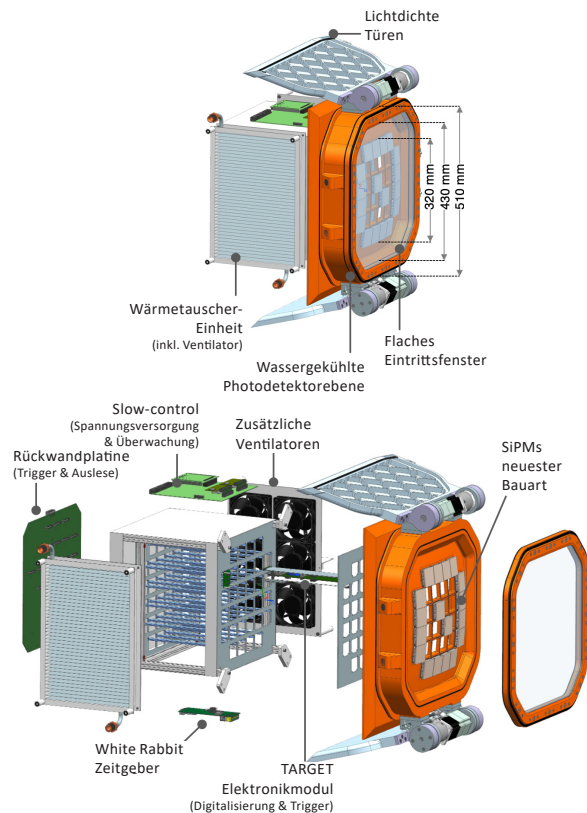


sorgen für eine hohe Bildauflösung: . Jeder solche Lichtsensor ist mit einem auf anwendungsspezifischen integrierten Schaltungen (ASICs) basierenden Elektronikmodul verbunden, die SiPM-Vorspannungssteuerung, Wellenform-Digitalisierung und einen Kameratrigger bereitstellen. Die Abtastrate beträgt 1 GSa/s, und die Größe des Auslesefensters aus dem Speicherarray 96-128 ns, um den Randbereich der Fokalebene durchquerende Ereignisse zu erfassen.

Anhand langsamer Signale lässt sich während des normalen Betriebs die Ausrichtung des Teleskops über Sterne kontrollieren. Die 32 Kameramodule sind an eine spezifische Rückwandplatine angeschlossen, welche die Schnittstelle für Strom, Synchronisation, Trigger und Daten bildet.



CAD-Zeichnung der SST-Kamera.

Die Kamera enthält ein Beleuchtungssystem, das Kalibrierung über kurze Lichtpulse schneller LEDs mit variabler Intensität ermöglicht. Eintrittsfenster und Außentürsystem bieten Schutz gegen Umwelteinflüsse. Die Temperatur der Kamera wird über eine externe Kälteanlage stabilisiert.

Ansprechpartner:

