

Die Kreuzung von zwei Extinktionslinien bei Elektroneninterferenzen im konvergenten Bündel

Ein weiteres Beispiel für die Anwendung der Ausbreitungsfläche in der Fues'schen Form

Von CHR. MENZEL-KOPP

Aus dem Physikalischen Institut der Universität Tübingen
(Direktor: Professor Dr. W. Kossel)

(Z. Naturforsch. 8a, 28–29 [1953]; eingegangen am 26. September 1952)

Herrn Professor Erwin Fues zum 60. Geburtstag

Für das Verhalten zweier Extinktionslinien bei ihrer Überkreuzung werden experimentelle Beispiele vorgelegt und eine Regel über den Sinn des Ausweichens durch Anwendung der Überlegungen von Fues gegeben.

Viele Aussagen der dynamischen Theorie der Elektroneninterferenzen sind durch die Ver- suchstechnik nach Kossel und Möllenstedt¹, das Durchstrahlen im konvergenten Elektronenbündel, unmittelbar zu beobachten. Fues wandte die Theorie auf diese Versuche an. Die von ihm schon früher entwickelte Form der Ausbreitungsfläche² erlaubt, charakteristische Züge des Experiments aus der Gestalt der Fläche unmittelbar abzulesen, z. B. die dynamisch bedingte Lage der Streifen gleicher Neigung³ oder ihre Verbiegungen und Verschiebungen^{3, 4, 5, 6, 7}.

Für eine weitere charakteristische Erscheinung, das Ausweichen zweier Extinktionslinien bei gegenseitiger Durchkreuzung, soll im folgenden die Ausbreitungsfläche diskutiert werden. Die dabei gefundene Regel über den Sinn der Verbiegung wird durch mehrere Beispiele an Glimmer bestätigt.

Kreuzen sich zwei Extinktionslinien, so schneiden sie sich nicht, sondern weichen einander aus. Darauf wiesen schon Kikuchi und Nakagawa 1933⁸ hin. Bei der Beobachtung im konvergenten Elektronenbündel wird die Erscheinung besonders deutlich (vgl.¹, Abb. 8a und b). Unsere Abb. 1a* gibt ein Beispiel, das durch seine Symmetrie ausgezeichnet ist. Abb. 1b zeigt die Schnittstelle in 7,2-facher Vergrößerung; dabei weist jeder Pfeil auf den zu dieser Extinktionslinie gehörenden Reflex. Diese Richtung

ist späterhin von Bedeutung. Man sieht: Es treten Abrundungen sowohl der spitzen als auch der stumpfen Winkel auf. Läßt sich eine Regel angeben, die alle Ausweicherscheinungen beschreibt?

Zweckmäßig bedient man sich der Ausbreitungsfläche in der von Fues angegebenen Form³. Es muß die Ausbreitungsfläche untersucht werden, wenn zwei Netzebenenfamilien $(h_1 k_1 l_1)$ und $(h_2 k_2 l_2)$ das entstehende Wellenfeld beeinflussen. Abb. 2 zeigt die Ausbreitungskugel um den Ursprung des reziproken Gitters, die Symbole sind die gleichen

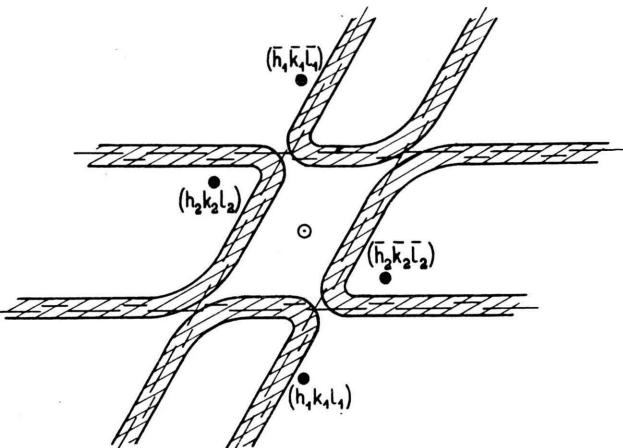


Abb. 2. Schema der Ausbreitungsfläche um (000) und Verbiegungen der Extinktionslinien.

¹ W. Kossel u. G. Möllenstedt, Ann. Physik 5, 36, 113 [1939].

² E. Fues, Ann. Physik 5, 36, 209 [1939].

³ E. Fues, Ann. Physik 5, 43, 538 [1943].

⁴ E. Fues, Z. Physik 125, 531 [1949].

⁵ E. Fues u. E. H. Wagner, Z. Naturforschg. 6a, 1 [1951]; 6a, 79 [1951].

