GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Schlussbericht

Verbund: 05A2020 - CTA

Zuwendungsempfänger:	Universität Hamburg
Projektleitung:	Prof. Dr. Dieter Horns
E-Mail:	dieter.horns@physik.uni-hamburg.de
Förderkennzeichen:	05A20GU3
Förderzeitraum:	01.07.2020 - 30.11.2023
Zuwendung:	139.612,80 €
Projektträger:	Projektträger DESY
Zusätzlicher Kontakt:	
Zusätzlicher Name:	

Genutzte Großgeräte:	Labor	Gerät	Experiment
	Astroteilchenphysik		
	Universum	CTA	
	andere	Europa	

Diplomarbeiten:	0
Dissertationen:	2
Habilitationen:	0
Referierte Publikationen:	32
Andere Veröffentlichungen:	36
Patente:	0
Bachelorarbeiten:	5
Masterarbeiten:	7
Staatsexamen:	0

Dieser Bericht wurde beim Projektträger über einen individuellen Online-Zugang vom Projektleiter eingereicht und am 15.06.2024 16:05 für eine Veröffentlichung freigegeben.

Schlussbericht

Zuwendungsempfänger:Universität Hamburg
Projektleitung:Prof. Dr. Dieter Horns

Verbund:05A20 CTA

Thema:CTA Cherenkov Telescope Array, TP 4

Zusammenfassung

Der universitäre Beitrag zum Aufbau der *Large Size Telescopes (LSTs)* als Bestandteil des Cherenkov Telescope Arrays wird im Verbund mit den beteiligten Max-Planck Instituten und DESY-Zeuthen im Rahmen der internationalen Kooperation geleistet. Die Förderung im Rahmen von ErUM zum Thema Universum ermöglicht den universitären Partnern somit den Zugang zu Großgeräten der Astroteilchenphysik. In dem hier geförderten Teilprojekt an der Universität Hamburg wird der Aufbau und Optimierung von Komponenten und Methoden für die ersten vier LSTs am Standort La Palma gefördert. Mit den bereitgestellten Förderungsmitteln konnten nach der Unterbrechung der Förderung zwischen 2017 und 2020 die Arbeiten zur Kalibration der Instrumente wieder aufgenommen und intensiviert werden. Neben der Projektleitung hat Dr. Martin Tluczykont und Ali Baktash (Promotion) mit Unterstützung von studentischen Hilfskräften den wissenschaftlichen Teil der Arbeiten ausgeführt. Weiterhin haben Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen der mechanischen Werkstatt die Anfertigung von Aktuatoren für die Spiegelhalterung übernommen. Der Schwerpunkt der Arbeiten lagen in der Entwicklung von einer Methode, um anhand von zwei CCD-Kameras die Ausrichtung der optischen Achsen des Cherenkovteleskops und die relative Position der Cherenkovkamera in Himmelskoordinaten zu kontrollieren. Ein weiterer wissenschaftlicher Beitrag ist das *EASpy*-Paket, mit dem sich Luftschauer auch bei sehr großen Zenitwinkeln verlässlich und schnell simulieren lassen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Simulationsprogrammen können so Beobachtungen bei großen Zenitwinkeln mit verschiedenen Konfigurationen der Teleskope simuliert und die resultierende Empfindlichkeit absgechätzt und optimiert werden. Weiterhin ist es auch möglich, den Beitrag von Fluoreszenzlicht zu berechnen. Diese Option ist mit den bisherigen Werkzeugen nicht möglich. Weiterhin können die Leistungsfähigkeit von verschiedenen Teleskopen und Konfigurationen direkt miteinander verglichen werden (Gesichtsfeld, Granularität der Kamera, Größe des Spiegels, Anordnung von mehreren Teleskopen). Die Simulationen konnten direkt mit Beobachtungen mit dem sehr großen H.E.S.S.-Teleskop in Namibia verglichen werden.
Die Optimierung der Kalibrationsmethoden für die Ausrichtung der Teleskope ist wegweisend für die Anordnung der CCD-Kameras der weiteren LSTs.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

Bericht

1 Aufgabenstellung und Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Teilprojekt dient der Weiterentwicklung von Methoden und Instrumenten zur Kalibration der Teleskopausrichtung und zur optimierten Nutzung der Teleskope in bislang nur wenig untersuchten Himmelsregionen durch Beobachtungen bei großen Zenitwinkeln. Im Hinblick auf die Nachfolgebeobachtung von transienten Ereignissen (z.B. Gamma-ray bursts) lässt sich so die Reaktionszeit verkürzen: Beobachtungen können schon viel früher vor Erreichen der günstigen Zenitwinkel beginnen. Die Arbeiten finden in Abstimmung mit den universitären Partnern des Verbunds und der beiteiligten Max-Planck Institute statt. Im Rahmen des Verbunds sind die Teilprojekte während der Antragsstellung koordiniert worden. Weiterhin ist die Arbeitsgruppe Mitglied in der H.E.S.S.-Kollaboration.

