5. Strahlprofilmessungen

Mit Hilfe des Pikoamperemeters kann eine Strahlprofilmessung durchgeführt werden, indem man den aus einem Fädchen autretenden Elektronenstrom mißt, während dieses durch den Strahl bewegt wird.
Nachdem dieses Prinzip mit kommerzieller Elektronik bei ersten Versuchen zur Targetpräparation am Bonner Zyklotron bei langsamen Verfahrfrequenzen verifiziert worden war, wurde auch mit dem oben beschriebenen Pikoamperemeter ein dementsprechender Test durchgeführt. Hier war eine Normierung erforderlich, da der externe Strahlstrom starken zeitlichen Schwankungen unterworfen war, die z.T. auf Instabilitäten in den Regeleinrichtungen des Zyklotrons beruhen. Normiert man die Meßwerte auf den momentanen Strahlstrom und trägt sie gegen die aktuelle Position des Fadens auf, so erhält man direkt ein Strahlprofil senkrecht zur Bewegungsrichtung des Targets. Als Normierungssignal dient hier der mit einem Faraday-Cup aufgenommene Strom, der mit einem handelsüblichen Verstärker (Elcor A210C) auf einen Spannungsbereich von 0-10 V umgesetzt wurde. Da dieser Verstärker allerdings nur eine Bandbreite von einigen Hz besitzt, war diese Meßreihe ebenfalls auf langsame Aufnahmen beschränkt.
Den Meßaufbau zeigt Abb. 5.1. Da hier ein extrahierter Strahl verwendet wurde, konnte zur Vereinfachung des Meßaufbaus statt der Bewegung des Targets eine Ablenkung des Strahls mit Hilfe eines Steuer-Magneten („Steerer“ SY1C, vgl. Abb. 6.1) angewandt werden. Dabei wurde das Feld der Ablenkmagnete über den externen Stromsteuereingang ihrer Netzteile mit einem Funktionsgenerator variiert.

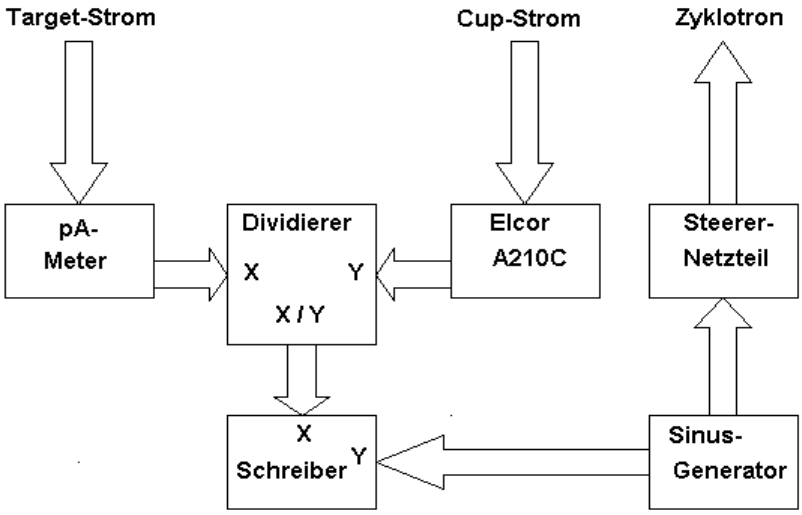

Abb. 5.1 : Schematischer Meßaufbau für Strahlprofilmessungen am Bonner Zyklotron

Für die erwähnte Normierung wurde ein Analog-Dividierer auf der Basis eines 2-Quadranten-Multiplizierers aufgebaut (siehe Anhang B). Die externe Beschaltung ist so konzipiert, daß Signale am Zähler- bzw. Nennereingang bis zu einigen hundert Hertz verzerrungsfrei verarbeitet werden. Der Ausgang des Pikoamperemeters bildete das Zähler

signal, das verstärkte Cupstrom-Signal das Nennersignal. Der Ausgang des Dividierers gelangte auf den Y-Eingang eines XY-Schreibers. Die Steuerspannung für den Ablenkmagneten wurde zusätzlich auf den X-Eingang des Schreibers gegeben.
Für die Testmessungen am Bonner Zyklotron standen lediglich 10 nA Strahlstrom bei einer Protonenenergie von 14.5 MeV bzw. 4 nA bei einer α-Energie von 54 MeV zur Verfügung. Vier derart bestimmte Strahlprofile sind in Abb. 5.2 dargestellt.

