

# CARMENES – der Exoplanetenjäger

*Die Jagd nach der »Exo-Erde« geht in eine neue Runde: Auf dem Calar Alto in Spanien geht in Kürze CARMENES in Betrieb, ein hochauflösender Spektrograf, der erstmals auch das nahe Infrarotlicht erfasst. Damit erweitern die Astronomen die Exoplanetensuche auf einen bislang vernachlässigten Sterntyp: massearme Rote Zwerge.*

Von José A. Caballero

**A**cht Planeten bevölkern unser Sonnensystem. Die vier innersten sind terrestrische, also erdähnliche Himmelskörper: Merkur mit seiner an den Mond erinnernden Oberfläche, die Venus mit ihrem ausgeprägten Treibhauseffekt, dann natürlich die Erde mit ihren Bewohnern sowie der Mars mit seinen erloschenen Vulkanen und ausgetrockneten Flussbetten. Jenseits des Asteroidenhauptgürtels kreisen die Gasriesen: Jupiter mit seinem Großen Roten Fleck, Saturn mit seinen

Ringens sowie die beiden etwa gleich großen Gasplaneten Uranus und Neptun, deren Atmosphären im Teleskop eher eintönig erscheinen.

Auch um andere Sterne kreisen Planeten. Seit im Jahr 1995 der erste Exoplanet bei einem sonnenähnlichen Stern gefunden wurde, haben Astronomen fast 2000 weitere entdeckt – sie alle sind in der Datenbank [www.exoplanets.eu](http://www.exoplanets.eu) verzeichnet. Die meisten von ihnen entpuppten sich allerdings als unbewohnbare Gasriesen, deren hohe Temperaturen denen der kältesten Sterne nahe kommen. Viele von ihnen umkreisen ihr Zentralgestirn auf extrem engen Bahnen, so dass ein Umlauf nur wenige Erdentage dauert.

Stetig verbesserte Beobachtungstechniken zeigten bald, dass dies auf einen Auswahleffekt zurückzuführen ist. Die meisten erdgebundenen Suchprogramme verwenden die Radialgeschwindigkeitsmethode: Sie nutzen den Umstand, dass die Sterne infolge der Gravitationswirkung ihrer Planeten ein wenig hin- und hertaumeln. Eng kreisende Riesenplaneten von der Größe unseres Jupiters lassen ihren jeweiligen Zentralstern dabei heftiger taumeln als massearme Planeten oder Gasriesen in größerem Abstand.

Dank des Weltraumteleskops Kepler, das Planeten mit der Transitmethode aufspürte, wissen wir, dass kleine Planeten in der Milchstraße in der Überzahl sind. Die Entwicklung neuer, ultrastabiler Spektrografen ermöglichte schließlich die Entdeckung immer kleinerer Exoplaneten auch mit der Radialgeschwindigkeitsmethode. Dennoch: Eine so genannte zweite Erde – also einen Planeten mit 0,5- bis 2-facher Erdmasse – konnten die Astronomen trotz aller Anstrengungen bislang nicht sicher nachweisen.

Nicht nur uns Exoplanetenjäger fasziniert insbesondere die Suche nach habitablen Planeten – also solchen, auf deren

## IN KÜRZE

- Astronomen suchen nach einer Exo-Erde, also einem Planeten von der Größe unserer Erde, der seinen Zentralstern in der lebensfreundlichen Zone umkreist.
- Den größten Erfolg verspricht die Suche bei massearmen Zentralsternen, den Roten Zwergen.
- Das Suchverfahren erfordert hochauflösende Spektrografen wie CARMENES, die auch im Infraroten arbeiten.

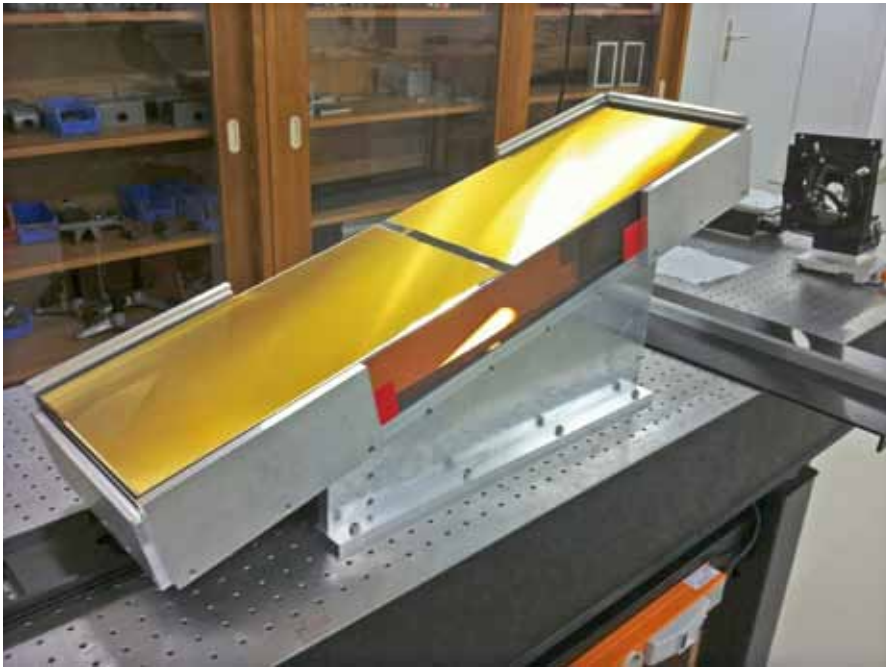
**Am 3,5-Meter-Zeiss-Teleskop auf dem Calar Alto wird das Front-End des CARMENES-Spektrografen installiert werden (gelber Pfeil). Von dort wird das Licht über ein Glasfaserbündel zum eigentlichen Spektrografen geleitet, der sich im Coudé-Raum im Untergeschoss des Gebäudes befindet.**



CARMENES ist vermutlich der einzige Spektrograf, dem ein Lied gewidmet wurde:  
<http://goo.gl/r3Vxci>







CARMENES-Konsortium

Das Dispersionsgitter des VIS-Kanals (hier während des Aufbaus an der Landessternwarte Königstuhl in Heidelberg) besteht aus zwei Échellegittern. Deren optisch wirksame Fläche beträgt  $644 \times 148$  Millimeter. Ihre Farbe kommt durch eine Goldbeschichtung zu Stande. Das NIR-Gitter ist mit dem VIS-Gitter identisch.

