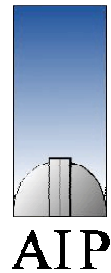


Astrophysikalisches Institut Potsdam



Kiepenheuer Institut für Sonnenphysik



Astronomical Institute, Ondrejov Observatory



Konzept

GREGOR@night (GNS)

Ein hochauflösender Echelle-Doppelspektrograph für
Nachtbeobachtungen am GREGOR Sonnenteleskop

Version: 4.0

Document history

Name of current document: Konzept-Nachtbetrieb_V4.doc

Date: 3 August 2009

Autor: kgs

Changes:

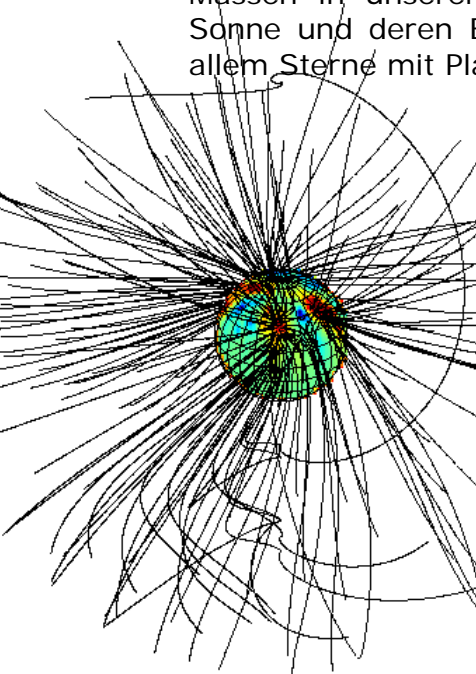
| | |
|--------------|--|
| Februar 2003 | Version 0 based on Eddington support and SES copy |
| Februar 2004 | Version 1 released to GREGOR consortium |
| Juni 2005 | Version 2 based on double spectrograph and fiber fed |
| August 2006 | Version 3 mit Ondrejov als Partner |
| October 2008 | Version 3.1 mit KIS als 30% Partner, gem. WGL Antrag |
| August 2009 | Version 4.0. Update mit S. Hubrig as Project Scientist |
| | |
| | |
| | |
| | |

Critical prerequisites to be determined

- MOU with AsU/Ondrejov. Done.
- MOU mit MWO & Lowell? No.
- 15mu-CCDs and dewars replacable for PEPSI. O.k.
- Space at lower observing floor sufficient?
- Polarimetric feed?

Das System Sonne verstehen

Die Sonnenforschung der kommenden Dekade wird vor allem durch die detaillierte drei-dimensionale magnetohydrodynamische Betrachtung des solaren Plasmas und dessen Beobachtung bei Längenskalen an der Grenze der Photonenreichweite dominiert sein. Dafür wurde GREGOR konzipiert. Mit dem Nachtbetrieb von GREGOR wollen wir aber noch eine weitere Dimension eröffnen indem wir die globalen Eigenschaften von Sonnen unterschiedlichen Alters und Massen in unserer unmittelbaren Umgebung bestimmen und in Relation zur Sonne und deren Entwicklung setzen wollen. In diesem Bestreben werden vor allem Sterne mit Planetensystemen eine wichtige Rolle spielen.



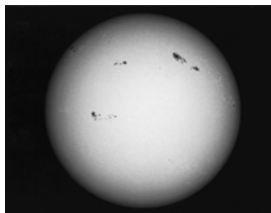
Sonnenähnliche Sterne – eine Synergie von stellarer und solarer Astrophysik

