, at spalten (seeing skiven) afbildes i ca. 2 pixels på CCD-detektoren. Hvis seeing skiven fylder (meget) mere end 2 pixels udnytter man CCD’ens areal dårligt, og hvis den fylder mindre mister man opløsning. For VLT’en er skalen i teleskopets brændplan 530 $\mu\text{m}/''$, dvs. 1” fylder ca. 35 pixels på CCD’en – så her har man et problem.

For X-shooter er problemet løst i to tempi: sammen med de atmosfæriske dispersions korrektorer er indbygget noget optik, der reducerer VLTens skala fra 530 $\mu\text{m}/''$ til 256 $\mu\text{m}/''$, hvor efter der sker en yderligere reduktion i selve spektrograferne (denne ekstra reduktion er forholdet mellem spektrografens kamera- og kollimator brændvidder) til 105 $\mu\text{m}/''$, så man ender med at have acceptable ca. 7 pixels per buesekund.

Tilpasning af teleskopets skala til størrelsen af CCD’ens pixler er et generelt problem, der bliver større jo større teleskoper der bygges. Teleskopets skala er entydigt bestemt af teleskopets brændvidde. For en given teleskop-diameter kan man ikke gøre brændvidden vilkårlig kort, fordi det simpelthen ikke er muligt at bygge (store) spejle med en brændvidde der er mindre end ca. 2,5 gange diameteren af spejlet.

Problemet er illustreret i tabellen neden for, hvor skalaen for de 3 teleskoper, Det Nordiske Teleskop på La Palma, VLT, og det planlagte E-ELT er angivet. Det ses, at for ingen af disse teleskoper er der et godt match mellem pixel størrelse og seeingen størrelse. Og jo større teleskop, des dårligere match. Bemærk også, at fokalplanen bliver større og større – for ELT noget der ligner to skriveborde! – og at uden reduktionen af teleskopets brændvidde ville være umuligt (eller ekstremt kostbart) at dække fokalplanen med CCD’ere.

Teleskop	NOT 2,5 m	VLT 8,2 m	ELT 42 m
F-forhold	F/11	F/13,4	F/15
Skala	136 $\mu\text{m}/''$	530 $\mu\text{m}/''$	3,04 $\text{mm}/''$
1 pixel er lig	0,11”	0,028”	0,005”
10' x 10' fylder	(82 mm) ²	(32 cm) ²	(1,8 m) ²

Tabel 1. Teleskopets skala – “seeingen” – skal altid tilpasses detektorens opløsning der er ca. 15 μm . F-forholdet er forholdet mellem teleskopets brændvidde og teleskopets diameter.

Backbone er designet ved NBI men grundstrukturen er sendt i produktion ude i byen (volumen ca. 1 m³, vægt 500 kg, pris ca. 750.000 DKK) men al “indmad”, dvs. kalibreringssystem, Aquisition and Guide Unit og Preslit Optical Table er designet og fremstillet ved NBIs mekaniske værksted på Rockefeller Institutet. De forskellige enheder er nøje testet hver for sig, både ved stuetemperatur og i en lille fryser. Specielt er testet nøjagtighed og repeterbarhed af alle mekaniske bevægelser og opjusteringen af de to ADC’ere . F.eks. var det for Aquisition and Guide Unit vigtigt at sikre sig, at slædens position kunne fastholdes og repeteres meget nøjagtigt (på μm niveau) i alle mulige position af enheden. Samlingen af hele backbone og oplinereingen af de forskellige komponenter er også foregået ved NBI Rockefeller [4,5].

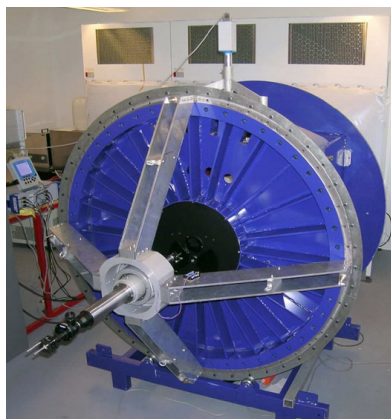


Figur 7. Test af nøjagtigheden af ADC’ernes bevægelse.