2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

In der vorangegangenen Förderperiode von 2014-2017 konnten die angedachten Beiträge für das LST aufgrund der fehlenden Förderung nicht ausgeführt werden. Die vormals geplante Implementierung einer dynamischen Ausrichtung der Spiegelfacetten unter Nutzung der CMOS-Kameras am Spiegelträger ist nach wie vor nicht umgesetzt worden. Die quasi-statische Ausrichtung der Spiegelfacetten erreicht mittlerweile die gewünschte Genauigkeit für Beobachtungen bei Zenitwinkeln bis ca. 50 Grad. Die Kalibration der Ausrichtung des LSTs hatte im Berichtszeitraum Priorität, so dass wir hier einen Schwerpunkt gesetzt haben. Der Aufbau der weiteren Teleskope hat sich Pandemie-bedingt und aufgrund des Vulkanausbruchs auf La Palma um geschätzt etwa 6-8 Monate verzögert.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens sowie Kooperation mit Dritten

Das Projekt ist durch die Kürzung der Mittel im Berichtszeitraum und der anfänglichen Verzögerung zu Projektbeginn dynamisch an die äußeren Bedingungen angepasst worden. Die Verlängerung des Projekts hat die Situation deutlich entspannt. Insbesondere hat die Perspektive der Folgefinanzierung die Beiträge planbar gemacht und damit auch die Sichtbarkeit und die verlässliche Kontinuität der Arbeiten in der internationalen Kooperation verbessert.

4 Verwendung der Zuwendung (wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises, z. B. Investitionen, Personalmittel)

Die Personalmittel wurden verwendet um den Doktoranden Ali Baktash über den Förderzeitraum hinweg zu finanzieren. Weitere Mittel wurden für Reisen sowie ein Anteil der Kosten des *Common Funds* für CTA aufgewendet. Eine geplante Reise für den Schichtbetrieb konnte aufgrund der äußeren Bedingungen (Vulkanausbruch) nicht stattfinden.

5 Erzielte Ergebnisse mit Gegenüberstellung der vereinbarten Ziele

Die Hauptziele des Verbundes war es, die Einsatzfähigkeit und Verlässlichkeit der verschiedenen Komponenten des CTA zu erreichen. Für die Komponenten der LSTs sind die meisten Ziele erfolgreich erreicht worden. Das lässt sich unmittelbar an der Betriebsstatistik des gesamten Teleskops absehen. Hier erreicht das LST bereits eine Zuverlässigkeit, die vergleichbar ist mit der

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

anderer Teleskopsysteme (MAGIC, HESS). Weiterhin ist durch die erfolgreiche Beobachtung des Krebsnebels die Leistungsfähigkeit aller Systeme des Teleskops verifiziert worden[1]. Eine der besonderen Möglichkeiten ist auch der gemeinsame Betrieb des LSTs mit den MAGIC-Teleskopen[2]. Insgesamt erreicht das LST die erwartete und geforderte Leistungsfähigkeit bei der Genauigkeit der Rekonstruktion von Ereignisenergien und Winkelauflösung. Bei der Rekonstruktion der Quellposition ist jedoch neben der Winkelauflösung, mit der die einzelnen Ereignisse rekonstruiert werden, auch die Präzision der Ausrichtung des Teleskops von Bedeutung. In der Regel wird die Ausrichtung des Teleskops über die Winkelgeber der beiden Teleskopachsen überprüft und nachgeführt. Die Ausrichtung der optischen Achse des Teleskops muss aber zusätzlich anhand von Sternörtern überprüft und kalibriert werden, um die nötige Präzision von besser als Bogensekunden zu erreichen. Hier hat sich in der Vergangenheit ein Verfahren bewährt, bei dem eine separate bildgebende Kamera (CCD-Kamera), die Himmelsregion aufzeichnet. Eine Besonderheit des LSTs ist die Anordnung dieser CCD in unmittelbarer Nähe zu der Mitte des Spiegelträgers, so dass ein Teil des CCD-Bildes durch die Cherenkovkamera verdeckt wird und die Position am Himmel, in dessen Richtung das Teleskop zeigt, nicht sichtbar ist. Um aus diesen parallel zu normalen Beobachtungen gewonnenen Daten eine sinnvolle Kalibration zu erstellen, haben wir eine geometrische Methode entwickelt, die zur Zeit in der Probephase ist.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten in der Hamburger Gruppe betrifft die Möglichkeit, mit Cherenkovteleskopen Himmelsregionen auch unter sehr großen Zenitwinkeln zu beobachten. Der Vorteil dieser Beobachtungen ist die erheblich vergrößerte Sammelfläche und der wesentlich größere Raumwinkel des zugänglichen Himmels. Der Nachteil ist eine deutlich erhöhte Ansprechschwelle und eine Rekonstruktion der Bildparameter unter erschwerten Bedingungen. Ali Baktash hat anhand von Simulationen geeignete Rekonstruktionsmethoden für große Zenitwinkel entwickelt, die mit maschinellen Lernmethoden auch unter den erschwerten Bedingungen bei großen Zenitwinkeln sehr gute Ergebnisse erzielen. Eine ungeklärte Frage ist hierbei, welche Rolle Fluoreszenzlicht bei großen Abständen zur Schauerachse spielt. Vorhergehende Untersuchungen beschränkten sich auf kleinere Abstände. Ali Baktash hat zur flexiblen und schnellen Simulation von Schauerbildern aus Cherenkov- und Fluoreszenzlicht ein neues, öffentliches Programmpaket EASpy entwickelt und in einer Veröffentlichung vorgestellt[3].