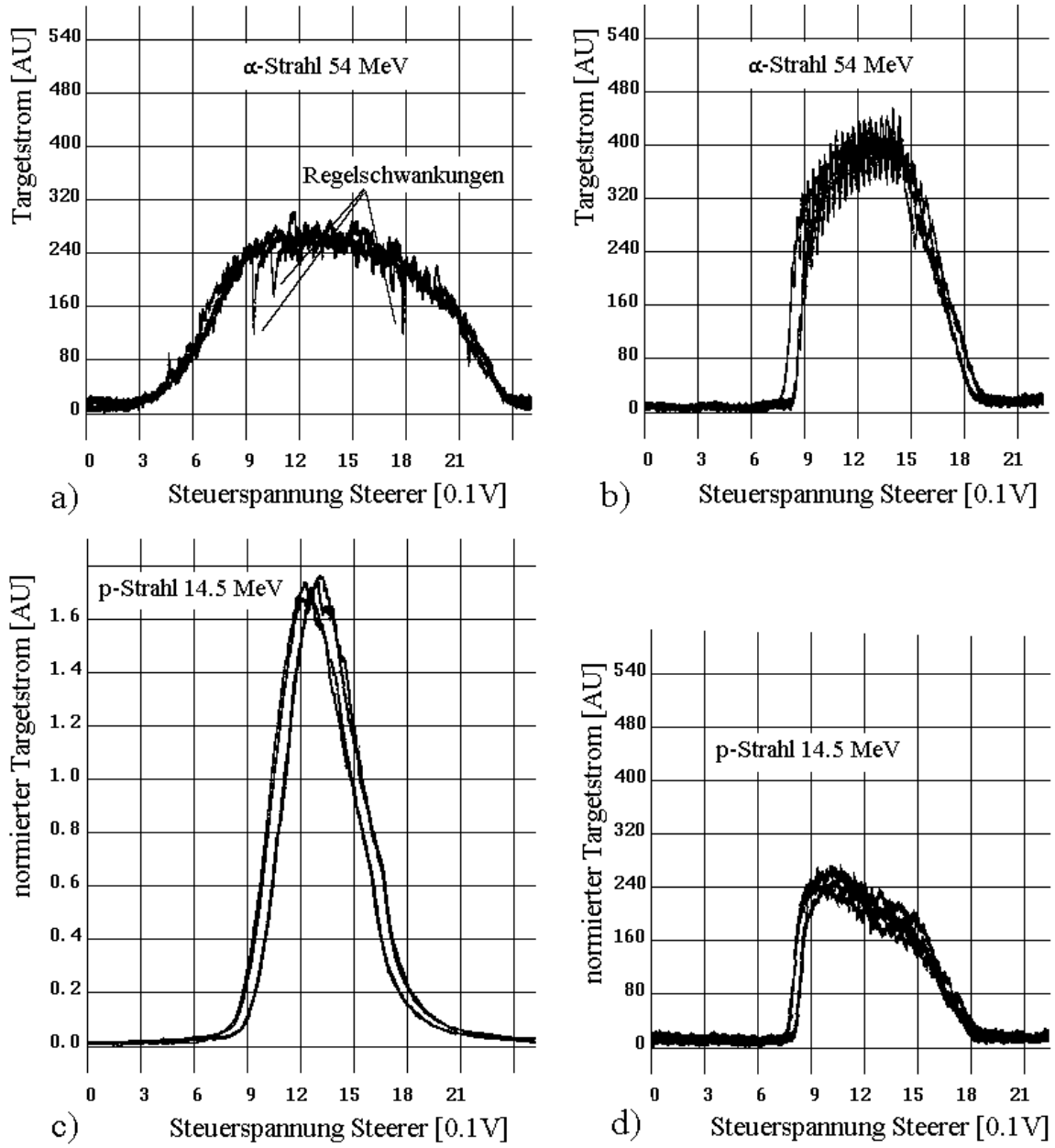

Abb. 5.2 : Strahlprofilaufnahmen am Bonner Zyklotron
oben : α-Strahl auf Polypropylen-Folie
unten : Protonenstrahl auf Polypropylen-Folie