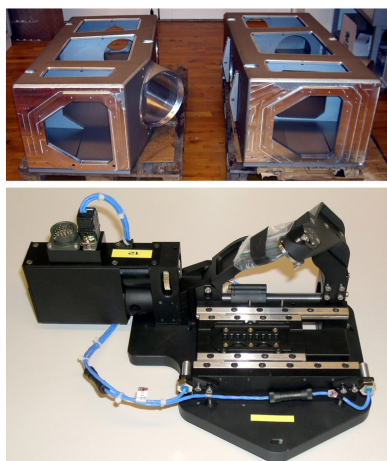
Hele Backbone blev afleveret til ESO-repræsentanter ved en detaljeret afleveringsforretning i november 2007, kaldet “Preliminary Acceptance Europe 1”. Her blev hele Backbone checket i forhold til en detaljeret “compliance matrix” inden denne del af instrumentet blev godkendt af ESO.

Endelig skal også nævnes NBIs bidrag til UV og VIS spektrograferne. Her var vores opgave det mekaniske design og fremstilling af spektrograf “bænkene”, det vil sige den mekaniske struktur som optikken er monteret på. Selve fremstillingen af bænkene

blev lagt ude i byen. Vi havde også som opgave at designe og fremstille spalte-enheden, der indeholder en slæde med spalter af forskellig størrelse (og alle bevægelser var vores opgave fordi vi også var ansvarlig for den elektronik, der styrede bevægelserne).



Figur 8. Integration af Backbone, optisk laboratorium, Rockefeller Insitutet.



Figur 9. Øverst spektrograf bænken. Nederst den motoriserede slæde med en spalte-plade, der tillader valg af spalter med forskellig bredde.

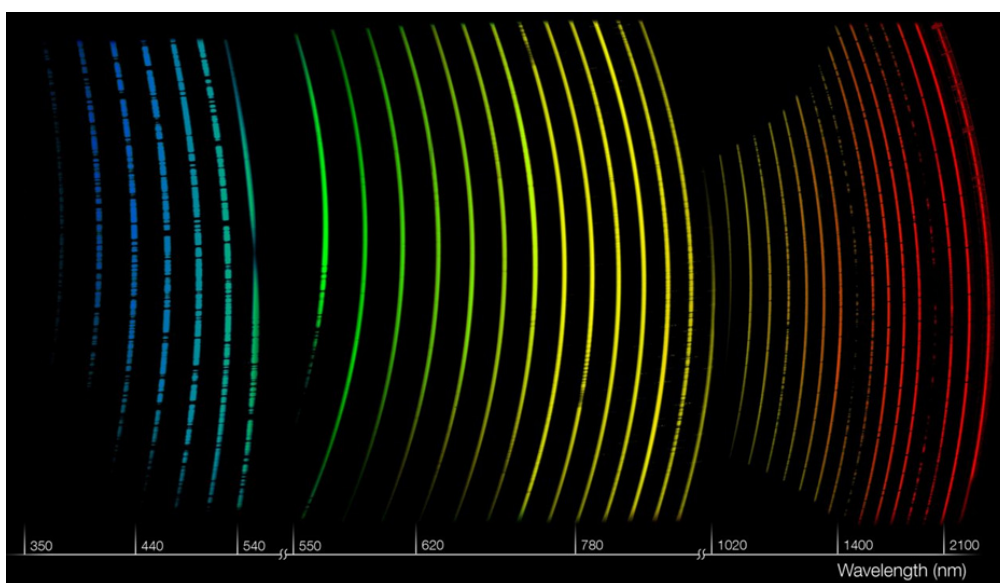
Det videre forløb – integration og afprøvning

De forskellige dele fremstillet af de forskellige konsortiepartnere blev samlet hos ESO i Garching, der nu overtog den videre afprøvning. Nu skulle optik, mekanik, elektronik og software testes sammen. Afprøvningen blev afsluttet med et internt review i juni 2008, hvorefter instrumentet blev sendt til Chile i september 2008.



