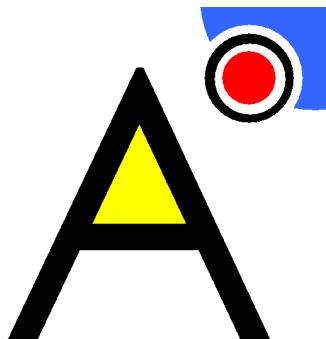




carmenes

Was ist das?

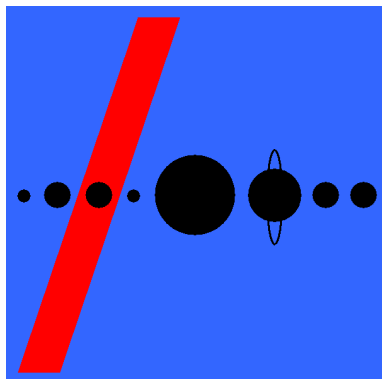
Exo-Planeten und Exo-Erden



Unser Sonnensystem hat acht Planeten. Vier von ihnen sind erdähnliche Planeten: Merkur (mit seiner mond-artigen Oberfläche), Venus (mit ihrer Treibhaus-Atmosphäre), die Erde (mit ihren Pflanzen und Lebewesen) und Mars (mit seinen Vulkanen und Schluchten), während die anderen vier Riesen-Gasplaneten sind: Jupiter (mit seinem Roten Fleck), Saturn (mit seinem Ring) und die eisigen Zwillinge Uranus und Neptun (mit ihren recht einfachen Atmosphären).

Andere Planeten (oder besser **Exo-Planeten**) umkreisen andere „Sonne“. Mehr als 500 Exo-Planeten wurden seit dem annus mirabilis von 1995 entdeckt (siehe die *Extrasolar Planets Encyclopaedia* für einen aktuellen Katalog). Die meisten von ihnen sind allerdings unbewohnbare Riesen-Gasplaneten, haben hohe Temperaturen ähnlich denen kühlerster Sterne, oder umkreisen ihre „Sonne“ auf sehr engen Bahnen (und ihr Jahr dauert nur wenige Tage).

Mit der fortschreitenden technologischen Entwicklung auf dem Gebiet des Nachweises von Exo-Planeten, insbesondere durch hoch-stabile Spektroskopie zum Messen der Reflexbewegung des Zentralsterns in der Radialgeschwindigkeit verursacht durch den unsichtbaren Begleiter, wird die Mindestmasse der entdeckten Exo-Planeten immer kleiner. Trotz der Bemühungen der Astronomen war es bisher jedoch noch nicht möglich, die erste Exo-Erde zu entdecken: Ein Exo-Planet mit etwa der Masse der Erde ($M \sim 0.5-2.0 M_{\text{Erde}}$)



Unter einem **bewohnbarer Planeten** versteht man einen, auf dessen Oberfläche es flüssiges Wasser gibt (und möglicherweise Leben). Es wird wohl noch einige Jahre dauern bis ein erd-ähnlicher Exo-Planet in der bewohnbaren Zone eines sonnen-ähnlichen Sterns nachgewiesen wird (mit Hilfe von NASA's *Kepler* und ESA's *PLATO* Missionen oder ESPRESSO am VLT). Exo-Planeten in der bewohnbaren Zone eines sehr kühlen Sterns geringer Masse umkreisen dagegen gemäß dem Strahlungsgleichgewicht Gesetz ihren Zentralstern viel enger und verursachen einen größeren

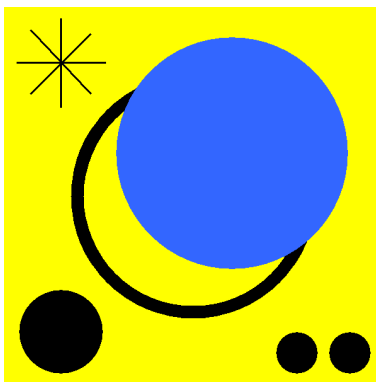
Effekt der Radialgeschwindigkeits-Variation, der mit heutigen Mitteln bereits nachweisbar wäre.

M-Zwergsterne und Nah-infrarot-Spektrographen

Masse-arme Sterne sind die häufigsten im Universum. Sie sind relativ kühl (zwischen ~4000 und ~2200 K) und schwach im Sichtbaren. Sterne vom Spektraltyp M haben eine Masse von weniger als $0.6 M_{\text{sol}}$. Bewohnbare Exo-Planeten, die **M-Zwerg**e umkreisen, sollten einen Wobble-Effekt der Radialgeschwindigkeit vergleichbar mit dem eines Exo-Jupiter um einen warmen Sonnen-ähnlichen Stern erzeugen. Solche Sterne sind im Sichtbaren viel heller als M-Zwerg. Leider sind optische Spektrographen wie HARPS oder HIRES nicht optimiert für die Beobachtung von massearmen Sternen. Die Leuchtkraft von M-Zwergen ist wegen ihrer niedrigen Effektivtemperatur gering, zusätzlich sind sie rot: Während die Sonne maximale Energie im gelben bis grünen Spektralbereich abstrahlt, also etwa bei 550 nm, liegt das Maximum bei M-Zwergen im nahen Infraroten, bei $\lambda > 900$ nm. Ein extrem stabiler Nah-infrarot-Spektrograph wäre daher ein überaus nützliches Instrument für die erste Entdeckung einer bewohnbaren Exo-Erde.

