

KFK-168

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

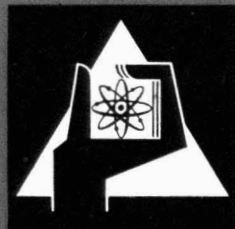
August 1963

KFK 168

Institut für Experimentelle Kernphysik

Kinematik der e-p-Streuung mit der Erzeugung eines Pions im  
Bereich von 3 bis 6 GeV Elektronenenergie

*Galster* *Hartwig*  
S. Galster und G. Hartwig



KERNREAKTOR

BAU- UND BETRIEBS-GESELLSCHAFT M. B. H.

KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

August 1963

KFK 168

Institut für  
Experimentelle Kernphysik

Kinematik der e-p-Streuung mit der Erzeugung eines  
Pions im Bereich von 3 bis 6 GeV Elektronenenergie

S. Galster und G. Hartwig

Kernreaktor Bau- und Betriebs-Gesellschaft mbH  
Karlsruhe

**KERNREAKTOR**  
Bau- und Betri. Gs-Gesellschaft m. b. H.  
Verwaltung der Zentralbücherei

ES. 1 1963

## Inhaltsübersicht

- I Einleitung
- II Kinematik  
Prozess  $\alpha$ ):  $e^- + p^+ \rightarrow e^- + p'^+ + \pi^0$   
Prozess  $\beta$ ):  $e^- + p^+ \rightarrow e^- + \pi^+ + n$
- III Diskussion der Kurven für Prozess  $\alpha$ )
- 1) Richtungs- und Impulsanalyse der gestreuten Elektronen
  - 2) Richtungsanalyse der gestreuten Elektronen und Protonen.
  - 3) Richtungsanalyse der gestreuten Elektronen und Protonen mit zusätzlicher Impulsanalyse der Protonen.
  - 4) Richtungs- und Impulsanalyse der Rückstoßprotonen
- IV Diskussion der Kurven für Prozess  $\beta$ )  
Richtung und Impuls der erzeugten  $\pi^+$ -Mesonen.
- V Anhang: Richtungsanalyse von Elektronen und Protonen bei einem e-p-Streuexperiment mit Hilfe einer Funkenkammer.

**KERNREAKTOR**  
Bau- und Betriebs-Gesellschaft m. b. H.  
Verwaltung der Zentralbibliothek

Verwendete Bezeichnungen:

$E_o$  : Primärenergie der einfallenden Elektronen in GeV

$P_o$  : Primärimpuls in GeV/c ( $c \equiv 1$ )

$E$  : Gesamtenergie im LS  $E = E_o + M_p + M_e$  [GeV]

$M_e$  : Elektronenruhemasse

$M_p$  : Protonenruhemasse

$M_\pi$  : Pionenruhemasse

$\bar{\beta}$  : Geschwindigkeit des CMS  $\bar{\beta} = P_o/E$

$\bar{\gamma}$  : Lorentzfaktor des CMS  $\bar{\gamma} = E(M_e^2 + M_p^2 + 2M_p E_o)^{-1/2}$

$\Theta$  : Streuwinkel des Elektrons zur Einfallsrichtung )

$\Psi$  : Streuwinkel des Protons zur Einfallsrichtung } im LS

$\xi$  : Streuwinkel des Pions zur Einfallsrichtung )

$P_p$  : Protonenimpuls  
 $P_e$  : Elektronenimpuls  
 $p_\pi$  : Pionenimpuls } im LS

Im CMS sind diese Größen mit +) versehen.

## I Einleitung

Die Arbeit soll erstens die Kinematik der inelastischen Prozesse beschreiben und zweitens einen Überblick über die Trennungsmöglichkeiten von elastischen und inelastischen Streuprozessen geben.

In den folgenden Rechnungen wird die Kinematik von elastischer und inelastischer e-p-Streuung verglichen, bei der ein Pion erzeugt wird. Dabei wird nur die Streuung am Wasserstoff betrachtet und nicht an komplexeren Kernen, bei denen man die Eigenbewegung der Nukleonen berücksichtigen muß.

Die inelastischen Prozesse kann man mit Hilfe einer Impulsanalyse der Elektronen vollständig abtrennen<sup>1)</sup> bis 6).

Dagegen zeigt die nähere Rechnung, daß eine Impulsanalyse der Rückstoßprotonen nicht zur quantitativen Abtrennung der inelastischen Streuung genügt.

Ebenso kann man auch mit einer genauen Richtungsbestimmung von gestreuten Elektronen und Protonen inelastische Streuanteile nicht vollständig ausschließen.

Die Folgerungen der Rechnung werden auf Nachweismethoden, insbesondere Funkenkammern angewendet.

- 
- 1) R.Hofstadter und de Vries, Phys.Rev.Lett.6, 261 (1961)
  - 2) R.W.Littauer, H.F.Schopper und R.R.Wilson  
Phys.Rev.Lett.7, 141 (1961)
  - 3) W.Kern und K.Steffen, DESY E 3,4,5 - Nr.6 (1962)
  - 4) W.R.Theis, Interner Bericht des Inst.f.Theoretische  
Physik, Hamburg
  - 5) H.Schopper, Kernforschungszentrum Karlsruhe,  
Bericht KFK 83 (1962)
  - 6) S.Galster und G.Hartwig, Kernforschungszentrum Karlsruhe  
Bericht KFK 113 und 127 (1962)

## II Kinematik

Zur Abtrennung der bei der e-p-Streuung auftretenden inelastischen Streuprozesse muß man die Richtung und den Betrag der Impulse der gestreuten Teilchen festlegen. Dazu wird die Kinematik folgender Prozesse verglichen:

$$\begin{aligned}\alpha) \quad e^- + p^+ &\rightarrow e^{-'} + p^{+'} + \pi^0 \\ \beta) \quad e^- + p^+ &\rightarrow e^{-'} + \pi^+ + n \\ \gamma) \quad e^- + p^+ &\rightarrow e^{-'} + p^{+'}\end{aligned}$$

Da in richtungsdefinierenden Nachweisgeräten (z.B. Zählermatrix, Funkenkammer etc.) jeweils nur geladene Teilchen mit Sicherheit nachgewiesen werden, bedeutet das für obige Prozesse, daß nicht nur bei elastischer, sondern auch bei inelastischer Streuung jeweils nur 2 Teilchen ( $e^-p^+$  bzw.  $e^-\pi^+$ ) in Erscheinung treten. Daher muß die Kinematik von Prozess  $\alpha$ ) und  $\beta$ ) gegenüber der elastischen Streuung ( $\gamma$ ) betrachtet werden.

### zu Prozess $\alpha$ )

Bei verschiedenen Primärenergien  $E_0$  und festgehaltenen Elektronenstreuwinkeln  $\theta$  wurden in einem Rechenprogramm für verschiedene Pionen-Impulse (Richtung und Betrag) die Kinematik der inelastischen mit den elastischen Prozessen verglichen:

A) die relative Impulsänderung  $\frac{\Delta P_e}{P_e}$  des Elektrons:

$$\Delta P_e = P_{\text{(inelast)}} - P_e \text{(elast)}$$

B) die Winkeländerung  $\Delta \varphi$  des gestreuten Protons:

$$\Delta \varphi = \varphi_{\text{(inelast)}} - \varphi_{\text{(elast)}}$$

C) die dazugehörige relative Impulsänderung  $\frac{\Delta P_p}{P_p}$   
des Protons:

$$\Delta P_p = \tilde{P}_{\text{(inelast)}} - P_p \text{(elast)}$$

Das Koordinatensystem wurde so angenommen, daß die Richtung des einfallenden und gestreuten Elektrons in die x-y-Ebene fallen. Die x-Achse sei die Einfallrichtung der Elektronen, die z-Achse steht senkrecht zur x-y-Ebene.

Die Winkel  $\theta, \varphi$  und  $\xi$  liegen in der x-y-Ebene und die Winkel  $\varphi_z$  und  $\xi_z$  in der x-z-Ebene (siehe Figur 1a und 1b). Die Impulskomponenten der Teilchen ergeben sich aus dem Energie- und Impulssatz. Für die Impulskomponenten des Elektrons erhält man z.B.

$$P_{ex} = a P_{ey} \quad (1)$$

$$P_{ey} = \frac{E^2 - P_o^2 - M_p^2 + M_\pi^2 + 2EP_\pi + 2P_o P_{\pi x}}{2Eb - 2P_o a - 2bP_o + 2aP_{\pi x} + 2P_{\pi y}} ; \quad (c = 1)$$

mit  $b = 1/\sin \theta$ ;  $a = \operatorname{ctg} \theta$  und  $P_\pi = (P_{\pi x}^2 + P_{\pi y}^2 + P_{\pi z}^2)^{1/2}$

Im elastischen Fall ist  $P_\pi = m_\pi = 0$  zu setzen; im inelastischen Fall wird noch der Pionenimpuls  $P_\pi$  vorgegeben. Daraus erhält man mit und ohne Pionenerzeugung die Impulskomponenten des Protons, aus denen man die Protonenwinkel  $\varphi$  berechnen kann:

$$\operatorname{tg} \varphi = -\frac{P_{py}}{P_{px}} ; \quad \operatorname{tg} \varphi_z = -\frac{P_{pz}}{P_{px}} \quad (2)$$

Beim Prozess  $\beta$ ) ist die Rechnung vollkommen analog. Anstelle der inelastisch gestreuten Protonen wird die Richtung und der Impuls  $P_\pi$  von  $\pi^+$ -Mesonen bezüglich elastisch gestreuter Protonen berechnet.

Kennt man bei 2-Teilchenprozessen die Kinematik vor dem Stoß, dann ist die Kinematik nach einem elastischen Stoß eindeutig bestimmt mit einer kinematischen Größe, nämlich der Richtung oder dem Impuls eines der gestreuten Teilchen. Anders ist es bei inelastischen Prozessen, zu deren eindeutiger Bestimmung man mindestens 2 kinematische Größen nach dem Stoß messen muß. Man kann z.B. die Richtung und den Impuls der gestreuten Elektronen bestimmen.

Welche und wieviele der kinematischen Größen man zur eindeutigen Bestimmung von inelastischen Prozessen bestimmen muß, soll anhand von Kurven diskutiert werden.



### III Diskussion der Kurven für Prozess $\alpha$ )

#### 1) Richtungs- und Impulsanalyse der gestreuten Elektronen

In den Kurven der Figuren 2) bis 4)<sup>+)</sup>  ist für 6 GeV Primärenergie und verschiedene festgehaltene Elektronenstreuwinkel  $\theta$  die relative Impulsänderung  $\frac{\Delta P_e}{P_e}$  des Elektrons über dem Winkel  $\xi$  des erzeugten  $\pi^+$ -Mesons aufgetragen. Als Parameter dient der Betrag des Pionenimpulses  $P_\pi$ . Man sieht aus den Figuren, daß keine der Kurven die Abszisse schneidet und, daß die Kurvenschar ein Minimum von  $\Delta P_e/P_e$  oberhalb der Abszisse besitzt. Dieses Minimum kann man bei extrem relativistischen Elektronen einfach ausrechnen, indem man im CMS annimmt, daß nach der Streuung das Proton und das erzeugte Pion in gleicher Richtung fliegen. Man erhält dann nämlich den größten Elektronenimpuls, der bei Pionenerzeugung möglich ist. Die Rechnung liefert das Ergebnis, daß für alle Streuwinkel  $\theta$  des Elektrons die relative Impulsänderung

$$\frac{\Delta P_e}{P_e} \geq \frac{m_\pi}{E_0} \quad (3)$$

beträgt, wenn ein Pion erzeugt wird. Wie man auch aus den Kurven sieht, ändert sich zwar die Verteilung, nicht aber das Minimum der Kurven von  $\frac{\Delta P_e}{P_e}$  bei verschiedenen Elektronenstreuwinkeln  $\theta$ .

---

<sup>+)</sup> Hier, wie in allen anderen Kurven sind nur solche Streuprozesse berücksichtigt, bei denen alle Impulse in einer Ebene liegen. Prozesse, die nicht in einer Ebene stattfinden, sind inelastisch und können mit richtungsdefinierenden Nachweisgeräten, wie Funkenkammer etc. abgetrennt werden. (Zu beachten ist nur eine geringe Impulsabweichung aus der Ebene entsprechend dem endlichen Winkelauflösungsvermögen des Nachweisgerätes. Die hier nicht eingezeichneten Kurven mit einer Richtungsabweichung des Protons  $\Delta \varphi_z = 10$  mrad haben einen völlig ähnlichen Verlauf.)

Mit einer Impulsanalyse der in eine : . Richtung  $\theta$  gestreuten Elektronen kann man also inelastische Prozesse vollständig abtrennen.

## 2) Richtungsanalyse der gestreuten Elektronen und Protonen

-----

Anders ist es, wenn man statt dem Elektronenimpuls die Richtung der Rückstoßprotonen nachweist. Die Kurven der Figuren 5) bis 10) zeigen die Winkel-Impulszuordnung von inelastisch gestreuten Protonen bezüglich der elastischen Prozesse. Es ist für verschiedene Primärenergien  $E_0$  und festgehaltene Elektronenstreuwinkel  $\theta$  die Winkeländerung  $\Delta\varphi$  über der relativen Impulsänderung  $(\Delta P_p/P_p)_{\Delta\varphi}$  des Protons aufgetragen.

Als Parameter dient der Betrag  $P_\pi$  und die Richtung  $\mathcal{E}$  des Pionenimpulses.

Aus diesen Kurven sieht man, daß es immer Pionenimpulse gibt, die keine Richtungsänderung der Rückstoßprotonen bewirken.