Neben den Beiträgen im methodischen und wissenschaftlichen Bereich sind in der mechanischen Werkstatt des Instituts für Experimentalphysik die Aktuatoren für weiteren LSTs (2-4) hergestellt und getestet worden. Die Aktuatoren sind nach La Palma verschickt worden und werden für den Aufbau der Teleskope verwendet.

6 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die ausgeführten Arbeiten von Ali Baktash konnten nicht durch die Grundausstattung finanziert werden. Die Förderung ermöglicht den Zugang und Beteiligung an dem wissenschaftlichen Großgerät. Hierzu zählen auch die durch die Finanzierung ermöglichte Beteiligung am Schichtbetrieb und Reisen zu Kollaborationstreffen. Die wissenschaftliche Beteiligung spiegelt sich in der sehr hohen Produktivität mit über 30 referierten Veröffentlichungen in drei Jahren wieder.

---

[1] Abe et al., “Observations of the Crab Nebula and Pulsar with the Large-Sized Telescope Prototype of the Cherenkov Telescope Array.”
[2] Abe et al., “Performance of the Joint LST-1 and MAGIC Observations Evaluated with Crab Nebula Data.”
[3] Baktash and Horns, “EASpy.”

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

7 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit der Ergebnisse

Der weitere Nutzen der Ergebnisse ist eine verbesserte Kontrolle und Kalibration der Ausrichtung des LSTs. Weiterhin kann durch die Simulation bei großen Zenitwinkelabständen der Betrieb und die Auswertung von Daten optimiert werden. Die Erweiterung des beobachtbaren Himmels hat Bedeutung für die Nachfolgebeobachtung von transienten Ereignissen aber auch im Hinblick auf eine Erweiterung des messbaren Energiebereichs hin zu größeren Energien.

8 Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die Beobachtung von Gamma-Strahlungsquellen bei Energien über 100 TeV hinaus ist durch das chinesische LHAASO-Konsortium und den Betrieb des Luftschauerexperiments erheblich vorangetrieben worden. Um eine vergleichbare Sensitivität bei hohen Energien zu erreichen, ist der Aufbau des großskaligen SST-Feldes im Rahmen von CTA-Süd geplant.

9 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

9.1 Referierte Publikationen (z. B. in Fachzeitschriften oder -büchern und referierte Konferenzproceedings)

Abdalla, H., R. Adam, F. Aharonian, F. Ait Benkhali, E. O. Angüner, M. Arakawa, C. Arcaro, et al. “Simultaneous Observations of the Blazar PKS 2155-304 from Ultra-Violet to TeV Energies.” Astronomy and Astrophysics 639 (July 1, 2020): A42. https://doi.org/10.1051/0004-6361/201936900.

Abdalla, H., F. Aharonian, F. Ait Benkhali, E. O. Angüner, C. Arcaro, C. Armand, T. Armstrong, et al. “Evidence of 100 TeV γ-Ray Emission from HESS J1702-420: A New PeVatron Candidate.” Astronomy and Astrophysics 653 (September 1, 2021): A152. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202140962.

———. “Search for Dark Matter Annihilation Signals from Unidentified Fermi-LAT Objects with H.E.S.S.” The Astrophysical Journal 918 (September 1, 2021): 17. https://doi.org/10.3847/1538-4357/abff59.

———. “Searching for TeV Gamma-Ray Emission from SGR 1935+2154 during Its 2020 X-Ray and Radio Bursting Phase.” The Astrophysical Journal 919 (October 1, 2021): 106. https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac0fe1.

———. “TeV Emission of Galactic Plane Sources with HAWC and H.E.S.S.” The Astrophysical Journal 917 (August 1, 2021): 6. https://doi.org/10.3847/1538-4357/abf64b.

Abdalla, H., F. Aharonian, F. Ait Benkhali, E. O. Angüner, C. Armand, H. Ashkar, M. Backes, et al. “Search for Dark Matter Annihilation Signals in the H.E.S.S. Inner Galaxy Survey.” Physical Review Letters 129 (September 1, 2022): 111101. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.129.111101.

