

Abbildung 86: Das ALPS-Experiment sucht mit dem Licht-durch-die-Wand-Prinzip (oben) nach sehr leichten Teilchen jenseits des Standardmodells, die sehr schwach an Photonen koppeln. Das starke Magnetfeld des ALPS-Experiments wird durch einen supraleitenden HERA-Dipol geliefert (unten). Der Aufbau befindet sich in Halle 55 bei DESY in Hamburg, in der alle supraleitenden HERA-Magnete getestet wurden.

ALPS-Experiment

Beteiligte Institute: DESY Hamburg, Hamburger Sternwarte, Laser Zentrum Hannover

Sprecher: A. Lindner, DESY

Das ALPS-Experiment wurde im Januar 2007 vom DESY Direktorium genehmigt. Es hat das Ziel, nach sehr leichten Teilchen jenseits des Standardmodells, die sehr schwach an Photonen koppeln, zu suchen. Ein erster Probelauf im September 2007 verlief vielversprechend. Es bestehen sehr gute Aussichten, im Jahr 2008 in einen bisher unerforschten Massen- und Kopplungsbereich dieser hypothetischen neuen Teilchen vorzustoßen.

Es ist eine sehr spannende Frage, ob es neben den bekannten Teilchen des Standardmodells noch weitere sehr leichte, aber sehr schwach an die gewöhnliche Materie gekoppelte Teilchen gibt. In der Tat legen Erweiterungen des Standardmodells, die – wie etwa die Stringtheorie – auf eine Vereinheitlichung der bekannten Elementarkräfte hinzielen, deren Existenz sogar nahe. So könnte es durchaus leichte Spin-0 Teilchen, sogenannte *Axionen*, leichte Spin-1 Teilchen, sogenannte *Hidden-Sector Photonen*, und leichte minigeladene Spin-1/2 Teilchen, sogenannte *Hidden-Sector Fermionen* geben. Allerdings sind die Vorhersagen der Teilchenmassen und Kopplungen im Rahmen dieser vereinheitlichten Modelle noch mit großen Unsicherheiten behaftet, so dass jeder experimentelle Hinweis oder jede experimentelle Einschränkung sehr willkommen sind. Hochenergie-Experimente an Beschleunigern sind für die Suche nach solchen Teilchen aber nicht gut geeignet. Stattdessen liegt es nahe, zu deren Nachweis hochpräzise Niederenergie-Experimente, die hohe Flüsse von Photonen und/oder starke elektromagnetische Felder involvieren, durchzuführen.

Das *Axion-Like Particle Search* Experiment ALPS benutzt einen leistungsstarken Laserstrahl, der entlang des starken Magnetfelds eines Dipolmagneten geschickt und in dessen Mitte durch eine Wand gestoppt wird (siehe Abbildung 86). Der indirekte Nachweis der Produktion eines leichten, sub-eV Teilchens, das sehr schwach mit Photonen wechselwirkt, geschieht nach dem *Licht-durch-die-Wand*-Prinzip: Die vor der Wand durch z. B. Kopplung an das Magnetfeld möglicherweise entstandenen neuen Teilchen fliegen aufgrund ihrer sehr schwachen Wechselwirkung mit Materie völlig unbeeinflusst durch das Hindernis. Ein Bruchteil von ihnen kann sich hinter dem Hindernis wieder in Photonen zurück umwandeln, welche als Lichtteilchen, die aus Richtung der Wand kommen, wahrgenommen und detektiert werden können.

Ein Beschleunigerlabor wie DESY bietet sich als Standort eines solchen Experimentes einzigartig an³. So wird beim ALPS-Experiment ein supraleitender HERA-Dipolmagnet eingesetzt, der ursprünglich als Ersatzmagnet für HERA vorgesehen war (siehe Abbildung 86). Als Kollaborationspartner konnten für den Laseraufbau das Laser Zentrum Hannover und für den Detektor die Hamburger Sternwarte gewonnen werden. Im ersten Quartal 2008 hat sich darüber hinaus auch das Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik der Kollaboration angeschlossen. Auf Basis eines Letter-of-Intent [DESY 07-014] wurde das ALPS-Experiment im Januar 2007 vom DESY Direktorium genehmigt.

³Auch an anderen Beschleunigerstandorten, wie CERN, Fermilab und Jefferson Lab, gibt es ähnliche Experimente.



Abbildung 87: Die CCD Kamera SBIG ST-402, die beim ALPS-Experiment zum Nachweis der regenerierten Photonen verwendet wird.