Oberfläche flüssiges Wasser (und damit möglicherweise Leben) existieren kann. Bis wir eine habitable Exo-Erde im Orbit um einen sonnenähnlichen Stern entdecken können, wird vermutlich noch ein Jahrzehnt vergehen. Bis dahin nämlich wird hoffentlich die Weltraummission PLATO (PLANetary Transits and Oscillations of stars) der Europäischen Weltraumorganisation ESA in Betrieb gehen. Auch auf ESPRESSO, einem speziell für die Suche nach kleinen Exoplaneten optimierten Spektrografen, der am Very Large Telescope (VLT) in Chile in Betrieb gehen soll, ruhen unsere Hoffnungen. Aber wir sind zuversichtlich, schon früher fündig zu werden: Konzentriert man nämlich die Suche nicht auf sonnenähnliche, sondern auf kühle Sterne, dann sollte sich eine habitable Exo-Erde bereits mit der heutigen Technik finden lassen.

Der Grund dafür steckt in der Strahlungsgleichung, welche die Leuchtkraft des Sterns, den gegenseitigen Abstand Stern-Planet und die Albedo des Planeten (also den Anteil des Sternlichts, das vom

Planeten zurückgestrahlt wird) zueinander in Verbindung setzt: Ihr zufolge muss ein Planet, auf dem die Bedingungen für Leben herrschen sollen, einen kühleren Stern in einem erheblich kleineren Abstand umkreisen als einen sonnenähnlichen. In kleinerem Abstand bewirkt der Planet aber deutlich größere Änderungen der Radialgeschwindigkeit des Sterns – und lässt sich demzufolge leichter nachweisen.

### Suche im Infraroten

Kandidatensterne gibt es genug: Zwerge des Spektraltyps M sind der mit Abstand häufigste Sterntyp im Milchstraßensystem. Ihre Oberflächentemperaturen liegen zwischen 2200 und 4000 Kelvin (im Vergleich zu den 5000 bis 7000 Kelvin sonnenähnlicher Sterne). Mit durchschnittlich 0,6 Sonnenmassen sind sie masseärmer als unser Zentralgestirn. Eine in der habitablen Zone eines solchen Zwergsterns kreisende Exo-Erde sollte dessen Radialgeschwindigkeit deshalb im gleichen Maße beeinflussen wie ein heißer

Exo-Jupiter die eines sonnenähnlichen Sterns. Allerdings gibt es ein Problem: M-Zwerge leuchten im sichtbaren Licht weit schwächer als sonnenähnliche Sterne. Damit sind sie zu lichtschwach für die im sichtbaren Licht arbeitenden ultrastabilen Spektrografen wie etwa HARPS am La-Silla-Observatorium der ESO in Chile oder HIRES am Keck Observatory auf Hawaii.

Einen Ausweg bietet das nahe Infrarotlicht. In diesem Spektralbereich nämlich emittieren M-Zwerge das Maximum ihrer Strahlung, genauer bei einer Wellenlänge um 900 Nanometer (das Strahlungsmaximum der Sonne liegt bei 550 Nanometer, also im gelb-grünen Bereich). Man bezeichnet diese Sterne nicht zu Unrecht als Rote Zwerge! Ein ultrastabiler Spektrograf, optimiert für den nahinfraroten Wellenlängenbereich, wäre also das geeignete Instrument, um Exo-Erden bei masseärmeren Zwergsternen zu finden. Folgerichtig empfehlen die ExoPlanet Task Force (ein Beratungsgremium der US-Raumfahrtorganisation NASA und der National Science Foundation) und die europäischen Planungsnetzwerke ASTRONET und OPTICON die Entwicklung eines solchen Spektrografen: »Infrarotspektrografen bieten die womöglich beste Möglichkeit, Planeten mit Erdmasse in den habitablen Zonen von späten Sternen der Hauptsequenz, etwa des Spektraltyps M4V, zu finden.«

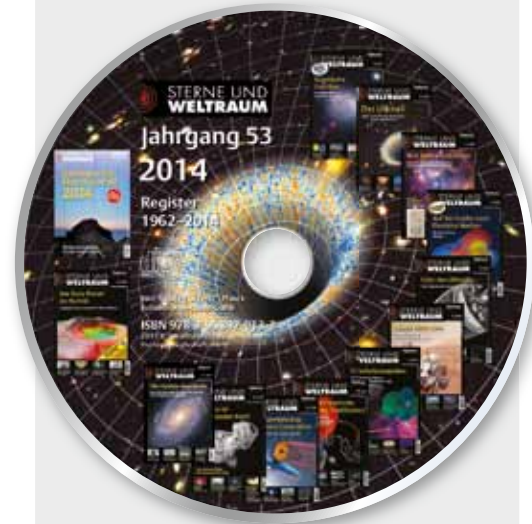
Unsere Gruppe wird in diesem Jahr den ersten ultrastabilen und hochauflösenden Spektrografen für das Nahinfrarotlicht in Betrieb nehmen – und zwar im Centro Astronómico Hispano-Alemán (spanisch-deutsches Zentrum für Astronomie, kurz CAHA). Das CAHA befindet sich auf einer Meereshöhe von 2168 Metern in der südspanischen Sierra de los Filabres, nördlich der Küstenstadt Almería und wird vom Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg (MPIA) und vom Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA) in Granada betrieben. Obwohl das Zentrum in den vergangenen Jahren erhebliche finanzielle Einsparungen hinnehmen musste, bietet



CARMENES-Konsortium

Die beiden CMOS-Chips der NIR-Kamera – hier mit einem Teil der Elektronik dargestellt – passen gemeinsam auf eine Handfläche, benötigen aber einen kryogenen Tank von der Größe einer Gasflasche, um auf die Betriebstemperatur von 140 Kelvin gekühlt zu werden. Die Dispersionsgitter und die CMOS-Chips sind die mit Abstand teuersten Komponenten von CARMENES. Auf sie entfielen rund zwei Drittel der Gesamtkosten.

## AUS UNSEREM LESERSHOP



### STERNE UND WELTRAUM- JAHRGANGS-CD-ROM 2014

Auf der CD-ROM von *Sterne und Weltraum* finden Sie den kompletten Jahrgang mit sämtlichen Bildern, den »Kalender für Sternfreunde 2014« sowie alle Jahresinhaltsverzeichnisse von 1962 bis 2014. Der zum Lesen erforderliche Acrobat Reader ist enthalten.