Abdallah, H., R. Adam, F. Aharonian, F. Ait Benkhali, E. O. Angüner, M. Arakawa, C. Arcaro, et al. “Search for Dark Matter Signals towards a Selection of Recently Detected DES Dwarf Galaxy Satellites of the Milky Way with H.E.S.S.” Physical Review D 102 (September 1, 2020): 062001. https://doi.org/10.1103/PhysRevD.102.062001.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

Abdallah, H., R. Adam, F. Aharonian, F. Ait Benkhali, E. O. Angüner, C. Arcaro, C. Armand, et al. “Search for Dark Matter Annihilation in the Wolf-Lundmark-Melotte Dwarf Irregular Galaxy with H.E.S.S.” Physical Review D 103 (May 1, 2021): 102002. https://doi.org/10.1103/PhysRevD.103.102002.

Abe, H., K. Abe, S. Abe, V. A. Acciari, A. Aguasca-Cabot, I. Agudo, N. Alvarez Crespo, et al. “Performance of the Joint LST-1 and MAGIC Observations Evaluated with Crab Nebula Data.” Astronomy and Astrophysics 680 (December 1, 2023): A66. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202346927.

Abe, H., K. Abe, S. Abe, A. Aguasca-Cabot, I. Agudo, N. Alvarez Crespo, L. A. Antonelli, et al. “Observations of the Crab Nebula and Pulsar with the Large-Sized Telescope Prototype of the Cherenkov Telescope Array.” The Astrophysical Journal 956 (October 1, 2023): 80. https://doi.org/10.3847/1538-4357/ace89d.

Abe, H., S. Abe, V. A. Acciari, T. Aniello, S. Ansoldi, L. A. Antonelli, A. Arbet Engels, et al. “Gamma-Ray Observations of MAXI J1820+070 during the 2018 Outburst.” Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 517 (December 1, 2022): 4736–51. https://doi.org/10.1093/mnras/stac2686.

Abe, S., A. Aguasca-Cabot, I. Agudo, N. Alvarez Crespo, L. A. Antonelli, C. Aramo, A. Arbet-Engels, et al. “Multiwavelength Study of the Galactic PeVatron Candidate LHAASO J2108+5157.” Astronomy and Astrophysics 673 (May 1, 2023): A75. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202245086.

Abe, K., S. Abe, A. Aguasca-Cabot, I. Agudo, N. Alvarez Crespo, L. A. Antonelli, C. Aramo, et al. “Star Tracking for Pointing Determination of Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes. Application to the Large-Sized Telescope of the Cherenkov Telescope Array.” Astronomy and Astrophysics 679 (November 1, 2023): A90. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202347128.

Acharyya, A., C. B. Adams, A. Archer, P. Bangale, J. T. Bartkoske, P. Batista, W. Benbow, et al. “Multiwavelength Observations of the Blazar PKS 0735+178 in Spatial and Temporal Coincidence with an Astrophysical Neutrino Candidate IceCube-211208A.” The Astrophysical Journal 954 (September 1, 2023): 70. https://doi.org/10.3847/1538-4357/ace327.

Adams, C. B., W. Benbow, A. Brill, J. H. Buckley, M. Capasso, A. J. Chromey, M. Errando, et al. “Observation of the Gamma-Ray Binary HESS J0632+057 with the H.E.S.S., MAGIC, and VERITAS Telescopes.” The Astrophysical Journal 923 (December 1, 2021): 241. https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac29b7.

Aharonian, F., F. Ait Benkhali, J. Aschersleben, H. Ashkar, M. Backes, A. Baktash, V. Barbosa Martins, et al. “H.E.S.S. Follow-up Observations of GRB 221009A.” The Astrophysical Journal 946 (March 1, 2023): L27. https://doi.org/10.3847/2041-8213/acc405.

Aharonian, F., F. Ait Benkhali, J. Aschersleben, M. Böttcher, M. Backes, V. Barbosa Martins, R. Batzofin, et al. “Search for the Evaporation of Primordial Black Holes with H.E.S.S.” Journal of Cosmology and Astroparticle Physics 2023 (April 1, 2023): 040. https://doi.org/10.1088/1475-7516/2023/04/040.

Aharonian, F., J. Aschersleben, M. Backes, V. Barbosa Martins, R. Batzofin, Y. Becherini, D. Berge, et al. “Constraints on the Intergalactic Magnetic Field Using Fermi-LAT and H.E.S.S. Blazar Observations.” The Astrophysical Journal 950 (June 1, 2023): L16. https://doi.org/10.3847/2041-8213/acd777.

Aharonian, F., H. Ashkar, M. Backes, V. Barbosa Martins, Y. Becherini, D. Berge, B. Bi, et al. “A Deep Spectromorphological Study of the γ-Ray Emission Surrounding the Young Massive Stellar

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

Cluster Westerlund 1." Astronomy and Astrophysics 666 (October 1, 2022): A124. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202244323.

Baktash, Ali, and Dieter Horns. "EASpy: Fast Simulation of Fluorescence and Cherenkov Light from Extended Air Showers at Large Zenith Angles." Journal of Instrumentation 18 (August 1, 2023): P08018. https://doi.org/10.1088/1748-0221/18/08/P08018.

