

Schlussbericht

<b>Förderinstrument:</b>	<b>Helmholtz-Nachwuchsgruppen</b>
<b>Impulsfonds-Förderkennzeichen:</b>	VH-NG-602
<b>Projekttitle:</b>	Towards the Next-Generation Gamma-ray Observatory
<b>Nachwuchsgruppenleiter:</b>	Gernot Maier
<b>Helmholtz-Zentrum:</b>	DESY
<b>Beteiligte Hochschule:</b>	Humboldt Universität zu Berlin
<b>Berichtszeitraum (Förderzeitraum):</b>	01/2010-06/2015

<p><b>1. Zusammenfassung</b></p> <p>Kosmische Teilchenbeschleuniger können Elektronen, Protonen und schwere Kerne auf Energien beschleunigen, die weitaus höher sind als die der leistungsfähigsten irdischen Beschleuniger (z.B. wie der LHC). Wie Teilchen zu solch hohen Energien beschleunigt werden, und welchen Einfluss diese nicht-thermale Teilchenpopulationen auf die Umgebung der Beschleuniger und das dynamische Gleichgewicht in den Galaxien haben ist nicht gut verstanden. Besonders wichtig sind astrophysikalische Objekte mit Jets, d.h. gebündelte Ströme von Materie und Energie, die sich mit nahezu Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, da in ihnen Bedingungen herrschen, die Beschleunigung bis zu den höchsten Energien von <math>10^{20}</math> eV erlauben. Jets finden sich in der Umgebung extrem massereicher Schwarzer Löcher in aktiven Galaxien sowie in Doppelsternsystemen.</p> <p>Die Helmholtz Nachwuchsgruppe hat eine systematische Suche nach Beschleunigern in verschiedenen Typen von Binärsystemen in unserer Galaxie mit Hilfe von Röntgen- und Gammateleskopen durchgeführt. Zu den wichtigsten Beobachtungen zählen die bis heute genaueste Vermessung eines Doppelsternsystems während einem riesigen Ausbruches; die erste Langzeitvermessung des Binärsystems HESS J0632+057 mit den Teleskopen VERITAS und H.E.S.S.; eine Identifizierung des Gammastrahlers TeV 2032+4130 als Pulsarwindnebel nach einer 50h langen Beobachtung; sowie der Entdeckung von bis dahin unbekanntem kurzen, unerwartet hellen Gammablitzes in dem Doppelsternsystem LS I +61 303. Die Ergebnisse der Nachwuchsgruppe zeigen, dass Binärsysteme ungewöhnlich effiziente Teilchenbeschleuniger sind. Sie zeigen auch, dass es nur eine Handvoll dieser Objekte in unserer Galaxie gibt, d.h. die notwendigen Bedingungen (z.B. in der Kollision der Winde) nur für einen relativ kurzen Zeitraum vorherrschen. Die Eigenschaften des schweren Sternes im System sind zudem wesentlich wichtiger als ursprünglich erwartet.</p> <p>Die Sensitivität heutiger Instrumente reicht zur überzeugenden Klärung dieser grundlegenden astrophysikalischen Fragen nicht aus. Der zweite Schwerpunkt der Arbeiten der Nachwuchsgruppe war deshalb die Entwicklung verbesserter Analyse- und Beobachtungsmethoden, sowie der Sensitivitätsoptimierung eines neuen Gammateleskopes, dem Cherenkov Telescope Array (CTA). CTA wird im Vergleich zu derzeitigen Observatorien eine um mehr als einen Faktor Zehn verbesserter Sensitivität haben. Die wichtigsten Beiträge der Nachwuchsgruppe zur Planung und Realisierung von CTA sind: die Erstellung einer Rangliste der Standortkandidaten für CTA mit Hilfe von aufwendigen Simulationen, die erheblichen Einfluss auf die Auswahl der endgültigen Standorte hatte, sowie die zur Zeit noch andauernden Optimierungen zum Aufbau („array layout“) des Instrumentes (beide Projekte im Zusammenarbeit mit Kollegen aus dem CTA</p>
--

Konsortium). Die Nachwuchsgruppe hat DESY durch diese Arbeit zu einem Zentrum für Simulationen und Analyse innerhalb des CTA Konsortiums aufgebaut. Die in der Nachwuchsgruppe entwickelten Analysen verbinden multivariate Methoden mit Verfahren basierend auf Monte Carlo Simulationen Templates. Eine Verbesserung der Sensitivität des Gammateleskopes VERITAS um mehr als 30% konnte durch Anwendung dieser Methoden erreicht werden.