Die SuW-CD-ROM 2014 kostet als Einzelbestellung € 25,- (zzgl. Porto); als Standing Order zur Fortsetzung € 22,50 (inkl. Porto Inland). Alle Preise verstehen sich inkl. Mehrwertsteuer.

es der internationalen Astronomiegemeinschaft drei Teleskope mit Spiegeldurchmessern von 1,23, 2,2 und 3,5 Metern an. Das 3,5-Meter-Zeiss-Teleskop ist seit seiner Einweihung im Jahr 1984 das größte Teleskop in Westeuropa. Bislang nutzt es bis zu sechs verschiedene Instrumente, von Weitfeldkameras für den visuellen und infraroten Spektralbereich, über Spektrografen mit mittlerem Auflösungsvermögen bis hin zu PMAS, einem der weltweit besten Integralfeldspektrografen. Die präzise azimutale Montierung des Teleskops und seine Aluminisierungskammer, mit der sein Hauptspiegel stets in perfektem Zustand gehalten werden kann, sind Musterbeispiele guter Ingenieursarbeit, wie man sie nur an wenigen Teleskopen auf der Welt findet.

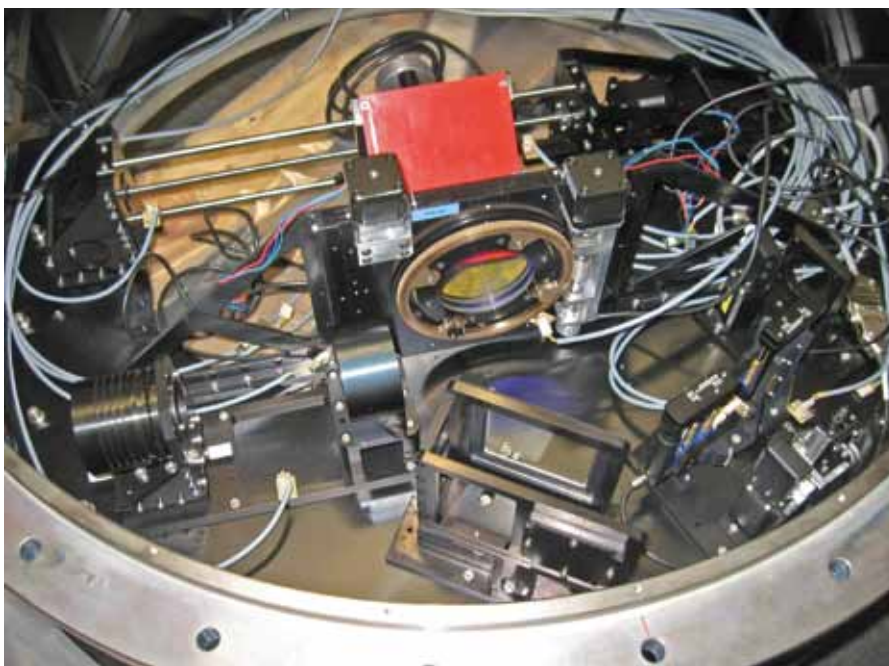
### Planung von CARMENES

Das 3,5-Meter-Zeiss-Teleskop wird die Heimat unseres Spektrografen. Das CAHA geht damit einen Weg, den inzwischen viele Observatorien auf der Welt eingeschlagen haben: Sie reduzieren die Anzahl der an einem einzelnen Teleskop installierten Instrumente und schaffen damit spezialisierte Observatorien, die sich für einen Großteil der Beobachtungszeit (wenn nicht sogar ausschließlich) auf ein einziges Instrument konzentrieren und so Daten von hoher Qualität und Quantität liefern. Weitere Beispiele für diesen Entwicklungsweg sind der Spektrograf HARPS am 3,6-Meter-Teleskop der ESO auf La Silla, die Weitfeldkamera WFCAM am britischen Infrarotteleskop UKIRT auf Hawaii und

der zukünftige Multiobjektspektrograf WEAVE, der am 4,2-Meter-William-Herschel-Teleskop auf La Palma zum Einsatz kommen soll.

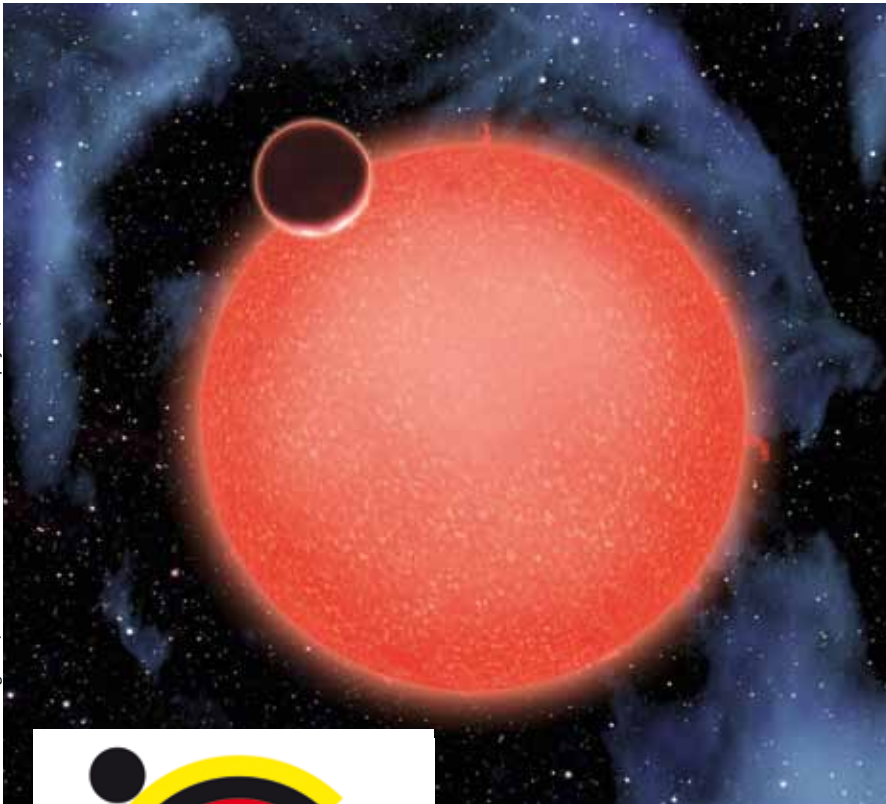
So rief das CAHA im Jahr 2008 einen Wettbewerb aus: Gesucht wurde ein Instrument der nächsten Generation für das 3,5-Meter-Zeiss-Teleskop. Einer der beiden Vorschläge, die es zu einer von den deutschen und spanischen Partnern finanzierten Konzeptstudie schafften, war unser Infrarotspektrograf CARMENES (damals noch unter einem kryptischeren Namen firmierend). Das Akronym steht für Calar Alto high-resolution search for M-dwarfs with Exo-Earths with Near-Infrared and optical Échelle Spectrographs. Dieser komplizierte Name enthält alle zentralen Charakteristiken des Instruments: Es geht um die Suche nach Exo-Erden auf dem Calar Alto, und zwar mit Infrarot- und optischer Spektrografie. Den ursprünglichen Begriff Radialgeschwindigkeiten (radial-