Weist man also nur die Richtung der Rückstoßprotonen und der Elektronen nach, dann lassen sich die inelastischen Prozesse nicht vollständig abtrennen.

## 3) Richtungsanalyse von Elektronen und Protonen mit einer Impulsanalyse der Protonen

-----

Wie man aus den Figuren 5) bis 10) weiter sieht, läßt sich mit einer zusätzlichen Impulsanalyse des Protons zwar der Anteil von inelastischen Prozessen sehr einschränken, aber nicht völlig abtrennen, da immer einige der ellipsenförmigen Kurven den Nullpunkt schneiden, der dem entsprechenden elastischen Prozess entspricht.

#### 4) Richtungs- und Impulsanalyse des Rückstoßprotons

Verzichtet man auf den Richtungsnachweis des Elektrons und mißt nur das Proton, dann erhält man natürlich beträchtlich mehr inelastische Anteile auch von anderen Elektronen- Richtungen. Darüberhinaus erfaßt man mit einem Spektrometer einen gewissen Impuls- und Richtungsbereich, wobei man die Fokussierung des Spektrometers möglichst so einrichtet, daß jeder Richtung der kinematisch richtige Impuls zugeordnet wird (Schrägfenster-spektrometer). In den Kurven 5) bis 10) sind die Kurven K

der Impuls-Winkelzuordnung der elastischen Streuung mit eingezeichnet. Innerhalb des vom Spektrometer erfaßten Impuls-Winkelbereichs entsprechen daher alle Schnittpunkte der elliptischen Kurven mit diesen Kurven K (und nicht nur mit dem Nullpunkt, wie unter 3) inelastischen Prozessen, deren Protonen nachgewiesen werden. Berücksichtigt man noch das endliche Impulsauf-lösungsvermögen  $\frac{\Delta P}{P}$  ( $\Delta p$ -Halbwertsbreite) des Spektrometers, dann erhält man alle die Schnittpunkte, die innerhalb eines Streifens liegen, dessen Begrenzung um  $\pm \frac{\Delta P}{2P}$  von der Kurve K verschoben ist. Dies gilt wiederum für verschiedene Elektronenwinkel, wobei in den elliptischen Kurven jeweils nur eine feste Elektronerrichtung betrachtet wurde.

#### IV Diskussion der Kurven für den Prozess $\beta$ )

Soweit aus experimentellen Gründen keine Unterscheidung von Protonen und  $\pi^+$ -Mesonen möglich ist, muß man auch die Kinematik des  $\pi^+$ -Mesons betrachten, das statt des Protons nachgewiesen wird. Es gelten vollkommen analoge Überlegungen und Rechnungen wie vorher.

Die Kurven 11) bis 14) zeigen die Impuls-Winkelzuordnung der  $\pi^+$ -Mesonen bezüglich der elastisch gestreu-

ten Protonen. Es ist für verschiedene Primärenergien und festgehaltene Elektronenstreuwinkel die Richtungsabweichung  $\Delta \mathcal{E} = \varphi_{(elast)} - \mathcal{E}_{\pi^+}$  über der relativen Impulsabweichung:

$$\frac{\Delta P_{\pi}}{P_p} = \frac{1}{P_p} (P_{\pi} - P_p) \text{ (elast)}$$

aufgetragen.

Als Parameter dient hier der Betrag  $P_N$  und die Richtung  $\varphi$  des Neutrons (siehe Figur 1B)).

Aus diesen Kurven sieht man, daß die  $\pi^+$ -Mesonen mit ähnlichen, teilweise gleichen Richtungen  $\mathcal{E}$  wie das Proton auftreten.

Daher ist wiederum eine vollständige Abtrennung durch eine Richtungsanalyse nicht möglich. Durch eine zusätzliche, hinreichend genaue Impulsanalyse ist eine Abtrennung möglich.

V Anhang: Richtungsanalyse von Elektronen und Protonen  
bei einem e-p-Streuexperiment mit Hilfe  
einer Funkenkammer

---

Bisher wurde nur über völlige Abtrennung von inelastischer Streuung gesprochen. Es soll jetzt ein Anhaltspunkt über die Häufigkeit von inelastischen Prozessen gesucht werden, die eine apparativ nicht unterscheidbare Änderung der Kinematik gegenüber den elastischen Prozessen bewirken. Über den Wirkungsquerschnitt der inelastischen Prozesse der Art  $\alpha$ ) und  $\beta$ ) ist wenig bekannt. Man darf jedoch annehmen, daß der Wirkungsquerschnitt für Elektropionerzeugung in der Nähe der

Pionenschwelle klein im Verhältnis zur elastischen e-p-Streuung ist (mehrere Pionenmassen oberhalb der Schwelle ist er etwa von der Größenordnung der elastischen Streuung). Es ist nun die Frage, ob die kritischen Impulsbereiche von Pionen (d.h. Pionenimpulse, die nur eine geringe Änderung der Kinematik bewirken) in der Nähe der Schwelle liegen. Dabei soll im Hinblick auf die Verwendung einer einfachen Funkenkammer die kritischen Impulse von Pionen untersucht werden, die nur eine geringe Richtungsänderung der gestreuten Teilchen gegenüber der elastischen Streuung bewirken.

zu Prozess  $\alpha$ )

In den Figuren 15) bis 20) ist für verschiedene Primärenergien  $E_0$  und festgehaltene<sup>+) Elektronenwinkel  $\theta$  der Pionenimpulsbereich (Betrag  $P_\pi$  gegen Richtung  $\xi$ ) von inelastischen Prozessen aufgetragen, bei denen Protonen innerhalb eines bestimmten Richtungsbereiches  $\varphi_{\text{elast}}^{\pm \Delta\varphi}$  gestreut werden<sup>++)</sup>.</sup>

<sup>+) Bei allen diesen Kurven wurde eine feste Richtung des Elektrons angenommen. In einer Funkenkammer wird aber, von Störeffekten abgesehen, das Elektron mit derselben Unschärfe  $\Delta\theta = \Delta\varphi$  nachgewiesen, wie das Proton. Dies vergrößert die Ungenauigkeit der Richtungsbestimmung. Man kann aber nachrechnen, daß sich bei den hier betrachteten Elektronenwinkeln eine Richtungsungenauigkeit  $\Delta\theta$  des Elektrons nur mit einem Bruchteil  $c$  auf die Protonenrichtung auswirkt. Man erhält also:</sup>

$$\Delta\varphi_{\text{ges}} = \Delta\varphi + c \cdot \Delta\theta$$

	$E_0 = 3 \text{ GeV}$	$E_0 = 6 \text{ GeV}$
$\theta = 45^\circ$	$c = 0.18$	$c = 0.13$
$\theta = 90^\circ$	$0.16$	$0.10$
$\theta = 135^\circ$	$0.13$	$0.08$

<sup>++)</sup>

Die Kurven brechen dort ab, wo die entsprechenden Streuprozesse kinematisch nicht mehr möglich sind.

(Schnitt durch die Kurven 2) bis 10) parallel zur Abszisse). Wählt man das Richtungsaufklärungsvermögen des Nachweisgerätes gleich  $\pm \Delta\varphi$ , dann zeigen die Figuren zwischen den jeweils gleich gestrichelten Kurven den möglichen Impulsbereich von  $\pi^0$ -Mesonen bei inelastischen Prozessen. Diese Bereiche werden umso schmaler, je besser das Winkelaufklärungsvermögen ist. Aus den Kurven sieht man weiter, daß bei inelastischen Prozessen gerade in der Nähe der Elektronen- und Protonenstreurichtung die größten Pionenimpulse möglich sind. Überträgt man diese Pionenimpulse mit Hilfe der Kurven 21) vom LS ins CMS, dann sieht man, daß selbst bei guter Winkelaufklärung  $\Delta\varphi$  die möglichen Pionenimpulse im CMS <sup>weit</sup> oberhalb der Pionenschwelle liegen (z.B. für  $E_0 = 6$  GeV,  $\theta = 45^\circ$  und  $\Delta\varphi = \pm 3$  mrad beträgt im CMS der größte Pionenimpuls  $P_\pi \approx 0,5$  GeV/c). Der Wirkungsquerschnitt für elastische und inelastische Prozesse wäre dann größenordnungsgemäß gleich<sup>+)</sup> , wenn nur die Richtung eines Teilchens festgehalten wird und über alle möglichen Richtungen der anderen beiden Teilchen integriert wird. Hier werden aber die Richtungen von 2 Teilchen auf einen möglichst kleinen Raumwinkel begrenzt, weshalb man annehmen kann, daß die inelastischen Prozesse mit viel geringerer Häufigkeit nachgewiesen werden, als elastische e-p-Streuung.

### Prozess B)

Dieselben Überlegungen gelten auch für Prozesse, bei denen  $\pi^+$ -Mesonen nachgewiesen werden. Dabei sind grö-

---

<sup>+)</sup>  6) W.K.H. Panofsky und E.A. Allton  
Phys. Rev. 110, 1155 (1958)

7) G.v. Gehlen, Phys. Rev. 118, 1455 (1959)

Bere Impulse möglich, als bei Prozessen mit  $\pi^0$ -Mesonen<sup>+) .</sup>  
(Bei  $E_0 = 6 \text{ GeV}$ ;  $\theta = 45^\circ$  und einem Winkelauflösungsvermögen  $\Delta\theta = \pm 8 \text{ mrad}$  beträgt der größte, mögliche  $\pi^0$ -Mesonenimpuls  $P_\pi \approx 0.8 \text{ GeV}/c$  (Figur 15), während er bei  $\pi^+$  Mesonen etwa 5 % unter dem Impuls  $P_p$  eines elastisch gestreuten Protons liegt, der  $4,8 \text{ GeV}/c$  beträgt (Figur 11).) Zusammenfassend kann man sagen, daß beim Richtungsnachweis von Elektronen und Protonen Prozesse möglich sind, deren Pionenimpulse nicht in der Nähe der Schwelle liegen. Durch eine genaue Richtungsanalyse von 2 Streuteilchen sollte es aber gelingen, die Häufigkeit von inelastischen Prozessen klein zu halten gegen die der elastischen Streuung. Überdies kann man die  $\pi^+$ -Mesonen von den Protonen durch eine Impulsanalyse (Funkenkammer im Magnetfeld) oder besser mit einer Reichweitenbestimmung (Funkenkammer mit Absorberplatten) abtrennen. Dabei ist die letztere Methode nur begrenzt anwendbar, da  $\pi^+$  Mesonen nur für Impulse  $P_\pi \lesssim 2 \text{ GeV}/c$  eine größere Reichweite besitzen.

---

<sup>+) Auch für inelastische Prozesse mit  $\pi^0$ -Mesonenerzeugung sind solche Prozesse kinematisch möglich, nur besitzen die nachzuweisenden Protonen dann so abweichende Richtungen, daß sie nicht mehr betrachtet wurden.</sup>