Prof. Dr. Jim Hinton
Tel.: 06221 516140
E-Mail: jim.hinton@mpi-hd.mpg.de

Dr. German Hermann
Tel.: 06221 516528
E-Mail: german.hermann@mpi-hd.mpg.de

Dr. Richard White
Tel.: 06221 516141
E-Mail: richard.white@mpi-hd.mpg.de

Dr. Christian Bauer
Tel.: 06221 516663
E-Mail: christian.bauer@mpi-hd.mpg.de



Saupfercheckweg 1
69117 Heidelberg

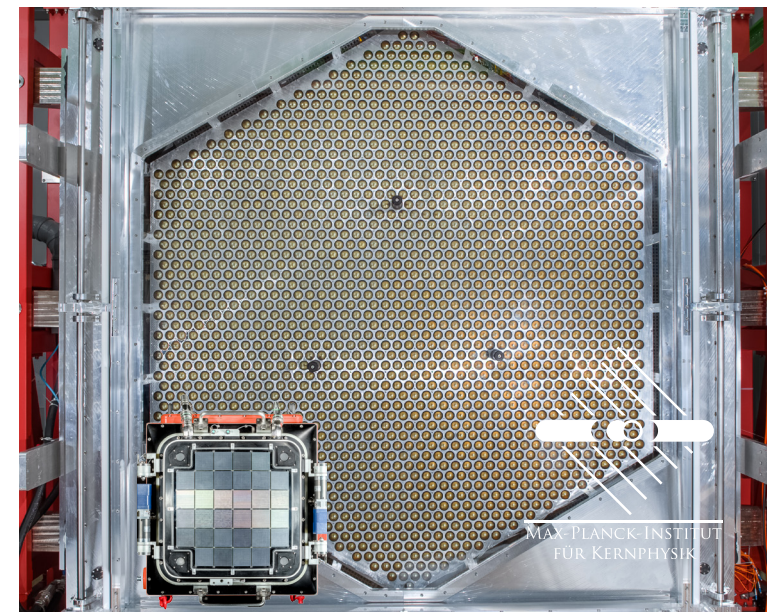
www.mpi-hd.mpg.de



Das Max-Planck-Institut für Kernphysik (MPIK) ist eines von 86 Instituten und Forschungseinrichtungen der Max-Planck-Gesellschaft. Das MPIK betreibt experimentelle und theoretische Grundlagenforschung auf den Gebieten der Astroteilchenphysik und der Quantendynamik.



Hochleistungs-Kameras für die Tscherenkow-Teleskope von CTA



MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR KERNPHYSIK

Hochleistungs-Kameras

für die Tscherenkov-Teleskope von CTA

Trotz – oder gerade wegen – des enormen Erfolgs der Gamma-Astronomie mit Tscherenkov-Teleskopen wie H.E.S.S. gibt es zahlreiche offene Fragen. Das Cherenkov Telescope Array (CTA) ist ein Instrument der nächsten Generation für die Hochenergie-Gamma-Astronomie, dessen Leistungsfähigkeit derzeitige Instrumente um das Zehnfache übertreffen wird, um diese Fragen anzugehen. Bei CTA sollen an zwei Standorten auf der Nord- bzw. Südhalbkugel bis zu 118 Teleskope mit drei verschiedenen Spiegelgrößen eingesetzt werden mit ca. 4 m, 12 m und 23 m Spiegeldurchmesser, um einen großen Energiebereich von etwa 10^{10} bis über 10^{14} eV abzudecken.

Kameras für Tscherenkov-Teleskope

Kameras für Tscherenkov-Teleskope müssen die wenige Nanosekunden kurzen, schwachen Tscherenkov-Lichtblitze der von Gamma- oder kosmischer Strahlung ausgelösten Teilchenschauer vor dem Hintergrundlicht des Nachthimmels auflösen können. Außerdem müssen sie in der Lage sein, viele Tausend Bilder pro Sekunde aufzunehmen.

In der ersten Bauphase von CTA sind 14 mittelgroße Teleskope am Süd- und 9 am Nordstandort geplant. 37 kleine Teleskope, verteilt über eine mehrere Quadratkilometer große Fläche, sind nur am Südstandort vorgesehen. Bei diesen Stückzahlen werden preisgünstige Hochleistungs-Kameras benötigt, die zudem wartungsfreundlich sind, wenig Strom verbrauchen und dabei zuverlässig und sicher arbeiten.

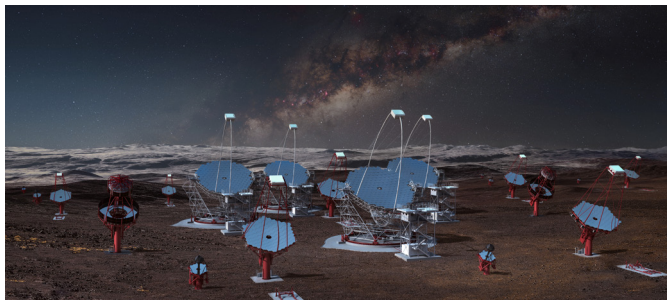


Illustration des südlichen CTA-Arrays. © G. Pérez Diaz (IAC) / M.-A. Besel (CTAO) / ESO / N. Risinger (skysurvey.org)

FlashCam: für mittelgroße Teleskope

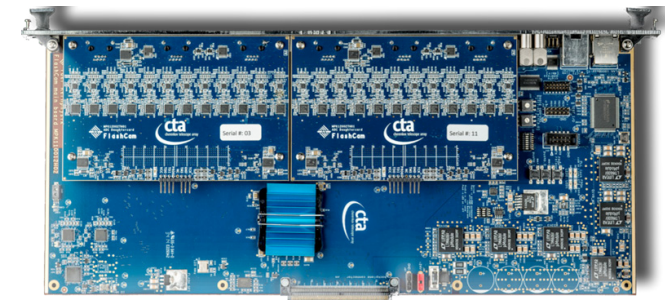
Das MPIK hat zusammen mit mehreren europäischen Partnerinstituten einen neuartigen Kamerateyp (FlashCam) entwickelt, der diese Anforderungen erfüllt und für mittelgroße CTA-Teleskope am Südstandort vorgesehen ist. Funktionale Kernelemente der FlashCam sind eine Photodetektorebene und eine digitale Hochgeschwindigkeits-Ausleseelektronik, welche jeweils hoch modular aufgebaut sind.