**Das Innere des später direkt am Teleskop montierten Front-End (hier kurz nach dem Zusammenbau an der Landessternwarte in Heidelberg): Der rote Deckel schützt den fahrbaren Spiegel, der das Licht in den CARMENES-Strahlengang lenkt. Der kupferfarbene Ring in der Mitte ist der Korrektor für die atmosphärische Dispersion. Die Guidingkamera befindet sich links unten im Bild, der dichromatische Strahlteiler unten und die Zuführungen zu den Glasfasern auf der rechten Bildseite. Der Kabelverlauf ist noch nicht endgültig.**



CARMENES-Konsortium





Das CARMENES-Logo ist eine Anlehnung an das berühmte Logo »Turismo español« von Joan Miró mit dem Wort carmenes in Bauhaus-Lettern (Herbert Bayer 1925). Man kann in dem Logo einen schwarzen Planeten um einen roten Stern kreisen sehen.

### Mitglieder im CARMENES-Konsortium

Institution	Stadt
Max-Planck-Institut für Astronomie	Heidelberg
Instituto de Astrofísica de Andalucía	Granada
Landessternwarte Heidelberg-Königstuhl	Heidelberg
Institut de Ciències de l'Espai	Barcelona
Institut für Astrophysik Göttingen	Göttingen
Universidad Complutense de Madrid	Madrid
Thüringer Landessternwarte Tautenburg	Tautenburg
Instituto de Astrofísica de Canarias	Teneriffa
Hamburger Sternwarte	Hamburg
Centro de Astrobiología	Madrid
Centro Astronómico Hispano-Alemán (CAHA)	Calar Alto, Almería

velocity) ersetzen wir durch das allgemeinere Adjektiv hochauflösend (high-resolution); schließlich werden wir mit CARMENES weit mehr wissenschaftliche Fragestellungen angehen können als die Suche nach blauen Exo-Erden bei roten Zwergsternen.

CARMENES gewann schließlich den Wettbewerb. Anfang 2009 wurde das Konsortium für die Entwicklung, den Bau,

die Integration und schließlich die Inbetriebnahme des Instruments gegründet. Es besteht derzeit aus zehn Forschungsinstituten und Universitäten in Spanien und Deutschland, die eng mit dem CAHA zusammenarbeiten (siehe Tabelle oben). Rund 130 Wissenschaftler und Ingenieure sind im Konsortium beschäftigt, wobei Deutschland und Spanien etwa gleich stark vertreten sind.

Während das Konsortium den CARMENES-Spektrografen liefert, stellt das Observatorium den Zeiss-Reflektor und garantierte Beobachtungszeit für CARMENES zur Verfügung. Ein solches anteiliges Verfahren ist bei internationalen Projekten in der Astronomie üblich. Im Falle von CARMENES werden wir die Garantiezeit ausschließlich für die Suche nach erdähnlichen Planeten bei massearmen Sternen verwenden – denn dafür wurde der Spektrograf entworfen. Mit einer Messgenauigkeit von einem Meter pro Sekunde im Nahinfraroten und gleichzeitiger Überwachung der Sternaktivität im visuellen Spektralbereich werden wir in der Lage sein, rund 300 nahe M-Zwergsterne in der garantierten Beobachtungszeit nach möglichen Exoplaneten in ihren habitablen Zonen zu untersuchen. Diese Sterne wurden zuvor in einer Kandidatenliste zusammengetragen. Es ist wahrscheinlich, dass manche der Planeten zudem Transits vor ihren jeweiligen Sternen durchführen. Diese Systeme sind besonders interessant, denn aus den Lichtkurven der Transits werden wir zusätzliche Informationen gewinnen, mit denen wir Massen, Radien, Dichten und die inneren Zusammensetzungen der Planeten genauer bestimmen können.

### Beobachtungen mit CARMENES

Im Gegensatz zu anderen Instrumenten ist CARMENES geradezu günstig: Ein vergleichbares Instrument für das 10,4-Meter-Teleskop GranTeCan auf La Palma würde das Doppelte kosten, eines für das VLT sogar dreimal so viel. Was natürlich nicht heißen soll, dass CARMENES billig war. Bei Entwicklung und Bau war eine große Zahl hochspezialisierter Wissenschaftler und Ingenieure über viele Monate hinweg beschäftigt. Doch die Investitionen werden sich auszahlen: In den mindestens 600 Nächten, die bis 2018 zwischen der deutschen Max-Planck-Gesellschaft und dem spanischen Rat für wissenschaftliche Forschung (CSIC) als Garantiezeit ausgehandelt wurden, wollen wir es schaffen, die Zahl der bislang bekannten Exoplaneten bei M-Sternen um einen Faktor fünf oder sechs zu erhöhen. Die damit einhergehende vergrößerte Statistik wird unser Wissen über diese Art von Systemen entscheidend verbessern und mit etwas Glück sogar den Durchbruch schlechthin ermöglichen: die Entdeckung einer habitablen Exo-Erde.



## Montierungen



### ■ iOptron iEQ30 Pro Montierung mit Stativ

TRANSPORTABLE GoTo-MONTIERUNG FÜR MOBILE ASTROFOTOGRAFEN - AUCH FÜR EINSTEIGER IDEAL GEEIGNET!

Mit der iEQ30 Pro bringt iOptron eine überarbeitete Version seiner leichten, astrofotografietauglichen Montierung aus der iEQ-Serie heraus. Die Montierung ist mit der neuesten Version der GoToNOVA® Technologie inklusive GPS, sowie einem justierten und beleuchteten Polsucher ausgestattet.

#### Weitere Vorteile auf einen Blick

- sehr leise bei der Nachführung und beim Anfahren der Objekte dank Schrittmotor
- PermaNes PEC (Die Software überwacht ständig den Schneckenfehler)
- ST-4-Autoguideranschluss
- AccuAlign-Technik: schnelles und genaues Einnorden
- RS232-RJ9-Kabel und -Anschluss für Steuerung über PC mit ASCOM-Protokoll
- kompakt und tragbar, aber dennoch sehr steif

🔍 Artikel-Nr.: 26775

Preis: 1499.€



### ■ iOptron iEQ45 Pro Montierung mit Stativ

DIE NEUE PARALLAKTISCHE MONTIERUNG iEQ45 PRO MIT GoTo IST EINE SPITZENMONTIERUNG FÜR DIE MOBILE ASTROFOTOGRAFIE!