Ein Vergleich der globalen Eigenschaften der Sonne mit denen von sonnenähnlichen Sternen zeigt, dass sich das Verhalten der Sonne nicht mit einem einzelnen astrophysikalischen Parameter skalieren lässt. Zwei Sterne des Spektraltyps G2V können extrem unterschiedliche Werte hinsichtlich deren chemischer Häufigkeit, Oberflächenrotation sowie Aktivität - d.h. Magnetfeld - besitzen. Entscheidend scheint die individuelle Geschichte des Sternes zu sein, beginnend bei seiner Entstehung im prä-solaren Nebel über die T Tauri-Phase bis hin zur ZAMS und kurz danach. Eine zentrale immer noch nicht verstandene Rolle spielt dabei die Art und Weise des Drehimpulsverlustes. Die räumliche Verteilung der magnetischen Aktivität über die Oberfläche und als Funktion des Sternalters könnte dabei wie der Fingerabdruck des zurückliegenden Drehimpulsverlustes verstanden werden. Magnetfelder nahe den Rotationspolen müssen durch recht unterschiedliche dynamische Verhältnisse in den darunter liegenden konvektiven Schichten verursacht sein, als es z.B. Magnetfelder am Äquator sind, wo Coriolis-Kräfte ein vielfaches im Vergleich zu den Rotationspolen sind. Eines der Kernziele des Nachtbetriebs von GREGOR wird daher die systematische Erforschung von globalen Aktivitätsstrukturen der Photosphäre und der Chromosphäre von sonnenähnlichen Sternen sein. Sterne mit bekannten Planeten bzw. Planetensystemen hatten offensichtlich in der Vergangenheit bereits eine sehr effektive Methode Drehimpuls abzugeben. Mit diesem Ansatz wollen wir insbesondere die Synergie mit der beobachtenden Sonnenphysik und deren unübertrefflichen räumlichen und spektralen Auflösung nutzen. Unser Nachtbetrieb soll historisch gesehen auch an das äußerst erfolgreiche Nachtprogramm des McMath-Pierce Teleskops des National Solar Observatory am Kitt Peak anschließen, welches Mitte der Neunziger aus finanziellen Gründen geschlossen werden musste.

Erreicht werden können viele dieser Ziele nur durch hochaufgelöste Spektroskopie mit gutem Signal-zu-Rausch Verhältnis, gepaart mit langen Zeitserien durch die z.T. recht langen Rotations- bzw. Orbitalperioden (bis zu 100 Tagen) und Zyklenlängen (bis zu 20 und mehr Jahren). Bei einer spektralen Auflösung von $\lambda/\Delta\lambda \approx 100,000$ lässt sich einerseits das reiche Linienspektrum der Photosphäre bei F-M Sternen, aber auch die Emissionslinien des einfach ionisierten Kalziums bei 395nm derer Chromosphären im Profil auflösen um damit räumliche Information durch indirekte numerische Verfahren wie 3-D Doppler Imaging gewinnen.

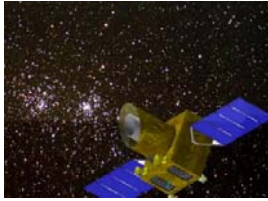
Die ESO hat 2002 deren hochauflösenden FEROS Spektrographen vom 1.5m an das 2.2m-MPG-Teleskop auf La Silla transferiert, und bietet nun z.T. ebenfalls einen Langzeit Visitor-Mode an. Dies ist zuletzt auch eine Konsequenz der beeindruckenden Überbuchung von FEROS (das 1.5m war zeitweise das meistgefragteste ESO-Teleskop). Der Nachtbetrieb von GREGOR mit seinem 1.5m Spiegel soll aber auch die Nische der Langzeitserien am Nordhimmel eröffnen, eine Domäne die bei heutigen Großteleskopen natürlich gänzlich fehlt. Aus diesem Grund definieren wir ein wissenschaftliches Kernprogramm, das in dieser Form an keinem anderen Teleskop der Welt durchführbar wäre (evtl. mit Ausnahme der robotischen Teleskope STELLA-I und TSU-2m falls sie 100% zur Verfügung stünden).

GREGOR@night, wo sind die solaren Zwillinge in unserer Milchstraße?