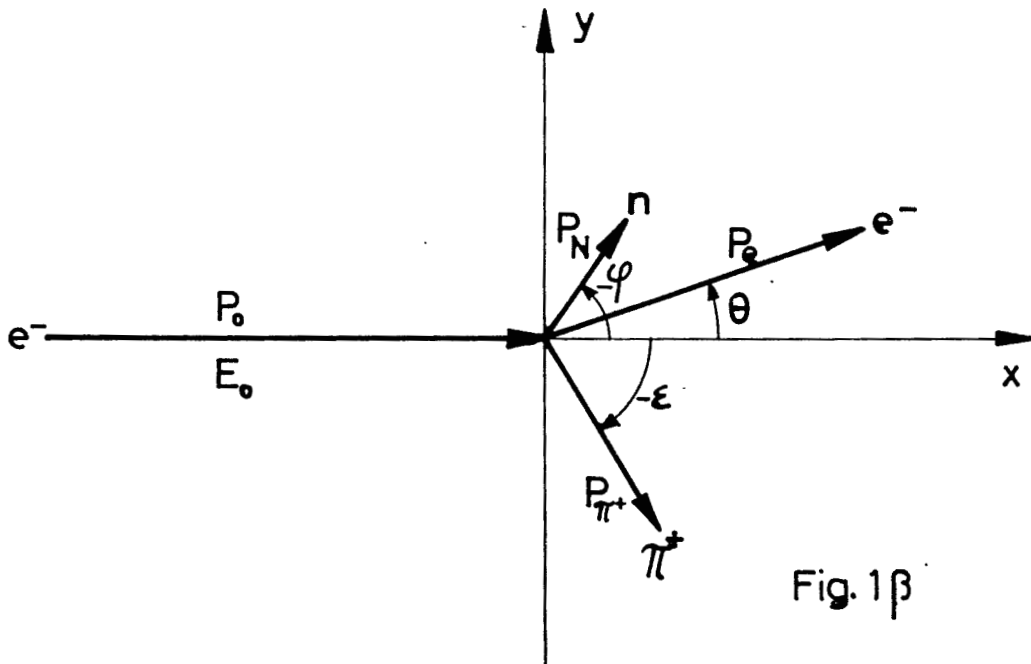
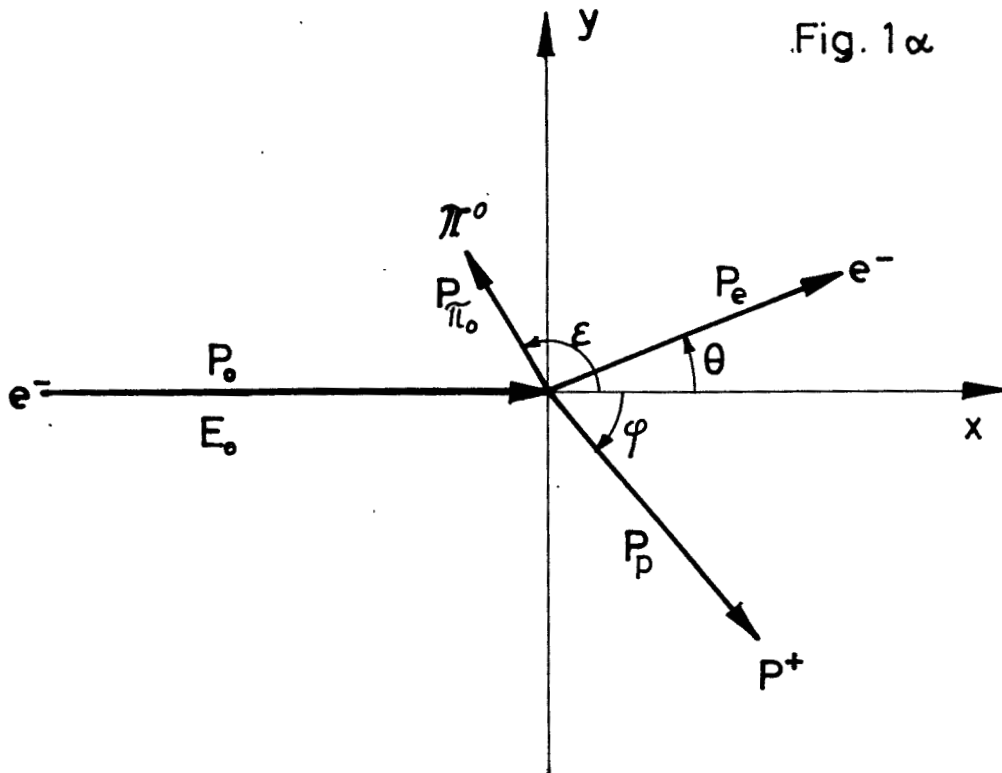
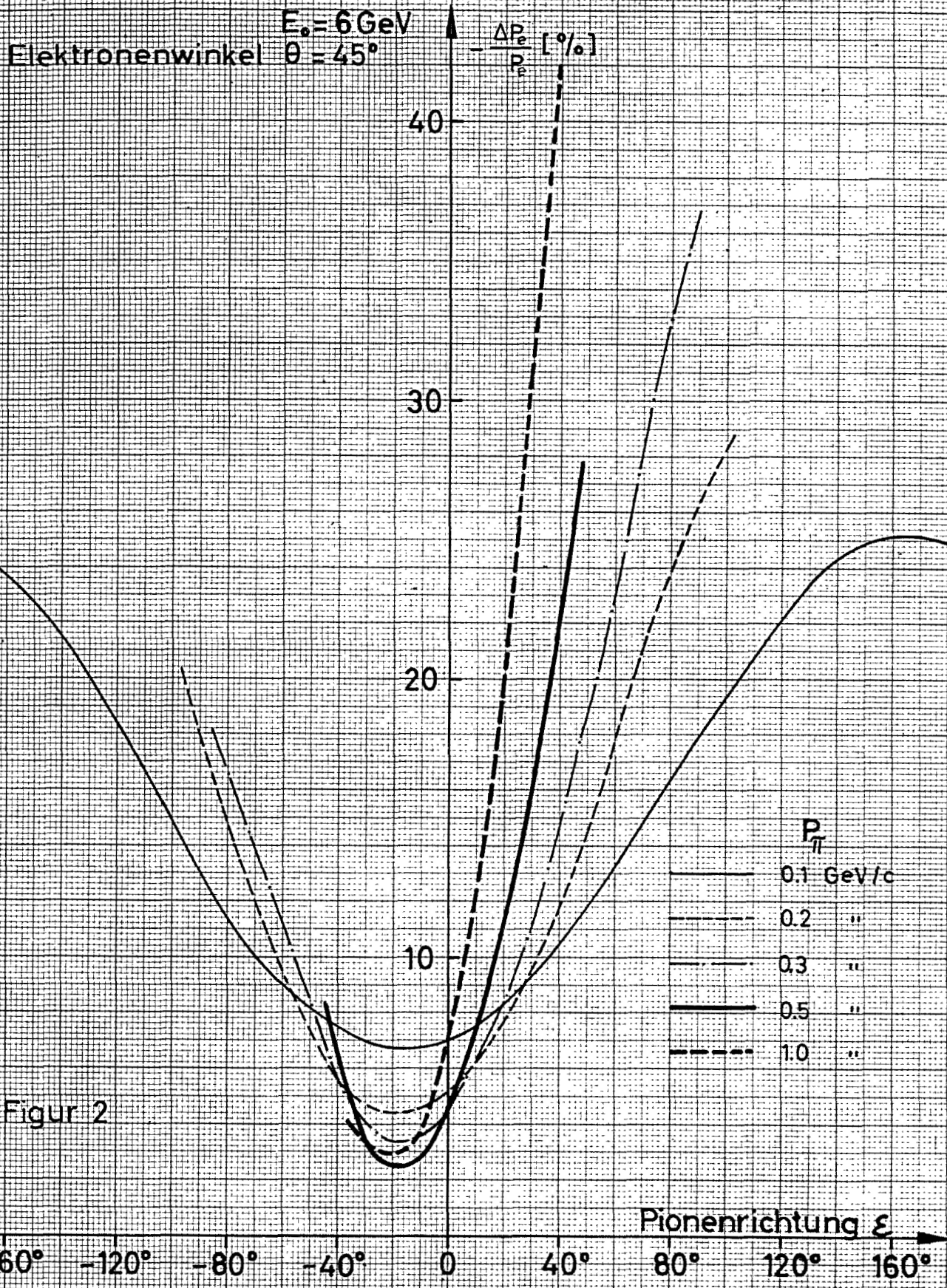
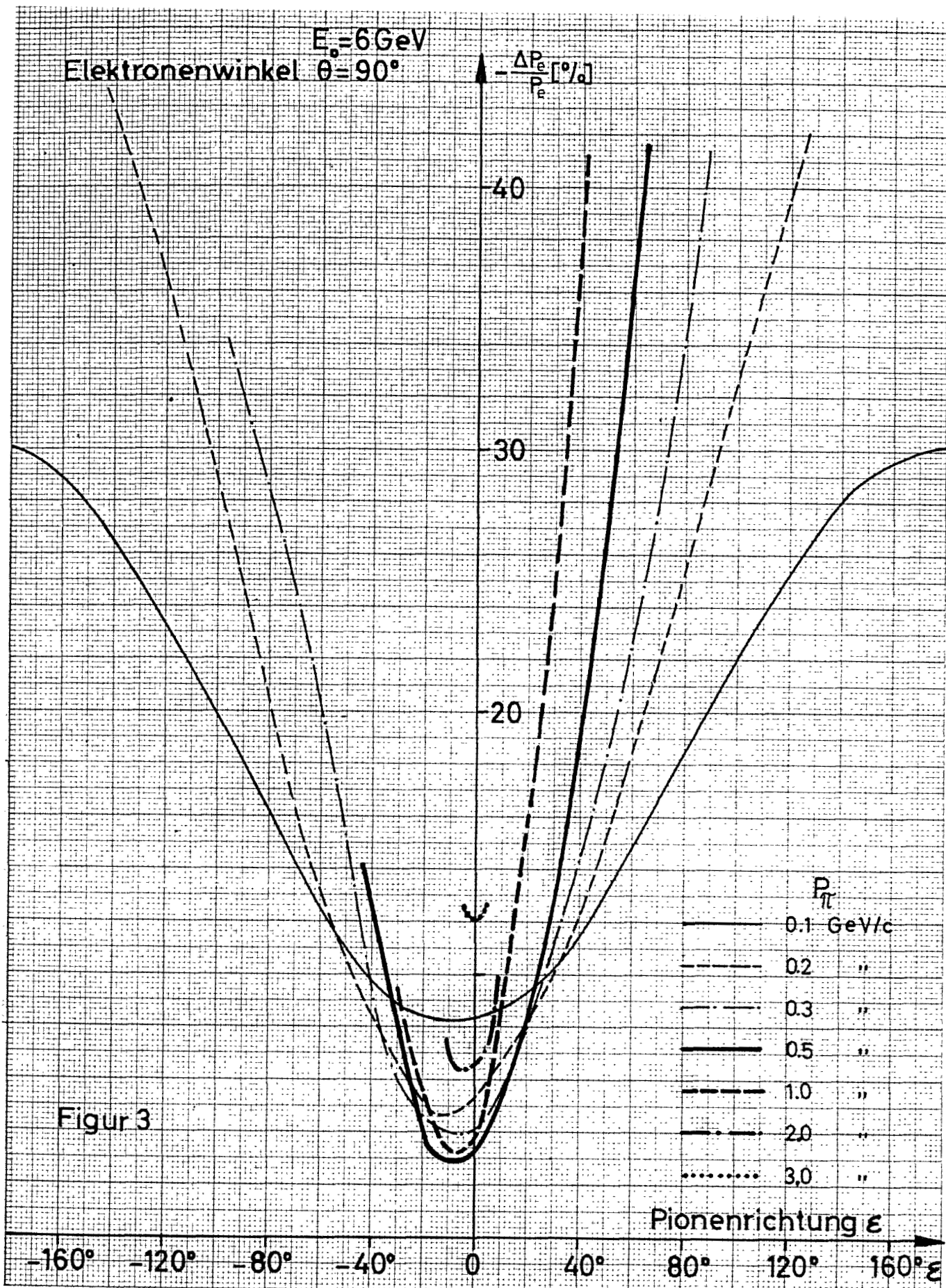


Fig. 1 $\alpha$  und  $\beta$ : Schematische Darstellung der Impulse bei  $e^-p$ -Streuprozessen mit der Erzeugung von  $\pi^0$ - und  $\pi^+$ -Mesonen

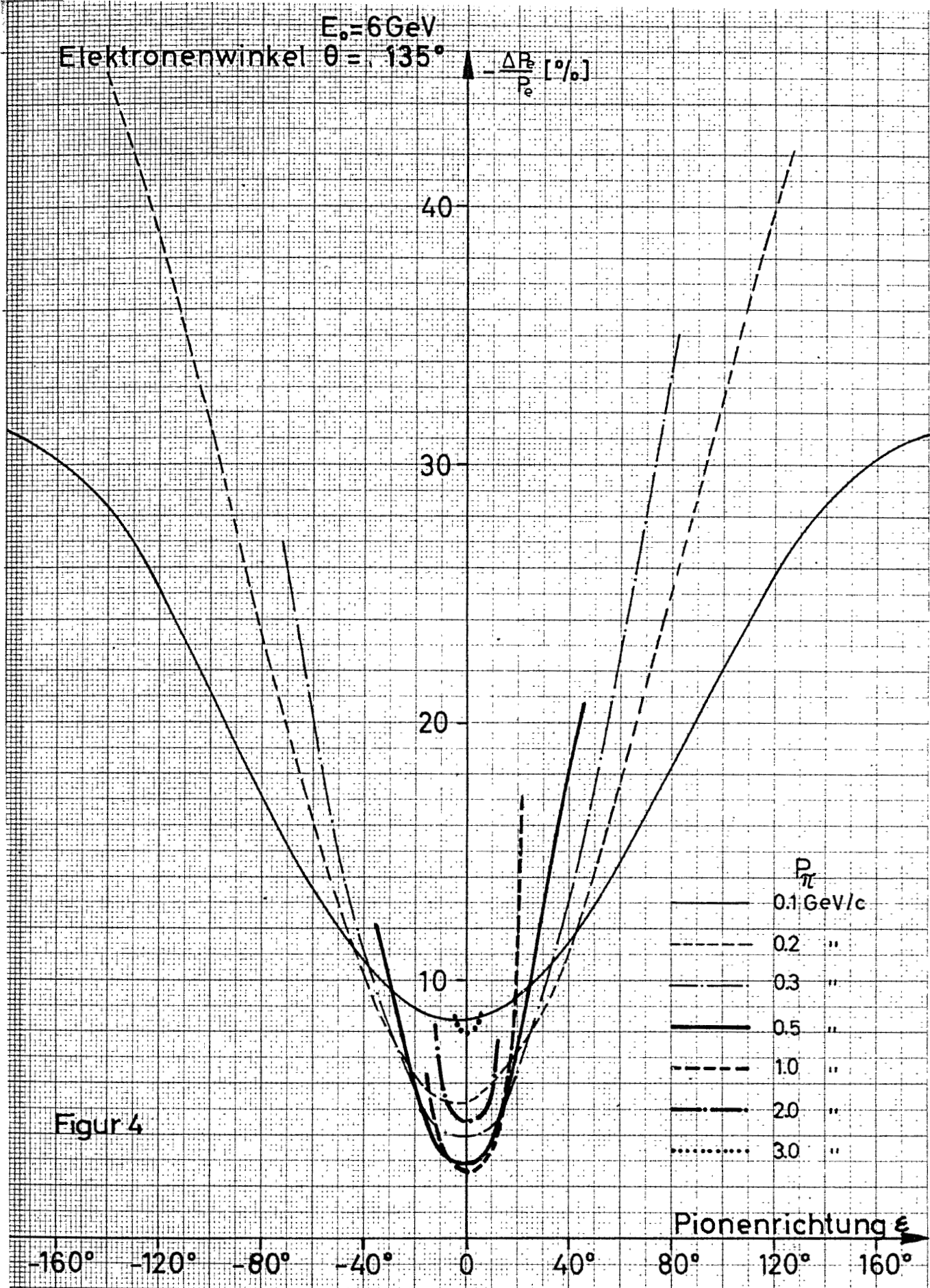




Figuren 2)-4): Relative Impulsänderung  $\frac{\Delta P_e}{P_e}$  des Elektrons in Abhängigkeit von der Richtung  $\varepsilon$  des Pionenimpulses, dessen Betrag  $P_\pi$  als Parameter dient. Manche Kurven sind nur stückweise gezeichnet, da die entsprechenden Streuprozesse kinematisch nicht möglich sind.