In der iEQ45 ist die neueste GoTo-Technologie von iOptron eingebaut, dazu gehört auch ein 32-Bit-GPS. Die GoToNOVA®-Handsteuerbox verfügt über ein großes Display, auf den in mehreren Zeilen alle relevanten Informationen auf einem Blick erkennbar sind (in englischer Sprache). Fest integriert ist ein kalibrierter und beleuchteter Polsucher.

Die Montierung trägt sicher bis zu 20 kg, wiegt selbst aber insgesamt nur 11 kg, was ein ausgezeichnetes Verhältnis von Tragfähigkeit zu Eigengewicht ist und die Montierung daher für den mobilen Einsatz interessant macht. Dabei können Teleskope sowohl mit Vixen-, als auch Losmandy-Schiene montiert werden.

🔍 Artikel-Nr.: 26776

Preis: 1699.€

## Teleskope

### ■ Omegon pro ED APOs

SIE WOLLEN MEHR KONTRAST, MEHR SCHÄRFE? STERNHAUFEN UND PLANETEN MIT MEHR BRILLANZ ERLEBEN?

Der Omegon Triplet Apochromat bietet Ihnen eine hervorragende ED-Optik mit drei Linsen und eine präzise Crayford-Mechanik. Dieses Teleskop ist eine Perle für jeden Amateurstrom, der Wert auf eine gute Abbildung legt. Dabei zahlen Sie für diesen Premium Dreilinsler in der Regel nicht mehr als für einen normalen Doublet ED-Refraktor.

Der Omegon Triplet Apochromat überzeugt durch seine ausgesprochen gute Verarbeitung. Passgenaue Linsenfassungen sowie hochwertigen Premium ED-Glas tragen zu der außerordentlichen Güte dieses Teleskops bei.

Erst eine exakte Schärfe führt zur erfolgreichen Beobachtung! Aus diesem Grund lässt sich der Crayfordauszug extrem weich bewegen. Mit der 1:10 Untersetzung finden Sie selbst bei hohen Vergrößerungen ganz einfach den richtigen Schärfepunkt.

#### Weitere Vorteile auf einen Blick

- Rohrschellen mit Handgriff
- Montageschiene für Montierungen mit GP-Aufnahme
- Abnehmbare Taukappe
- Besonderer Vorteil: Aluminiumverstärkter Transportkoffer



Kollimationsprotokoll inklusive. Interferometrisches Messprotokoll auf Wunsch gegen Aufpreis.

	Artikel-Nr.	Preis
102/714 ED	14652	949.€
127/952 ED	12799	1449.€

## Persönliche Beratung

📧 Service@Astroshop.de

☎ +49 8191 94049-1

☎ +49 8191 94049-9

Astroshop.de

c/o nimax GmbH  
Otto-Lilienthal-Str. 9  
86899 Landsberg am Lech

Direkt an der A96 und B17,  
ca. 30min von Augsburg  
und München.

*Damit wir uns genug Zeit für Sie nehmen können, rufen Sie bitte immer vor Ihrem Besuch bei uns an und vereinbaren einen Termin.*  
»Vielen Dank«

Wir sind Mo-Fr von 9-17 Uhr und jeden 1. Sa im Monat von 10-16 Uhr für Sie da!





CARMENES-Konsortium

**Vakuumtanks enthalten die optomechanischen Komponenten der beiden Kanäle des Spektrografen. Zu sehen ist hier der Vakuumtank für den VIS-Kanal während einer Testphase an der Landessternwarte in Heidelberg.**

Im ersten Betriebsjahr wird CARMENES das Licht des 3,5-Meter-Teleskops noch mit weiteren Instrumenten teilen. Auch werden jederzeit Beobachtungen anderer Objekte möglich sein – das Instrument steht jedem spanischen und deutschen Astronomen für die Untersuchung einer Vielzahl von Fragestellungen offen. Das kann etwa die Asteroseismologie sein, die Untersuchung von Planeten bei Sternen anderer Spektralklassen, der Eigenschaften dieser Sterne selbst, ihrer Metallizitäten und Bewegungen, bis hin zur Kinematik der Galaxie – die Liste ließe sich lange fortsetzen.

Finanziert wird CARMENES neben den einzelnen Partnern des Konsortiums

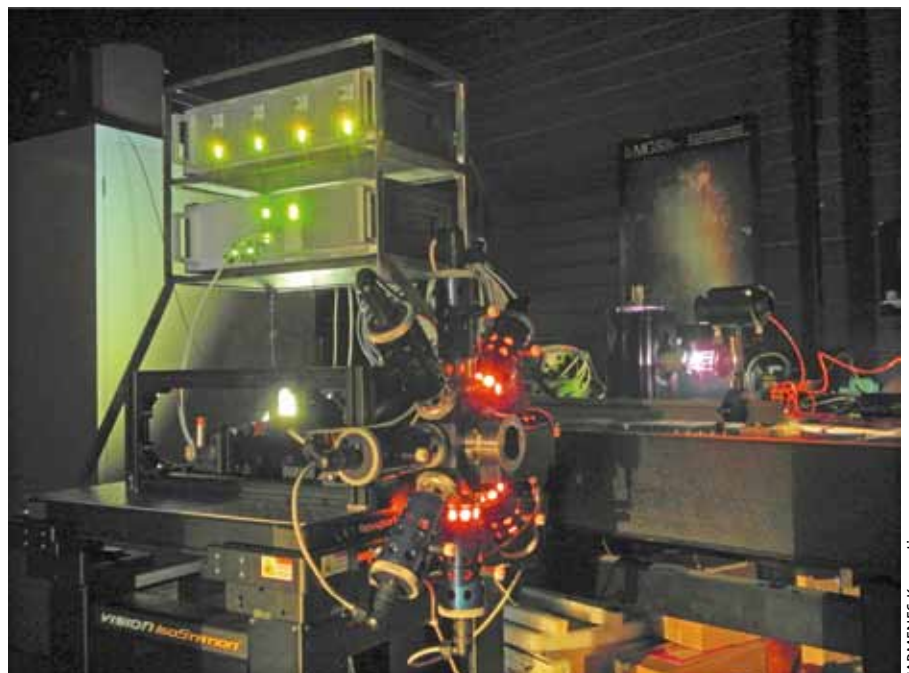
hauptsächlich von der Max-Planck-Gesellschaft, dem CSIC, dem Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) der Europäischen Union sowie dem spanischen Plan Nacional de Astronomía y Astrofísica. Seit Beginn des Jahres 2009 hat das Instrument eine Reihe von Designänderungen erfahren sowie wichtige Funktionstests bestanden. Gegenwärtig befindet sich der Spektrograf in seiner finalen Bauphase, zu der die Integration und Verifikation aller seiner Komponenten zählt. Das »First Light« am Teleskop ist für September 2015 geplant.