Im September 2007 konnte das ALPS-Experiment einen ersten Probedurchlauf durchführen, bei dem wichtige Aspekte des Aufbaus und einiger Teilkomponenten getestet wurden. Dabei kam ein bei DESY verfügbarer grüner (532 nm) 3.5 W Laser zum Einsatz. Die Vakuumröhre innerhalb des Magneten, durch die der Laserstrahl geschickt wurde, bestand aus zwei Teilen: die laserseitige Röhre endete in der Magnetmitte mit einem Vakuumfenster, wohingegen die detektorseitige Röhre an dieser Stelle mit einem Metallpfropfen (die Wand, durch die Licht scheinen soll) versehen war. Wegen der vergleichsweise geringen Leistung des verwendeten Lasers konnte auf eine Totalreflexion des Laserlichts in der Mitte des Magneten verzichtet werden. Zur Photodetektion wurde die aus der Amateur-astronomie bekannte CCD Kamera SBIG ST-402 (siehe Abbildung 87) benutzt. Es wurde verifiziert, dass der Laserspot im Wesentlichen auf ein Pixel ($9\mu\text{m} \times 9\mu\text{m}$) der Kamera fokussiert werden kann.

Die Datennahme verlief nach folgendem Schema:

1. Das detektorseitige Strahlrohr wird entfernt, um ohne Hindernis die Lage des (abgeschwächten) Laserstrahls auf der CCD Kamera zu messen, um eine $3\text{Pixel} \times 3\text{Pixel}$ Region für die Signalsuche zu definieren.

2. Das detektorseitige Strahlrohr mit der *Wand* wird eingeführt, um nach neuen Teilchen zu suchen.
3. Das detektorseitige Strahlrohr wird wieder entfernt, um die Stabilität der Strahlage zu kontrollieren.

Der Magnet lief sehr verlässlich. Die Kamera und der damit einhergehende Aufbau stellten sich als robust heraus: die Lage des Spots auf der CCD veränderte sich trotz der Umbauten während des Experiments um weniger als ein Pixel.

Die Datenanalyse erfolgte dann wie folgt:

1. Elimination von Aufnahmen, welche Anzeichen von kosmischen Strahlen in der Signalregion zeigen
2. Korrektur der Drift der CCD
3. Vergleich der Einträge in der Signalregion (Summe der $3\text{Pixel} \times 3\text{Pixel}$) mit denjenigen von Dunkelenaufnahmen

In diesem Probelauf wurde kein signifikanter Überschuss von regenerierten Photonen gefunden, was aber in Anbetracht der Ergebnisse von anderen Experimenten auch nicht zu erwarten war. Eine Photonzählrate von mehr als 80 mHz konnte ausgeschlossen werden.

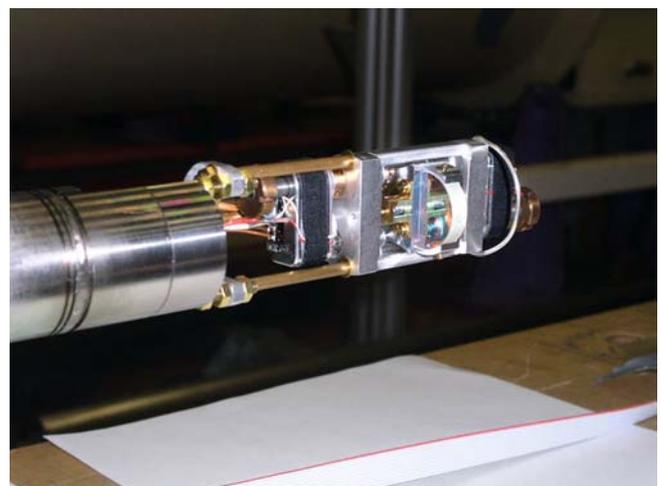


Abbildung 88: Motorgesteuerter Spiegel am Ende der laserseitigen Vakuumröhre des ALPS-Experiments.

