

KURZFASSUNG

Diese Arbeit widmet sich dem jungen Feld der extragalaktischen sehr hochenergetischen γ -Astroteilchenphysik. Insbesondere behandelt die Arbeit Aktive Galaktische Kerne (AGN), die derzeit zu den stärksten Energiequellen im Universum gehören und die mit den MAGIC Teleskopen auf der Kanarischen Insel La Palma im sehr hochenergetischen (VHE) γ -Strahlungsbereich von 70 GeV bis 10 TeV beobachtet werden. Diese Art von Galaxien bestehen in der Kernregion aus einem supermassereichen Schwarzen Loch mit einer Masse zwischen $(10^6 - 10^{10})M_{\odot}$, um das sich eine Akkretionsscheibe bildet. Heutzutage wird angenommen, dass die potentielle Energie der Materie die durch das supermassereiche Schwarzen Loch angezogen wird zur Bildung von Strahlung und gebündelten Jets (relativistische Ausströmungen von Plasma die Längen bis zu Megaparsec erreichen können) führt. Diese bilden sich senkrecht zur Ebene der Akkretionsscheibe. Gegenwärtig werden AGNs vorrangig nach dem Winkel zwischen dem Beobachter und der Achse des Jets klassifiziert. Die derzeit am häufigste detektierte Unterklasse von AGN sind die Blazare, bei denen wir als Beobachter direkt oder mit wenigen Grad Abweichung in den Jet hineinschauen. In dem VHE γ -Strahlungsbereich wurden die meisten Blazare in den letzten zehn Jahren mit Hilfe der abbildenden Luft-Cherenkov-Teleskope entdeckt, zu denen auch die MAGIC Teleskope gehören. Dank der permanenten Verbesserungen solcher Experimente in Hinblick auf die Detektorempfindlichkeit sowie die Erweiterung der Energiebereiche konnten somit zahlreiche neue Objekte im Bereich der VHE γ -Strahlung entdeckt werden. Der besondere Fokus dieser Arbeit liegt auf der Untersuchung von Blazaren und ihren rotverschiebungsabhängigen Eigenschaften, beginnend mit der ersten Entdeckung dieser Quellen im VHE γ -Bereich. Insbesondere gliedert sich diese Arbeit in einen experimentellen/analytischen und einen phänomenologisch Teil. In dem ersten experimentellen Teil wird eine Langzeitstudie des Blazaren 1ES 1959+650 während einer siebenjährigen Beobachtung mit MAGIC vorgestellt. Darüber hinaus werden in diesem Kontext die Neuentdeckungen und Detektionen der Blazaren 1ES 0033+595, B3 0133+388 sowie PKS 1717+177 in VHE γ -Strahlung-Bereich präsentiert. Im zweiten Teil der Arbeit werden die Ergebnisse der phänomenologische Studie dargelegt. Dort wird eine Populationsstudie aufgezeigt, in der die bis heute bekannten VHE γ -Strahlungsblazare (mit bekannten Spektralparametern) mit besonderem Fokus auf die Entwicklung des Universums untersucht werden.

Der Blazar 1ES 1959+650 gehört zu den nächsten ($z = 0,48$) bekannten VHE γ -Strahlungsquellen, die regelmäßig mit den MAGIC Teleskopen zwischen 2005 und 2012 beobachtet wurden. In dieser Arbeit werden insbesondere die Daten aus den Beobachtungsjahren zwischen 2009 und 2012 präsentiert, die anschließend mit früheren Beobachtungen (zwischen 2005 und 2008) verglichen werden. Die hier präsentierte Studie von 1ES 1959+650 gehört derzeit zu den wenigen, die je über einen so langen Zeitraum für einen Blazaren oberhalb von 300 GeV durchgeführt wurde. Aus der Langzeitstudie konnte ermittelt werden, dass der Fluss der VHE γ -Strahlung oberhalb von 300 GeV in dem Zeitraum zwischen 2005 und 2012 nur eine geringe Variabilität (Faktor ~ 3) aufweist. Diese entspricht zum Vergleich einem Fluss von (4 – 12)% des Krebsnebelflusses. Des Weiteren konnte ausschließlich am 30. Mai 2009 ein γ -Strahlungsausbruch ein sogenannter "Flare" beobachtet werden. Die mittlere Flussstärke dieses Flares betrug $\sim 70\%$ des Krebsnebelflusses. Im Flare Kontext konnte eine Korrelationsstudie mit anderen Multiwellenlängenbeobachtungen durchgeführt werden. Bei der Untersuchung zwischen dem Radiobereich bei 15 GHz und dem VHE γ -Bereich konnte ein fast gleichzeitiger Flussanstieg (Verzögerung von 1 – 2 Tagen) in beiden Wellenlängenbereichen gefunden werden. Dieses Ergebnis ist ein sehr starkes Indiz dafür, dass die in beiden Fällen gemessene starke Flusszunahme einen gemeinsamen Ursprungsort haben muss, die zweifellos in der Jet-Region und nicht in der BLR vorzufinden ist.