## **2. Arbeits- und Ergebnisbericht**

### **a) Ausgangslage**

Das Forschungsprogramm der NWG bezieht sich sowohl auf die astrophysikalische Frage welche funktionellen Gemeinsamkeiten zwischen Beschleunigern in aktiven Galaxienkerne und Binärsystemen bestehen, und auf die Aufgabe die instrumentelle Sensitivität der Gammateleskope zu optimieren. Das Forschungsprogramm der Nachwuchsgruppe war in mehrere Projekte unterteilt, hier sollen Ausgangslage und wichtigste Ziele beschrieben werden:

Die Sensitivität heutiger Gammateleskope reicht zur überzeugenden Beantwortung von vielen astrophysikalischen Fragen nicht aus. Zu Beginn der Nachwuchsgruppe (2010) gab es drei Teleskopsysteme weltweit (H.E.S.S., MAGIC, VERITAS), die sich alle im Übergang von statistisch zu systematisch limitierten Messungen befanden. VERITAS, das Projekt an dem die NWG beteiligt ist, war in der Planungsphase für einen Austausch der Kameras, zu der die NWG durch Simulationsarbeiten beitragen konnte. Gleichzeitig war auch klar, dass durch intelligente Analyse- und Datenverarbeitungsmethoden große Verbesserungen sowohl in der Sensitivität, wie auch im Energiebereich möglich sind. Die NWG formulierte sehr früh den Plan, durch Entwicklung und Anwendung von Multivariater Methoden und Template-Analysen diese Verbesserungen zu erzielen. In 2010 haben auch die Arbeiten an dem zukünftigen Gammaobservatorium CTA Fahrt aufgenommen, das Ziel der NWG war von Beginn an den, existierenden Experimenten gewonnene Expertise zu CTA zu transferieren. Für die Optimierung und Planung von CTA wurde Expertise in Analyse und Simulation benötigt; das Ziel der NWG war bestehende Werkzeuge aus dem VERITAS Experiment dafür zu verwenden.

Doppelsternsysteme und Mikroquasare waren erst in 2008 als Gammaemitter entdeckt worden. Es gab nur sehr wenige Messungen, aus denen jenseits des existentiellen Nachweises wenig über die astrophysikalischen Prozesse in der Umgebung Schwarzer Löcher gelernt werden konnte. Das Ziel der NWG war durch ein systematisch entwickeltes Programm, Jets in Aktiven Galaktischen Kernen und Röntgendoppelsternen mit CTA zu beobachten. Die detaillierten Messungen mit Gamma- und Röntgenteleskopen sollten evaluieren, ob Akkretionsprozesse oder Pulsar/Stellarwind Prozesse für die Beschleunigung verantwortlich sind (die NWG konnte bestätigen, dass es letztere sind).

CTA wird aufgrund seiner hohen Sensitivität und der Flexibilität der Beobachtungsmöglichkeiten wesentlich mehr aktive Galaxienkerne/Doppelsternsysteme beobachten können. Wichtig sind hier insbesondere Himmelsdurchmusterungen und systematische Überwachungsprogramme. Ziel der NWG war es, optimale Verfahren dafür zu entwickeln, um diese Programme mit höchster Sensitivität und geringsten systematischen Unsicherheiten durchzuführen.

### **b) Darstellung der erzielten Ergebnisse**

#### **Work package 1: Analyseentwicklung und Monte Carlo Studien für CTA und VERITAS**

Die astrophysikalischen Fragen der Nachwuchsgruppe können nur durch hochsensitiven Messungen mit dem zukünftigen Cherenkov Telescope Array beantwortet werden. CTA

wird eine wesentlich verbesserte Messung der Luftschauer ermöglichen, und damit eine bessere Rekonstruktion der Signalereignisse und Unterdrückung der durch Teilchen der geladenen kosmischen Strahlung hervorgerufenen Untergrundereignisse ermöglichen. Die Vermessung der Schauer durch viele Teleskope ermöglicht den Einsatz von neuen Rekonstruktionsmethoden. Einer der wichtigen Fragen in work package 1 waren, wie die bestehenden Methoden in der Gammaastronomie verbessert werden können. Dazu wurde eine vom Nachwuchsgruppenleiter ursprünglich für VERITAS entwickelte Simulations- und Analysekette an die Datenstruktur von CTA angepasst. Das erlaubte wichtige Studien in der Entwicklungsphase von CTA durchzuführen:

1. Die Standortwahl von CTA hat erheblichen Einfluss auf die Sensitivität des Instrumentes. Mit Hilfe von Monte Carlo Simulationen wurden 10 verschiedenen Standortkandidaten in Namibia, Argentinien, Chile, Mexiko, der USA, und auf den kanarischen Inseln untersucht. Dabei wurden sowohl die unterschiedlichen Eigenschaften der Atmosphäre, des Geomagnetfeldes, sowie der Höhe des Standorts in Betracht gezogen. In Zusammenarbeit mit Partnern am MPIK Heidelberg und IFAE Barcelona wurden die Eigenschaften der verschiedenen Standorte charakterisiert, und dem verantwortlichen Gremium in CTA in Form eines internen Dokumentes mitgeteilt (siehe auch Science Insider 1. Oktober 2013). Die Simulationen und Analysen erfordern erhebliche Rechenkapazitäten (z.B. benötigen die MC Daten über 1 Petabyte an Datenspeicher). Die zusätzlichen Investitionsmittel aus dem Impulsfond (100TEuro), mit denen die Rechenleistung am DESY vergrößert wurde, haben wesentlich zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen. Ergebnisse wurden in Maier et al 2015 veröffentlicht.
2. Für die Optimierung und Charakterisierung von CTA in Abhängigkeit von Teleskop- und Array Parameter wurde ein konsistentes Verfahren entwickelt. Damit können verschiedenen Designoptionen einfach verglichen werden. Die Optimierung des Arraylayouts, also wie viele Teleskope von welchem Typ wo stehen sollen, wurde in der Nachwuchsgruppe begonnen, und werden bis Anfang 2016 abgeschlossen. Erste Ergebnisse sind in Hassan et al. (2015) vorgestellt wurden.
3. Die Ergebnisse der Sensitivitätsstudien wurden dem CTA Konsortium zur Verfügung gestellt. Sie werden zur Zeit für die Vorbereitung der ‚key science projects‘ verwendet. In Zusammenarbeit mit Partnern im IFAE Barcelona und MPIK Heidelberg wurde die Performanz von CTA veröffentlicht, siehe [https://portal.cta-observatory.org/CTA\\_Observatory/performance/SitePages/Home.aspx](https://portal.cta-observatory.org/CTA_Observatory/performance/SitePages/Home.aspx)
4. CTA wird eine im Vergleich zu bestehenden Teleskopsystemen wesentlich verbesserte Winkel- und Energieauflösung haben. Wie genau man damit Teilchenbeschleunigung in Supernova-Überresten vermessen kann, wurde in Kooperation mit der Astroteilchen-Theorie Gruppe am DESY und der Universität Potsdam genauer untersucht und in Shayduk et al 2014 veröffentlicht.
5. In Zusammenarbeit mit der Gruppe an der HU Berlin wurde der Einfluss der Triggerlogik und der Ausleselektronik auf die Sensitivität durchgeführt. Erhebliche Unterschiede in den verschiedenen von CTA angestrebten Konzepten wurden dabei festgestellt (veröffentlicht in Shayduk et al 2013)

Die von der Nachwuchsgruppe entwickelten Werkzeuge stehen der Community zur Verfügung und werden heute von mehreren Gruppen weltweit eingesetzt.

Der zweite wichtige Punkt in diesem Workpackage war die Entwicklung der Analysemethoden, mit unmittelbarer Anwendung an Daten des VERITAS Teleskopsystems und CTA MC Simulationen:

1. Die Weiterentwicklung der likelihood-reconstruction Algorithmen (LeBohec et al. 1998; de Naurois et al. 2000) zeigen große Verbesserungen in der Winkelauflösung und Untergrundsunterdrückung und stehen kurz vor der Anwendung auf VERITAS Daten.
2. Die Anwendung multivariante Methoden mit Hilfe von Boosted Decision Trees zeigt in der Anwendung auf Daten von VERITAS eine Verbesserung der Sensitivität um

30% (gemessen in benötigter Beobachtungszeit zur Detektion eines Objektes) und wird heute in der Standardanalyse von VERITAS verwendet (Publikation eines technischen Papiers in Vorbereitung, sowie Dissertation M.Krause).

3. Eine neue Methode zum ‚image cleaning‘, bei dem Rauschen in der Kamera (hervorgerufen durch Photonen des Nachthimmeluntergrundes) unterdrückt wird und die Abbildung der Cherenkovschauer verbessert wird resultierte in einer wesentlich niedrigeren Energieschwelle des Instruments. Bei dieser neuen Methode werden die Schwellen als Funktion der Zeit- und Signalunterschiede in den einzelnen Pixeln der Kameras automatisch angepasst (Publiziert in Shayduk et al 2013)

Zusammenfassend haben die Analyseentwicklung der Nachwuchsgruppe zu einer um etwa 30% verbesserten Sensitivität von VERITAS geführt und zur Entdeckung von neuen Gammaquellen beigetragen. Vergleichbare Sensitivitätssprünge wurden zuvor nur durch teure (~Mio Dollar) Hardwareverbesserungen erreicht.

G.Maier ist in CTA ‚work package leader‘ für die ‚CTA simulation pipeline‘. Umfangreiche Arbeiten zur Beschreibung der Software Requirements und des Technical Design Reports für CTA wurden durchgeführt. Drei Mitglieder der NWG arbeiten an den *CTA science tools*, die sowohl zur Analyse von CTA wie auch von VERITAS Daten verwendet werden können. Diese Arbeit wird über den zeitlichen Horizont der NWG fortgeführt werden

### **Work package 2: Strategieentwicklung zur Beobachtung von transienten Gammaquellen**

Die Gammaemission in aktiven Galaxien und Doppelsternsystemen ist variable auf Zeitskalen von Wochen bis Minuten. Der Zeitpunkt von Gammaausbrüchen ist aufgrund des fehlenden Verständnis der physikalischen Vorgänge in diesen Objekten und deren stochastischer Natur nicht möglich. Dies stellt eine besondere Herausforderung für die Beobachtung dieser Objekte dar, die NWG hat dafür zwei verschiedene Beobachtungsstrategien entwickelt und optimiert:

1. CTA wird das erste Gammateleskop sein mit dem eine Himmelsdurchmusterung außerhalb unserer Galaxie durchgeführt werden kann. Die NWG hat dafür eine neue Technik entwickelt, bei der jedes Teleskop von CTA nicht in die gleiche Richtung, sondern mit einem leichten Versatz beobachtet. L. Gerard (Postdoktorandin in der NWG) hat mit Hilfe von Simulationen dieses sogenannte ‚divergent pointing‘ detailliert charakterisiert. Die Arbeit von L. Gerard hat zur Etablierung dieser neuen Technik in CTA geführt. Man wird damit, im Vergleich zu existierenden Techniken einen erheblich größeren Teil des Himmels beobachten können. Die Technik ist ausführlich in den sogenannten ‚key science projects‘ (Teil des CTA Technical Design Reports) beschrieben, eine Publikation ist in Vorbereitung.
2. Im Rahmen einer Masterarbeit (M.Giomi) wurden die Beobachtungsstrategien für transiente Quellen unter der Berücksichtigung von realistischen Beobachtungsbedingungen optimiert. Die Arbeit erlaubt transiente Quellen in Abhängigkeit von Quellstärke, Variabilität, und Energiespektrum unter besten Bedingungen zu beobachten (Publikation eingereicht). Ein wichtiges Ergebnis ist, dass erhebliche Systematiken in Populationsstudien durch die Wahl der Beobachtungsstrategien vorhanden sein können. Die Ergebnisse dieser Arbeit finden auch Eingang in der Vorbereitung der Echtzeitanalyse von CTA (*real-time analysis*), siehe Bulgarelli et al 2015.

### **Work package 3: Suche nach dunkler Materie mit CTA**

Erdgebundene Gamma-Teleskope wie CTA sind vielseitige Instrumente. Die hohe

Sensitivität von CTA erlaubt auch die Suche nach dunkler Materie - einer der Jahrhundertfragen der Kosmologie. Dunkle Materie sammelt sich aufgrund der gravitativen Wechselwirkung in Zentren von Galaxien. Es wird angenommen dass die Teilchen der dunklen Materie entweder in Annihilations- oder Zerfallsreaktionen Gammaphotonen erzeugen, die dann durch Gammateleskope nachgewiesen werden können. Die Suche nach Emission von dunkler Materie aus Richtung von Zwerggalaxien wurde nicht wie im Antrag vorgesehen durchgeführt, da auf diesem Gebiet mittlerweile schon eine ganze Reihe von Gruppen arbeiten. Stattdessen wurde mit einem Doktoranden (M.Hütten) eine neuartige Detektionsmethode von Überdichten („clumps“) dunkler Materie entwickelt und getestet, die am gesamten mit Gammateleskopen beobachteten Himmel nach Anisotropien sucht. Für diese Projekt wurde ein Programm zur Berechnung der Gammaluminosität dunkler Materie verbessert und der wissenschaftlichen Community zur Verfügung gestellt („clumpy“, siehe <https://lpsc.in2p3.fr/clumpy/>). Das Projekt steht in direkter Verbindungen mit Arbeiten die im Rahmen der Helmholtz Allianz für Astroteilchenphysik durchgeführt werden.

#### **Work package 4: Teilchenbeschleunigung in aktiven galaktischen Kernen und Doppelsternsysteme**

Röntgen-Doppelsternsysteme bestehen aus einem schweren Stern und einen Neutronenstern oder einem schwarzen Loch. Eine bestimmte Klasse dieser Objekte, sogenannte Mikroquasare, zeigen erhebliche Ähnlichkeiten mit aktiven Galaxien: Akkretion von Materie und Entstehung eines Plasmajets. Trotz der sehr unterschiedlichen Massen der kompakten Objekte (von mehreren Sonnenmassen in Mikroquasaren zu  $10^9$  Sonnenmassen in aktiven Galaxien) wird erwartet, dass die gleiche Physik der Jetentstehung und Teilchenbeschleunigung zugrunde liegt. Ziel der Nachwuchsgruppe war, durch Beobachtungen mit VERITAS und CTA erstmalig Mikroquasare als Gammaemitter zu identifizieren und eine Verbindung zwischen den Eigenschaften der Teilchenbeschleuniger in Mikroquasaren und aktiven Galaxienkernen zu schaffen. Diese Zielsetzungen der NWG waren von Anfang an eng verbunden mit dem Zeitplan von CTA, der zum Zeitpunkt des Antrages erste astrophysikalische Beobachtungen in 2014 vorsah. Die Verschiebung dieses Zeitplans hatte erheblichen Einfluss auf das Projekt und führte zu Änderungen der Schwerpunkte im Beobachtungsprogramm.