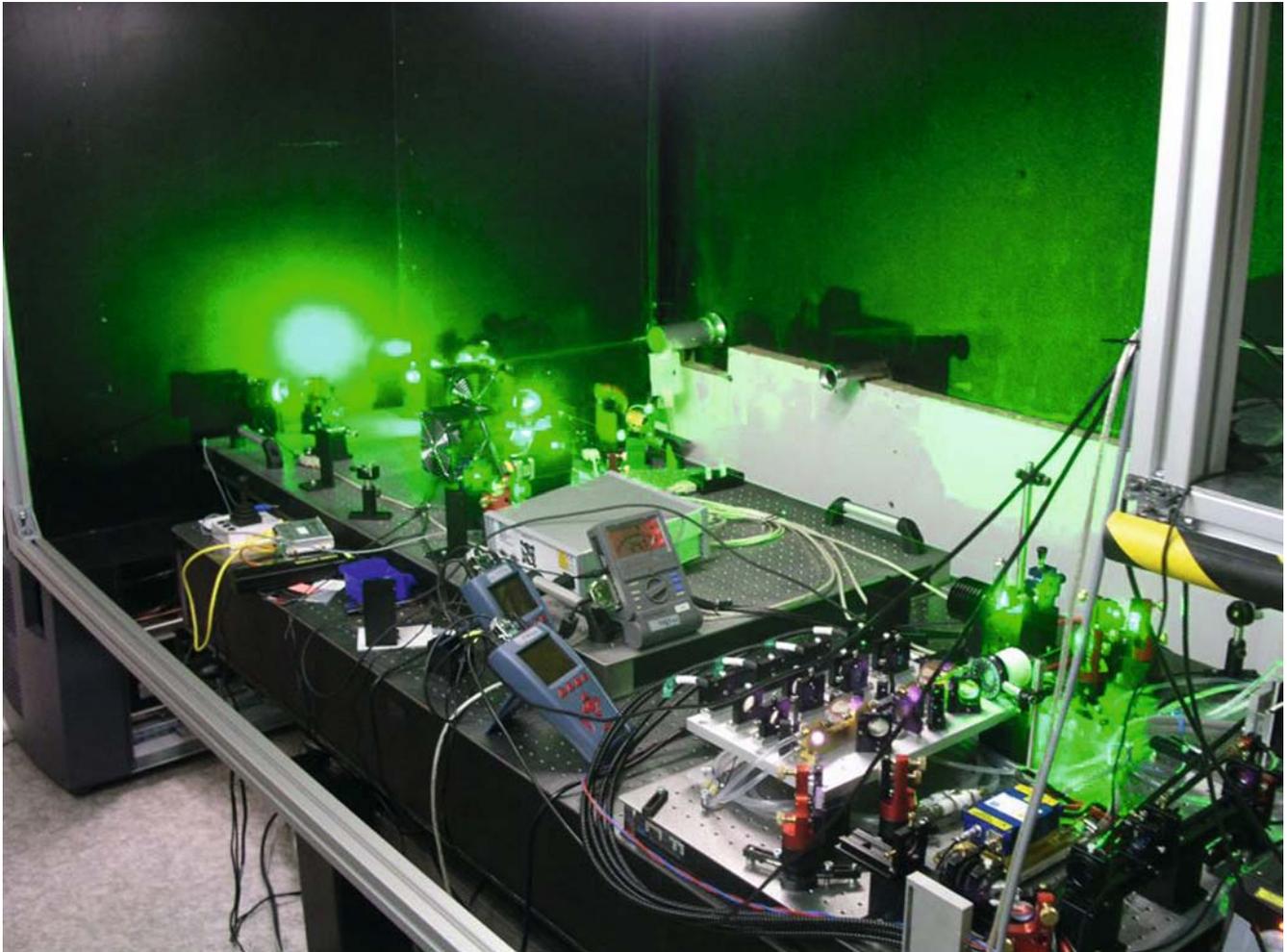


Abbildung 89: Der Laseraufbau des ALPS-Experiments (Stand Ende 2007).

Die entsprechende Obergrenze an die Regenerationswahrscheinlichkeit liegt bei etwa 10^{-20} . Daraus lassen sich Obergrenzen für die Kopplungen neuer Teilchen an Photonen ableiten. Um bisher nicht experimentell zugängliche Parameterbereiche untersuchen zu können, wird eine Empfindlichkeit für eine Regenerationswahrscheinlichkeit von 10^{-24} angestrebt.

Ein erster Schritt in diese Richtung wurde gegen Ende 2007 unternommen. Ein neues, leistungsstärkeres Lasersystem wurde installiert (siehe Abbildung 89).

Es basiert auf einem 4 W infraroten (1064 nm) Laser, an den ein vierstufiger Verstärker, wie er auch beim Gravitationswellen-Experiment LIGO eingesetzt wird, anschließt, welcher die Leistung auf 45 W erhöht. Anschließend wird durch einen Kristall die Frequenz verdoppelt. Für das ALPS-Experiment stehen dann 14 W grünes (532 nm) Laserlicht zur Verfügung. Als Lichtstopper wurde ein motorgesteuerter Spiegel, der am Ende der laserseitigen Vakuumröhre angebracht wurde, eingesetzt (siehe Abbildung 88). Erste Messungen mit diesem System werden Anfang 2008 stattfinden.