Von den etwa 300-400 Milliarden Sternen unserer Milchstraße erwarten wir stellarstatistisch etwa 26 Milliarden Zwergsterne des Spektraltyps G, davon etwa 5 Milliarden des Typs G2V wie die Sonne. In unmittelbarer Umgebung, d. h. in einem Radius von bis zu 250 Lichtjahren um die Sonne, erwarten wir insgesamt 250,000 Sternsysteme, welche etwa 3000 G2V-Sterne beinhalten (Strassmeier, 2004, IAUS219). Trotzdem sind derzeit nur zwei annähernde Sonnenzwillinge bekannt, die mit hoch aufgelöster Spektroskopie untersucht und als solche verifiziert wurden, nämlich 18 Sco (Porto de Mello & Silva 1997, ApJ 482, L89) und HD98618 (Melendez et al. 2006, ApJ 641, L133). Wo sind also die Sonnenzwillinge? Ist unsere Sonne einmalig? Ist sie anomal? Oder haben wir einfach nur nicht genau genug und lange genug gesucht? Mehrere Untersuchungen sind daran gescheitert, dass die Metallizitäten nicht berücksichtigt wurden und deshalb manche Klassifikation sich als falsch herausgestellt hatte (z.B. Hardorp 1978, A&A 83, 383; Gaidos & Gonzales 2002, NewA 7, 211 u.a.). Die weltweite Community ist sich nun einig, dass es hoch aufgelöster hoch qualitativer Spektroskopie bedarf, um Sonnenzwillinge als solche zu identifizieren. Das wissenschaftliche Kernprogramm von *Gregor@night* soll die Entdeckung und genaue spektroskopische Charakterisierung von solaren Zwillingen sein.

GREGOR@night, COROT, KEPLER und die Mt. Wilson H&K Survey



Die europäische astronomische Community hätte mit dem ESA Satelliten EDDINGTON ab 2008 eine Planetensuchmaschine extrem hoher Genauigkeit besessen. Nach Streichung der Mission Ende 2003 fokussiert sich die europäische „community“ nun großteils auf die französische-ESA Mission COROT sowie die amerikanische KEPLER-Mission ab 2009. Zumindest mit KEPLER sind erstmalig die technischen Voraussetzungen zur Entdeckung erdähnlicher Planeten bei anderen sonnenähnlichen Sternen gegeben. *Wir planen die systematische Beobachtung aller mit KEPLER neu entdeckten Sterne mit Planeten mit Hilfe hochauflösender Echelle Spektroskopie im Wellenlängenbereich 390-850 nm um deren magnetische Aktivität zu bestimmen.* Die amerikanische Mission KEPLER wird ab etwa 2010 mehrere zehntausend Sterne mit bekannten Planetensystemen im Helligkeitsbereich $9 < V < 16$ mag entdeckt haben, alle im Sternbild Cygnus am Nordhimmel. Die hohe Anzahl der Targets bedingt einen robotischen Beobachtungsmodus für bodengebundene Nachfolgebeobachtungen.

Das zweite wissenschaftliche Kernprogramm von Gregor@night ist die Definition und Entdeckung von stellaren Aktivitätszyklen durch eine Fortführung der Mt. Wilson (MWO) Call H&K Durchmusterung. Dieser Survey wurde Mitte der sechziger Jahre von Olin C. Wilson begonnen und seitdem bis Ende 2003 mit dem 2.5m-Hooker-Teleskop am MWO durchgeführt. Ab 1994 wurden parallel dazu 57 der 300 MWO-Sterne auch am Lowell Observatory in Flagstaff mit dem HAO „solar-stellar spectrograph“ kontinuierlich beobachtet. Leider wurde aus finanziellen und administrativen Gründen die Beobachtung am MWO Ende 2003 nach beinahe 40 Jahren praktisch eingestellt.

GREGOR und STELLA



Das AIP betreibt am Standort Teneriffa auch das robotische Observatorium STELLA mit zwei 1.2m Teleskopen (STELLA-I ab 2006 und STELLA-II ab 2010; Bild). STELLA-I ist mit einem vollautomatischen Echelle Spektrographen für den robotischen Modus ausgerüstet (SES: *STELLA Echelle Spectrograph*). Für GREGOR planen wir eine weiterentwickelte Version dieses Spektrographen in einer Doppelausführung wie UVES am VLT und mit zwei großen