Die wichtigsten Ergebnisse der Beobachtungen mit dem VERITAS Teleskop sind:

1. Eine genaue Beobachtung eines riesigen Röntgenausbruchs des low-mass X-ray Binärsystems 1A0535+262 über zwei Orbitalperioden hinweg. Diese Ausbrüche, in denen die Röntgenluminosität des Objektes um mehrere Größenordnungen innerhalb 1-2 Tage ansteigt treten nur alle 5 Jahre auf. Die NWG hat als erste Gruppe eine Beobachtungskampagne während eines Ausbruches mit Teleskopen im Röntgen-, MeV-, und Gammabereich durchgeführt (mit den Teleskopen RXTE, Swift (beide im Röntgenbereich), Fermi LAT (MeV-GeV) und VERITAS (>100 GeV)). Dabei konnte trotz optimaler Bedingungen keine Gammaemission beobachtet werden. Die Ergebnisse wurden im Astrophysical Journal veröffentlicht.
2. Beobachtungen des Doppelsterns HESS J0632+057 mit Swift, VERITAS, und H.E.S.S. führten zu ersten Identifikation der Bahnperiode und zur ersten Messung einer Korrelation zwischen Röntgen- und Gamma-Ray Emission. Die Langzeitbeobachtungen des Systems im Gammabereich über insgesamt 7 Jahre erlauben eine detaillierte Modellierung des Systems und erstmalig den Einfluss der äquatorialen Winde des massiven Sternes auf die Beschleunigungsbedingungen zu studieren. Die Ergebnisse dieser Studien zeigen, dass HESS J0632+057 mit großer Wahrscheinlichkeit kein Mikroquasar, sondern vom Type Pulsar Wind/Massiver Stern ist. Die Resultate wurden in mehreren Artikeln in The Astrophysical Journal und auf Konferenzen vorgestellt.
3. Die Beobachtungskampagne des Binärsystems LS I +61 303 resultierte in einigen Überraschungen, die nicht mit den gängige Theorien zur Gammaemission in diesen

Systemen vereinbar sind. Die Beobachtungen von LS I +61 303 mit VERITAS unter Leitung der NWG führte im Herbst 2014 zur Entdeckung von unerwartet hellen und ungewöhnlich kurzen Ausbrüchen von Gammastrahlung geführt. Die Auswertung dieser Messungen sind zur Zeit noch im Gange, deuten aber darauf hin dass dieses Binärsystem zu den effektivsten bekannten Beschleunigern von kosmischer Strahlung gehören. Die Auswertung sollte auch Hinweise darauf geben, ob die Energiequelle des Beschleunigers Akkretions („microquasar“) oder die Kollision von Pulsarwind mit dem starken Wind des heißen Begleitsterns ist (Eingereicht bei The Astrophysical Journal). Erste spektralen Messungen zusammen mit dem Fermi LAT Gammastrahlungsteleskop weisen auf mehrere Emissionregionen hin (Publiziert in Astrophysical Journal).

4. Die Identifizierung des Gammastrahlers TeV 2032+4130 als Pulsarwindnebel nach einer 50h langen Beobachtung und einer detaillierten Multiwellenlängenanalyse. (Publiziert in The Astrophysical Journal).

Aktive Galaxienkerne und Binärsysteme sind transiente Quellen; neue Entdeckungen benötigen eine zügige Analyse der Beobachtungen. Die NWG ist mitverantwortlich für die VERITAS *next-day analysis*, mit der alle Beobachtungen automatisch analysiert und über eine Webseite verfügbar gemacht werden.

Die Nachwuchsgruppe war 2014 federführend in der Entwicklung des Langzeitbeobachtungsplanes für das VERITAS Instrument, in dem die wichtigsten Beobachtungen für die nächsten 5 Jahre (bis 2019) festgelegt werden.

### **c) Anwendungs-/Verwertungspotenzial**

Ein bedeutsamer Teil des Forschungsprogramms der NWG war auf die Vorbereitung für das neue Observatorium CTA ausgerichtet. Die entwickelte Analysemethoden werden in die sich zur Zeit im Entwicklungsstadium befindende CTA Analysesoftware eingebaut (Mitglieder der NWG sind aktiv in den CTA Pipeline work packages). Die Ergebnisse der Studien zum Arraylayout von CTA finden direkt Anwendung in der Konstruktion von CTA. Alle Softwareentwicklungen der NWG sind dokumentiert und der Community als public tools zur Verfügung gestellt worden (z.B. auf <https://znwiki3.ifh.de/CTA/Eventdisplay> Software). Die neuen Analysemethoden sind in die Standard-Analysewerkzeuge des VERITAS Teleskopsystems aufgenommen worden, und werden hier für wissenschaftliche Publikationen verwendet. Die von der Nachwuchsgruppe mitentwickelte *next-day analysis* analysiert am Teleskopstandort jeden Tag automatisch die in der Nacht genommenen Daten.