Die Exo-Planet-Projektgruppe empfiehlt daher, einen Nah-infrarot-Spektrographen zur Entdeckung und Charakterisierung von Planeten in der bewohnbaren Zone um nahe, helle M-Sterne vor 2013 zu entwickeln: *"Nah-IR Spektrographen stellen potentiell die beste Möglichkeit dar, Planeten mit Erdmasse in der bewohnbaren Zone eines Hauptreihensterns später als M4 (ein relativ warmer oder "früher" M Zwerg) zu entdecken; Optische spektroskopie ist konkurrenzfähig und schon verfügbar für frühere Spektraltypen. Es sollen IR spektrographen mit der angestrebten Auflösung von 1 m/s für einen Radialgeschwindigkeits-Survey von späten M-Zwergen entwickelt werden. Eine zeitnahe Demonstration mit 10 m/s ist kritisch um diese Technik zu überprüfen."*

Das Calar Alto Observatorium und sein 3.5 m Telescop

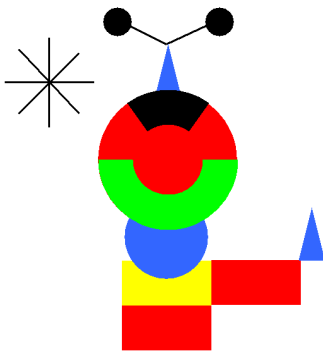


Das deutsch-spanische astronomische Observatorium Calar Alto (2168 m) liegt in den andalusischen Bergen de Los Filabres, nördlich von Almería, Spanien. Es wird gemeinsam betrieben von dem Max-Planck-Institut für Astronomie (MPIA-MPG) in Heidelberg, Deutschland, und dem Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) in Granada, Spanien. Calar Alto bietet den Astronomen drei Spiegelteleskope mit Aperturen von 1.23 m, 2.2 m und 3.5 m.

Das 3.5 m Teleskop (1984) ist gegenwärtig das größte optische Teleskop Westeuropas (ohne Berücksichtigung der Kanarischen Inseln). Sechs Instrumente stehen zur Verfügung, darunter visuelle und

nah-infrarote Weitwinkel-Kameras, ein Spektrograph mittlerer Auflösung und eine „integral field unit“.

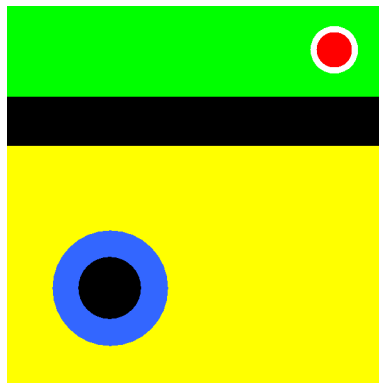
CARMENES: Das Konsortium



Im Jahre 2008 gab es – initiiert vom Centro Astronómico Hispano-Alemán einen Wettbewerb um den Bau eines Calar-Alto-Instrumentes der nächsten Generation für das 3.5 m Teleskop. CARMENES wurde als eines von zwei Instrumenten für die Phase der Konzeptstudie (Phase A) ausgewählt, finanziert durch die deutsche Max-Planck-Gesellschaft und den spanischen Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Das andere Instrument war ein extremer multiplex-Spektrograph, ein Projekt, das nicht weiter verfolgt wurde.

Das CARMENES Konsortium wurde offiziell Anfang 2009 gegründet mit dem Ziel das gleichnamige Instrument zu entwerfen, zu bauen, in Betrieb zu nehmen und über mehrere Jahre zu nutzen. Das Konsortium besteht gegenwärtig aus zehn Instituten und Universitäten in Deutschland und Spanien, in enger Zusammenarbeit mit dem Calar Alto astronomischen Observatorium. Zurzeit finden sich über 80 Wissenschaftler und Ingenieure in dem Konsortium zusammen.

CARMENES: Das Instrument



CARMENES wird für die Suche nach Planeten um sehr Masse-arme Sterne optimiert. Mit der **1 m/s**-Stabilitäts-Klasse im nahen Infrarot und der gleichzeitigen Messung von Aktivitäts-Indikatoren im Visuellen können exo-Erden in der bewohnbaren Zone von mehreren der zu untersuchenden M-Sterne nachgewiesen werden, darunter werden auch Bedeckungs-Orbits sein. Das Instrument ist bestens geeignet für den Großexperiment Beobachtungsmode am Calar Alto. Kleinere spezielle Beobachtungskampagnen, die Astero-Seismologie zur Bestimmung von Parametern des Zentralsterns nutzen,

können ebenfalls durchgeführt werden.