Aus technischer Sicht ist CARMENES ein zweikanaliger Échelle-Spektrograf mit Glasfaser-Eingang. Das bedeutet, dass er über zwei Kanäle verfügt – einen für den

Nahinfrarotbereich (NIR) und einen für den visuellen Spektralbereich (VIS) – die jeweils über Glasfasern mit Licht vom Teleskop gespeist werden. Seine spektrale Bandbreite reicht nahezu durchgehend von 550 bis 1700 Nanometer. Der NIR-Kanal deckt dabei den Wellenlängenbereich zwischen 950 und 1700 Nanometer (Farbbänder Z, Y, J und H) ab und dient der eigentlichen Radialgeschwindigkeitsmessung. Er wird eine spektrale Auflösung von  $\Delta\lambda/\lambda = 82000$  bieten. Für einen Stern der Helligkeit 9 mag erwarten wir mit einer Gesamteffizienz von mehr als 5 Prozent ein Signal-Rausch-Verhältnis von 150 in 900 Sekunden Integrationszeit. Der VIS-Kanal reicht von 550 bis 1050 Nanometer und dient der notwendigen Simultanmessung der Aktivitätsindikatoren des Sterns (zum Beispiel H-Alpha, Ca II). Die Sternaktivität kann eine Radialbewegung und somit ein falsches Signal vortäuschen. Deshalb ist gerade bei M-Zwergen, die oft sehr viel aktiver als sonnenähnliche Sterne sind, die Überwachung ihrer Aktivität wichtig.

CARMENES ist kein kleines Instrument: Das Sternenlicht erreicht den Spektrografen durch ein im Cassegrain-Fokus des Teleskops installiertes Front-End, das aber

**Die VIS-Kalibrationseinheit wurde im Coudé-Raum des Zwei-Meter-Alfred-Jensch-Teleskops der Thüringer Landessternwarte Tautenburg bei Jena getestet. Die Thorium-Neon-Kalibrationslampen sind anhand ihres roten Lichts zu erkennen. Das grüne Leuchten stammt von der Elektronik des Testaufbaus, das weißliche Licht vom Fabry-Pérot-Etalon. Die Einheit befindet sich derzeit noch in Heidelberg und wird im Juni 2015 zusammen mit dem restlichen VIS-Kanal zum Calar Alto transportiert. Die NIR-Kalibrationseinheit ist im Prinzip identisch zu der hier abgebildeten, verwendet aber Uran-Neon-Lampen.**



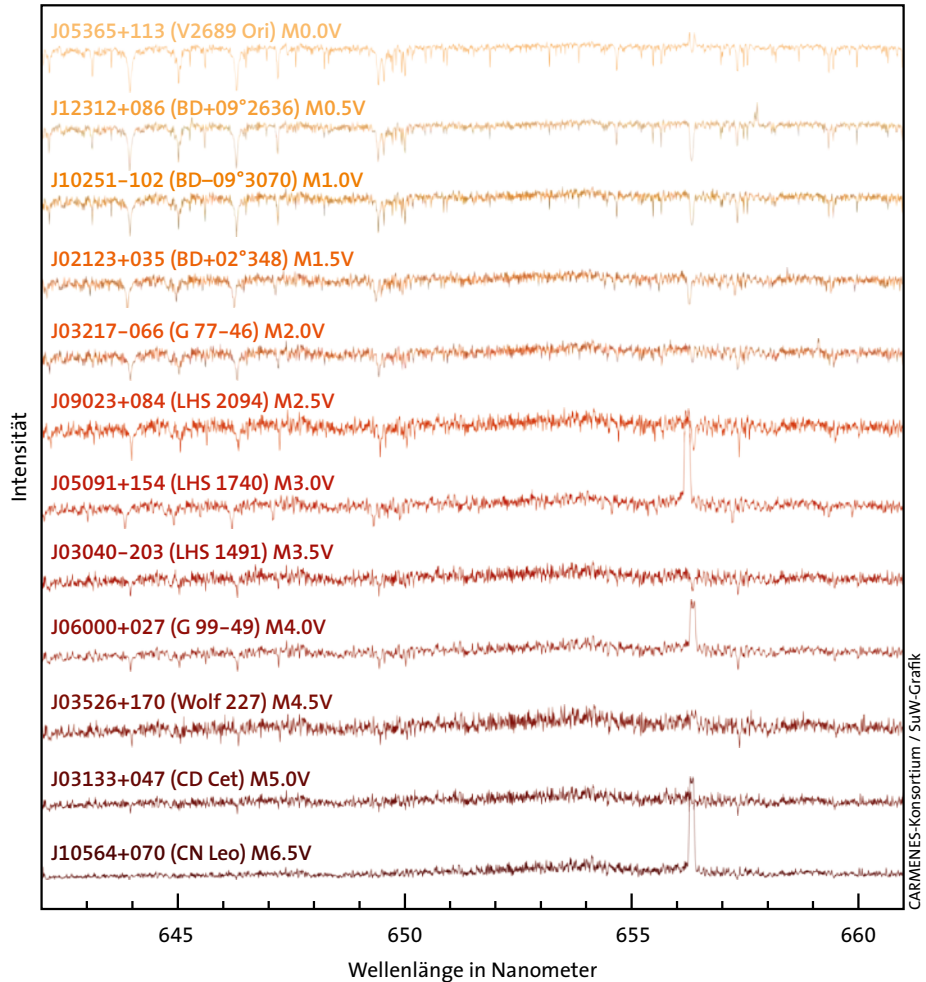
CARMENES-Konsortium

nur einen kleinen Teil des gesamten Aufbaus ausmacht. Die optomechanischen Komponenten beider Kanäle des Spektrografen befinden sich auf optischen Bänken in Vakuumtanks, die ihrerseits in einzelnen klimatisierten Kammern im Coudé-Raum des 3,5-Meter-Zeiss-Teleskops, also durch ein Stockwerk vom Teleskop getrennt, installiert sind. Mehrere zehn Meter lange Glasfaserkabel übertragen das Licht vom Front-End zum eigentlichen Spektrografen. Ebenfalls über Glasfaser mit dem Spektrografen verbunden sind Kalibrationseinheiten, durch die Licht genau bekannter Wellenlänge eingekoppelt werden kann. Als Kalibrationseinheiten verwenden wir standardmäßig Thorium-Neon-Lampen für den VIS-Kanal und Uran-Neon-Lampen für den NIR-Kanal, können aber auch moderne Fabry-Pérot-Etalone einsetzen. Eine genaue Kalibrierung ist entscheidend, denn schließlich wollen wir feinste Veränderungen der Wellenlängen eines Sternspektrums (und damit kleinste Veränderungen seiner Radialgeschwindigkeit) messen.

