

Abbildung 79: *Oben: Herzstück des ALPS Experiment bei DESY ist ein supraleitender HERA Magnet in der ehemaligen Magnetmesshalle 55. Das Foto zeigt auf der linken Seite des Magneten die Laserhütte und auf der rechten Seite den Schrank mit dem Detektoraufbau. Unten: Laseraufbau für den ALPS Fabry Perot Resonator. Rechts ist der geschlossene infrarote Laser zusehen, dessen Frequenz in dem Kristall etwa in der Mitte des Bildes verdoppelt wird. Die Reflexe des grünen Lichtes sind danach deutlich zu erkennen. Ganz links erkennt man den in dem Resonator verstärkten Laserstrahl zum Magneten.*

# ALPS-Experiment

**Beteiligte Institute:** DESY Hamburg, Albert-Einstein-Institut Hannover (AEI), Hamburger Sternwarte, Laser Zentrum Hannover (LZH)

**Sprecher:** A. Lindner, DESY

**Das ALPS-Experiment bei DESY sucht jenseits des Standardmodells nach neuen leichten Teilchen, die sehr schwach an Photonen koppeln. Mithilfe eines supraleitenden HERA Magneten und eines sehr leistungsstarken Lasers wird die Produktion von sub-eV Teilchen in einem *Licht durch die Wand* Experiment untersucht. Das Experiment wurde nach Vorlage des Letter-of-Intent [DESY 07-014] Anfang 2007 vom DESY Direktorium genehmigt. Der experimentelle Aufbau wurde kontinuierlich verbessert und in mehreren Datennahmeperioden wurde die Leistungsfähigkeit des Experimentes untersucht. Im Jahre 2008 wurde erfolgreich ein Fabry Perot Resonator im HERA Magneten aufgebaut und betrieben. Dieser wird derzeit weiter verbessert. Zusammen mit einem neuen Photodetektor kann ALPS dann im Jahre 2009 die weltweit sensitivsten Messungen liefern und in einen bisher unerforschten Parameterbereich dieser hypothetischen neuen Teilchen vorstoßen.**

Die Suche nach neuen Teilchen jenseits des etablierten Standardmodells ist eine der spannendsten Fragen der Teilchenphysik. Am LHC wird demnächst nach neuen Teilchen oberhalb der elektroschwachen Skala ( $\approx 100$  GeV) gesucht. Populäre Erweiterungen des Standardmodells, wie die Stringtheorie, legen aber auch die Existenz von sehr leichten und nur sehr schwach an Materie koppelnde Teilchen nahe. Diese werden oftmals als WISP (Weakly Interacting Sub-eV Particles) bezeichnet, im Gegensatz zu den schweren WIMP (Weakly Interacting Massive Particles) Teilchen. Ne-

ben den Axion-artigen leichten Spin 0 Teilchen könnte es auch leichte Spin 1 Teilchen, so genannte *Hidden-Sector-Photonen* oder leichte minigeladene Teilchen geben. Es gibt aber keine genauen Vorhersagen über die Masse und Kopplungsstärken der WISP, weshalb experimentelle Messungen, die den großen Parameterbereich einschränken, sehr willkommen sind. Mithilfe sehr präziser Niederenergie-Experimente, die starke elektromagnetische Felder und sehr hohe Photonenflüsse haben, wird nach diesen neuen Teilchen gesucht. Dabei ergänzen Laborexperimente wie ALPS Ergebnisse aus Astrophysik und Kosmologie.

Bei ALPS, dem Axion-Like Particle Search Experiment bei DESY, wird mit einem starken Laserstrahl im hohen Magnetfeld des HERA Dipolmagneten nach neuen leichten Teilchen gesucht. Da das ALPS Experiment auch eine hohe Sensitivität für andere WISP Teilchen hat, steht die Abkürzung ALPS heute für *Any Light Particle Search*. Mit einem *Licht durch die Wand* Experiment wird indirekt nach der Produktion leichter Teilchen, die schwach mit Photonen wechselwirken gesucht. In der Mitte des Magneten ist eine lichtdichte Wand. Vor der Wand können durch die Kopplung der Photonen mit dem Magnetfeld, dem so genannten Primakoff Effekt, neue Axion-artige leichte Teilchen  $\phi$  entstehen. Diese fliegen aufgrund ihrer sehr schwachen Wechselwirkung mit Materie ungehindert durch die Wand und können sich nach dem Hindernis mithilfe des umgekehrten Primakoff Prozesses wieder in Photonen mit den ursprünglichen Eigenschaften zurück wandeln, die dann detektiert werden. Beim AL-