Die Radialgeschwindigkeiten der ausgesuchten Sterne werden mit einem zwei-kanaligen quer-dispergierten Échelle-Spektrograph mit Glasfaser-Eingang immer wieder regelmäßig vermessen. Der Spektrograph wird eine volle Überdeckung des gesamten Spektralbereiches in einer Aufnahme liefern (siehe unten stehende Tabelle). Der nah-infrarot-Kanal wird die Farbbänder *Y*, *J* und *H* von 950 bis 1700 nm abdecken (optimiert für den Bereich 950-1350 nm) und wird eine spektrale Auflösung von $R \sim 85,000$ bieten. Mit einer Gesamt-Effizienz von $> 5\%$ wird ein Signal-zu-Rausch-

Verhältnis von 150 in 900 s Integrationszeit zu erwarten sein bei einem Stern der Helligkeit $J = 9$ mag. Der sichtbare Kanal für den Spektralbereich 530 bis 1050 nm wird die notwendige Simultanmessung der Aktivitäts-Indikatoren (z.B. $H\alpha$, Ca II) liefern. Die zwei Spektrographenkanäle sind entworfen als weiße-Pupillen-Spektrographen auf Labortischen im Coudé-Raum.

	VIS	NIR
$\Delta\lambda$	530-1050 nm	950-1700 nm
$R=\lambda/\Delta\lambda$	80,000	85,000
Glasfaser Größe	1.50 Bogensekunden	1.65 Bogensekunden
Gitter	2 x R4 (31.6 mm ⁻¹)	2 x R4 (31.6 mm ⁻¹)
Quer-Dispersion	grism	grism
Detector	e2v 231-84 (4k x 4k)	2 x Hawaii-2RG (4k x 2k)

Andere Hauptkomponenten in CARMENES sind unter anderem eine neue Fokaleinheit im Cassegrain-Focus, die mit dem gegenwärtigen Instrument PMAS kompatibel ist, eine Glasfasereinheit mit "image scrambler", eine Kalibrationseinheit, die das Licht einer Halogen- und ThAr-artigen Lampe oder eines Fabry-Pérot Wavemeters in den Strahlengang einblendet, stabilisierte Kühlsysteme und Vacuumtanks für die zwei Spektrographenkanäle ($\Delta T \approx 0.01$ K), und ein anspruchsvolles Instrument-Kontrollsystem.

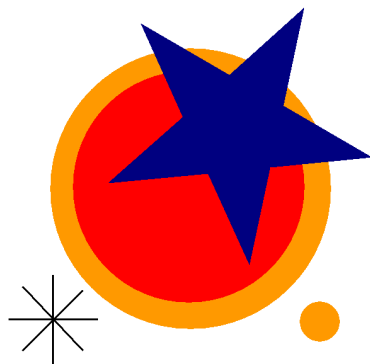
Es gibt einige ähnliche Spektrographen, die sich bereits in Betrieb oder noch in der Entwicklung befinden. CARMENES hat jedoch einige Vorteile, die dieses Instrument einzigartig machen:

- Gleichzeitige Beobachtung im nahen Infrarot und im Sichtbaren (um zwischen Exo-Planet und stellarer Aktivität unterscheiden zu können).
- Gleichzeitig hohe spektrale Auflösung und weiter Spektralbereich.
- Ausschließlicher Survey stabiler hoch-genauer Radialgeschwindigkeiten an exo-Planeten um M-Zwerg.
- Lange garantierte Beobachtungszeit für die vollständige Durchführung des Projekts (>600 nutzbare Nächte in fünf Jahren).
- Minimierung der Komplikationen der Kryo-Technik (Schwerpunkt auf den optischen Infrarotbändern YJ).
- Frühe Inbetriebnahme (Ende 2013-Anfang 2014).

Name und Logo

CARMENES [kár-me-nes] steht für **Calar Alto high-Resolution search for M dwarfs with Exo-earths with Near-infrared and optical Échelle Spectrographs**. Cármenes

(mit Akzent auf dem *a*) ist auch der Plural von Carmen, ein typischer Frauenname in Spanien, der auch in Deutschland vorkommt. Außerdem bezeichnet man mit Carmen auch das traditionelle Haus mit Garten und Obstbäumen in Granada, einen vom Heidelberger Astronom M. F. Wolf entdeckten Asteroiden (558 Carmen, 1905 QB), und eine französische Oper von Georges Bizet, die auf einer Erzählung von Prosper Mérimée beruht. *Cármenes*, im Plural, ist ein kleines (397 Einwohner) Dorf in der spanischen Provinz León.



Über den Namen CARMENES wurde demokratisch unter den Konsortium-Mitgliedern abgestimmt. Andere erwogene Namen waren z.B. HRS (High-Resolution Spektrograph), ICARVS (International Calar Alto Radial Velocity Spektrograph), CAIROS (Calar Alto Infra-Red and Optical Spektrograph) or CAPERUSITA.

Das CARMENES Logo (im Kopf dieses Dokumentes) ist eine vereinfachte Version des berühmten Logos '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. Die Illustrationen, die diesen Text bebildern, sind ebenfalls Bauhaus-ähnliche Minimalversionen berühmter Miró-Graphiken.

José A. Caballero, Rainer Lenzen und das
CARMENES Konsortium
carmenes.caha.es