### Aufbau des Spektrografen

Zum Front-End gehört auch ein motorisch fahrbarer Spiegel, der das Licht entweder in den CARMENES-Spektrografen oder zu anderen Instrumenten lenkt (in erster Linie zum Integralfeldspektrograf PMAS). Bevor das Licht über Glasfasern zum Spektrografen geleitet wird, passiert es im Front-End einen Kompensator zur Korrektur der atmosphärischen Dispersion, eine Kamera zur Überwachung und Guiding sowie einen dichromatischen Strahlteiler, der das Strahlenbündel für den visuellen und den nahinfraroten Spektrografen aufteilt (siehe Bild S. 39). Der Durchmesser der Glasfasern, die das Licht vom Teleskop zu den Spektrografen leiten, wurde so gewählt, dass wir einen 1,5 Bogensekunden großen Ausschnitt des Himmels überdecken und damit ein Sternscheibchen bei mittlerer Luftunruhe in die Glasfaser einspeisen können..

Die beiden Kanäle des Spektrografen sind fast identisch – bis auf zwei fundamentale Unterschiede: ihre Detektoren und deren Betriebstemperaturen (siehe Tabelle Seite 44). Die Temperatur beider Detektoren muss im Lauf mehrerer Tage auf wenige hundertstel Grad genau konstant gehalten werden. Während der VIS-Kanal bei Umgebungstemperatur arbeitet (295 Kelvin), muss der NIR-Kanal zusätz-



lich auf 140 Kelvin (minus 133 °C) gekühlt werden. Für den Infrarotkanal wurde daher eigens ein Kühlsystem entwickelt, das im Wesentlichen aus einem mit flüssigem Stickstoff gespeisten Verdampfer besteht, der einen gleichmäßigen Strom gasförmigen Stickstoffs niedriger Temperatur auf dem NIR-Spektrograf bewirkt und diesen auf Arbeitstemperatur hält. Auch die europäische Südsternwarte ESO interessiert sich für dieses Kühlsystem: Sie sieht es als Prototypen für zukünftige Kryostaten, die einmal die Instrumente am derzeit im Bau befindlichen 39-Meter-E-ELT kühlen werden.

Der zweite große Unterschied betrifft die Detektoren. Der VIS-Kanal verwendet einen für den roten Spektralbereich optimierten CCD-Detektor mit extrem niedrigem Rauschverhalten. Für den Nahinfrarotbereich eignen sich CCDs allerdings nicht. Der NIR-Kanal setzt daher auf einen CMOS-Detektor, der aus einem Mosaik aus zwei von der US-amerikanischen Firma Teledyne gefertigten Chips besteht.

Die übrigen optomechanischen Komponenten beider Kanäle sind einander sehr ähnlich. Von jeweils einer achteckigen Glasfaser in den Vakuumtank gelenkt,

**Solche Beispielspektren von M-Zwergen, wie sie mit den hochauflösenden Spektrografen FEROS am 2,2-Meter-Teleskop auf La Silla und CAFÉ am 2,2-Meter-Teleskop auf dem Calar Alto aufgenommen wurden, dienen der Auswahl der 300 Kandidatensterne, die CARMENES während seiner garantierten Beobachtungszeit beobachten wird.**

passiert das Licht einen Brennweitenadapter, einen sogenannten Slicer, einen Kollimatorspiegel, ein Dispersionsgitter, ein zweites Mal den Kollimator, einen Doppelspiegel, ein drittes und letztes Mal den Kollimator, eine Kreuzdispersionseinheit, eine Kamera und erreicht schließlich den Detektor in seinem Kryostaten. Die Unterschiede dieses Aufbaus zwischen dem VIS- und dem NIR-Kanal beschränken sich auf unterschiedliche optische Parameter und Materialien, was Entwurf und Bau erheblich erleichtert hat.

CARMENES enthält noch eine Reihe weiterer technischer Innovationen. Da sind zum Beispiel die neu entwickelten Belichtungsmesser, die aufgrund des in Echtzeit gemessenen Signal-Rausch-Verhältnisses automatisch die Aufnahme-



## Technische Parameter des CARMENES-Spektrografen

	NIR-Kanal	VIS-Kanal
Wellenlängenbereich	900–1700 nm (29 Ordnungen)	550–1050 nm (53 Ordnungen)
Diffractionsgritter	2 x Richardson Gratings R4 (31,6 mm <sup>-1</sup> )	2 x Richardson Gratings R4 (31,6 mm <sup>-1</sup> )
Kreuzdispersionseinheit	Gitterprisma, Infrasil®	Gitterprisma, Schott LF5-Glas
Arbeitstemperatur	140,00 ± 0,05 K	295,00 ± 0,05 K
Detektoren	2 × 2k × 2k Hawaii 2-RG (2,5 µm)	1 × 4k × 4k e2v CCD231-84
Wellenlängenkalibration	Uran-Neon-Lampen und NIR Fabry-Pérot-Etalon	Thorium-Neon-Lampen und VIS Fabry-Pérot-Etalon
optische Parameter:	Auflösung: $R = 82\,000$ , mittlere Abtastrate: 2,8 Pixel, Faserabstand: 7 Pixel	Auflösung: $R = 82\,000$ , mittlere Abtastrate: 2,8 Pixel, Faserabstand: 7 Pixel

dauer eines Spektrums bestimmen. Oder der mit Neongas gefüllte Tank zur Lagerung der Langzeit-Kalibrationslampen, der eine vorzeitige Alterung der empfindlichen Leuchtkörper verhindert, die achteckigen Glasfaserkabel zur gleichmäßigen Ausleuchtung des Bilds, wie auch ein speziell entwickeltes Softwarepaket zur Instrumentkontrolle, das einen sogenannten Scheduler enthält, welcher automatisch die zu einem gegebenen Beob-

deren Instrumenten wie etwa HARPS zwar leicht unterlegen, dafür umfasst er nicht nur den visuellen Spektralbereich, sondern simultan auch die Infrarotbänder  $Z$ ,  $Y$ ,  $J$  und  $H$  – also Bereiche, die für hochauflösende Spektrografen bislang praktisch unzugänglich waren.

CARMENES und der Calar Alto dürften sich damit ab etwa 2016 zu einer Referenz bei der Suche nach Exo-Erden auf der Nordhemisphäre entwickeln. Bis es aber so

## *CARMENES ist der erste Spektrograf dieser Art und wird mehr Nächte zur Verfügung haben als andere.*

achtungszeitpunkt ideal positionierten Sterne auswählt. Die Pipeline zum Auslesen und zur Reduktion der vom Spektrografen gelieferten Daten entspricht dem an anderen vergleichbaren Instrumenten angewendeten Standard.