⁶ E. H. Wagner, Z. Naturforschg. 6a, 133 [1951].

⁷ Chr. Menzel-Kopp, Ann. Physik 6, 9, 259 [1951].

⁸ S. Kikuchi u. S. Nakagawa, Sci. Pap. Inst. phys. chem. Res. [Tokyo] 21, 256 [1933].

* Abb. 1a u. 1b, s. Tafel S. 28a.



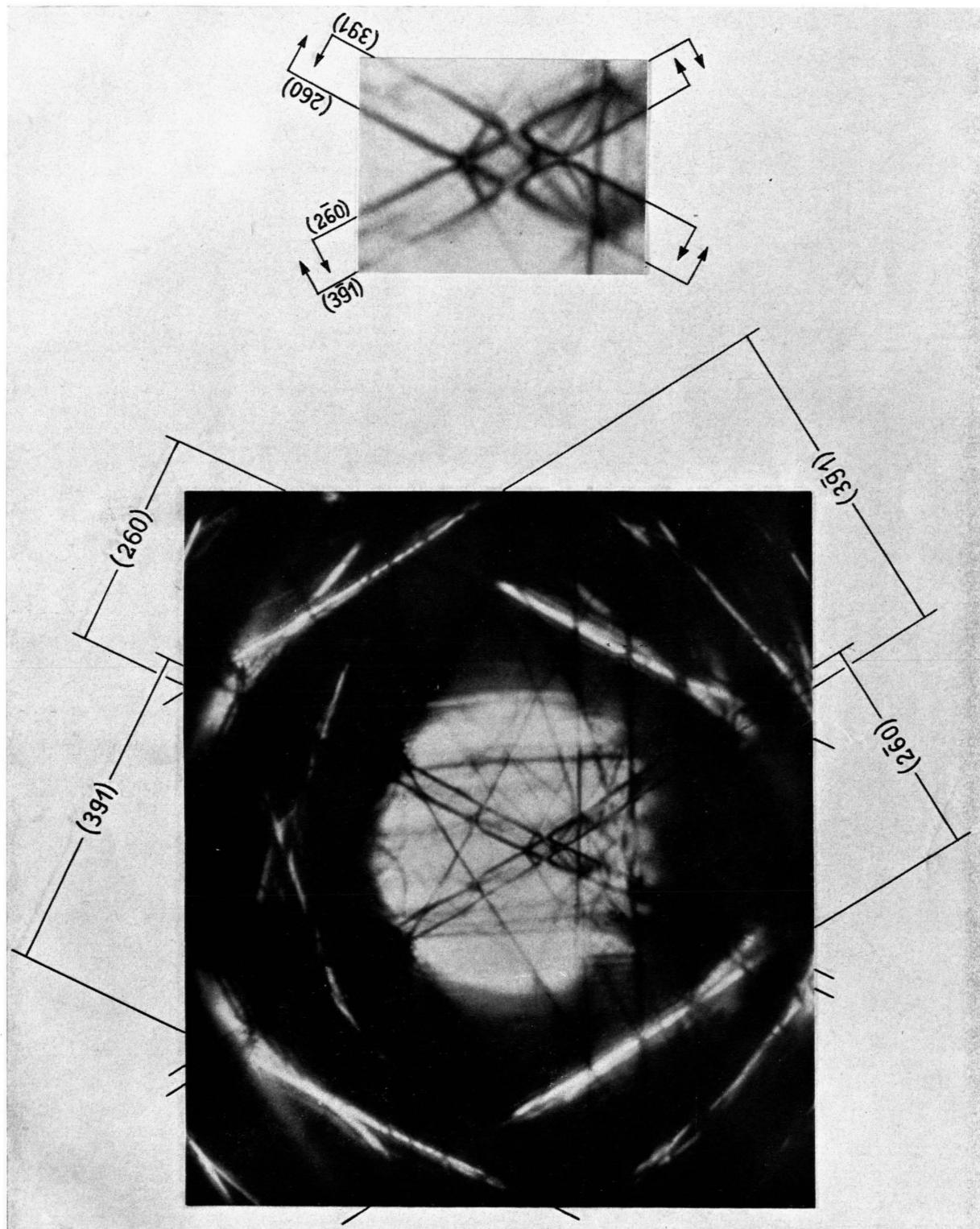


Abb. 1. Spannung $U \approx 50$ kV, Präparatdicke $D \approx 1$ 100 Å.

a) Vergr. $V = 2,7$.

b) $V = 7,2$.