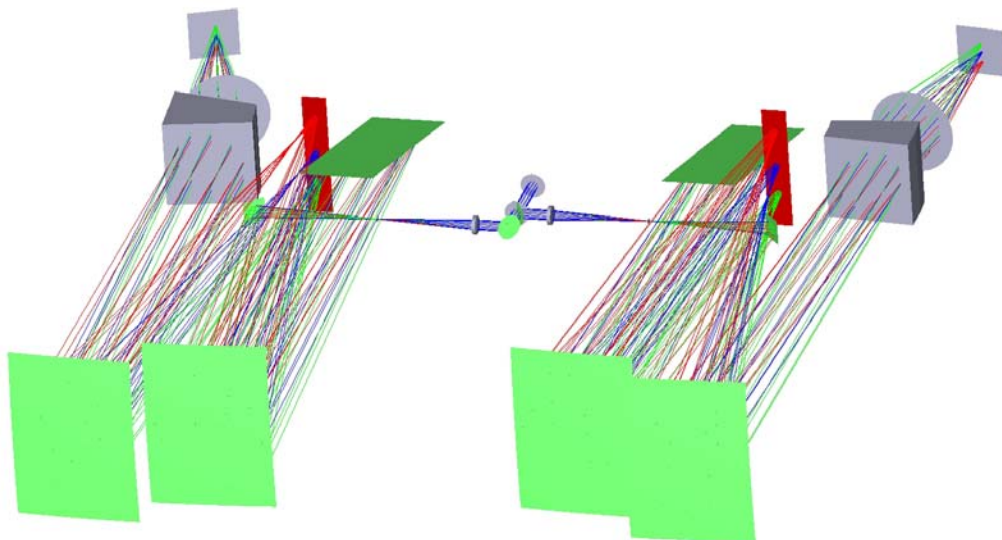
4096x4096 CCD Detektoren. Die mögliche Erweiterung mit einem Polarimeter für den gesamten Stokes Vektor, wie momentan für PEPSI am LBT gebaut, ist für eine zweite Ausbaustufe geplant. Die umfangreiche Steuerungs-Software von der Motorkontrolle bis hin zur automatischen Datenreduktion kann ebenfalls von STELLA übernommen werden. Kenngrößen des Gregor Spektrographen sind $\lambda/\Delta\lambda \approx 100,000$ bei 3 Bogensekunden Eintrittsapertur, Faser gefüttert, und einem blau-optimierten, fixierten spektralen Format von 360 bis 800nm.

Die GREGOR Voraussetzungen sind folgende:

- Existenz eines Interfaces zum TCS von GREGOR/Tag.
- Existenz eines Interfaces zur Kuppelsteuerung.
- Die Koexistenz zweier separater Steuerungsprogramme für Tag und für Nacht, wobei der Nachtbetrieb auf Java basiert und unter Linux operiert.
- Die Implementierung eines vollen Pointing-Modells im TCS.
- Platz für Umweltsensoren auf der Teleskopplattform.
- Ein Fokus mit Platz für einen optischen Tisch von 1.6mx1.6m.
- Platz für eine Positionier- und Nachführeinrichtung (AG Einheit).
- Symmetrischer Fokus für die Polarimetrie-Einheit.