PS Experiment werden zwei Vakuumröhren im Magnet benutzt. Die laserseitige Röhre endet in der Magnetmitte und das Laserlicht wird dort mit Hilfe eines einstellbaren Spiegels zurückreflektiert. Die detektorseitige Vakuumröhre ist in der Mitte des Magnetes lichtdicht verschlossen – das ist die Wand, durch die das Licht scheinen soll. In diesem symmetrischen Aufbau ist die Rate der rekonvertierten Photonen  $R_{\gamma \rightarrow \phi \rightarrow \gamma} \sim (BL)^4$ . Diese Parameter sind durch den HERA Dipol definiert ( $B = 5.30 \text{ T}$ ,  $L = 4.21 \text{ m}$ ). Die Herausforderung des Experimentes liegt in den extrem niedrigen Umwandlungswahrscheinlichkeiten. Das ALPS Experiment will einzelne zurückgewandelte Photonen aus  $10^{22}$  primären Photonen nachweisen. Um dies zu erreichen, ist ein sehr leistungsstarker Laser und ein sehr empfindlicher rauscharmer Detektor notwendig.

Ein erster erfolgreicher Probetrieb des kompletten Aufbaus wurde im Herbst 2007 mit einem grünen (532 nm) 3.5 W Laser durchgeführt. Als Photodetektor wurde die in der Amateurastronomie vielfach benutzte CCD Kamera SBIG ST-402 verwendet. Es wurde gezeigt, dass der Laserspot auf wenige Pixel ( $9 \mu\text{m} \times 9 \mu\text{m}$ ) fokussiert werden kann. Es wurde die prinzipielle Machbarkeit des Experimentes gezeigt und es konnte bereits eine Photonzählrate von mehr als 80 MHz ausgeschlossen werden. Um Parameterbereiche zu untersuchen, die bisher experimentell nicht zugänglich sind, musste die Leistungsfähigkeit des Experimentes durch einen empfindlicheren Photodetektor und höhere Laserleistungen verbessert werden.

Hierzu wurde Ende 2007 in einem ersten Schritt ein neues sehr leistungsfähiges Lasersystem, analog zu dem beim Gravitationswellen-Experiment (LIGO) eingesetzten, aufgebaut. Die Frequenz des hierbei erzeugten infraroten gepulsten Laserlichtes (1064 nm, 45 W) wurde in einem Kristall verdoppelt, so dass dem ALPS Experiment dann 14 W grünes Laserlicht zur Verfügung standen – das sind etwa  $4 \cdot 10^{19}$  Photonen je Sekunde. Während einer intensive Test- und Betriebsphase im Frühjahr 2008 wurden mehr als 100 h Daten mit Laser und eingeschaltetem Magneten aufgenommen und analysiert. Um den Einfluss des Ausleserausens gering zu halten wurden Aufnahmezeiten von 20 min oder 1 h gewählt. Nach der Korrektur der Drift der CCD ent-