Die Photodetektorebene besteht aus 147 identischen Elektronik-Modulen mit je 12 Photovervielfachern (38 mm Durchmesser) als Lichtsensoren. Diese können ultrakurze Lichtpulse



Rückansicht von FlashCam mit Elektronikracks und Verkabelung.

von wenigen Nanosekunden Dauer, die aus einzelnen bis zu mehreren tausend Photonen bestehen, auflösen und in ein messbares elektrisches Signal verwandeln. Diese Signale werden kontinuierlich mit einer Abtastrate von 250 MHz und 12 Bit Auflösung von der Ausleseelektronik digitalisiert und stehen für die weitere digitale Signalverarbeitung und -speicherung zur Verfügung. Dies geschieht in mehreren Schritten parallel auf bis zu 96 FPGA-basierten Prozessoren, die aus dem digitalen Rohdatenstrom von bis zu 5,3 TBit/s Ereignisse („Bilder“) extrahieren. Dazu ist erforderlich, dass mehrere nebeneinander liegende Lichtsensoren innerhalb weniger Nanosekunden ein Signal zeigen, das stärker ist als das Nachthimmelslicht. Die digitale Information der extrahierten Bilder wird auf den FPGAs gepuffert und steht zum Auslesen über Ethernet in einen Standardcomputer bereit. Die am MPIK entwickelte Elektronik, Firmware und Software ermöglichen es somit, pro Sekunde mehr als 30 000 Bildsequenzen mit je 128 Nanosekunden Länge aufzunehmen und ohne Informationsverlust zu verarbeiten.



Am MPIK entwickeltes FlashCam-Elektronikmodul mit 24 Analog/Digital-Konvertern und FPGA-basiertem Prozessor.

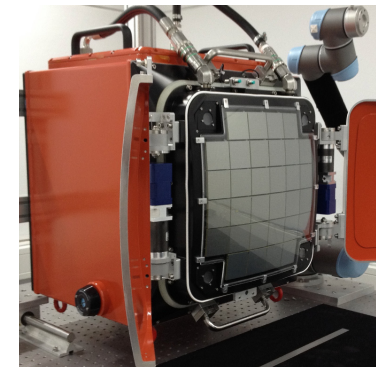
Photodetektorebene und Ausleseelektronik sind in ein $3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 1,1 \text{ m}$ großes thermisch isoliertes Gehäuse mit Wasserkühlung eingebaut. FlashCam wiegt rund 2 Tonnen.

Seit Oktober 2019 ist eine FlashCam-Prototypkamera im zentralen 600 m² H.E.S.S.-Teleskop im Routineinsatz für astrophysikalische Beobachtungen. Die Kamera arbeitet extrem stabil und zuverlässig mit einer Verfügbarkeit von mehr als 98%.

SST-Kamera: für kleine Teleskope

Die kleinen CTA-Teleskope („SST“) haben eine Optik mit Haupt- und Sekundärspiegel. Diese Bauart ermöglicht kompakte Teleskope mit guter Bildqualität und großem Blickfeld. Speziell für die SSTs entwickelt ein internationales Team unter Führung des MPIK eine neuartige Kamera. Um die Teleskop-Optik optimal zu nutzen, besteht die Photodetektorebene der Kamera aus 32 Modulen, die eine konvexe Fläche mit Krümmungsradius $\sim 1 \text{ m}$ und Durchmesser $\sim 35 \text{ cm}$ annähern.

Das Design der SST-Kamera basiert auf dem Prototyp CHEC-S. Sie wiegt fast 90 kg und misst knapp $60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$, womit sie erheblich kompakter ist als FlashCam. Die insgesamt 2048 Pixel, pro Modul $64 \text{ je } 6 \times 6 \text{ mm}^2$ kleine Silicium-Photovervielfacher (SiPM),



Die CHEC-S-Kamera im Labor während Tests.