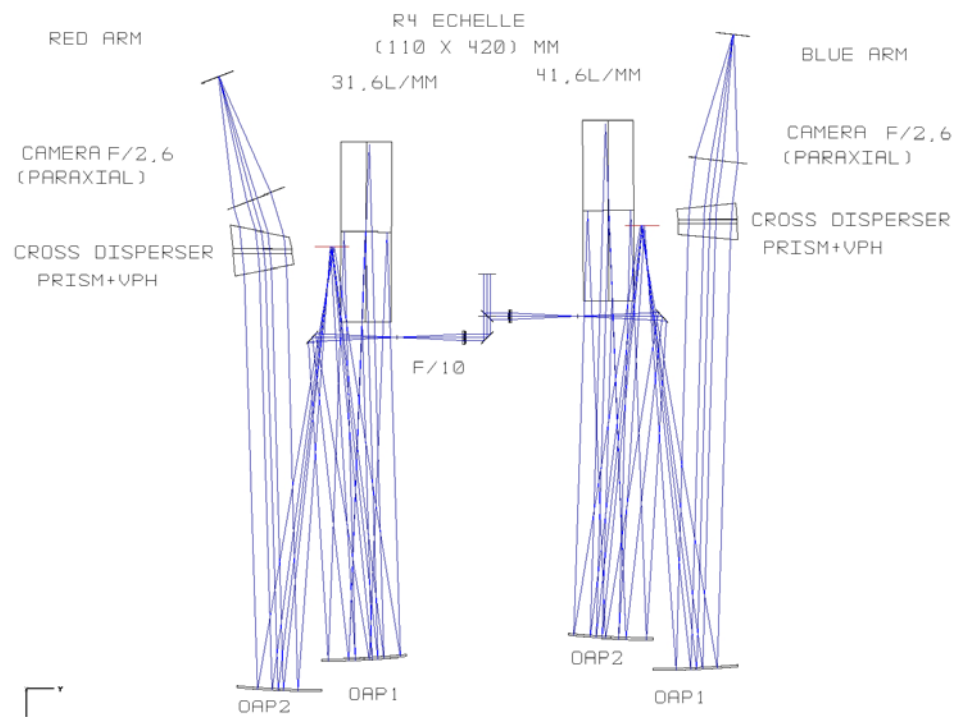
GREGOR@ni ght Der Nacht-Spektrograph

Aufbauend auf den PEPSI und SES Designs von M. Woche soll der GNS ebenfalls ein „white-pupil“ Spektrograph, aber basierend auf je einem 110x420mm 41.6 bzw. 31.6 l/mm R4-Gitter in Littrow-Anordnung und je einem Haupt- und Nebenkollimator bei zweimaliger Reflektion sein. Diese off-axis Parabolspiegel (OAP) sind maximal 300 mm hoch und 120 mm bzw. 160 mm breit. Um die Sensitivität entsprechend hoch zu halten soll der GNS als Doppelspektrograph entsprechend dem Konzept von UVES am VLT ausgeführt (*Bild*).



Beide Spektrographen arbeiten bei $f/10$ und sind je etwa 1.6 m lang. Zum Unterschied zum SES ist das Instrument bereits von Anfang an für einen größeren Detektor konzipiert und daher wesentlich effektiver.

Wir rechnen mit einem Gesamt“throughput“ von bis zu 20% bei der optimierten Wellenlänge. Zum Einsatz sollen beiden „first light“ CCD chips von PEPSI kommen, zwei monolithische „back-illuminated“ und gedünnte 4096x4096 15µm-pixel chip aus dem Labor von Mike Lesser vom Steward Observatory. Durch die vorgegebene Wellenlängenabdeckung von 360-490nm bzw. 510-800nm für den UV/Blau- bzw. den Rotspektrografen fällt der Kreuzdispersierer von GNS entsprechend groß aus und benötigt zwei hintereinanderliegende Prismen die ein optimiertes Volume-Phase-Holographic (VPH) grating umschliessen (entsprechend dem PEPSI Design). Je eine paraxiale dioptrische f/2.6 Kamera mit 6 (evtl. 7) Linsen bringt das Licht zu je einem der beiden 61,4x61,4mm großen CCD Detektoren (*Bild*). Um die Eintrittsapertur möglichst groß zu halten soll beim GNS ebenfalls das Prinzip des „waveguide“ Image Slicers wie es bei PEPSI eingesetzt wird zur Anwendung kommen. Mit einem dreifach „slicer“ erreicht man mit einer 120µm-Faser und einer 3" Apertur mit