Erstmalig wurde im Zuge dieser Arbeit am 27. Oktober 2011 in dem VHE γ -Bereich der Blazar 1ES 0033+595 mit den beiden MAGIC Teleskopen entdeckt. Dieser konnte mit einer Signalstärke von $5,5\sigma$ nachgewiesen werden. Die gefundene Lichtkurve für den VHE γ -Bereich zeigt einen mittleren Fluss von $(2,2 \pm 0,4)\%$ des Krebsnebelflusses oberhalb von 150 GeV in der keine signifikanten Variabilitäten festgestellt werden konnten. Da die Rotverschiebung dieser Quelle unsicher ist, wurde ein neuer Wert von $z = 0,34 \pm 0,5$ mit dem empirischen Ansatz, basierend auf dem Vergleich der Spektralindizes in den HE und VHE γ -Berichen, bestimmt.

Im Rahmen dieser Arbeit ist auch eine zweite Entdeckung eines Blazars mit der Bezeichnung B3 0133+388 (RGB 0136+3905), der ebenfalls eine unbekannte Rotverschiebung besitzt, gelungen. Die Analyse der Beobachtungsdaten resultierte in der Detektion dieses Objektes bei einer Signalstärke von $5,6\sigma$. Des Weiteren konnte aus diesen Daten keine erhöhte Variabilität in der Lichtkurve, in der ein mittlerer Fluss von $(3,6 \pm 0,9)\%$ des Krebsnebelflusses oberhalb von 150 GeV gemessen wurde, festgestellt werden. Da die Rotverschiebungen auch für diese Quelle unbekannt ist, erfolgte ähnlich zur vorherigen

Quelle 1ES 0033+595 eine neue Rotverschiebungsbestimmung. Die daraus resultierende Rotverschiebung wurde zu $z = 0,46 \pm 0,05$ berechnet.

Der letzte experimentelle und analytische Teil dieser Arbeit befasst sich mit der Analyse des Blazars PKS 1717+177, der eine Rotverschiebung bei $z = 0,137$ besitzt. Dieser Blazar wurde bei einem Signifikanzniveau von 6σ nachgewiesen. Dieses Objekt ist derzeit das vierte, das im VHE γ -Bereich detektiert wurde, welches die Synchrotron-Energieverteilung im optischen/ultravioletten Bereich des Spektrums ihr Maximum hat. Die vorläufige Lichtkurve zeigt einen mittleren Fluss von $\sim 4\%$ des Krebsnebelflusses oberhalb von 200 GeV.

Der phänomenologische Teil dieser Arbeit besteht aus einer Populationsstudie in der alle derzeit bekannten Blazare, die im Ruhezustand ein gut vermessenes VHE γ -Spektrum aufweisen, untersucht werden. Die Eigenschaften der Spektralparameter dieser Objekte werden untereinander verglichen und korreliert. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie sind:

1. Es konnte eine starke Korrelation zwischen den Spektralindizes und der Rotverschiebung gefunden werden. Eine mögliche Erklärung für diesen Zusammenhang könnte auf die extragalaktische Hintergrundstrahlung (EBL) hindeuten, die einen "Abdruck" aufgrund der VHE γ -Strahlungs-Absorption in den VHE γ -Spektrum hinterlässt. Auf der anderen Seite könnte es sich hierbei aber auch um einen Artefakt, einen Selektions-Bias der Quellen, handeln, der in diesem Fall die starke Korrelation verursacht.
2. Der aus den Ergebnissen dieser Arbeit gewonnene γ -Strahlen Horizont (GRH) zeigt, dass in den meisten Fällen die IACT Beobachtungen in der Tat einen abnehmenden Fluss mit größerer Rotverschiebungen, die durch die GRH Funktion gegeben ist, detektieren. Es zeigt sich aber auch, dass das Universum transparenter für die VHE γ -Strahlung ist, als man bisher angenommen hatte.

Die Erweiterung des MAGIC Teleskops zu einem Stereo-System war entscheidend bei der Entdeckung von neuen Blazaren im VHE γ -Bereich mit großer Rotverschiebung sowie auch bei der Erstellung der einzigartigen Populationsstudie in dieser Arbeit. Zukünftige Beobachtungen im VHE γ -Bereich mit einer weiteren Empfindlichkeitssteigerung der IACT Instrumente, wie beispielsweise das geplante CTA Projekt, werden das Potenzial haben die hier während der Arbeit entstandenen Fragen präzise beantworten zu können.