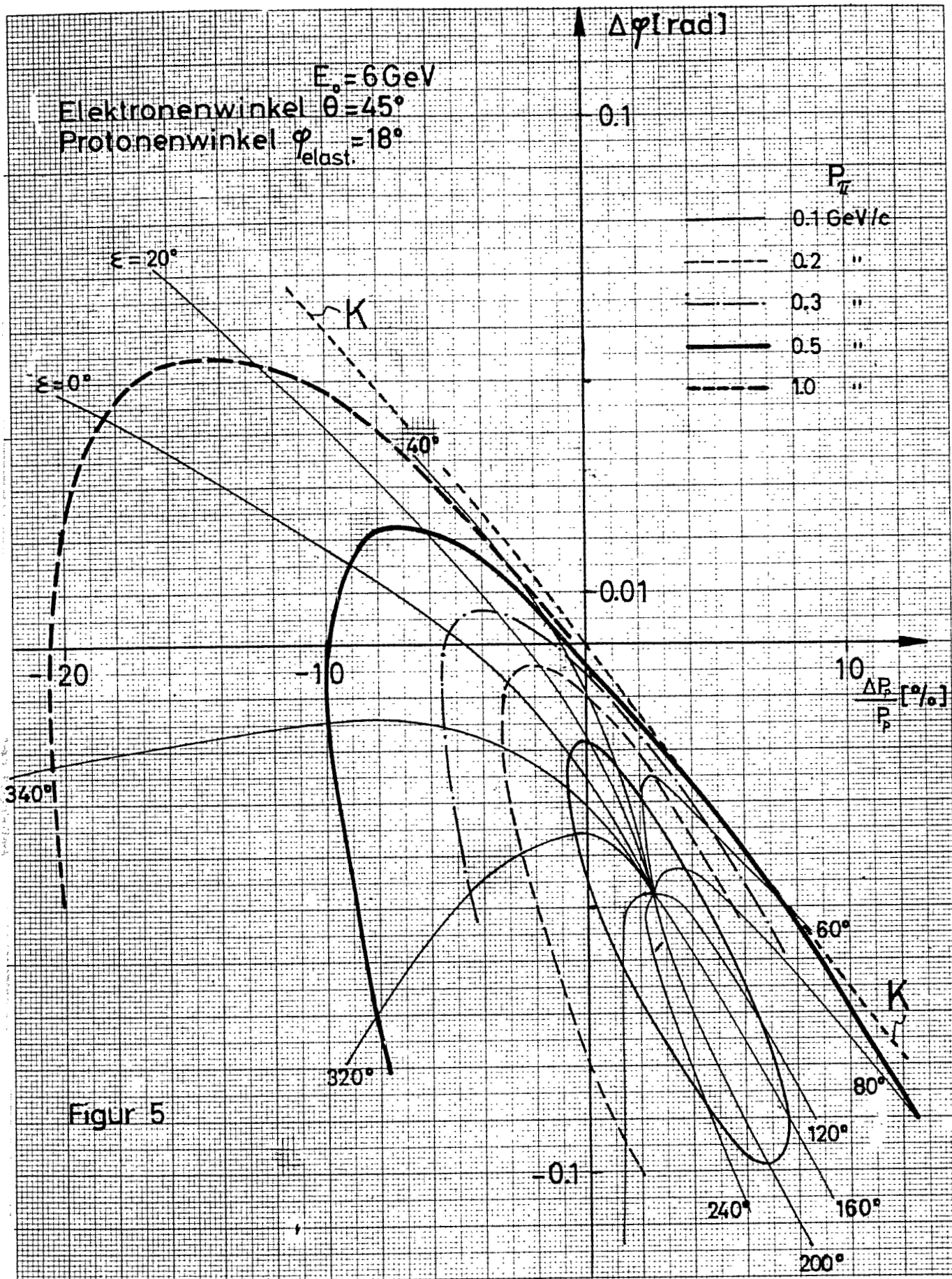


Figuren 2)-4): Relative Impulsänderung  $\frac{\Delta P_e}{P_e}$  des Elektrons in Abhängigkeit von der Richtung  $\varepsilon$  des Pionenimpulses, dessen Betrag  $P_\pi$  als Parameter dient. Manche Kurven sind nur stückweise gezeichnet, da die entsprechenden Streuprozesse kinematisch nicht möglich sind.

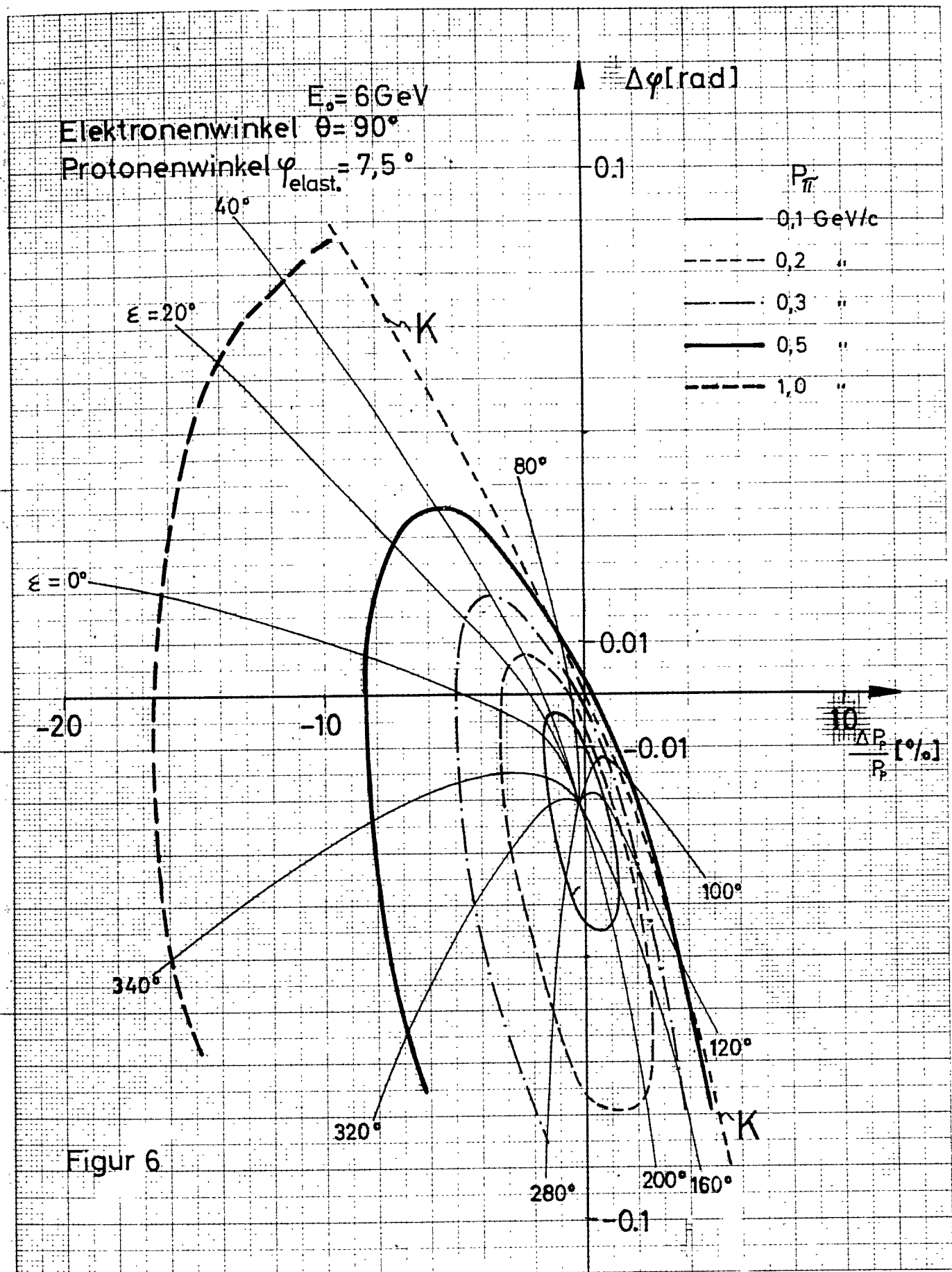


Figur 4

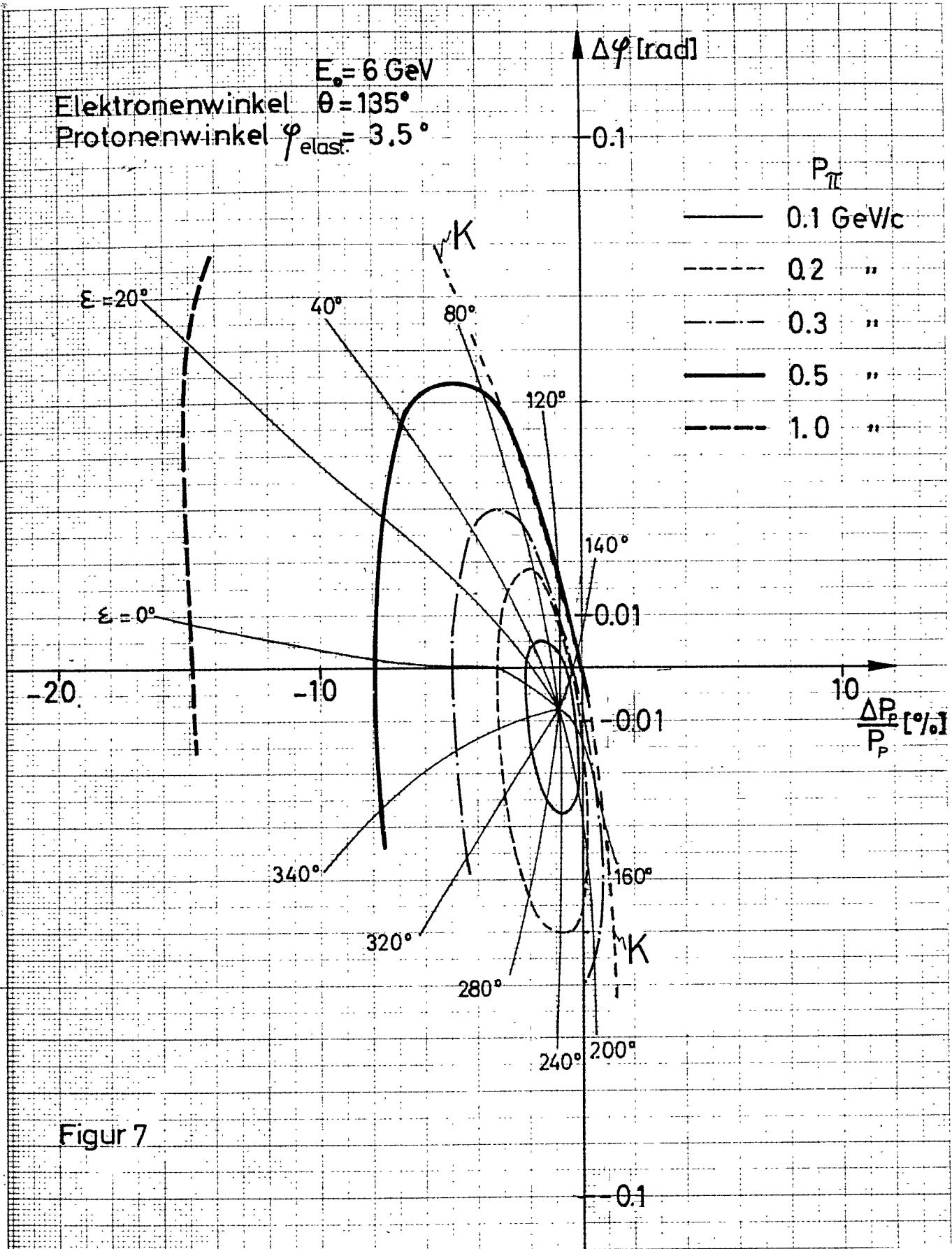
Figuren 2)-4): Relative Impulsänderung  $\frac{\Delta P_e}{P_e}$  des Elektrons in Abhängigkeit von der Richtung  $\epsilon$  des Pionenimpulses, dessen Betrag  $P_\pi$  als Parameter dient. Manche Kurven sind nur stückweise gezeichnet, da die entsprechenden Streuprozesse kinematisch nicht möglich sind.