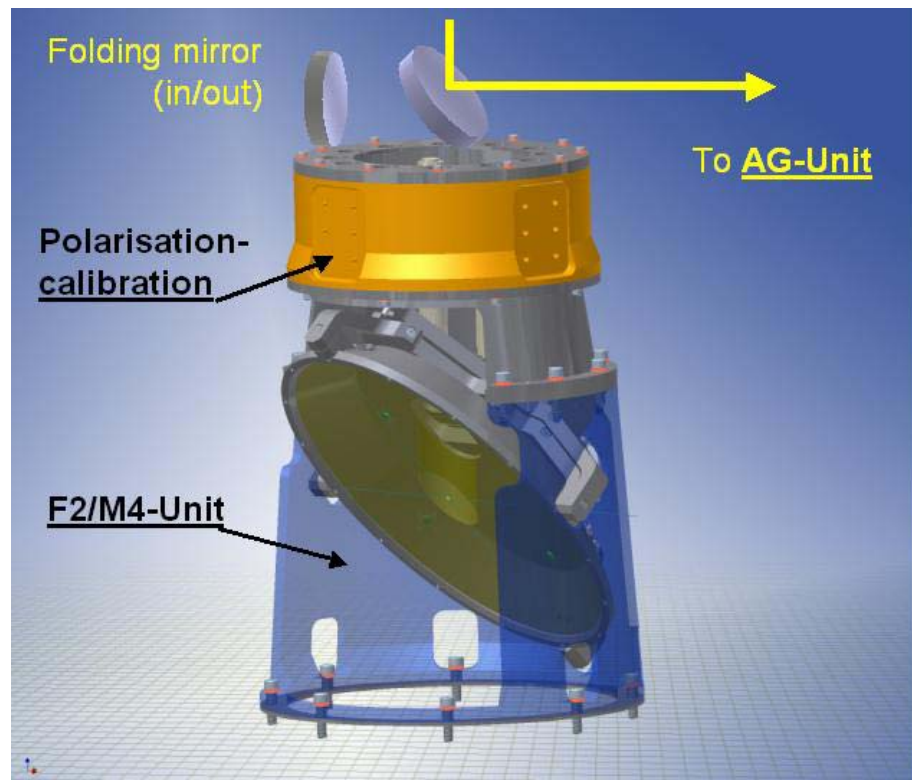
Mikrolinse eine Auflösung von etwa $R=100,000$.

Die [GREGOR@night](#) AG-Einheit

Die „Aquisition & Guiding“(AG)-Einheit basiert auf dem gleichen Prinzip wie die STELLA-I AG-Einheit. Zur Ausführung soll vorerst eine Version ohne Wellenfrontsensor kommen. Mit einem grauen Strahlteiler werden 3% des Targetlichtes auf eine Nachführkamera umgelenkt.

Default für die Spektrografenkoppelung ist eine Fasereinspeisung im um 90° umgelenkten F2-Fokus bei f/6. Der Umlenkmechanismus würde am oberen Ende der solaren Polarisations-Kalibrationseinheit

auf der F2/M4 Einheit befestigt sein. Die Fiber-Einkoppelung wäre ebenfalls eine Kopie des STELLA-Systems und hätte gegenüber dem Coudé-Fokus die Vorteile der Langzeitstabilität und höheren Effizienz. Die zusätzlichen Voraussetzungen für GNS wären der elektrisch einschwenkbare Klappspiegel, der das Licht zur AG-Einheit umlenkt. Dieser Spiegel darf im Ruhezustand nicht den solaren Strahlengang vignettieren. Es ist auch eine mechanisch verlässliche Kabelführung in die untere Beobachtungsebene zu finden.



Als Alternative zur Faserkoppelung steht momentan ein Umlenkspiegel im $f/42$ Fokus in der Ebene des optischen Cerny-Turner Spektrograph zur Diskussion. Mit der Umgehung der beiden MCAO-Optiken durch zwei weitere Umlenkspiegel sind aber immer noch insgesamt 8 Reflektionen im Strahlengang bis zum Spektrografeingang. Eine hochwertige Silberbeschichtung dieser Spiegel wäre Voraussetzung für einen akzeptablen Durchsatz.

Das Tag-Nacht Interface

Unsere Erfahrung mit dem NSO Nachtprogramm am McMath-Pierce Teleskop lehrt uns ein Nachtinstrument so autark wie möglich zu betreiben, d.h. mit einer eigenen Kalibrationseinrichtung, einer eigenen Nachführeinrichtung und, vor allem, eine eigene Räumlichkeit vorzusehen. Kalibrations- und Wartungsarbeiten an den Sonneninstrumenten sind während des Nachtbetriebes in der Regel nicht

mehr möglich, ebenso ist ein Zugang zum Nachtinstrument am Tag in der Regel ebenso nicht möglich. Dies bedingt ein servicearmes Instrument ohne bewegliche Teile, wie z.B. den STELLA Spektrographen.