EHT MWL Science Working Group, J. C. Algaba, J. Anczarski, K. Asada, M. Baloković, S. Chandra, Y. -Z. Cui, et al. "Broadband Multi-Wavelength Properties of M87 during the 2017 Event Horizon Telescope Campaign." The Astrophysical Journal 911 (April 1, 2021): L11. https://doi.org/10.3847/2041-8213/abef71.

H. E. S. S. Collaboration, H. Abdalla, R. Adam, F. Aharonian, F. Ait Benkhali, E. O. Angüner, M. Arakawa, et al. "Resolving Acceleration to Very High Energies along the Jet of Centaurus A." Nature 582 (June 1, 2020): 356–59. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2354-1.

H. E. S. S. Collaboration, H. Abdalla, R. Adam, F. Aharonian, F. Ait Benkhali, E. O. Angüner, C. Arcaro, et al. "An Extreme Particle Accelerator in the Galactic Plane: HESS J1826-130." Astronomy and Astrophysics 644 (December 1, 2020): A112. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038851.

———. "H.E.S.S. and MAGIC Observations of a Sudden Cessation of a Very-High-Energy γ-Ray Flare in PKS 1510−089 in May 2016." Astronomy and Astrophysics 648 (April 1, 2021): A23. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038949.

H. E. S. S. Collaboration, H. Abdalla, F. Aharonian, F. Ait Benkhali, E. O. Angüner, C. Arcaro, C. Armand, et al. "LMC N132D: A Mature Supernova Remnant with a Power-Law Gamma-Ray Spectrum Extending beyond 8 TeV." Astronomy and Astrophysics 655 (November 1, 2021): A7. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202141486.

———. "Revealing X-Ray and Gamma Ray Temporal and Spectral Similarities in the GRB 190829A Afterglow." Science 372 (June 1, 2021): 1081–85. https://doi.org/10.1126/science.abe8560.

H. E. S. S. Collaboration, F. Aharonian, F. Ait Benkhali, E. O. Angüner, H. Ashkar, M. Backes, V. Baghmanyan, et al. "Time-Resolved Hadronic Particle Acceleration in the Recurrent Nova RS Ophiuchi." Science 376 (April 1, 2022): 77–80. https://doi.org/10.1126/science.abn0567.

H. E. S. S. Collaboration, F. Aharonian, F. Ait Benkhali, E. O. Angüner, H. Ashkar, M. Backes, V. Barbosa Martins, et al. "Evidence for γ-Ray Emission from the Remnant of Kepler's Supernova Based on Deep H.E.S.S. Observations." Astronomy and Astrophysics 662 (June 1, 2022): A65. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202243096.

H. E. S. S. Collaboration, F. Aharonian, F. Ait Benkhali, C. Arcaro, J. Aschersleben, M. Backes, V. Barbosa Martins, et al. "Constraining the Cosmic-Ray Pressure in the Inner Virgo Cluster Using H.E.S.S. Observations of M 87." Astronomy and Astrophysics 675 (July 1, 2023): A138. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202346056.

H. E. S. S. Collaboration, F. Aharonian, F. Ait Benkhali, J. Aschersleben, H. Ashkar, M. Backes, V. Barbosa Martins, et al. "Detection of Extended γ-Ray Emission around the Geminga Pulsar with H.E.S.S." Astronomy and Astrophysics 673 (May 1, 2023): A148. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202245776.

———. "Discovery of a Radiation Component from the Vela Pulsar Reaching 20 Teraelectronvolts." Nature Astronomy 7 (November 1, 2023): 1341–50. https://doi.org/10.1038/s41550-023-02052-3.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

———. “HESS J1809−193: A Halo of Escaped Electrons around a Pulsar Wind Nebula?” Astronomy and Astrophysics 672 (April 1, 2023): A103. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202245459.

9.2 Andere Veröffentlichungen (z. B. Konferenzbeiträge wie Vorträge und Poster, unreferierte Proceedings, Conference Notes)

Alispach, C. M., The CTA-LST Project, H. Abe, A. Aguasca, I. Agudo, L. A. Antonelli, C. Aramo, et al. Reconstruction of Extensive Air Shower Images of the Large Size Telescope Prototype of CTA Using a Novel Likelihood Technique. eprint: arXiv:2108.04550, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0716.

Armand, C., E. Moulin, V. Poireau, J. P. Harding, K. Tollefson, C. Giuri, E. Pueschel, et al. Combined Dark Matter Searches towards Dwarf Spheroidal Galaxies with Fermi-LAT, HAWC, H.E.S.S., MAGIC, and VERITAS. eprint: arXiv:2108.13646, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0528.

Baktash, Ali, Dieter Horns, and Manuel Meyer. “Interpretation of Multi-TeV Photons from GRB221009A.” arXiv E-Prints, October 1, 2022. https://doi.org/10.48550/arXiv.2210.07172.

Blanch, O., C. Delgado, T. Saito, I. Batković, J. Becerra Gonzalez, I. Jiménez Martínez, R. Lopez-Coto, et al. Commissioning of the Camera of the First Large Size Telescope of the Cherenkov Telescope Array, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0718.