## **3. Qualifikation des wissenschaftlichen Nachwuchses**

Masterarbeiten:

1. Lypova, Iryna: „Feasibility of gamma/electron air shower separation with CTA“ (in Zusammenarbeit mit Taras Shevchenko National University Kiev), 2013; jetzt: Promotion an der Universität Potsdam/DESY
2. Giomi, Matteo: “Optimization of transient sources observation for the gamma-ray observatory CTA“ (in Zusammenarbeit mit Università degli Studi di Firenze, Florenz), 2013; jetzt: Promotion an der HU Berlin/DESY

Promotionen:

1. Prokoph, Heike „Observations and modeling of the active galactic nucleus B2 1215+30 together with performance studies of the ground-based gamma-ray observatories VERITAS and CTA“, Dissertation an der Humboldt Universität zu Berlin (2013); jetzt: Postdoc an der Linnaeus University, Växjö, Sweden

2. Welsing, Roman: "Measurements of spectral cut-offs with of the active galactic nuclei Mrk 421 with VERITAS", Dissertation an der Humboldt Universität zu Berlin (2013);
3. Skole, Christian: "Search for transient sources at very high energies", Dissertation geplant für Ende 2015
4. Krause, Maria: "Studies of the cosmic-ray contents of the Cygnus Region", Dissertation geplant für Herbst 2016
5. Hütten, Moritz: "Search for dark matter induced small-scale fluctuations in the isotropic gamma-ray background above 100GeV with VERITAS and CTA", Dissertation geplant für Herbst 2016

Postdocs:

1. Hughes, Gareth (Januar 2010 - September 2013); jetzt: ETH Zürich
2. Gérard, Lucie; seit Februar 2012
3. O'Faoláin de Bhróithe, Anna; seit April 2014

Persönliche Entwicklung des Nachwuchsgruppenleiters: DESY Wissenschaftler (fest) seit 2013; Gruppenleiter der VERITAS Gruppe, stellvertretender Gruppenleiter der CTA Gruppe; Zukunftspläne eng verbunden mit dem Bau und Betrieb des Cherenkov Telescope Arrays (CTA), in dem DESY eine wichtige Rolle spielt.

#### **4. Öffentlichkeitsarbeit**

Öffentliche Vorträge Urania Berlin (2011), Planetarium am Insulaner (2012), Lange Nacht der Wissenschaften in Berlin (beinahe jährlich), Tag der offenen Tür am DESY

Webseite:

[http://astro.desy.de/gamma\\_astronomy/cta/young\\_investigators\\_group/index\\_eng.html](http://astro.desy.de/gamma_astronomy/cta/young_investigators_group/index_eng.html)

Beiträge zum Artikel „Indirect Dark Matter Searches“ im Symmetry Magazine (SLAC), April 2015

Seit 2014 ist G.Maier Leiter des Sommerstudentenprogramms am DESY Zeuthen (17-20 Studenten verbringen ca. 8 Wochen am DESY in Zeuthen und arbeiten in den verschiedenen Arbeitsgruppen).

#### **5. Vernetzung**

Vernetzung innerhalb des Helmholtz-Zentrums DESY:

Die einzigartige Umgebung am DESY für Astroteilchenphysiker durch die starke Präsenz in allen Gammastrahlenprojekten (CTA, HESS, MAGIC, VERITAS, Fermi LAT), der Neutrinoastrophysik sowie der theoretischen Astrophysik machte eine Vernetzung mit anderen Arbeitsgruppen äußerst einfach. Mitglieder der Nachwuchsgruppe konnten tatsächlich Projekte mit allen Astroteilchengruppen am DESY beginnen (das beinhaltet auch die Arbeitsgruppen von A.Lindner und A.Ringwald am DESY Hamburg).

Die Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe von Prof T.Lohse an der Humboldt Universität hat sich auf den Gebieten „Ursprung der kosmischen Strahlung“ und „Detektion dunkler Materie mit Gammastrahlungsteleskopen“ sehr schön entwickelt. Neben gemeinsamen Publikationen im Rahmen des CTA Projektes wurde ein Workshop zur dunkler Materie zusammen veranstaltet (<http://indico.desy.de/event/hap-indirectDM>), und mehrere Drittmittelanträge (DFG, EU) wurden/werden zusammen verfasst (z.B. Graduiertenkolleg, SFB).

Der Nachwuchsgruppenleiter G.Maier führte Vorlesung im Masterstudiengang Physik durch (Themen: Astroteilchenphysik; Detektoren der Teilchenphysik; Statistik und Analyse;

Kosmologie) sowie veranstaltete mehrere Seminare.

Nach informeller Diskussion wurde keine Juniorprofessur angestrebt, eine Habilitation ist nicht geplant. Die Verbindung mit der Lehre an der HU Berlin soll in Zukunft mit einem einfachen Lehrauftrag aufrecht erhalten werden.

Die Mitgliedschaft im DFG Graduiertenkolleg „Masse, Spektrum, Symmetrie“ an der HU (erfolgreiche Verlängerung in 2013), mit den sehr schönen Blockkursen soll nicht unerwähnt bleiben. Ein Doktorand der NWG wird aus diesem GK finanziert.