CARMENES hat gegenüber den anderen in der Entwicklung befindlichen Spektrografen drei entscheidende Vorteile:

- Wir werden die ersten sein. Die Tests des Front-End-Systems, zusammen mit den Kontroll- und Guidingsystemen fanden im April 2015 statt, das »First Light« des VIS-Kanals ist für September geplant, das des NIR für Oktober. CARMENES hat damit ein bis drei Jahre Vorsprung vor vergleichbaren Spektrografen.

- Wir werden mehr Nächte zur Verfügung haben. Zwar ist das 3,5-Meter-Teleskop kleiner als andere moderne Teleskope, dies gleicht sich aber durch die hohe Zahl der garantierten Beobachtungsnächte aus. Wir werden einzelne Planetensysteme wiederholt beobachten können und erhalten genauere Erkenntnisse über deren Eigenschaften.

- Hohe Auflösung und gleichzeitig große Bandbreite. Mit einer spektralen Auflösung von  $\Delta\lambda/\lambda = 82\,000$  ist CARMENES an

weit ist, steht noch viel Arbeit an: Jetzt, im Frühjahr 2015, sind wir dabei, das Instrument am Teleskop in Betrieb zu nehmen. Gleichzeitig müssen wir 300 geeignete M-Sterne auswählen, die wir mit CARMENES in der garantierten Beobachtungszeit untersuchen wollen. Dazu haben unsere Kollegen im Konsortium bereits eine umfassende Datenbank zusammengestellt, die alle wesentlichen Daten der Zielobjekte enthält: Namen, Koordinaten, Eigenbewegungen, Entfernungen, Radial-, Rotations- und galaktische Geschwindigkeiten, Spektraltypen, Temperaturen, Massen und Metallizitäten, Anzeichen für stellare Aktivität, eventuelle nahe und ferne Begleitsterne sowie Fotometriedaten vom Ultraviolett bis zum mittleren Infrarot. Viele dieser Daten stammen aus eigenen Beobachtungen, die wir mit der Vielzahl der Instrumente auf dem Calar Alto, dem Roque de los Muchachos auf La Palma, dem Teide auf Teneriffa oder La Silla in Chile sowie mit dem Virtual Observatory (einer Datenbank, die Daten von vielen Observatorien weltweit zusammenführt) durchgeführt haben.

Nachdem das Calar-Alto-Observatorium in den vergangenen Jahren schwere

Zeiten durchmachen musste, Finanzierungsprobleme hatte und sogar kurz vor der Schließung stand, stellt sich natürlich auch die Frage nach der Zukunft von CARMENES. Der derzeit bestehende Vertrag zum Betrieb des Observatoriums zwischen der Max-Planck-Gesellschaft und dem spanischen CSIC läuft 2018 aus. Was danach geschieht, hängt einerseits von politischen Entscheidungen ab, andererseits von den wissenschaftlichen Resultaten, die wir in den kommenden drei Jahren liefern werden.

Es ist möglich, dass nach 2018 CARMENES und PMAS am 3,5-Meter-Teleskop weiterarbeiten und gemeinsam mit der Panoramic Near Infrared Camera (PANIC) am 2,2-Meter-Teleskop die einzigen verbleibenden Instrumente auf dem Calar Alto sein werden. Für CARMENES bedeutete dies, dass es das wichtigste Instrument zur spektroskopischen Charakterisierung der ungefähr 2000 Exoplanetensysteme sein könnte, die mit der ESA-Mission Gaia sozusagen automatisch gefunden werden. Und wenn die Raumsonde PLATO planmäßig im Jahr 2025 startet und wie erhofft mit der Transitmethode weitere zehntausende Systeme entdeckt, dann wäre CARMENES gewissermaßen unser Arbeitspferd, mit dem wir diese fernen Welten untersuchen können – und dann hoffentlich auch die lange gesuchte zweite Erde finden werden. ☺



**JOSÉ A. CABALLERO** ist Astrophysiker und arbeitet am Zentrum für Astrobiologie in Madrid. Neben seiner Arbeit an CARMENES verbindet er Astronomie mit Rockmusik, elektronischen Klängen und Videokunst in seinem Projekt *unitedsoundsofcosmos*.

### Literaturhinweise

Quirrenbach, A. et al: CARMENES. I: Instrument and Survey Overview. In: Proceedings of SPIE 9147, E1F, 2014

Dieser Artikel und Weblinks unter:  
[www.sterne-und-weltraum.de/artikel/1343024](http://www.sterne-und-weltraum.de/artikel/1343024)

© Astronomía  
[www.astronomia-mag.com](http://www.astronomia-mag.com)  
Astronomía 185, S. 22 – 28, November 2014

# Picoamperemeter/Elektrometer Neu erfunden.



## SICHERE MESSUNG BIS ZU 0,01 fA UND 10 PQ

Die Keysight B2980A-Serie garantiert sichere Messungen und schafft Einblick. Zuvor verborgene True-Signale lassen sich nun erkennen - dank des Batteriebetriebs wirken sich Störungen aus dem Wechselstromnetz nicht auf empfindliche Messungen aus. Kritische Mess-Phänomene werden nicht übersehen - dank der Histogramm- und Zeitbereich-Anzeige in Echtzeit. Und mit der Setup Integrity Checker Software lassen sich Probleme einfach isolieren. Führen Sie empfindliche Messungen mit den genauesten grafischen Picoamperemetern/Elektrometern sicher durch. Vertrauen Sie darauf!

**HARDWARE + SOFTWARE + PEOPLE = INSIGHTS**

## Keysight B2980A-Serie Picoamperemeter/Elektrometer

Modelle mit Batterieoption

Histogramm- und Zeitbereich-Anzeige in Echtzeit

Strommessung: 0,01 fA - 20 mA

Widerstandsmessung: bis 10 PQ

Spannungsquelle: bis zu  $\pm 1000$  V

Messrate: bis zu 20.000 Messungen/s



Mehr Details durch Histogramm-Anzeige.

Zum Demo-Video und vieles mehr.

[www.keysight.com/find/b2980a\\_info](http://www.keysight.com/find/b2980a_info)

Kontakt: +49 (0)7031 464 6333

0800 6270999 (kostenfreie Rufnummer für Anrufe aus Deutschland)

© Keysight Technologies, Inc. 2015

 **KEYSIGHT**  
TECHNOLOGIES

Unlocking Measurement Insights