Bony (de), M., T. Bylund, M. Meyer, A. P. Noel, D. Sanchez, H. Abdalla, F. Aharonian, et al. Detection of New Extreme BL Lac Objects with H.E.S.S. and Swift XRT. eprint: arXiv:2108.02232, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0823.

CTA-LST Project, The, H. Abe, A. Aguasca, I. Agudo, L. A. Antonelli, C. Aramo, T. Armstrong, et al. Analysis of the Cherenkov Telescope Array First Large Size Telescope Real Data Using Convolutional Neural Networks, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0703.

———. Development of an Advanced SiPM Camera for the Large Size Telescope of the Cherenkov TelescopeArray Observatory. eprint: arXiv:2108.10112, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0889.

———. First Follow-up of Transient Events with the CTA Large Size Telescope Prototype, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0838.

———. Physics Performance of the Large Size Telescope Prototype of the Cherenkov Telescope Array, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0806.

———. Status and Results of the Prototype LST of CTA, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0872.

Foffano, L., A. Carosi, D. Della Volpe, M. Dalchenko, M. Heller, T. Montaruli, The CTA-LST Project, et al. Monitoring the Pointing of the Large Size Telescope Prototype Using Star Reconstruction in the Cherenkov Camera, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0712.

Giunti, L., B. Khelifi, K. Kosack, R. Terrier, H. E. S. S. Collaboration, Hess, H. Abdalla, et al. Evidence of 100 TeV γ-Ray Emission from HESS J1702-420: A New PeVatron Candidate. eprint: arXiv:2108.02989, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0793.

H. E. S. S. Collaboration, Hess, H. Abdalla, F. Aharonian, F. Ait-Benkhali, O. Anguener, C. Arcaro, et al. Is PKS 0625-354 Another Variable TeV Active Galactic Nucleus?, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0814.

Hess, H. Abdalla, F. Aharonian, F. Ait-Benkhali, O. Anguener, C. Arcaro, C. Armand, et al. H.E.S.S. ToO Program on Nearby Core-Collapse Supernovae : Search for Very-High Energy Gamma-Ray Emission towards the SN Candidate AT2019krl in M74. eprint: arXiv:2108.03839, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0809.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

———. Observation of Burst Activity from SGR1935+2154 Associated to First Galactic FRB with H.E.S.S., 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0777.

———. Revisiting the PeVatron Candidate MGRO J1908+06 with an Updated H.E.S.S. Analysis. eprint: arXiv:2108.03401, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0779.

———. Search for Dark Matter Annihilation towards the Inner Milky Way Halo with the H.E.S.S. Inner Galaxy Survey, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0511.

———. Search for TeV Emission from the Fermi Bubbles at Low Galactic Latitudes with H.E.S.S. Inner Galaxy Survey, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0791.

Horns, D. “Crab Nebula and Pulsar - particle acceleration at the limit” ECAP Seminar 06/2020

Horns, D. “Magnetic Field in the Crab Nebula” eingeladener Vortrag im *High Energy Seminar* (Center for Astrophysics, Harvard) Aufzeichnung: https://www.youtube.com/watch?v=3h3ywWDdRDc

Horns, D. “Kosmische Teilchenbeschleuniger” Vortrag in der Reihe *Faszination Astronomie Online* am 11.8.2022, Haus der Astronomie. Aufzeichnung:https://www.youtube.com/watch?v=8_F0xhCMQMo

Kobayashi, Y., A. Okumura, F. Cassol, H. Katagiri, J. Sitarek, P. Gliwny, S. Nozaki, et al. Camera Calibration of the CTA-LST Prototype. eprint: arXiv:2108.05035, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0720.

Lopez-Coto, R., D. Nieto-Castaño, The CTA-LST Project, H. Abe, A. Aguasca, I. Agudo, L. A. Antonelli, et al. Deep-Learning-Driven Event Reconstruction Applied to Simulated Data from a Single Large-Sized Telescope of CTA, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0771.

Mitchell, A., S. Caroff, J. Hinton, L. Mohrmann, Hess, H. Abdalla, F. Aharonian, et al. Detection of Extended TeV Emission around the Geminga Pulsar with H.E.S.S. eprint: arXiv:2108.02556, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0780.

Mohrmann, L., S. Ohm, R. Rauth, A. Specovius, C. van Eldik, H. Abdalla, F. Aharonian, et al. The Young Massive Stellar Cluster Westerlund 1 in Gamma Rays as Seen with H.E.S.S. eprint: arXiv:2108.03003, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0789.

Montanari, A., E. Moulin, D. Glawion, Hess, H. Abdalla, F. Aharonian, F. Ait-Benkhali, et al. Search for Dark Matter Annihilation Signals from Unidentified Fermi-LAT Objects with H.E.S.S. eprint: arXiv:2109.01498, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0538.