## 6. Publikationen (Auflistung)

Publikationen mit signifikanten Beiträgen der Nachwuchsgruppe:

1. Acciari, V.A., ..., Maier, G.,... (VERITAS collaboration), "Gamma-ray observations of the Be/pulsar binary 1A 0535+262 during a giant X-ray outburst", *The Astrophysical Journal* 733, 96 (2011) (Beobachtungen, Analyse und Physikinterpretation durchgeführt durch NWG Mitglieder)
2. Falcone, A.D., Grube, J., Hinton, J., Holder, J., Maier, G., Mukherjee, R., Skilton, J., Stroh, M., "Probing the Nature of the Unidentified TeV Gamma-Ray Source HESS J0632+057 with Swift", *The Astrophysical Journal* 708, L52 (2010) (Proposal, Analyse, Physikinterpretation durch NWG Mitglieder)
3. Acciari, V.A., ..., Maier, G.,... (VERITAS collaboration), "*VERITAS Observations of the TeV Binary LS I +61° 303 During 2008-2010*", *The Astrophysical Journal* 738, 3 (2011) (Beobachtungen, Analyse und Physikinterpretation durchgeführt durch NWG Mitglieder)
4. Aliu, E., ..., Maier, G.,... (VERITAS collaboration), "*Detection of Pulsed Gamma Rays Above 100 GeV from the Crab Pulsar*", *Science* 334, 69 (2011) (Analysebeiträge der NWG)
5. Maier, G. et al (VERITAS and H.E.S.S. collaboration), "*VHE Observations of the Binary Candidate HESS J0632+057 with H.E.S.S. and VERITAS*", *Proceedings of the 32nd International Cosmic Ray Conference, Beijing, China (2011)*, astro-ph/1111.2155 (Vortrag)
6. Maier, G. et al (VERITAS), "*VHE Observations of Galactic binary systems with VERITAS*", *Proceedings of the 32nd International Cosmic Ray Conference, Beijing, China (2011)*, astro-ph/1111.2156 (Vortrag)
7. The CTA Consortium, "*Design concepts for the Cherenkov Telescope Array CTA: an advanced facility for ground-based high-energy gamma-ray astronomy*", *Experimental Astronomy* 32, 193 (2011) (Simulationen und Analyse, Physikinterpretation durch NWG Mitglieder)
8. Arlen T. et al (VERITAS collaboration): „Constraints on cosmic rays, magnetic fields and dark matter from gamma-ray observations of the Coma cluster of galaxies with VERITAS and Fermi“, *ApJ* 757, 123 (2012) (Analysebeiträge der NWG)
9. E. Aliu et al (VERITAS collaboration): „VERITAS deep observations of the dwarf spheroidal galaxy Segue I“, *Phys. Rev. D* 85, 062001 (2012) (Analysebeiträge der NWG)
10. K.Bernlöhr et al (CTA Consortium): "Monte Carlo design studies for the Cherenkov Telescope Array", *Astroparticle Physics* 43, 171 (2013) (Simulationen, Analyse, Beschreibung der Techniken)
11. G.Maier: "The origin of cosmic rays and TeV gamma-ray astronomy", *Proceedings of the international symposium for very high-energy interactions, Berlin 2012* (Vortrag)
12. G.Hughes et al (VERITAS collaboration): "Galactic Gamma-ray Sources", *Proceedings of the 9th workshop on Science with the New Generation of High Energy Gamma-ray Experiments, 2012* (Vortrag und Proceedings)
13. G.Maier (VERITAS collaboration): „Observation of binary systems at very-high energies with VERITAS“, *Proceedings of the 5th International Symposium on High-Energy Gamma-Ray Astronomy, 2012* (Vortrag und Proceedings)