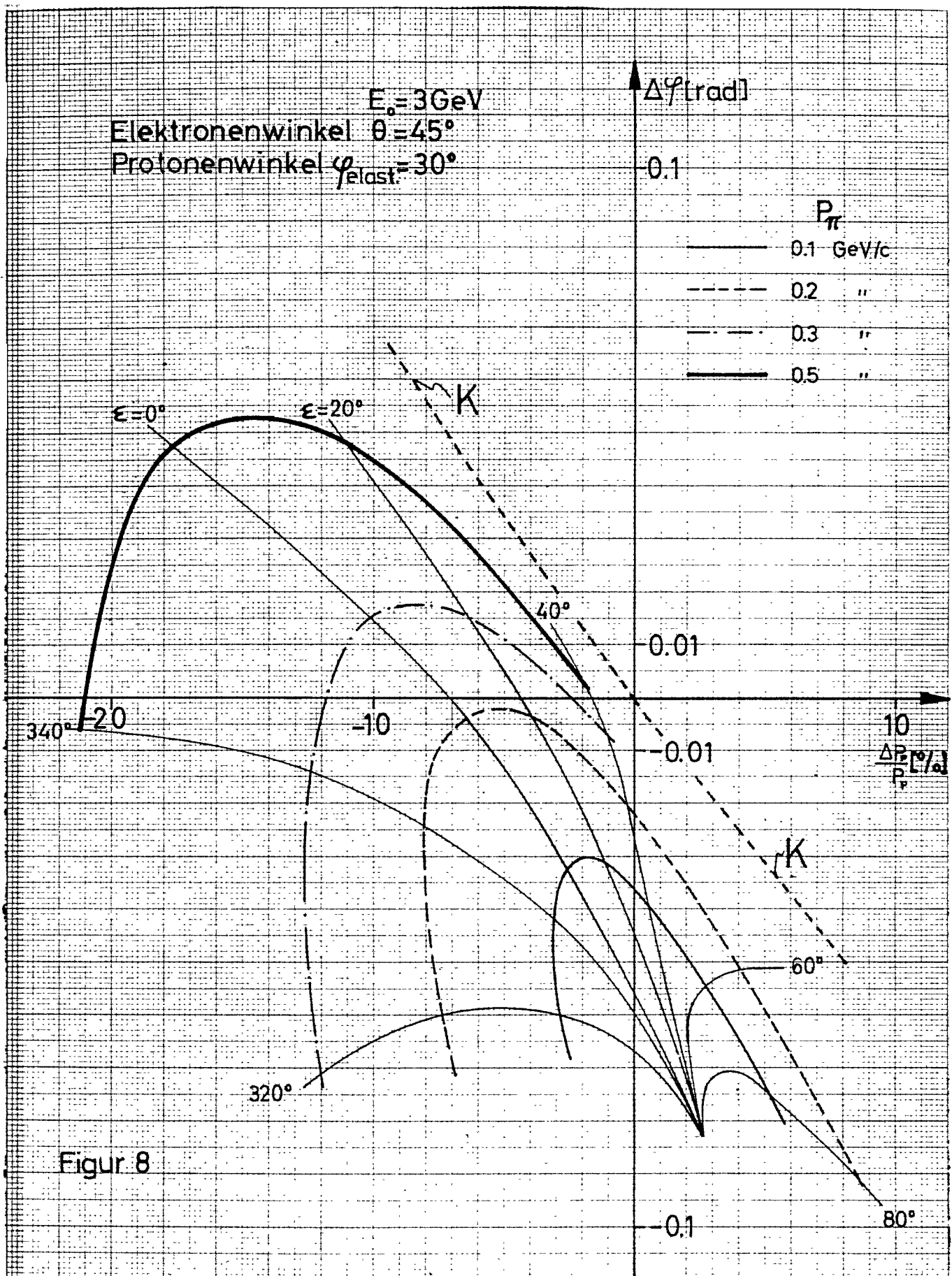
Figuren 5)-10): Winkeländerung  $\Delta\varphi$  über der relativen Impulsänderung  $\frac{\Delta P_p}{P_p}$  des Protons aufgetragen. Als Parameter dient der Betrag  $P_\pi$  und die Richtung  $\epsilon$  des erzeugten Pions. Die Kurven K zeigen im selben Maßstab die Impuls-Winkelabhängigkeit bei elastischer e-p-Streuung.



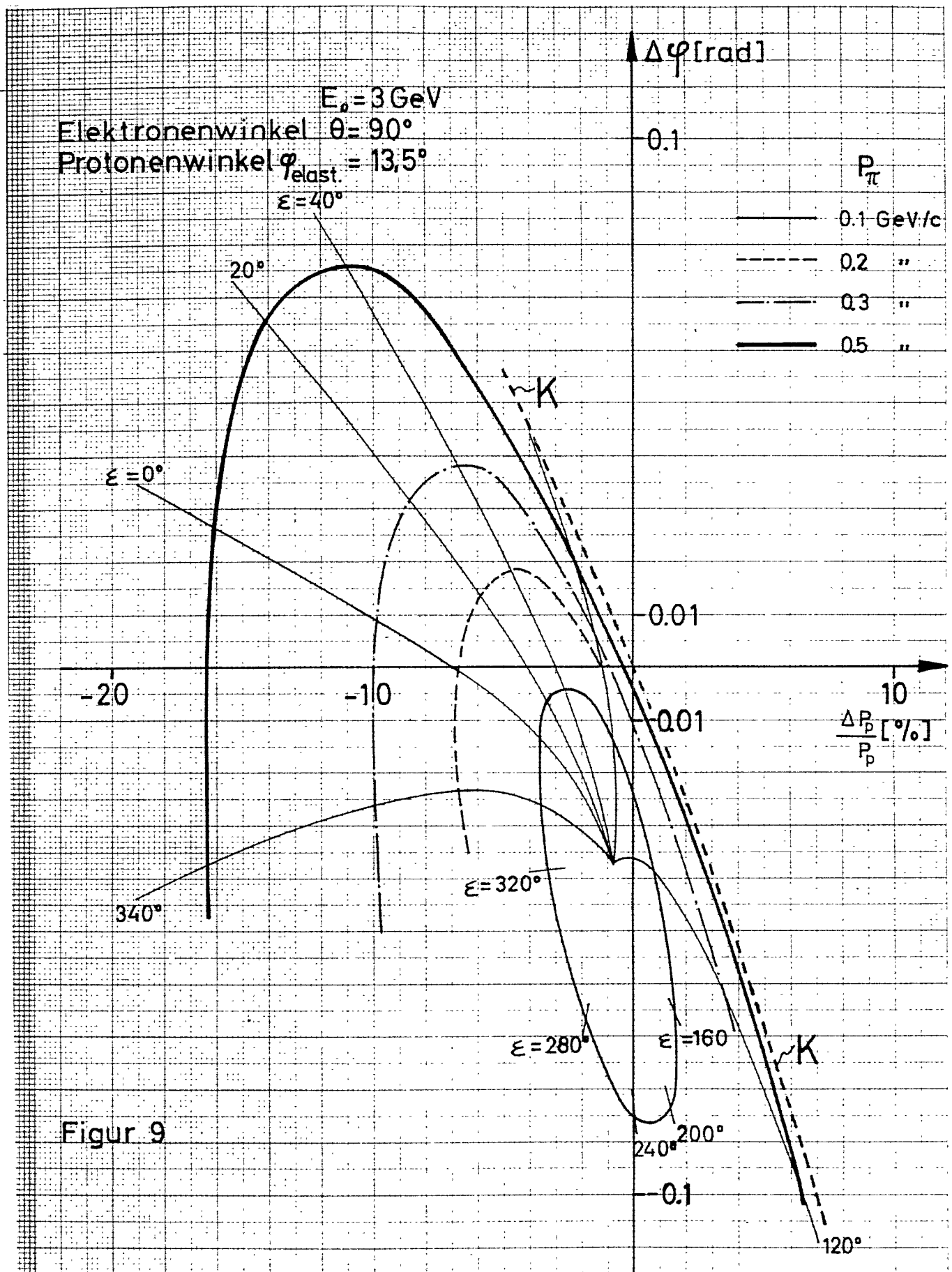
Figuren 5)-10): Winkeländerung  $\Delta\varphi$  über der relativen Impulsänderung  $\frac{\Delta P_p}{P_p}$  des Protons aufgetragen. Als Parameter dient der Betrag  $P_\pi$  und die Richtung  $\varepsilon$  des erzeugten Pions. Die Kurven K zeigen im selben Maßstab die Impuls-Winkelabhängigkeit bei elastischer e-p-Streuung.



Figuren 5)-10): Winkeländerung  $\Delta\mathcal{P}$  über der relativen Impulsänderung  $\frac{\Delta P_p}{P_p}$  des Protons aufgetragen. Als Parameter dient der Betrag  $P_\pi$  und die Richtung  $\mathcal{E}$  des erzeugten Pions. Die Kurven K zeigen im selben Maßstab die Impuls-Winkelabhängigkeit bei elastischer e-p-Streuung.



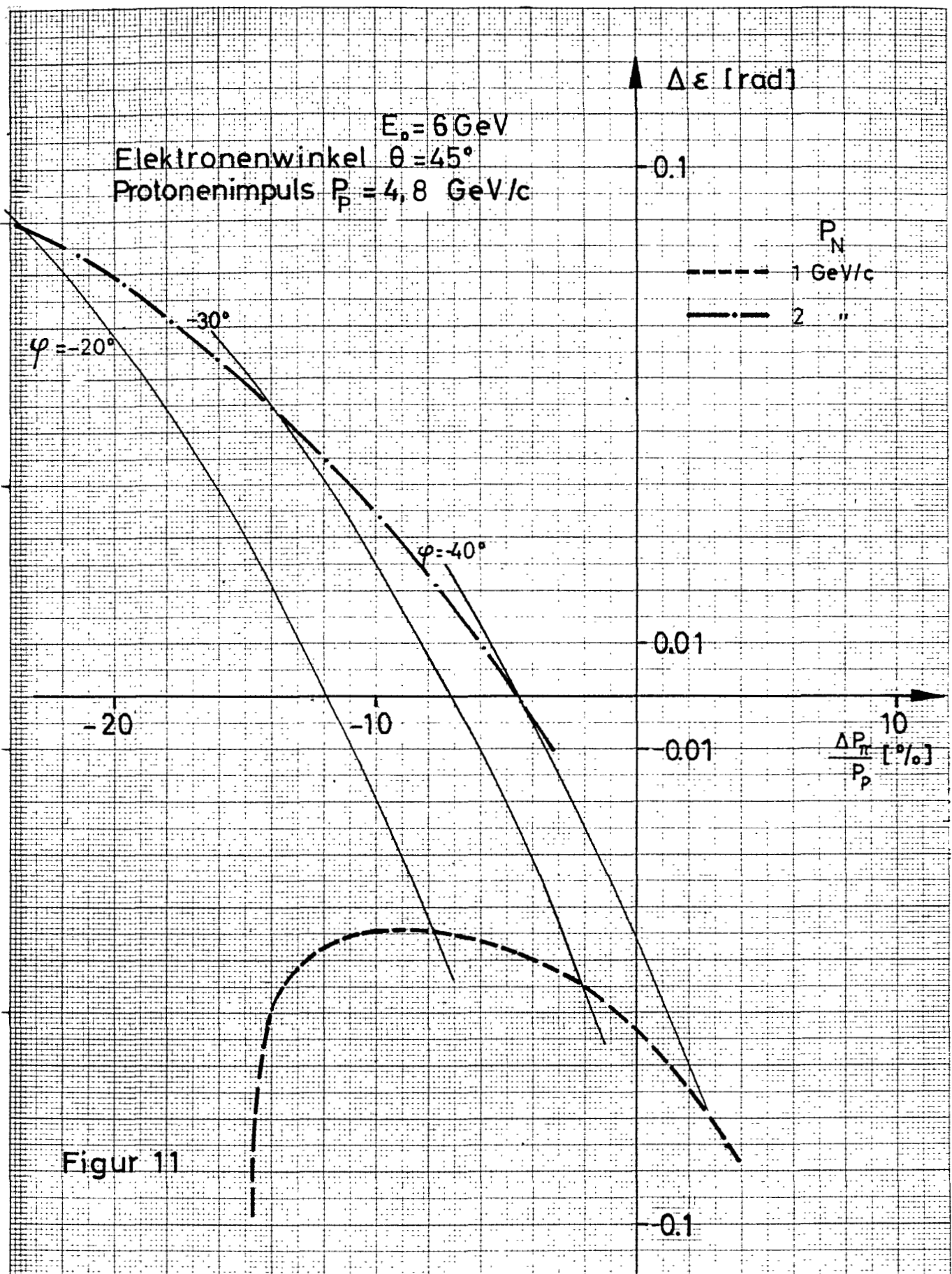
Figuren 5)-10): Winkeländerung  $\Delta \mathcal{P}$  über der relativen Impulsänderung  $\frac{\Delta P_p}{P_p}$  des Protons aufgetragen. Als Parameter dient der Betrag  $P_\pi$  und die Richtung  $\mathcal{E}$  des erzeugten Pions. Die Kurven K zeigen im selben Maßstab die Impuls-Winkelabhängigkeit bei elastischer e-p-Streuung.