Figur 10. Afprøvning af X-shooter på en teleskop simulator hos ESO, Garching, juni 2008. Nederst ses den infrarøde spektrograf og over den en af de optiske spektrografer. De to store kasser på hver side af den infrarøde spektrograf indeholder elektronik.

Instrumentet blev monteret på et af VLT teleskoperne og så “first light” i november 2008, i første omgang uden NIR spektrografen, der var forsinket ift. resten af instrumentet. Noget af det rigtig vigtige var at afprøve den samlede effektivitet af hele systemet, der viste sig at leve op til forventningerne, med en samlet effektivitet (inklusive jordens atmosfære og detektorernes følsomhed) på mellem 25 % og 40 % i toppen af echelle-ordnerne. En uhørt høj effektivitet når man tænker på alle de optiske komponenter der er i strålegangen.



Figur 11. Et samlet X-shooter spektrum. Farverne er lagt kunstigt på for at illustrere det blå, det visuelle og det infrarøde spektrum fra de tre spektrografer.

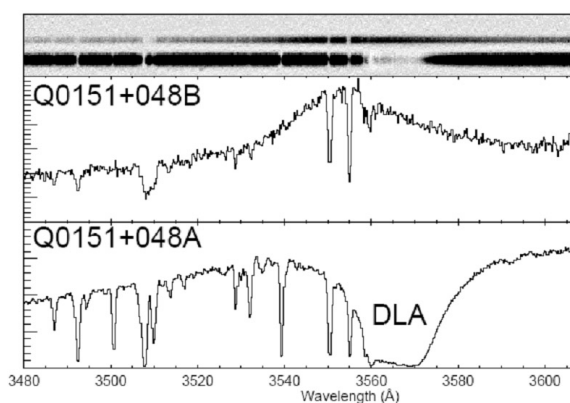
En anden vigtig ting var at afprøve systemet til korrektion af nedbøjningerne i Backbone, der viste sig at fungere som det skulle, endvidere viste det sig at de målte nedbøjninger svarede nogenlunde til hvad beregningerne havde forudsagt. NIR spektrografen kom på i januar 2009, og yderligere afprøvning foregik i april 2009. Intet instrument af den størrelse undgår problemer, det var da også tilfældet her, men alle større og væsentlige problemer er blevet løst og instrumentet er blevet godkendt af den stab af astronomer, der skal betjene instrumentet på Paranal Observatoriet [6,7].

Senest er instrumentets ydeevne blevet testet "ude i hjørnerne" af små programmer foreslået af astronomer fra ESOs medlemslande. Og nu er man så nået frem til at instrumentet tages i officielt brug per 1. oktober 2009. Ansøgningsfristen for at komme i betragtning med projekter man gerne vil have udført på instrumentet var dog allerede 1. april 2009. Her indkom mere end 150 ansøgninger om observationstid, det næsthøjeste på noget VLT instrument. Dette viser, at instrumentet rammer rigtigt i sit koncept. Der er virkelig brug for et instrument af denne art.

Den danske vinkel – videnskab og teknik

X-shooter er specielt velegnet for observationer af variable objekter, fordi hele spekteret observeres på én gang. Hvis dette ikke er tilfældet, når det astronomiske objekt at ændre sig, inden næste spektralområde kan observeres. Dette er selvsagt vigtigt for objekter som supernovaer og gamma ray bursts, der ændrer sig meget hurtigt. En stor del af den danske garanterede observationstid er derfor blevet tildelt astronomer på "Dark Cosmology Centre", der som en af sine hovedaktiviteter har studiet af gamma ray bursts. Men også andre dansk-ledede projekter er blevet tilgodeset.

I første observations runde finder man danske projekter der strækker sig fra "Metal poor stars and the Origin of the first CNO in the Universe", "The cause for the strong UV depletion in carbon-rich AGB stars", over "Studying the diverse nature of faint cluster galaxies" til projekter som "Probing reionization with gravitational telescopes", "The nature of $z \sim 2-4$ galaxies" og "Cosmological mass measurements with X-shooter".