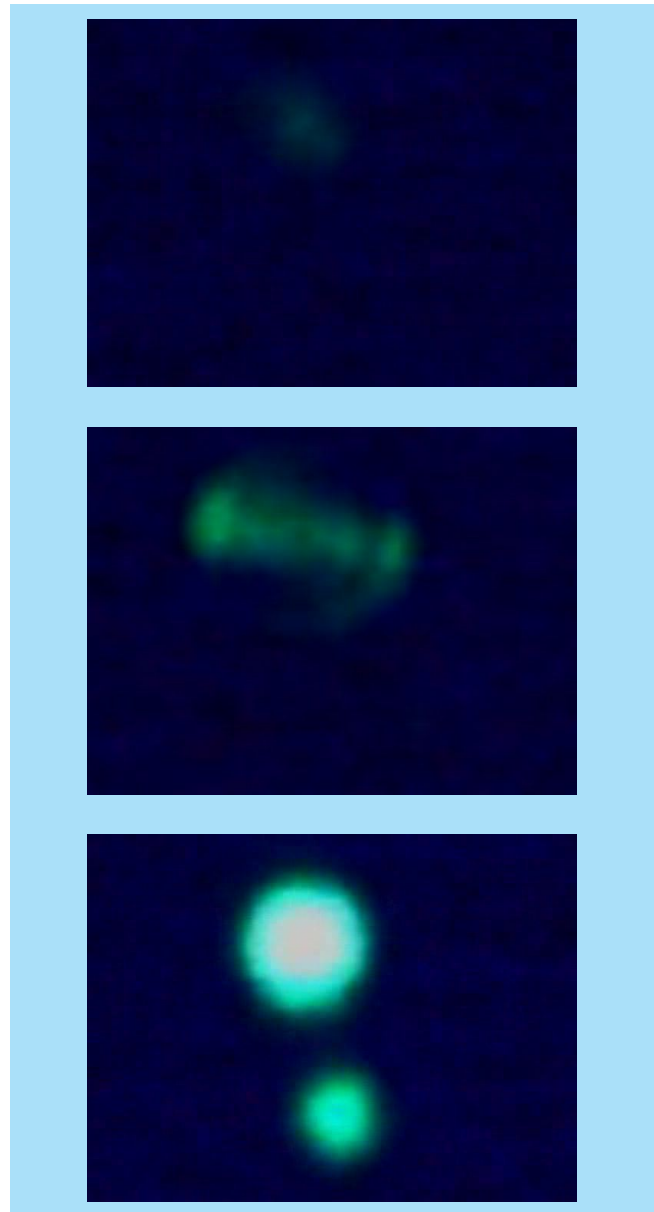


Abbildung 80: Der 8.6 m lange optische Resonator im HERA-Dipol Magneten im Betrieb: Oben: Der Resonator ist nicht abgestimmt und nur der primäre Laserstrahl ist sichtbar. Mitte: Der Resonator ist abgestimmt, aber nicht elektronisch geregelt. Zufällig ergeben sich durch die Längenfluktuationen des Resonators Konfigurationen, die für wenige Millisekunden das Licht verstärken. Unten: Die Frequenz des Laserlichts wird nachgeregelt, um die Längenfluktuationen des Resonators auszugleichen. Deutlich ist die Verstärkung des primären Laserlichts sichtbar.

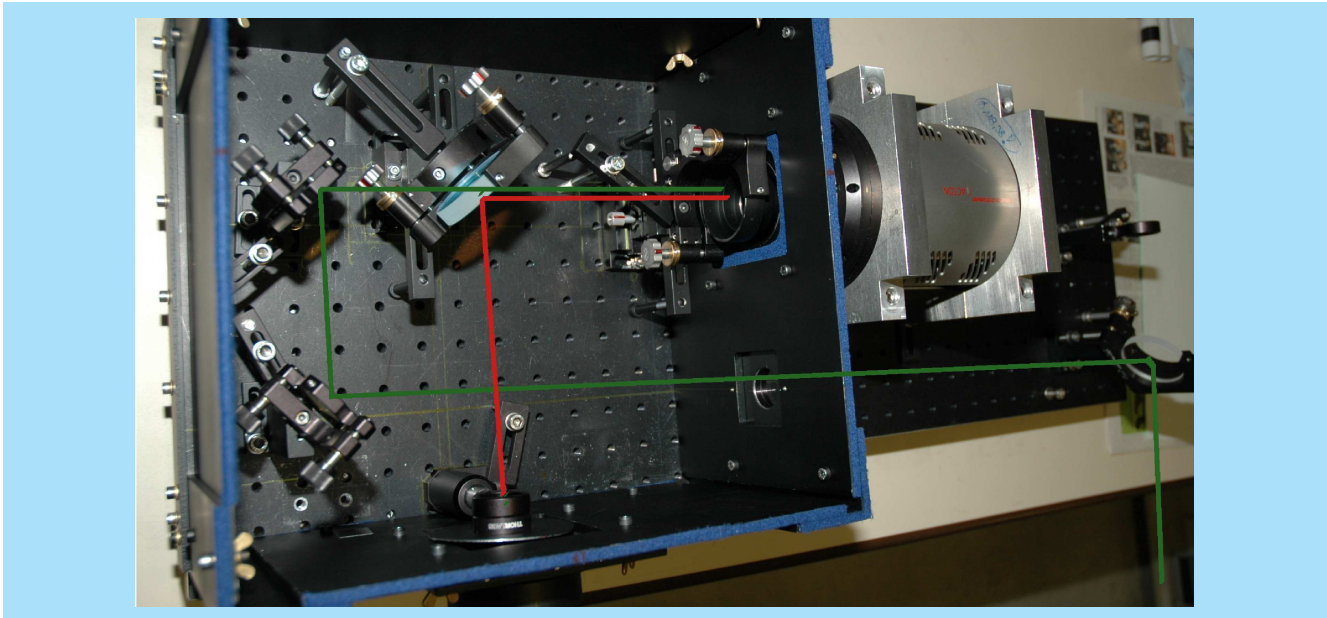


Abbildung 81: ALPS Detektoraufbau: von rechts ist die CCD Kamera PIXIS 1024-BL an die Detektorbox angebaut. In grün ist der Referenz-Strahlengang eingezeichnet, in rot der Strahlengang der rekonvertierten Photonen.

sprechen die Fluktuationen der einzelnen Pixel genau den Erwartungen aufgrund von Dunkelstrom und Ausleserauschen. Als Messsignal wurde die Summe von  $3 \times 3$  Pixelwerten in der Signalregion verwendet, das dann mit dem Signal aus Dunkelaufnahmen verglichen wird. Hiermit konnte eine Sensitivität für die Photonregeneration des ALPS Experimentes  $P_{\gamma \rightarrow \phi \rightarrow \gamma} \approx 10^{-21}$  erreicht werden.