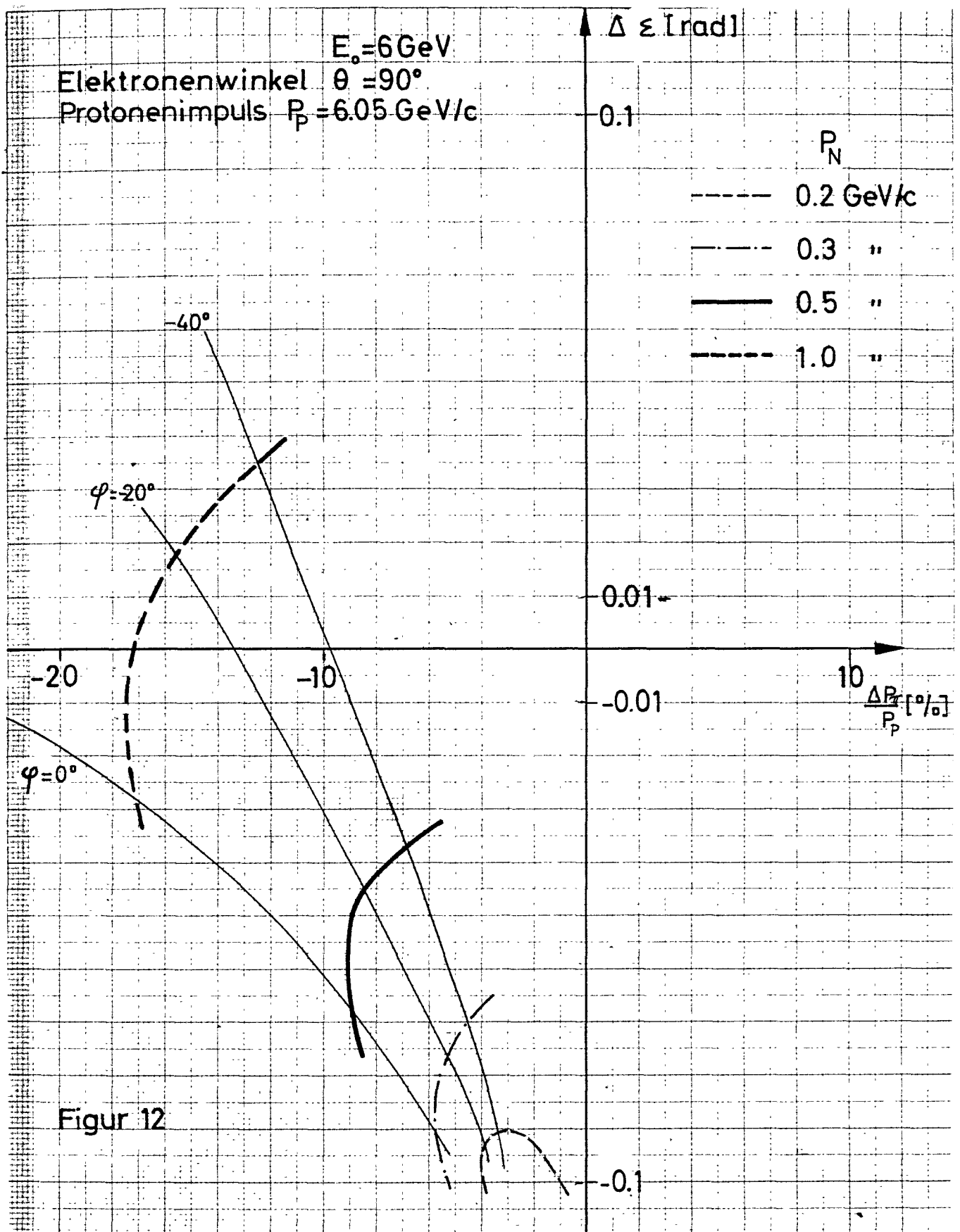
Figuren 5)-10): Winkeländerung  $\Delta \varphi$  über der relativen Impulsänderung  $\frac{\Delta P_p}{P_p}$  des Protons aufgetragen. Als Parameter dient der Betrag  $P_\pi$  und die Richtung  $\epsilon$  des erzeugten Pions. Die Kurven K zeigen im selben Maßstab die Impuls-Winkelabhängigkeit bei elastischer e-p-Streuung.



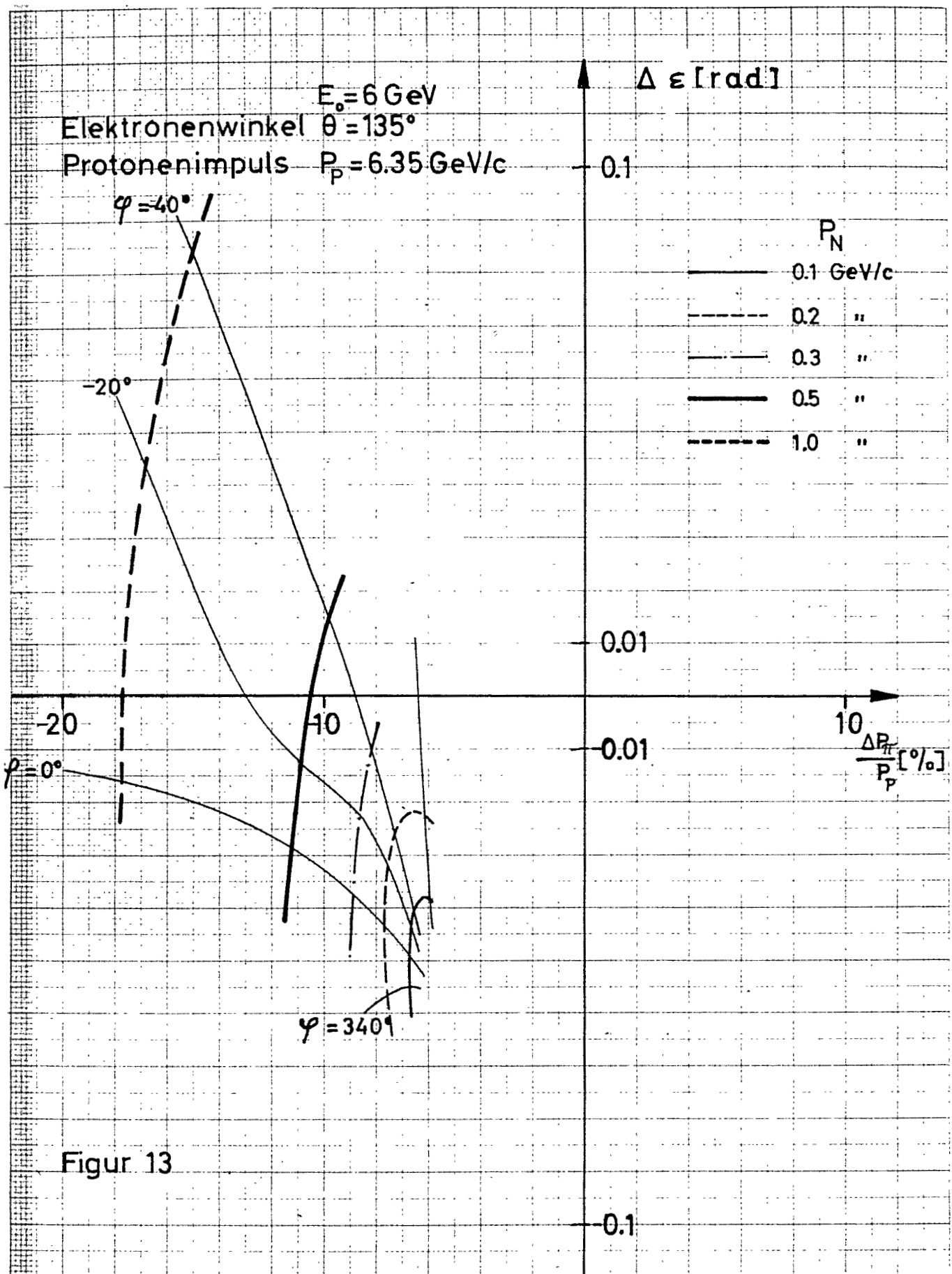




Figuren 11)-14): Richtungsabweichung  $\Delta \xi$  über der relativen Impulsänderung  $\frac{\Delta P_\pi}{P_p}$  von  $\pi^+$ -Mesonen bezüglich eines elastisch gestreuten Protons aufgetragen. Als Parameter dient der Betrag  $P_N$  und die Richtung des gestreuten Neutrons.

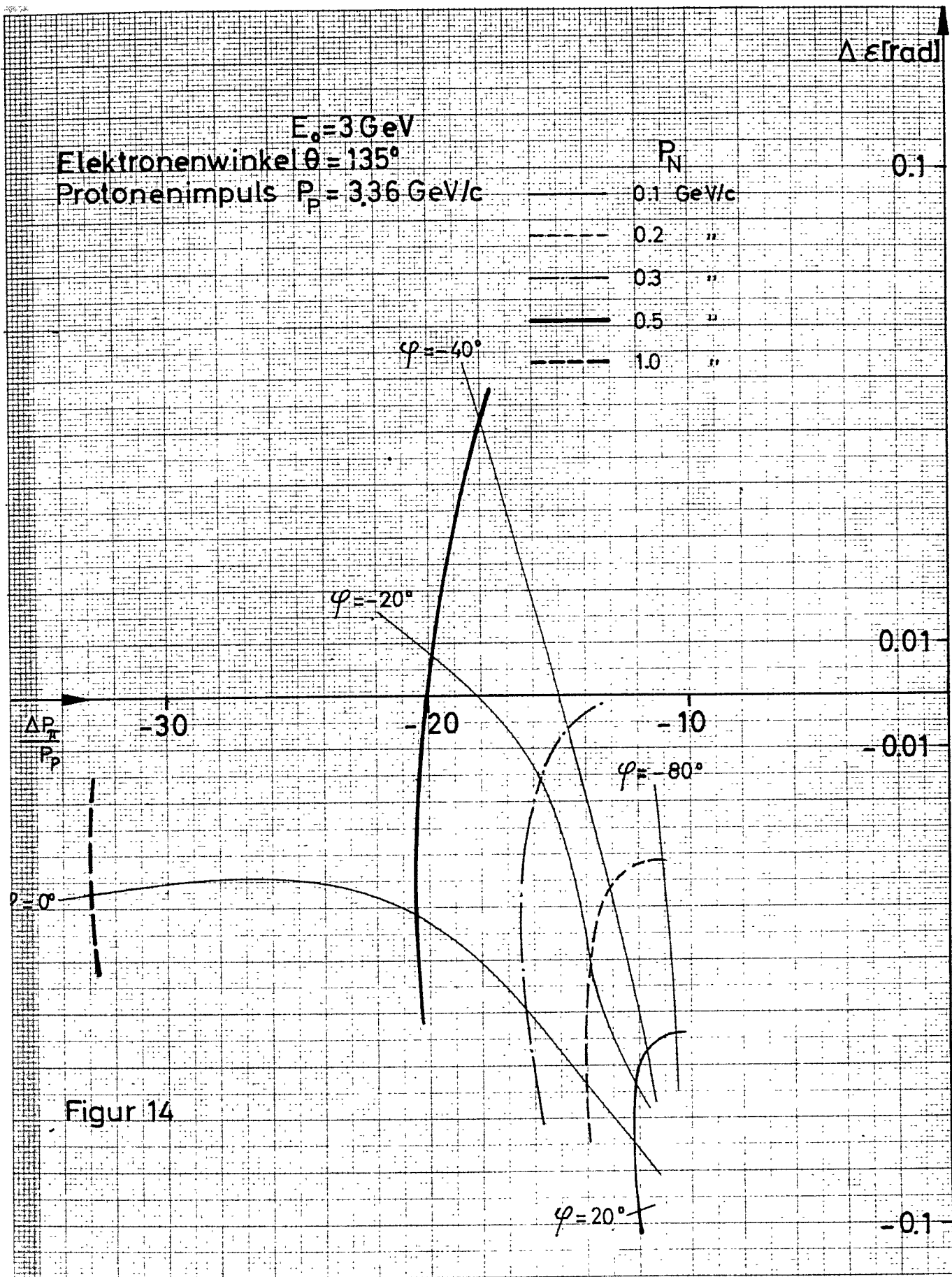


Figuren 11)-14): Richtungsabweichung  $\Delta \varepsilon$  über der relativen Impulsänderung  $\frac{\Delta P_\pi}{P_p}$  von  $\pi^+$ -Mesonen bezüglich eines elastisch gestreuten Protons aufgetragen. Als Parameter dient der Betrag  $P_N$  und die Richtung des gestreuten Neutrons.