Ohtani, Y., A. Berti, D. Depaoli, F. di Pierro, D. Green, L. Heckmann, M. Hütten, et al. Cross-Calibration and Combined Analysis of the CTA-LST Prototype and the MAGIC Telescopes. eprint: arXiv:2108.05140, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0724.

Prokhorov, D., J. Vink, R. Simoni, N. Komin, S. Funk, D. Malyshev, L. Mohrmann, et al. Deep Observations of Kepler’s SNR with H.E.S.S. eprint: arXiv:2107.11582, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0805.

Puehlhofer, G., K. Bernlöhr, B. Bi, G. Hermann, J. Hinton, I. Jung-Richardt, F. Leuschner, et al. Science Verification of the New FlashCam-Based Camera in the 28m Telescope of H.E.S.S. eprint: arXiv:2108.02596, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0764.

Seglar Arroyo, M., Hess, H. Abdalla, F. Aharonian, F. Ait-Benkhali, O. Anguener, C. Arcaro, et al. H.E.S.S. Follow-up of BBH Merger Events, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0943.

Sinha, A., V. Baghmanyan, G. Peron, Y. Gallant, S. Casanova, M. Holler, A. Mitchell, et al. Search for Enhanced TeV Gamma Ray Emission from Giant Molecular Clouds Using H.E.S.S. eprint: arXiv:2108.01738, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0790.

Tavernier, T., J. F. Glicenstein, F. Brun, V. Marandon, Hess, H. Abdalla, F. Aharonian, et al. Limits on Primordial Black Hole Evaporation from H.E.S.S. Observations., 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0518.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

The Fact Collaboration, The H. E. S. S. Collaboration, The Icecube Collaboration, The MAGIC Collaboration, The VERITAS Collaboration, V. A. Acciari, S. Ansoldi, et al. Searching for VHE Gamma-Ray Emission Associated with IceCube Neutrino Alerts Using FACT, H.E.S.S., MAGIC, and VERITAS. eprint: arXiv:2109.04350, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0960.

Zanin, R., H. Abdalla, H. Abe, S. Abe, A. Abusleme, F. Acero, A. Acharyya, et al. CTA – the World's Largest Ground-Based Gamma-Ray Observatory, 2022. https://doi.org/10.22323/1.395.0005.

9.3 Abschlussarbeiten (Bachelor, Master, Diplom, Staatsexamen, Promotion, Habilitation)

Ali Baktash "Pulsar wind modelling", M.Sc. 2020

Ali Baktash "Extensive Air Showers at Large Zenith Angles" PhD, 2024

Hanna Belgardt "Measurement of the Hubble constant using extra-galactic background light gamma-ray absorption" M.Sc. 2023

Niels Böttner "Zeitabhängige Gamma-Absorption an Sternen im galaktischen Zentrum", B.Sc. 2021

Nick Brinkmann "Simulation von intergalaktischen Kaskaden mit intergalaktischen Magnetfeldern" B.Sc.. 2021

Devesh Chopra "EBL modeling" M.SC. 2023

Jan-Niklas Feldhusen "Convolutional Neural Networks for g/h separation with Cherenkov telescope images at high energies", B.Sc. 2021

Julian Kuhlmann "Photon-ALP conversion in structured fields of galaxy clusters", M.Sc. 2021

Leonie Schwert "Time averaged HE and VHE spectra of Mrk421 and Mrk501" B.Sc. 2023

Swarali Talele "Indirect dark matter searches from spikes around black holes", M.Sc. 2023

Maximilian Voss "Intergalaktische Magnetfelder", M.Sc. 2020

Lonika Warda "Untersuchung des Supernovaüberrestes RX J1713.7-3946 mit XMM-*Newton* Beobachtungen im Röntgenbereich" B.Sc. 2022

Qixin Yu "Searching for signals of photon-ALP mixing effects with gamma-ray spectra of AGNs" PhD 2023