In den Bildern a) und b) sind Messungen ohne Normierung aufgetragen. Ein Zyklus

(Steuerspannung auf der X-Achse von Null auf 2.1 V und wieder zurück) wurde dabei in ca. 5 s durchfahren. Die mit Pfeilen angedeuteten Stellen in a) können als kurzzeitige Schwankungen im Strahlstrom interpretiert werden, da sie bei wiederholten Messungen nicht reproduziert werden konnten. Die im Bild b) sichtbare Schwingung ist auf eine Instabilität in der Strahlstromregelung des Zyklotrons zurückzuführen. Beide Effekte sind insofern interessant, als sie erste praktische Hinweise auf die Bandbreite des Pikoamperemeters lieferten. Um den schnellsten in Abb. 5.2 dargestellten Änderungen zu folgen, muß die Bandbreite des Amperemeters mindestens doppelt so hoch sein (vgl. Kap. 4.4). Als Frequenz der Schwingung wurden ca. 25 Hz ermittelt, für die Erfassung der Einbrüche waren mindestens 100 Hz Abtastrate erforderlich. Die Bilder c) und d) zeigen normierte Profile. Das zum Teil erhebliche Rauschen ist bedingt durch eine ungünstige Meßbereichswahl des Pikoamperemeters bzw. des Cupstromverstärkers. Dessen Signal war lediglich zu ca. 10% ausgesteuert, was sich bei der Analogdivision ungünstig bemerkbar macht.
Deutlich erkennbar ist der Einfluß der Hysterese des Steerermagneten auf das Ergebnis, da alle Bilder (außer b)) durch eine Überlagerung von mehreren Meßzyklen gewonnen wurden. Bild c) dokumentiert die gute Reproduzierbarkeit der Werte.
Bei diesen Aufnahmen sind statt der absoluten Strecke auf der X-Achse Steuerspannungen für die Verfahrbewegung aufgetragen, da hier weniger das Interesse bestand, absolute Halbwertsbreiten für das Strahlprofil des Zyklotrons anzugeben, als Aussagen über das Zeitverhalten des Pikoamperemeters zu gewinnen. Aus dem gleichen Grund wurde auch auf eine Kalibrierung der Stromdaten verzichtet.

Von unmittelbarem Nutzen waren derartige Messungen an COSY, da dort derzeit keine Profilmessung realisiert ist. Für das EDDA-Experiment ist nach Gl. (2.1.4) der Überlapp des Strahls mit dem Target von Interesse. Strahlprofile in Y-Richtung wurden vermessen, indem das Target bei konstanter Protonenenergie durch den Strahl gefahren wurde. Eine Normierung mittels des Strahlstroms wie am Zyklotron wurde hier nicht durchgeführt. Eine sich so ergebende Meßkurve ist in Abb. 5.3 dargestellt.
Um sicherzustellen, daß durch die Profilmessung der Strahl nicht zu sehr gestört wird, muß die Messung schnell gegen die Abfallzeitkonstante des Strahls durchgeführt werden. Deshalb wurde das Target möglichst schnell mit konstanter Geschwindigkeit durch den Strahl nach oben gefahren (Geschwindigkeit ca. 300 mm/s). Zusätzlich wurde die Messung beim Zurückfahren des Targets nochmals aufgenommen. Die obere Kurve zeigt eine der Targetposition proportionale Spannung. Nach einem Einschwingen blieb das Target für 500 ms oberhalb des Strahls, ehe es wieder nach unten gefahren wurde. Die mittlere Kurve ist das Stromsignal des Pikoamperemeters. Die Signalamplituden liegen erwartungsgemäß im Bereich von 1-10 nA. Zusätzlich ist in der unteren Kurve das Signal des Beam Current Transformers dargestellt (Strahlstrom, vgl. Kap. 2.2).Trotz des verrauschten Signals kann beim Durchfahren des Targets durch den Strahl die Abnahme des mittleren Strahlstroms festgestellt werden.