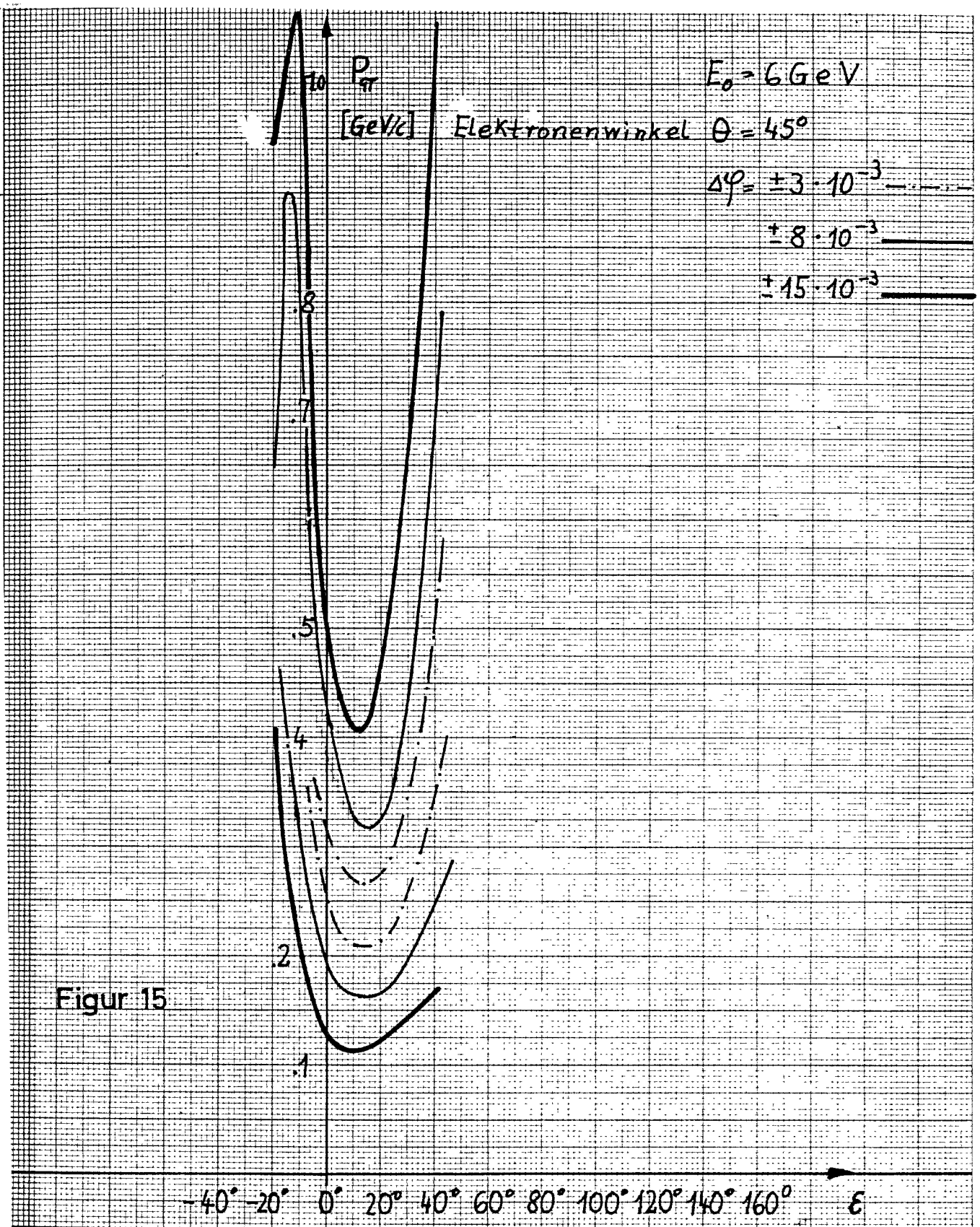
Figur 13

Figuren 11)-14): Richtungsabweichung  $\Delta \xi$  über der relativen Impulsänderung  $\frac{\Delta P_\pi}{P_p}$  von  $\pi^+$ -Mesonen bezüglich eines elastisch gestreuten Protons aufgetragen. Als Parameter dient der Betrag  $P_N$  und die Richtung des gestreuten Neutrons.



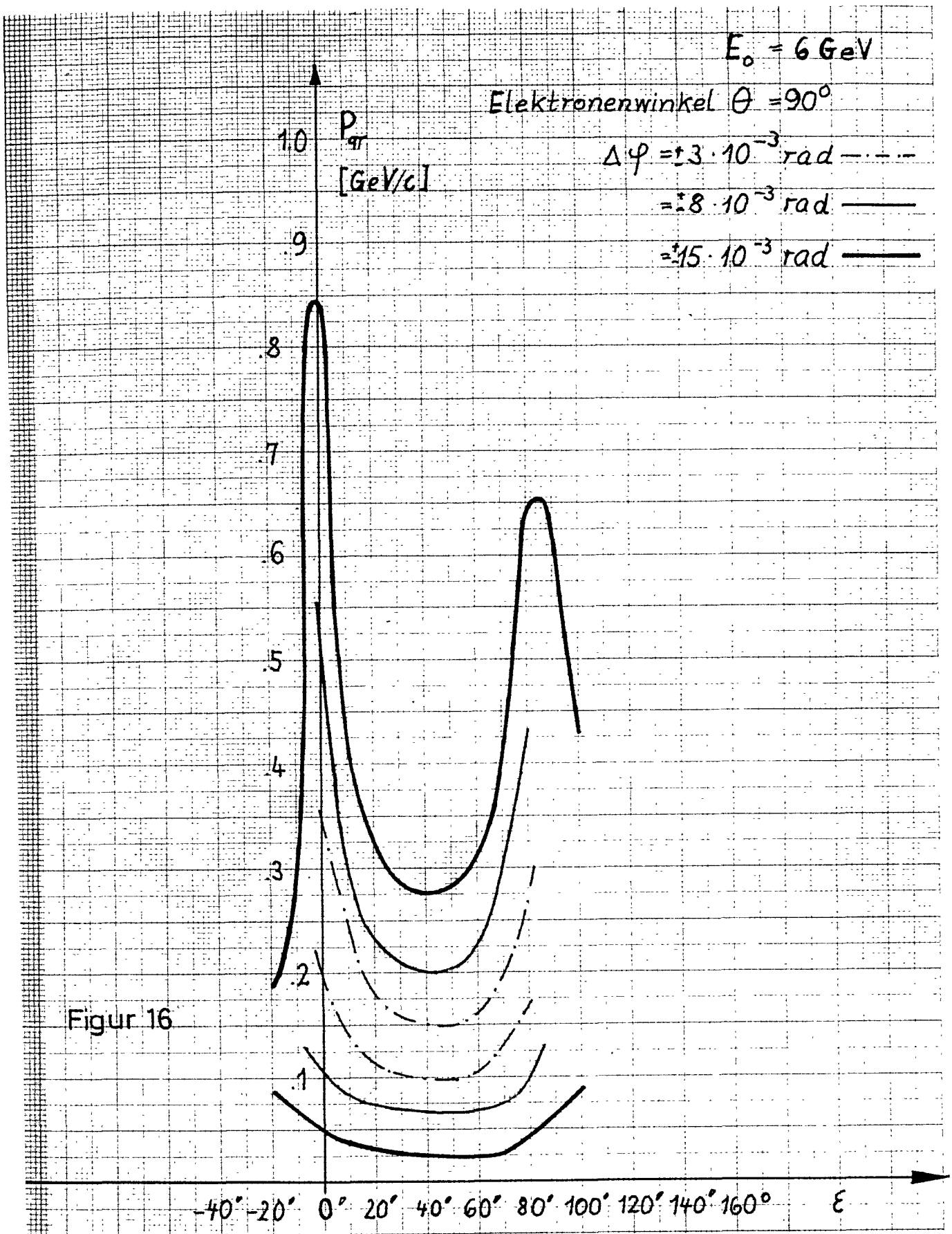
Figur 14

Figuren 11)-14): Richtungsabweichung  $\Delta \epsilon$  über der relativen Impulsänderung  $\frac{\Delta P_\pi}{P_p}$  von  $\pi^+$ -Mesonen bezüglich eines elastisch gestreuten Protons aufgetragen. Als Parameter dient der Betrag  $P_N$  und die Richtung des gestreuten Neutrons.

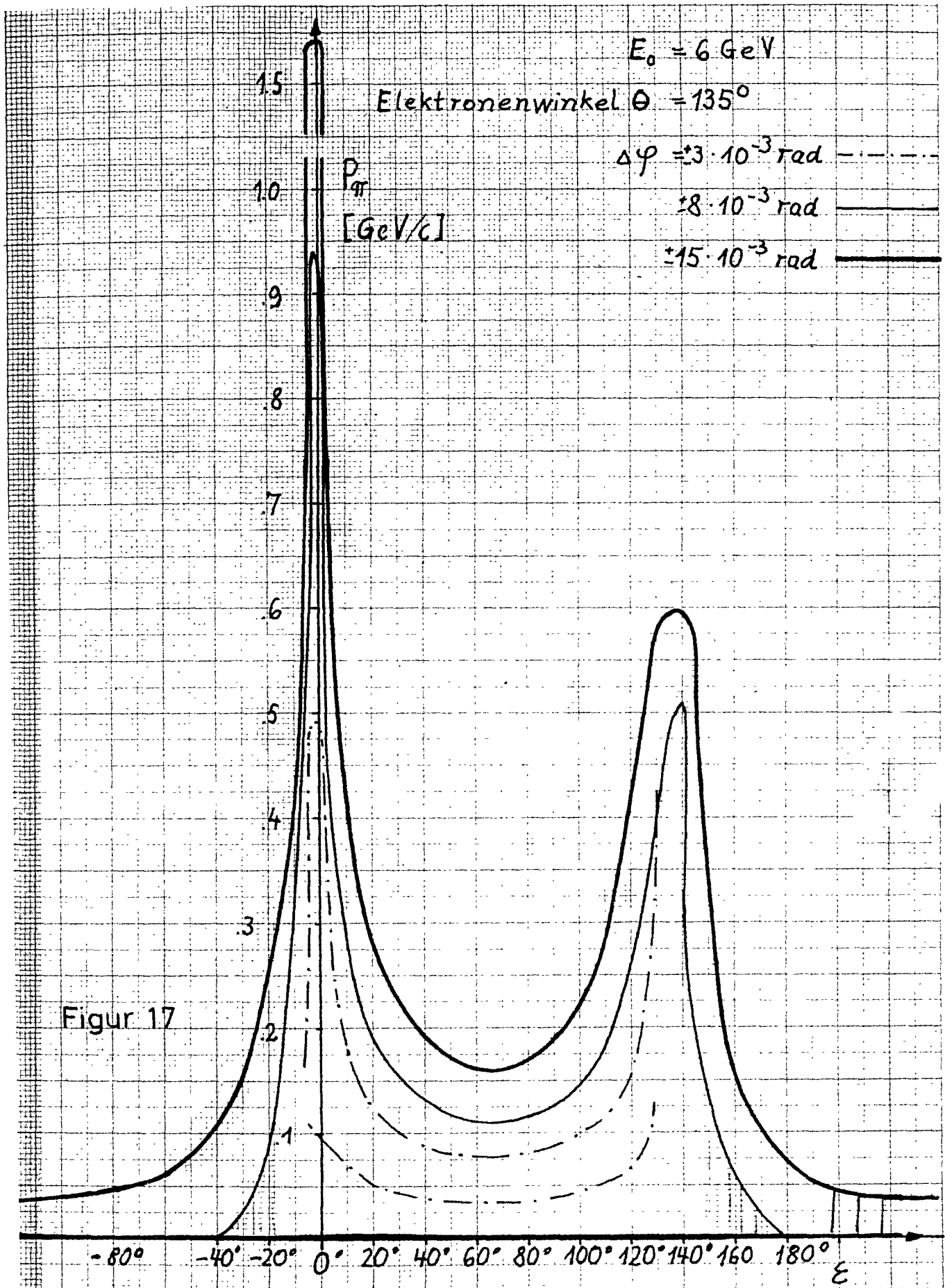


Figur 15

Figuren 15)-20): Für verschiedene Richtungsabweichungen  $\pm \Delta\varphi$  des Protons ist zwischen den jeweils gleich gestrichelten Kurven der mögliche Pionenimpulsbereich bei inelastischen Prozessen eingezeichnet. Der Elektronenwinkel wurde dabei festgehalten.

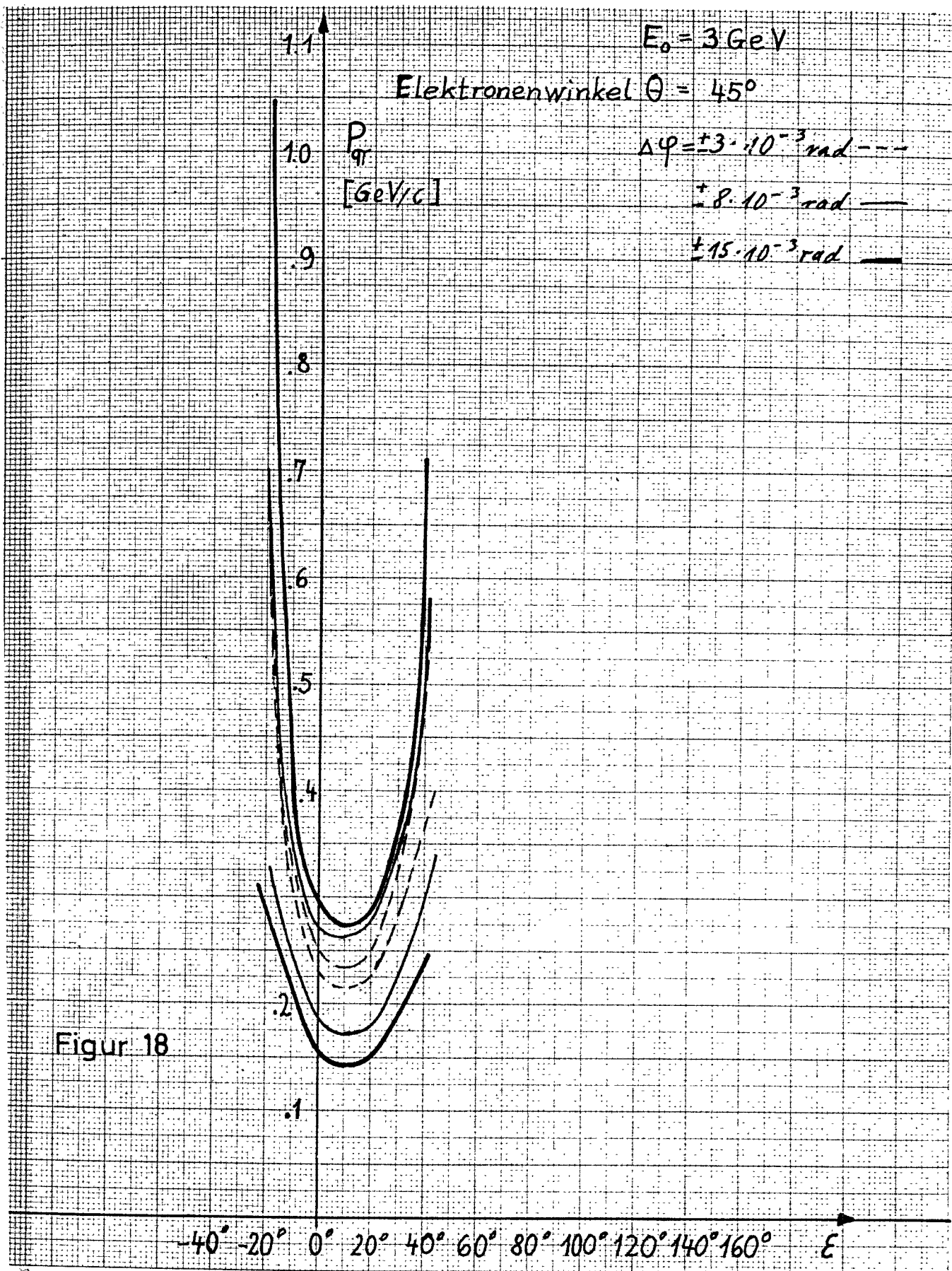


Figuren 15)-20): Für verschiedene Richtungsabweichungen  $\pm \Delta\varphi$  des Protons ist zwischen den jeweils gleich gestrichelten Kurven der mögliche Pionenimpulsbereich bei inelastischen Prozessen eingezeichnet. Der Elektronenwinkel wurde dabei festgehalten.