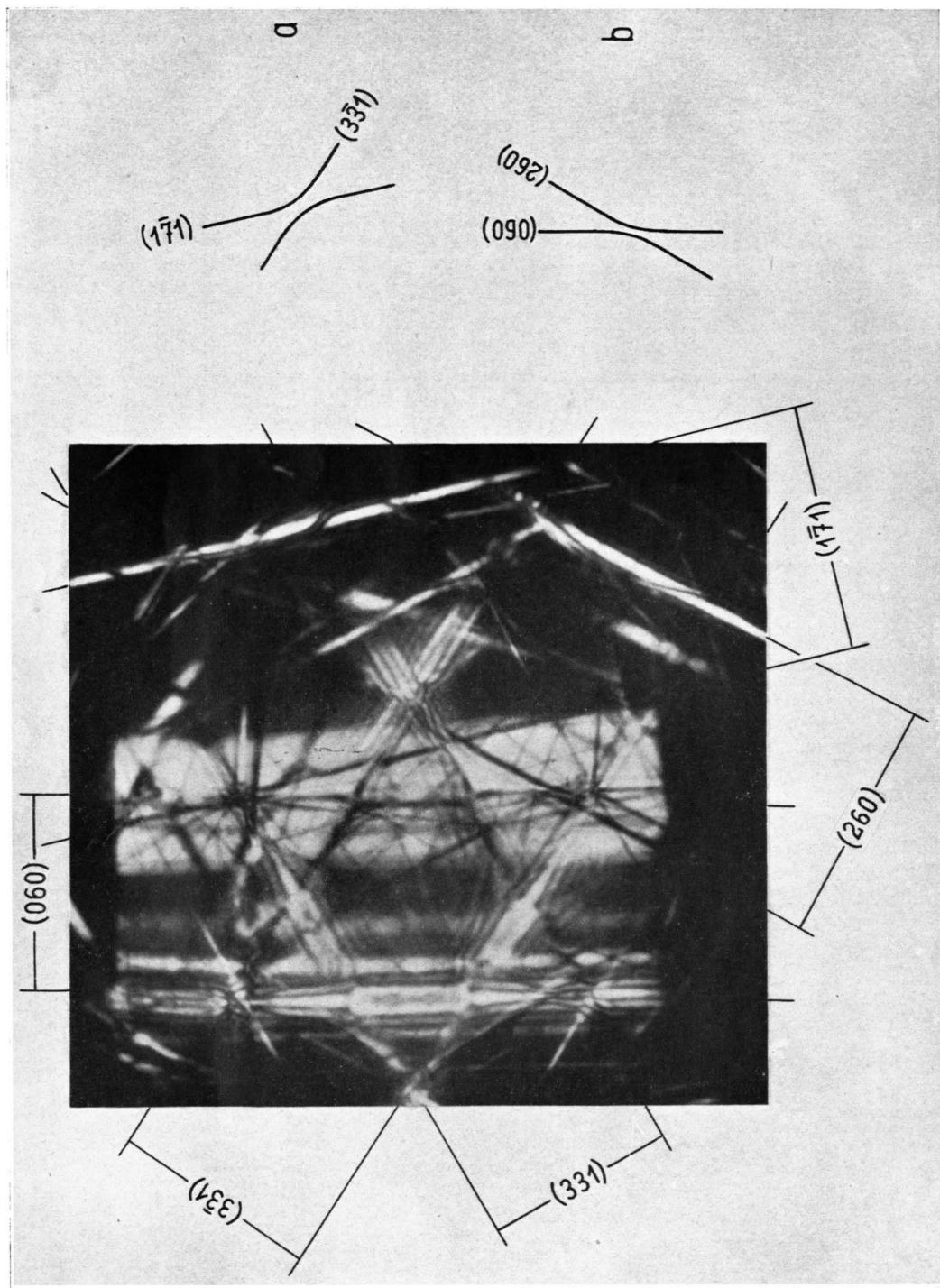


Abb. 3. $U \approx 60$ kV, $D \approx 1200 \text{ \AA E}$, $V = 2,7$.

