

## Abstract:

The ZEUS detector at HERA has to provide highly reliable and precise measurements of  $ep$  final states for a period of more than fifteen years. One of the main components of the ZEUS detector is the high resolution sampling calorimeter. It consists of alternating layers of depleted uranium and plastic scintillator tiles which are read out by wavelength shifting light guides and photomultipliers. The ZEUS experiment requires a precise measurement of particle energies from  $ep$  scattering and a calibration at the level of 1%. As a consequence the required stability over several years, especially concerning the ageing and the radiation resistance of scintillators, wavelength shifters and light guides is therefore of fundamental importance.

This thesis describes theoretical and experimental aspects of calorimetry, especially with respect to the calibration, uniformity and radiation resistance of the plastic scintillators and wavelength shifters. Several methods and techniques for measuring the reliability of the optical components have been developed and applied to the demands of ZEUS. The most important experimental basis in this thesis is the  $^{60}\text{Co}$  monitor system. It is an off-line system based on scans of a moving  $^{60}\text{Co}$  source on the investigated calorimeter section. An analytical approach has been developed for the description of light propagation through radiation damaged optical materials such as scintillators and wavelength shifters. Testbeam measurements at DESY in connection with  $^{60}\text{Co}$  measurements have been performed using an irradiated ZEUS electromagnetic test calorimeter. These measurements investigated both the influence of irradiation of the optical components on calorimetry and the sensitivity of the  $^{60}\text{Co}$  monitor system. As a matter of fact for the ZEUS uranium calorimeter there is no worsening expected due to the accumulated dose of some Gy, which has been confirmed by annual controls with the  $^{60}\text{Co}$  monitor system. Although small ageing effects of the scintillators are found, indeed the consequences on the energy calibration can be neglected. But the scintillators of a small calorimeter component close to the HERA beams, the beam pipe calorimeter, have been radiation damaged. The correlation between optical damage and performance has been studied and the effects on linearity are determined. A water damage of a certain cooling system influenced some optical components of the ZEUS calorimeter.  $^{60}\text{Co}$  scans were performed with the aim to study the influence of the water damage on the longitudinal uniformity of the calorimeter response. Strong recovery effects were observed. The measured non-uniformities were used to estimate the influence on the energy calibration.

## Zusammenfassung:

Das ZEUS Experiment besteht aus einem komplexen Teilchen-Detektor, der zur Messung von Teilchenkollisionen am weltweit ersten *ep* Beschleuniger HERA in Hamburg eingesetzt wird. Eine der Hauptkomponenten des ZEUS-Detektors ist das hochauflösende Stichprobenkalorimeter, das aus abwechselnden Lagen von Uran- und Szintillator-Platten besteht und von Wellenlängenschiebern und Photoröhren ausgelesen wird. Das ZEUS Kalorimeter erfordert eine möglichst genaue Energiemessung und benötigt hierbei eine optimale Linearität und Uniformität. Die Stabilität, insbesondere die Strahlenresistenz der Szintillatoren und Wellenlängenschieber ist deshalb von fundamentaler Bedeutung, auch bezüglich der Detektor-Laufzeit von mehr als fünfzehn Jahren.

Diese Dissertation beschreibt theoretische und experimentelle Grundlagen der Kalorimetrie in Hinblick auf Strahlenschäden von Plastik-Szintillatoren und Wellenlängenschiebern. Ein Algorithmus wurde entwickelt zur Beschreibung der Lichtausbreitung in quaderförmigen Lichtleitern mit inhomogenen Strahlenschaden, der die Übertragung der physikalischen Kenntnisse aus Messungen an kleinen bestrahlten Proben auf realistische Dimensionen optischer Komponenten eines Kalorimeters erlaubt. Ausgehend von den Ansprüchen von ZEUS in Hinblick auf Strahlenresistenz und Uniformität der optischen Komponenten wurden Methoden und Techniken zur Qualitätskontrolle entwickelt und auf das Kalorimeter angewendet, insbesondere auf der Grundlage eines mobilen  $^{60}\text{Co}$ -Präparates. Teststrahlungsmessungen am DESY in Verbindung mit Messungen mit dem  $^{60}\text{Co}$ -Kontroll-System wurden an einem strahlengeschädigten Testkalorimeter durchgeführt. Diese dienten der Untersuchung des Einflusses der strahlengeschädigten optischen Komponenten auf die Kalorimetrie und ihrer Nachweismöglichkeiten durch das  $^{60}\text{Co}$ -Kontroll-System. Für das ZEUS Uran-Kalorimeter ist bei den bisher akkumulierten Strahldosen kein signifikanter Strahlenschaden zu erwarten. Dies hat sich bestätigt bei jährlichen Untersuchungen durch das  $^{60}\text{Co}$ -Kontroll-System. Hierbei sind Alterungseffekte der Szintillatoren gemessen worden, allerdings können die Konsequenzen auf die Kalibration vernachlässigt werden. Dagegen wurden die optischen Komponenten einer kleinen Kalorimeter-Komponente nahe am HERA-Strahlrohr strahlengeschädigt. Die Korrelation zwischen optischen Schaden und der Kalorimeterantwort dieser Komponente wurde studiert und die Effekte auf die Linearität wurden abgeschätzt. Ein Wasserschaden eines Kühlungssystems beeinträchtigte einige optische Komponenten des ZEUS-Kalorimeters.  $^{60}\text{Co}$  Untersuchungen wurden durchgeführt mit dem Ziel, den Einfluß des Wasserschadens auf die longitudinale Uniformität der Kalorimeterantwort zu bestimmen. Große Ausheilungseffekte wurden beobachtet. Die gemessenen Inhomogenitäten wurden benutzt, um den Einfluß des Wasserschadens auf die Energie von Elektronen zu ermitteln.