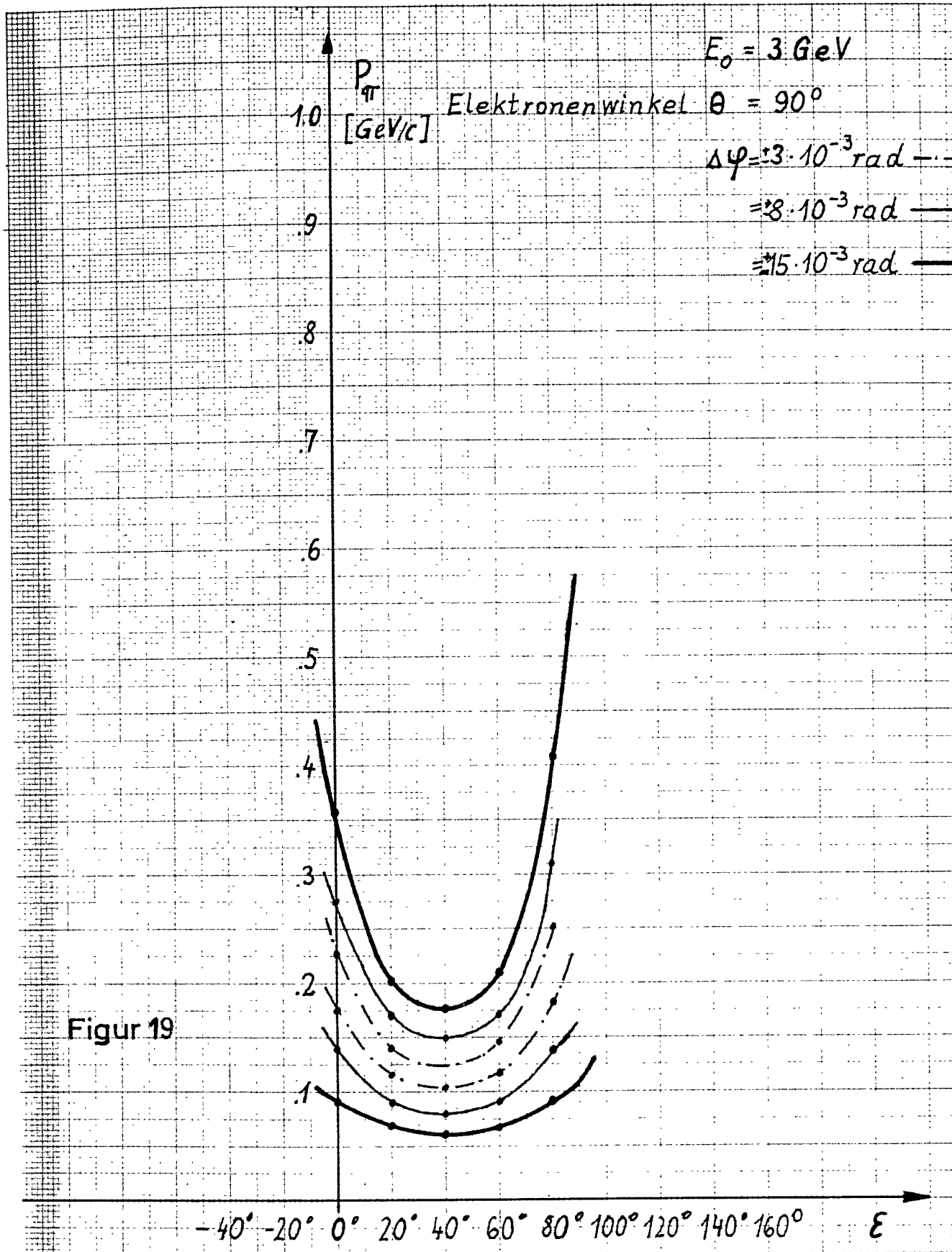


Figuren 15)-20): Für verschiedene Richtungsabweichungen  $\pm \Delta\varphi$  des Protons ist zwischen den jeweils gleich gestrichelten Kurven der mögliche Pionenimpulsbereich bei inelastischen Prozessen eingezeichnet. Der Elektronenwinkel wurde dabei festgehalten.

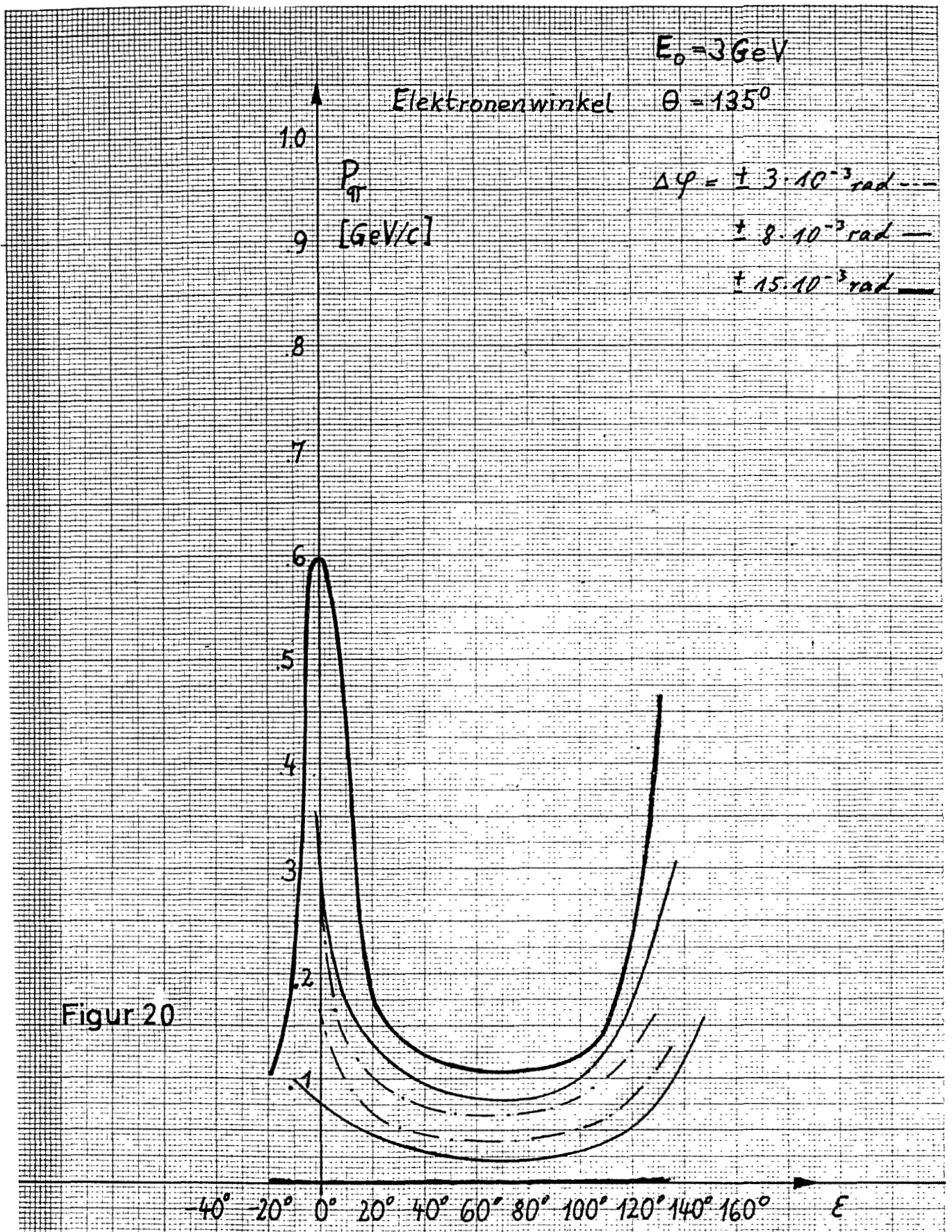




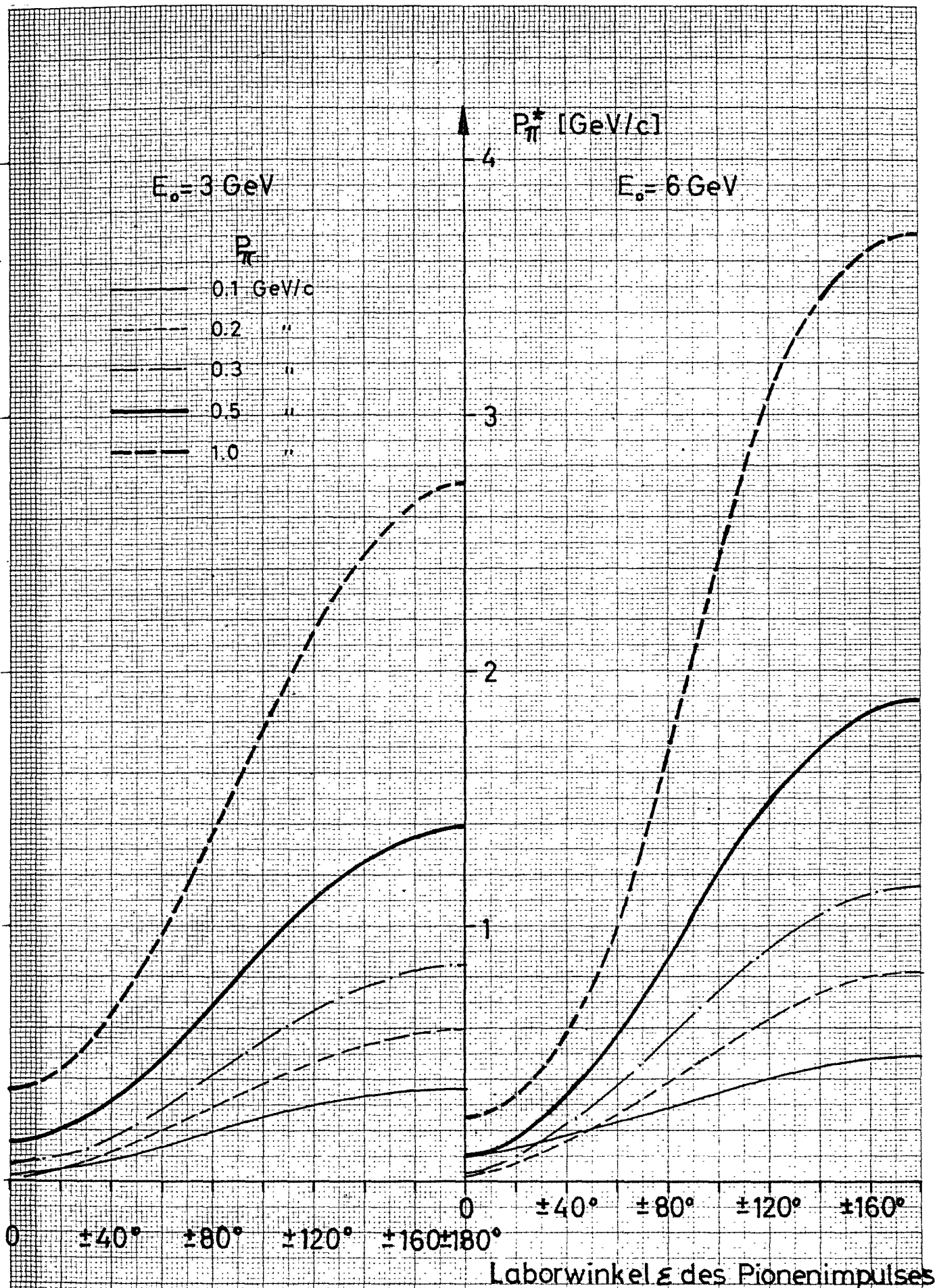
Figuren 15)-20): Für verschiedene Richtungsabweichungen  $\pm \Delta\varphi$  des Protons ist zwischen den jeweils gleich gestrichelten Kurven der mögliche Pionenimpulsbereich bei inelastischen Prozessen eingezeichnet. Der Elektronenwinkel wurde dabei festgehalten.



Figuren 15)-20): Für verschiedene Richtungsabweichungen  $\pm \Delta\psi$  des Protons ist zwischen den jeweils gleich gestrichelten Kurven der mögliche Pionenimpulsbereich bei inelastischen Prozessen eingezeichnet. Der Elektronenwinkel wurde dabei festgehalten.



Figuren 15)-20): Für verschiedene Richtungsabweichungen  $\pm \Delta\varphi$  des Protons ist zwischen den jeweils gestrichelten Kurven der mögliche Pionenimpulsbereich bei inelastischen Prozessen eingezeichnet. Der Elektronenwinkel wurde dabei festgehalten.



Figur 21: Transformation LS—CMS des Pionenimpulses  $P_{\pi}$