Um den Photonfluss und damit die Empfindlichkeit des Experimentes weiter signifikant zu erhöhen wurde im Jahre 2008 zusammen mit den neuen Kollaborationsmitgliedern vom Albert-Einstein-Institut erfolgreich ein optischer Resonator in der ersten Hälfte des HERA Magneten aufgebaut. Ein vom Laserzentrum Hannover für Gravitationswellen-Experimente entwickelter Laser liefert etwa 35 W infrarotes Laserlicht (1064 nm) mit exzellenten Strahleigenschaften. Dieses wird in einem Kristall in etwa 0.7 W grünes (532 nm) Laserlicht konvertiert, das dann in den 8.62 m langen Fabry-Perot Resonator eingekoppelt wird. Der äußere Spiegel des Resonators befindet sich auf dem optischen Tisch in der Laserhütte, der innere Spiegel am Ende des laserseiti-

gen Strahlrohres. Mithilfe der Anpassung der Frequenz des Lasers werden Längenfluktuationen des Aufbaus so kompensiert, dass zwischen diesen beiden Spiegeln eine kohärente Überlagerung der Lichtwellen und damit eine Verstärkung der Laserleistung in der resonanten Cavity stattfindet. Es wurde eine Leistungsverstärkung von etwa 40 und damit eine effektive Leistung im Resonator von über 30 W erreicht. Dies entspricht den Erwartungen aufgrund der Güte des Resonators, die durch die Verluste, in den beiden Fenstern des evakuierten laserseitigen Strahlrohres zwischen den beiden Spiegeln des Resonators, limitiert ist.

Abbildung 80 demonstriert den Betrieb des Resonators. Fotografiert sind jeweils die 0.017% des Lichts, welches durch den Spiegel in der Mitte des Magneten scheinen. Der schwächere Lichtfleck in dem unteren Bild entsteht durch Mehrfachreflexionen in dem Spiegel in der Mitte des Magneten.

Der sehr erfolgreiche erste Schritt, in dem gezeigt wurde, dass der stabile Betrieb eines optischen Resonators in diesem Umfeld auch mit eingeschaltetem Magnetfeld

möglich ist, wurde Ende 2008 mit einer kurzen Daten-nahmeperiode abgeschlossen.

Als nächster Schritt zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit wurde Anfang 2009 erfolgreich eine zweite resonante Cavity um den Frequenzverdopplungskristall aufgebaut und zusammen mit dem optischen Resonator im Magneten stabil betrieben.

Damit wird eine Verbesserung der rot grün Konversion und eine Erhöhung der grünen Laserleistung um etwa einen Faktor 10 angestrebt. Ein weiter Schritt zur Leistungssteigerung wird zurzeit vorbereitet. Zur Vermeidung der Verluste an den Fenstern des laserseitigen Strahlrohres werden nun die Spiegel des Resonators in das Vakuumsystem gebracht. Hierdurch wird eine Erhöhung der Leistungsverstärkung um eine weitere Größenordnung erwartet.

Parallel dazu wurde der Aufbau auf der Detektorseite im Laufe des letzten Jahres wesentlich verbessert. Die optischen Komponenten wurden mechanisch stabiler aufgebaut und sind jetzt einfacher justierbar. Der Referenzstrahl wird in der Detektorbox auf die Kamera geführt und erlaubt eine pixelgenaue Kontrolle des Alignments (siehe Abbildung 81). Im letzten Jahr wurde eine neue Kamera, eine PIXIS 1024-BL angeschafft. Diese hat eine hohe Quanteneffizienz und ein niedriges Ausleserauschen. Sie wird bei  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  betrieben und hat dann einen sehr geringen Dunkelstrom. Damit wird die Leistungsfähigkeit des ALPS Experimente um eine weitere Größenordnung verbessert. Damit hat das ALPS Experiment das Potential, im ersten Halbjahr 2009 die weltweit empfindlichsten Messungen durchzuführen.