14. G.Maier (VERITAS collaboration): "VERITAS and H.E.S.S. observations of the gamma-ray binary HESS J0632+057", Proceedings of the 5th International Symposium on High-Energy Gamma-Ray Astronomy, 2012 (Vortrag und Proceedings)
15. H.Prokoph (VERITAS collaboration): „Observation of very-high energy emission from B2 1215+30 with VERITAS“, Proceedings of the 5th International Symposium on High-Energy Gamma-Ray Astronomy, 2012 (Vortrag und Proceedings)
16. L. Gerard et al „BL Lac population study at high energies“, Proceedings of the 5th International Symposium on High-Energy Gamma-Ray Astronomy, 2012 (Vortrag und Proceedings)
17. VERITAS Collaboration: „VERITAS Observations of the Microquasar Cygnus X-3“, ApJ 779, 150 (2013) (Proposal, Beobachtung, Analyse, Physikinterpretation durch NWG Mitglieder)
18. VERITAS Collaboration: „Discovery of a new TeV gamma-ray source: VER J0521+211“, ApJ 776, 69 (2013) (Beobachtung, Analyse, Physikinterpretation durch NWG Mitglieder)
19. VERITAS Collaboration: „Multiwavelength Observations of The TeV Binary LS I +61 303 with VERITAS, Fermi-LAT and Swift-XRT During a TeV Outburst“, The Astrophysical Journal 779, 88 (2013) (Proposal, Beobachtung, Analyse, Physikinterpretation durch NWG Mitglieder)
20. VERITAS Collaboration: „Long term observations of B2 1215+30 with VERITAS“, ApJ 779, 92 (2013) (Proposal, Beobachtung, Analyse, Physikinterpretation durch NWG Mitglieder)
21. VERITAS and H.E.S.S. Collaboration: „LONG-TERM TeV AND X-RAY OBSERVATIONS OF THE GAMMA-RAY BINARY HESS J0632+057“, ApJ 780, 168 (2014) (Proposal, Beobachtung, Analyse, Physikinterpretation durch NWG Mitglieder)
22. Maier, G. „The origin of cosmic rays and TeV gamma-ray astronomy“ European Physical Journal Web of Conferences, 52, 10001 (2013) (Vortrag und Proceedings)
23. Gerard, G, Pita, Santiago; Goldoni, Paolo; Boisson, Catherine; Lenain, Jean-Philippe; Punch, Michael; Gérard, Lucie; Hammer, François; Kaper, Lex; Sol, Hélène Spectroscopy of High Energy BL Lac Objects with X-shooter on the VLT eprint arXiv:1311.3809 (Vortrag und Proceedings)
24. Krause, M. for the VERITAS C.: Die Cygnusregion - Kosmische Teilchenbeschleuniger bei Energien über 100 GeV gemessen mit VERITAS, DPG 2014 (Vortrag)
25. Krause, M. for the VERITAS C.: The Cygnus Region - a prime target for TeV gamma-ray emission, CRISM-2014 in Montpellier; Proceedings of Conference "Cosmic Rays and their InterStellar Medium Environment", (CRISM-2014), June 24-27, 2014, Montpellier, France, PoS(CRISM2014) 007 (Vortrag und Proceedings)
26. Hütten, M. et al: Suche nach Dunkler Materie mit VERITAS und CTA. Annual spring conference of the German Physical Society (DPG), Mainz, March 26, 2014. (Vortrag)
27. Hütten, M.: Emission processes of high-energetic photons in Active Galactic Nuclei. Talk given at the binational Heraeus Summer School "Astronomy from four perspectives" at University of Padua, September 1 to 6, 2014. (Vortrag)
28. Fleischhack, H.: Die Template-Methode zur Messung des Eisenspektrums der kosmischen Höhenstrahlung mit Tscherenkow-Teleskopen, DPG Mainz 2014 (Vortrag)
29. Fleischhack, H.: A template method for measuring the iron spectrum in cosmic rays with Cherenkov telescopes, ECRC 2014 Kiel (Vortrag)
30. Gerard, L. for the VERITAS Collaboration: Surprises and exceptional activity in the very high energy extragalactic sky observed by VERITAS", proceedings Les 26th Rencontres de Blois, 2014 (Vortrag und Proceedings)
31. Maier, G.: *Talk at the Fifth Workshop on Air Shower Detection at High Altitude in Paris (France), 26-28 May 2014. Results from ACTs (Vortrag und Proceedings)*
32. Maier, G.: Dark Matter search with gamma rays from ground and space; Talk at 24th

European Cosmic Ray Symposium (ECRS) (Vortrag)

33. Maier, G.:Talk at Third AMON Workshop 2014, Real-time and follow up observations of transients with VERITAS (Vortrag)
34. Aliu et al (VERITAS Collaboration): *A Search for Pulsations from Geminga Above 100 GeV with VERITAS*, *The Astrophysical Journal* 800, 61 (2015) (Analyse durch NWG Mitglieder)
35. Aliu et al (VERITAS Collaboration): *Constraints on Very High Energy Emission from GRB 130427A* *The Astrophysical Journal* 795L, 3 (2014) (Analyse und Interpretation durch NWG Mitglieder)
36. Bulgarelli, et al: *A prototype for the real-time analysis of the Cherenkov Telescope Array*, 2014SPIE.9145E..2XB (Simulationen durch NWG Mitglieder)
37. Aliu et al (VERITAS Collaboration): *Spatially Resolving the Very High Energy Emission from MGRO J2019+37 with VERITAS*, *The Astrophysical Journal* 788, 78 (2014) (Simulationen und Analyse durch NWG Mitglieder)
38. Archambault et al (VERITAS Collaboration): *Deep Broadband Observations of the Distant Gamma-Ray Blazar PKS 1424+240*, *The Astrophysical Journal* 785, 16 (2015) (Analyse und Interpretation durch NWG Mitglieder)
39. Aliu et al (VERITAS Collaboration): *Observations of the Unidentified Gamma-Ray Source TeV J2032+4130 by VERITAS*, *The Astrophysical Journal* 783, 16 (2014) (Analyse, Physikinterpretation durch NWG Mitglieder)
40. Aliu et al (VERITAS Collaboration): *Long-term TeV and X-Ray Observations of the Gamma-Ray Binary HESS J0632+057*, 2014ApJ...780..168A (Proposal, Beobachtungen, Analyse und Physikinterpretation durch NWG Mitglieder).

Aufgelistet sind hier nicht weitere Publikationen mit kleineren Beiträgen von NWG Mitglieder im Rahmen der Mitgliedschaft in den VERITAS, CTA, HiRes und Telescope Array Kollaborationen.