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

Kurzbericht

- öffentlich -

Zuwendungsempfänger: Universität Hamburg

Projektleitung: Prof. Dr. Dieter Horns

Verbund:05A2020

Thema:CTA: Cherenkov Telescope Array, Teilprojekt 4

1. Ziel und Inhalt des Projektes

Das Cherenkov Telescope Array (CTA) ist ein neuartiges System von optischen Teleskopen, mit denen der Nachweis von kurzzeitigen (einige wenige milliardstel Sekunden andauernden) Lichtblitze aus der Atmosphäre möglich ist. Mit den Teleskopen lassen sich somit ausgedehnte Luftschauer abbilden und deren Eigenschaften rekonstruieren. Diese erfolgreiche Methode erlaubt es uns, die höchstenergetischen Photonen des Universums zu beobachten und deren Ursprung zu erkunden. Dieses sehr lebendige Forschungsfeld der Gamma-Astronomie ist ein Teilgebiet der Astroteilchenphysik. Das CTA ist eine konsequente Weiterentwicklung der Vorgängerexperimente (H.E.S.S. und CTA), das unter maßgeblicher Beteiligung der Projektpartner (neun Universitäten, zwei Max-Planck Institute und DESY) an zwei Standorten in der Nord- und Südhemisphäre aufgebaut wird. In der Förderperiode war das vorrangige Ziel, die Entwicklungen der Komponenten von CTA für die Produktion von Teleskopen in großen Zahlen vorzubereiten. Hierbei sind die Ansprüche an die Verlässlichkeit der Komponenten und deren Leistungsfähigkeit bereits in der Vorbereitungsphase anhand von Simulationen festgelegt worden.
In dem Teilprojekt an der Universität Hamburg sind Beiträge zu den auf La Palma entstehenden CTA-Nord (CTA-N) geleistet worden. Auf dem *Roque de los* Muchachos, auf dem nördlichen Caldera-Kamm entsteht dort als Teil der dortigen Sternwarte ein System von vier *Large Size Telescopes* (LSTs). Mit dem bereits existierenden Prototyp-Teleskop LST-1 lassen sich die Funktions- und Leistungsfähigkeit der vielen miteinander orchestrierten Komponenten überprüfen und gegebenenfalls Elemente anpassen. Im Gegensatz zu den anderen Teleskop-Klassen, ist der LST-Prototyp jedoch schon voll funktionsfähig geplant und für den langfristigen Betrieb als Teil von CTA-N vorgesehen. Das Ziel des Teilprojekts an der Universität Hamburg war es, Beiträge zur Kalibration der Ausrichtung der Teleskopstruktur zu liefern.

2. Ablauf und Ergebnisse des Vorhabens

Das erste LST ist offiziell im Jahr 2018 eingeweiht worden. Nach einer anfänglichen Phase der Überprüfung der Funktionalität der verschiedenen Komponenten vor Beginn der Förderperiode (Juli 2020) ist der probeweise wissenschaftliche Betrieb aufgenommen worden. Ein besonders wichtiger Meilenstein ist hierbei die erfolgreiche Vermessung von bekannten Gamma-Strahlungsquellen, so dass die Leistungsfähigkeit des Instruments und

aller Komponenten überprüft werden kann. Eine wichtige Rolle spielt hierbei die hellste, konstant leuchtende Gamma-Strahlungsquelle am Nordhimmel, der sogenannte *Krebs-Nebel* (Messier 1 oder Taurus A). Sowohl der Nebel als auch der deutlich schwerer nachzuweisende Pulsar (ein schnell rotierender Neutronenstern) im Zentrum des Nebels konnten mit Beobachtungen des Teleskops zweifelsfrei nachgewiesen und genauer untersucht werden. Die Messgenauigkeit des Energiespektrums erreicht hierbei die Erwartungen. Verbesserungen der Methoden zur Auswertung spielen hier eine bedeutende Rolle. Die Rekonstruktion und Ereignisauswahl zur Unterdrückung von Untergrundereignissen lässt sich durch die rasante Entwicklung im Bereich des maschinellen Lernen methodisch erheblich gegenüber traditionellen Analysen verbessern. Die Nachführung des Teleskops zur Kompensation der Erddrehung und die Korrektur der durch das Eigengewicht deformierten Kameraträger müssen durch geeignete Verfahren kalibriert werden, so dass zum einen die Richtung der optischen Achse und zum anderen die Position der Kamera relativ zur optischen Achse jederzeit mit einer Genauigkeit von besser als 14 Bogensekunden bekannt sein müssen. Bei Überschreiten dieser Toleranzen kommt es zu Verlusten der Leistungsfähigkeit, also z.B. der Sensitivität aber auch der Genauigkeit, mit der die Himmelspositionen von Gamma-Strahlungsquellen am Himmel rekonstruiert werden können.

3. Darstellung der wesentlichen Ergebnisse und deren konkreter Nutzen sowie ggf. die Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Das erste LSTs konnte bis auf die Unterbrechung während des Vulkanausbruchs durchgängig erfolgreich betrieben werden. Die ersten wissenschaftlichen Ergebnisse der Beobachtungen sind mittlerweile publiziert worden. Es konnten auch neue Quellen entdeckt werden. Transiente Ereignisse sind erfolgreich nachbeobachtet worden. Auch hier sind wichtige wissenschaftliche Ergebnisse mit den LSTs erzielt worden. Die Hamburger Beteiligung am Aufbau der Teleskope umfasst die Produktion von Aktuatoren für sämtliche Spiegelhalterungen. Wir haben im Förderzeitraum eine neue Methode entwickelt, mit der die Kalibration der Aurichtung der Teleskope mit einer Genauigkeit von kleiner als 10 Bogensekunden möglich sein sollte. Die Methode basiert auf einer geometrischen Rekonstruktion der optischen Achsen der beiden verwendeten CCD-Kameras bzgl. der Himmelskoordinaten. Eine weitere wesentliche Entwicklung ist ein semi-analytisches Simulationsprogramm mit dem die Cherenkov- und Fluoreszenzlichtproduktion von Luftschauern bei großen Zenitwinkelabständen untersucht werden kann.