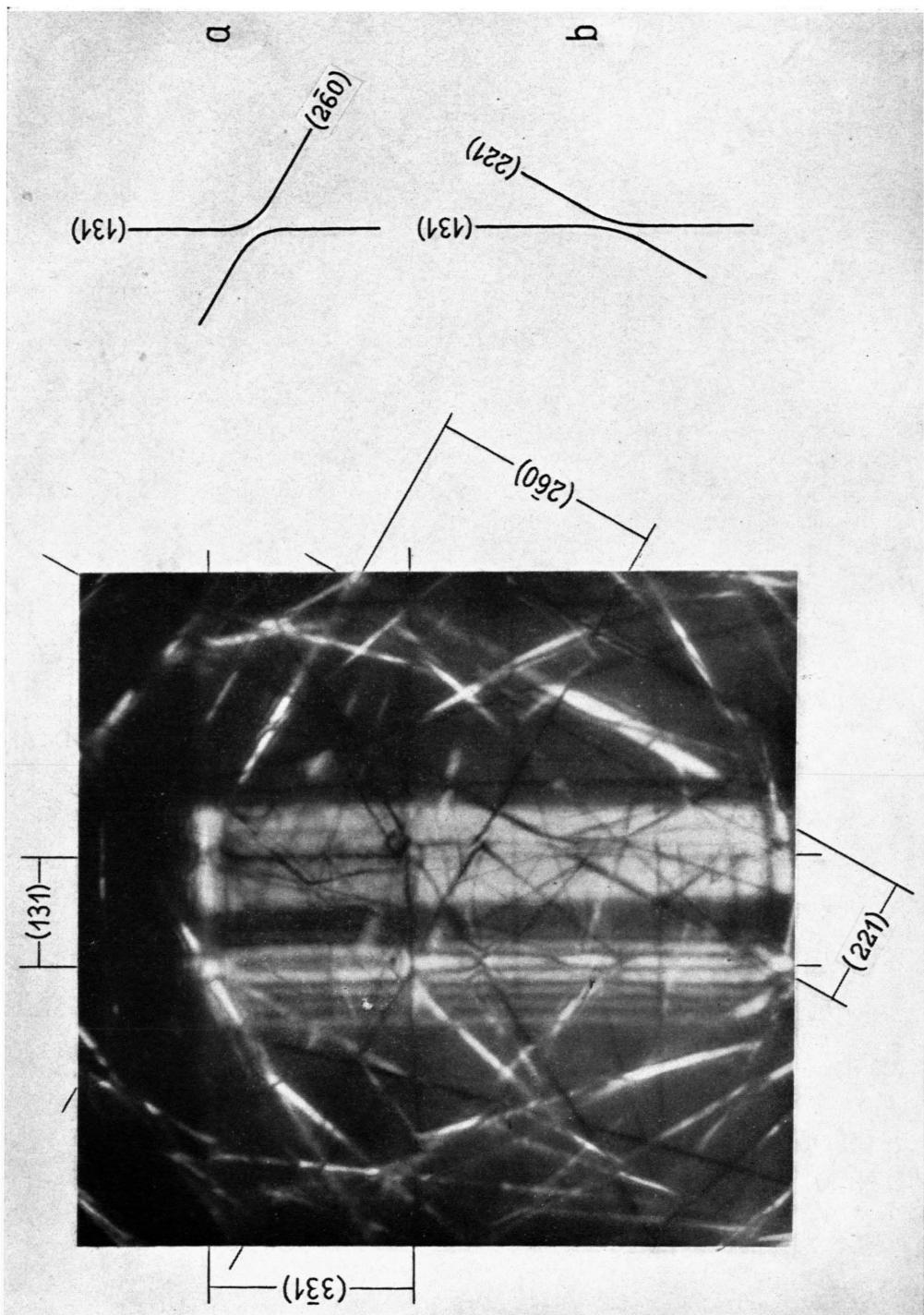


Abb. 4. $U \approx 60$ kV, $D \approx 1$ 300 ÅE, $V = 2,7$.

wie nach den bei Wagner⁶ und Menzel-Kopp⁷ geschilderten Überlegungen; hiernach weichen die Extinktionslinien so aus, wie die Zeichnung angibt: Denkt man sich eine Gerade durch die Kreuzung zweier Extinktionslinien und die Mitte der beiden Bänder, so wird diese Gerade von den Extinktionslinien nicht überschritten. Oder in anderer Darstellung: Man zeichnet für eine Kreuzung die beiden Vektoren der zugehörigen Gitterimpulse⁹. Da die Umsteuerung der Elektronen nun von der Einfallsrichtung in die Reflexionsrichtung erfolgt, erhält man die Gitterimpulse sofort als die Pfeile, die auf der Aufnahme vom Einschuß zum zugehörigen Reflex weisen. Bilden sie einen spitzen Winkel, dann werden die spitzen Winkel der Extinktionslinien abgerundet; bilden sie einen stumpfen Winkel, dann werden auch die stumpfen Winkel abgerundet. Es muß betont werden, daß dies das Verhalten der Extinktionslinien ist, die Reflexe selbst verlaufen stets ebenso wie ihre Extinktionslinien.