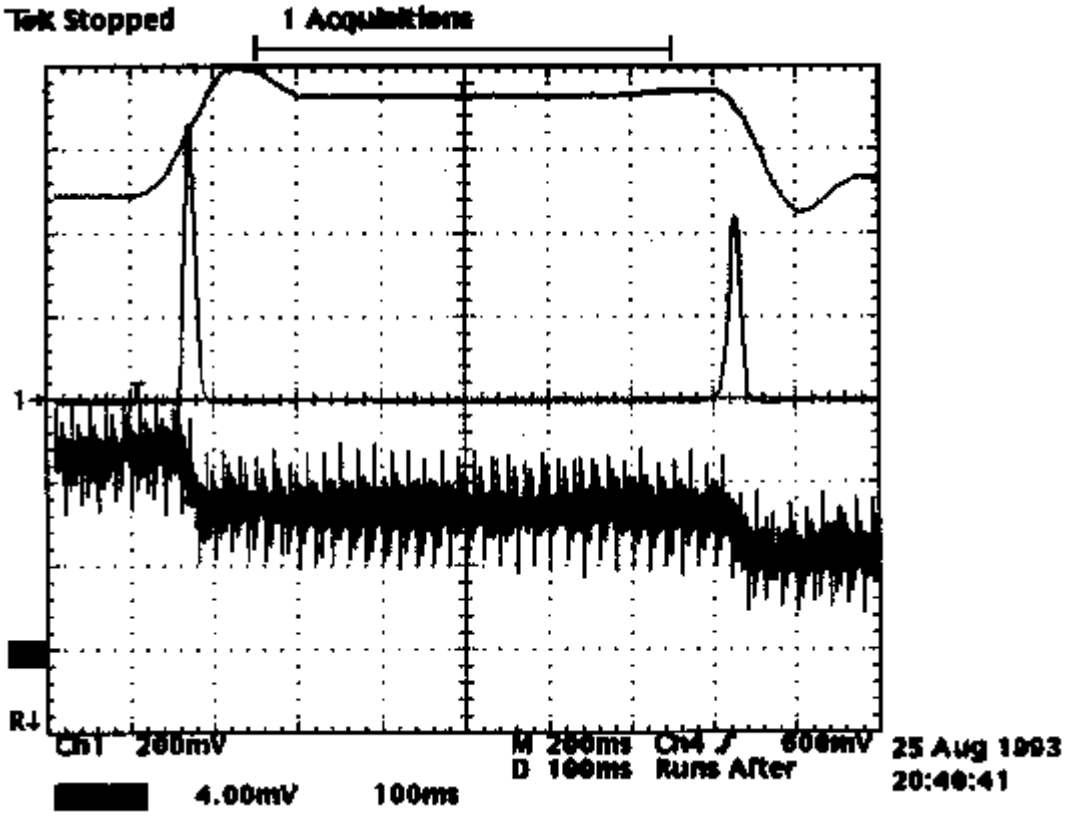

Abb. 5.3 : Strahlprofilmessung an COSY mit Hilfe des EDDA-Targets
oben : Targetposition
mitte : Strom der aus dem Target austretenden Elektronen
unten : Strahlstrom (BCT, 150 μA ≅ 10^8 Protonen)

Die Messungen lieferten Strahlprofilwerte für σ_y von 1.4 mm oder mehr. Dies steht nicht im Einklang mit der für TP2 projektierten Standardabweichung von 5.8 mm. Wegen des erheblich dichteren Strahls in der Vertikalen entsteht das Problem, daß die Luminosität entsprechend Gl. (2.1.7) größer und die Zählrate im Detektor (und damit auch die Totzeit der Datenaufnahme) höher ist.