Die Steuerung des Instrumentes übernimmt ein Slave-Kontrollsystem, das über eine Wetterstation (dem Master) direkt mit dem TCS des Teleskops und der Kuppelsteuerung verbunden ist. Eine interne Uhr (bzw. ein GPS-Signal über die TCS) ermöglicht die Betätigung des Kuppelmotors über ein zu definierendes Relais, danach entscheiden der berechnete Sonnenstand sowie die Werte von insgesamt fünf Wettersensoren über die Kuppelöffnung. Die Option eines händischen Umschaltens in den robotischen Nachtbetrieb durch den Teleskopoperator am Tag soll möglich sein. Durch die Umschaltung wird vorerst nur eine einzige Bewegung ausgeführt, die Kippung des Klappspiegels auf der F2/M4-Einheit. Danach ist GREGOR physisch im Nachtmodus. Die Öffnung/Schließung der M1 und M2 Staudschutzkappen wird dann bereits im Nachtmodus ausgeführt.

Wie bei STELLA soll die Datenspeicherung, deren Vorreduzierung und Übertragung nach Deutschland von einem separaten Rechner mit gekoppeltem Raid-Array und FireWall durchgeführt werden. Auch hierzu kann auf das STELLA Design und dessen Software zurückgegriffen werden.

Zeitanplan

„First light“ für den GREGOR Tagbetrieb ist für Frühjahr 2010 angestrebt. Das Teleskop wird voraussichtlich 2011 in den (Tag)Routinebetrieb mit MCAO übergehen. Der Nachtspektrograph soll erst nach Erreichen des Tag-Routinebetriebs installiert werden und etwa 2013 in den robotischen Routinebetrieb gehen.

| Jahr | Milestone |
|-------------|--|
| 2007 | Konzept; Absprache des Teleskopinterfaces; Anschaffung der kritischen Echelle-Gitter |
| 2010 | Finales Design. Bestellung der Kollimatoren und Kameras. |
| 2013 | Bau des Spektrographen, der AG-Einheit, Control System |
| 2013 | Implementierung in Teneriffa, „First starlight“ |
| 2014 | Polarimeter |

Finanzierungsplan

Institutionelle Mittel sollen aus dem Haushalt des AIP im Rahmen des GREGOR-Projektes für die Jahre 2008-2013, sowie Drittmittel aus der Beteiligung des Partners Ondrejov zur Verfügung gestellt werden.

Total capital costs: 585 k€

Color code: until2007: 175, 2008: 101, 2010: 250, 2011+: 234 (k€)

Detailed workpackage costs:

WP1. AG unit and F2/M4 unit (40 k€)

| | | |
|---|------------------------------|------------|
| 1 | Optics | 10.000,- |
| 1 | ADC | 5.000,- |
| 1 | Mechanics | 10.000,- |
| 1 | Guiding CCD, controller etc. | 15.000,- |
| 1 | Software | <i>tbd</i> |

WP2. Fiber connection and fore optics (40 k€)

| | | |
|---|-------------------|----------|
| 1 | Fibers | 5.000,- |
| 2 | Image slicer | 15.000,- |
| 1 | Dichroid | 5.000,- |
| 1 | Auxiliary optics | 5.000,- |
| 1 | Slit viewing unit | 5.000,- |
| 1 | Calibration unit | 5.000,- |

WP3. Double echelle spectrograph (471 k€)

| | | |
|---|-------------------------------|-----------|
| 2 | R4-echelle gratings | 75.000,- |
| 2 | Off-axis collimators | 140.000,- |
| 2 | Cross-dispersers | 30.000,- |
| 2 | Optical cameras in 2011-12 | 200.000,- |
| 2 | 15- μ 4kx4k CCDs | 100.000,- |
| 2 | CCD cameras and controllers | 40.000,- |
| 1 | Mechanics/Table/Cover | 40.000,- |
| 1 | Vacuum pump | 6.000,- |
| 2 | Cryo Tiger closed coolers | 15.000,- |

WP4. Robotics operations software and TCS interfaces (19 k€)

| | | |
|---|-------------------------------------|------------|
| 1 | Adaptation of STELLA control system | <i>tbd</i> |
| 1 | Computer hardware | 5.000,- |
| 1 | Weather stations, sensors | 8.000,- |
| 1 | Network (router) | 3.000,- |
| 1 | Webcams | 3.000,- |

WP5. Data storage and handling (15 k€)

| | | |
|---|-------------------------|------------|
| 1 | 5-TB RAID array on site | 15.000,- |
| 1 | Software | <i>tbd</i> |