Vergleichen wir nun mit dieser Regel das Verhalten der Extinktionslinien der Abb. 1: Es gibt zwei Typen von Kreuzungen. 1. Es kreuzen sich zwei — bis auf die Vorzeichen — gleich indizierte Linien: (260) kreuzt (260), oder (391) kreuzt (391). 2. Es kreuzen sich zwei verschieden indizierte Linien: (260) kreuzt (391) bzw. (260) kreuzt (391).

Betrachten wir als Beispiel den Schnitt von (391) mit (260): Die Pfeile weisen, wie oben gesagt, auf den zu dieser Extinktion gehörenden Reflex, also auch auf die Bandmitte. Für (391) liegt die Mitte rechts von der Extinktion, für (260) ebenfalls; der Schnitt der Bandmitten liegt daher rechts von der Kreuzung, und zwar wie man in dem Übersichtsbild leicht abliest, in dem nach rechts offenen Winkelfeld. Die Gerade, die durch diese Mitte und die Kreuzung geht, liegt demnach etwa horizontal (20° aus der Horizontalen gegen den Uhrzeigersinn gedreht). Sie wird von den Abrundungen nicht überschritten, wie die Regel fordert.

Oder nach der anderen Darstellung: In den Kreuzungen oben und unten, in denen sich gleich indizierte Linien schneiden, bilden die Impulspfeile stumpfe Winkel, es werden also die stumpfen Winkel abgerundet; in den Kreuzungen links und rechts hingegen, in denen sich die verschiedenen indizierten Linien schneiden, bilden die Impulspfeile spitze Winkel und es werden die spitzen Winkel abgerundet.

Man findet an allen vier Kreuzungen Übereinstimmung mit der Regel.

Die Verbiegungen in den Reflexen sind nur klein, da die Strukturfaktoren der beteiligten Netzebenen nur klein sind.

⁹ W. Kossel, *Ergebn. exakt. Naturwiss.* **16**, 308 [1937].

Größer und auch in den Reflexen deutlich sind die Verbiegungen in den beiden Beispielen der Abb. 3*. Hier wird (171) von (331) gestört (a) und (260) von (060) (b). Die nebenstehenden Skizzen verdeutlichen den Verlauf. Die Beobachtung der Extinktionslinien wird, besonders im Fall a, etwas erschwert, weil der (331)-Reflex wegen seiner kräftigen Nebenstreifen mehrfach erscheint. Trotzdem erkennt man deutlich die Verbiegung, die der Regel entspricht.

Die Abb. 4** zeigt zwei weitere Beispiele in einem nur selten angeschossenen Bereich: (260) wird von (131) und (221) von ebenfalls (131) im erwarteten Sinne gestört.

Eine Einschränkung erfordert die oben ausgesprochene Regel: Wenn die beteiligten Netzebenen in Reflexionskopplung stehen, also Umweganregung mit endlicher Intensität zwischen den beiden Reflexen möglich ist, dann ist sie ungültig. Dann erfolgt nach den bisherigen Beobachtungen eine Verbiegung der den Reflex begleitenden Streifen symmetrisch zur exakten Lage des Bragg-Reflexes. Das ist an dem früher (Abb. 5 sowie ^{3, 4} und ⁷, S. 269 ff.) diskutierten Beispiel, der Überkreuzung von (060) mit (331) bzw. (331) der Fall, das auch in der Abb. 3 zu sehen ist, ebenso in Abb. 4 die Überkreuzung von (131) durch (260) und (331).

An Hand der beiden Abb. 3 und 4 soll noch kurz auf eine andere Erscheinung hingewiesen werden. In den früheren Arbeiten wurden Verbiegungen der die Reflexe begleitenden Streifen diskutiert. Dort zeigten sich stets Verbiegungen um *eine* Streifenbreite (abgesehen von geringen Verschiebungen). Fues ist der Meinung⁴, daß auch Verbiegungen von *zwei* Streifenbreiten experimentell beobachtbar sein müßten. Betrachtet man nun in Abb. 3 die zu Fall a [(171) gekreuzt von (331)] gehörende Extinktionslinie, so ist deutlich die Verbiegung zu erkennen: Unterhalb der Störstelle liegt z. B. ein Nebenstreifen rechts vom Bragg-Reflex, in der Störung weicht er nach links aus und mündet im ersten Streifen links vom Bragg-Reflex. Er zeigt also eine Verbiegung um *zwei* Streifenbreiten. Das gleiche erfolgt am Reflex (260), der zu Abb. 4a gehört. Weitere Untersuchungen hieran, mit veränderter Dicke und Spannung sind geplant.

* Abb. 3, s. Tafel S. 28 b.

** Abb. 4, s. Tafel S. 28 c.