Figur 12. Det ekstraherede spektrum for dobbeltkvasaren Q0151+048.

Johan Fynbo fra "Dark Cosmology Centre" har allerede fået udført nogle observationer af dobbeltkva-

saren Q0151+048, på X-shooter i dennes indkørings- og testfase. Det ekstraherede spektrum omkring den rødforskudte Ly- α ses i figuren ovenfor. Det store dyk mellem 356 og 357nm skyldes en stor gassky der befinder sig mellem kvasaren og os (Damped Lyman- α Absorber), denne sky ses ikke i sigtelinien til den svagere komponent, hvilket giver os oplysning om gasskyens størrelse.

Der er ingen tvivl om, at det store antal garanterede nætter på X-shooter vil give en saltvandsindsprøjtning til dansk astronomi.

Der er heller ingen tvivl om, at den astronomiske instrumentgruppe ved Niels Bohr Institutet har fået et betragteligt løft. Udfordringerne har især været inden for mekanisk design og optik og inden for management og samarbejde. Det er med baggrund i den indhøstede viden og erfaring, at instrumentgruppen nu har kunnet påtage sig en ledende rolle i etableringen af proto-typen til SONG-projektet [8,9] og desuden indgå i et forstudie til et instrument (kaldet OPTIMOS-EVE [10]) til det planlagte 42 m E-ELT teleskop (E-ELT = European Extremely Large Telescope, se [1]).

Litteratur

- [1] Hans Kjeldsen, 2009, Astronomernes Kæmpeteleskoper, Kvant, maj 2009.
- [2] Spano, P. et al. (2006), The optical design of X-Shooter for the VLT, in *Proc. SPIE* bind **6269**, 62692X, *Groundbased and Airborne Instrumentation for Astronomy*, Eds. Ian S. McLean, Masanori Iye.
- [3] D'Odorico, S. et al. (2006), The X-shooter UV- to K-band intermediate-resolution high-efficiency spectrograph for the VLT: status report at the final design review in *Proc. SPIE* bind **6269**, 626933. *Groundbased and Airborne Instrumentation for Astronomy*, Eds. Ian S. McLean, Masanori Iye.
- [4] Michaelsen, N. et al. (2006), The X-shooter spectrograph: a new concept of mechanical assembly for a multiple-arm Cassegrain instrument in *Proc. SPIE* bind **6269**, 62692Z, *Groundbased and Airborne Instrumentation for Astronomy*, Eds. Ian S. McLean, Masanori Iye.
- [5] Rasmussen, P. Kjaergaard et al. (2008), X-shooter-backbone and UV-blue and visible spectrographs: final AIV and measured performances, in *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*. Edited by McLean, Ian S.; Casali, Mark M. *Proceedings of the SPIE*, bind **7014**, pp. 70143Z-70143Z-13.
- [6] J. Vernet et al. (2007), *ESO Messenger*, **130**, p. 5-7, Coming soon on stage: X-shooter.
- [7] ESO Press Release, <http://www.eso.org/public/outreach/press-rel/pr-2009/pr-20-09.html>
- [8] <http://astro.phys.au.dk/SONG/>
- [9] Powerpoint-præsentationer af Frank Grundahl og Per Kjaergaard Rasmussen, <http://astro.phys.au.dk/SONG/WS2-Material/talks/talks.html>
- [10] <http://www.eso.org/sci/facilities/eelt/instrumentation>



Per Kjaergaard Rasmussen studerer galaksehobes struktur og udvikling. En hovedaktivitet har været bygningen af DFOSC (Danish Faint Object Spectrograph and Camera) til 1,54 m teleskopet på La Silla, Chile, ALFOSC til Det Nordiske 2,5 m Teleskop på La Palma og otte lignende instrumenter til udenlandske teleskoper. PKR har været PI og projektleder på det danske bidrag til X-shooter og er nu projektleder på SONG-teleskopet.