

inelastisch gestreuten Elektronen herrührt, für den niederenergetischen Bereich größer ist als für den hochenergetischen, kann man eine gute Abschätzung des Untergrundes vornehmen. Bei uns stellen wir für den mittleren Energiebereich, in dem auch die Messungen vollzogen wurden, einen Untergrund von 25% fest. Nach der Untergrundkorrektur wird noch der Randomwert auf Eins normiert, bevor die gemessenen Spektren mit den simulierten verglichen werden können. Bei den Konversionselektronen des  $^{73}\text{As}$  erhielten wir einen Untergrund von 15%.

## **8. Gitterplatzbestimmung von $^{32}\text{P}$ und $^{33}\text{P}$ in Diamant**

### **8.1 Besonderheiten des Emissionschannelings bei $\beta^-$ -Elektronen**

Beim Channeling mit  $\beta^-$ -Elektronen ergeben sich Besonderheiten, die daraus resultieren, daß die Elektronen des  $\beta^-$  Zerfalls mit kontinuierlichem Energiespektrum emittiert werden. Wie bereits in 5.3 angedeutet, variiert die Channelingeffekthöhe mit der Energie so, daß die  $\beta^-$ -Energieverteilung in der Auswertung bedacht werden muß. In Bild 8.1 sind die simulierten Effekte in der  $\langle 110 \rangle$  Achse, nach einer Implantation mit  $^{33}\text{P}$  mit 30 keV in Diamant für Energien zwischen 50 keV und 250 keV aufgetragen.

Man muß also den Channelingeffekt in Abhängigkeit der Energie berechnen und diesen mit dem Energiespektrum falten, um den simulierten Effekt zu erhalten. Dies ist mit der Manybeam Simulation nicht möglich, sondern es können nur Channelingeffekte für einzelne diskrete Energien berechnet werden. Als gute Näherung kann man das  $\beta^-$ -Spektrum in einige Energiefenster aufteilen (Bild 8.2), den Channelingeffekt für diese Energien rechnen und diese, gewichtet mit dem Beitrag zum Energiespektrum, addieren. Dies ist allerdings erst bei niederenergetischen Elektronen unter 500 keV nötig, also für die Rechnung der Elektronen des  $^{33}\text{P}$ . Darüber tritt keine oder nur eine zu vernachlässigende Energieabhängigkeit auf, so daß man bei dem Isotop  $^{32}\text{P}$  die Messungen mit einer mittleren Elektronenenergie von 1 MeV simulieren kann.

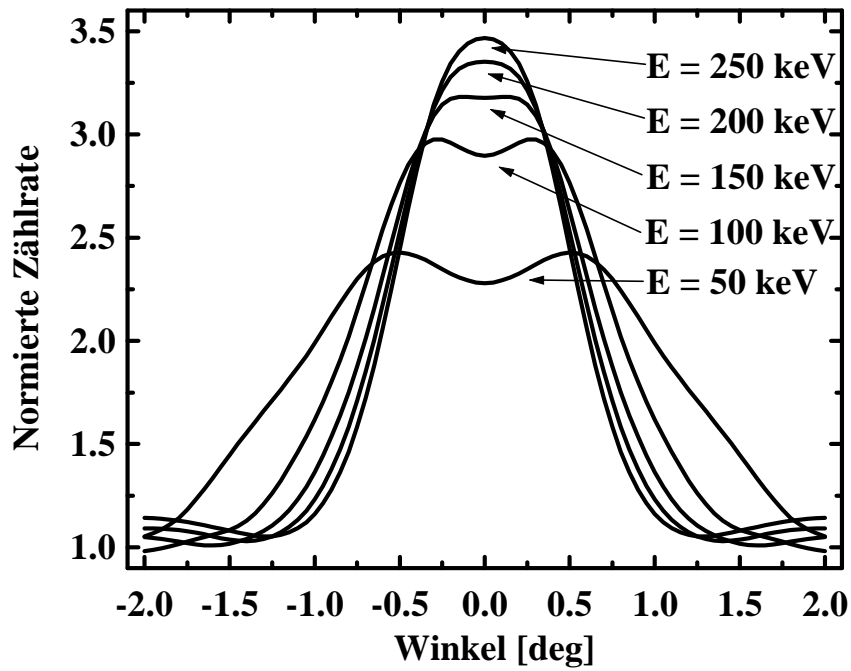


Bild 8.1: Energieabhängigkeit des Emissionchannelingeffektes von  $^{33}\text{P}$  in Diamant entlang der  $\langle 110 \rangle$  Achse bei Raumtemperatur und einer mittleren Implantationstiefe von 217 Å.

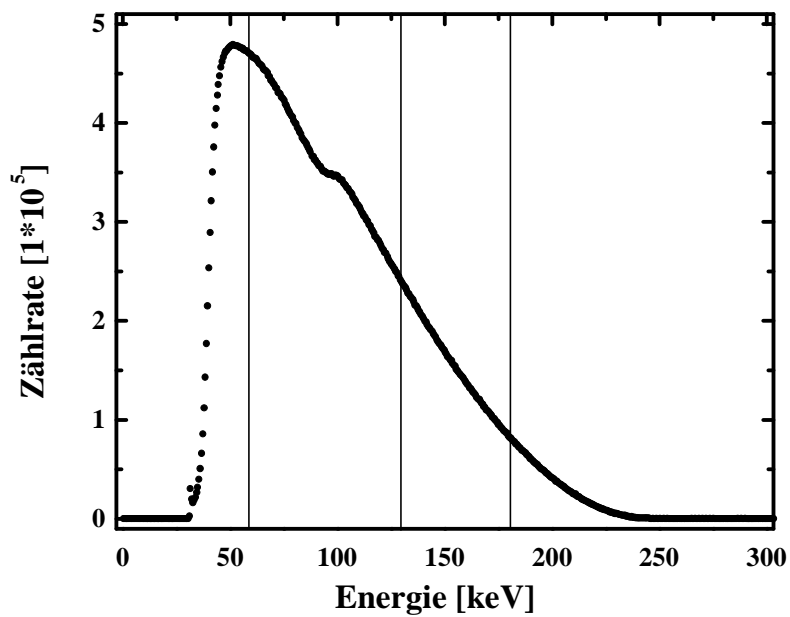


Bild 8.2: Energiespektrum von  $^{33}\text{P}$  in Diamant. Eingezeichnet sind zudem die Fenster um Energien von 100 keV, 150 keV und 200 keV.

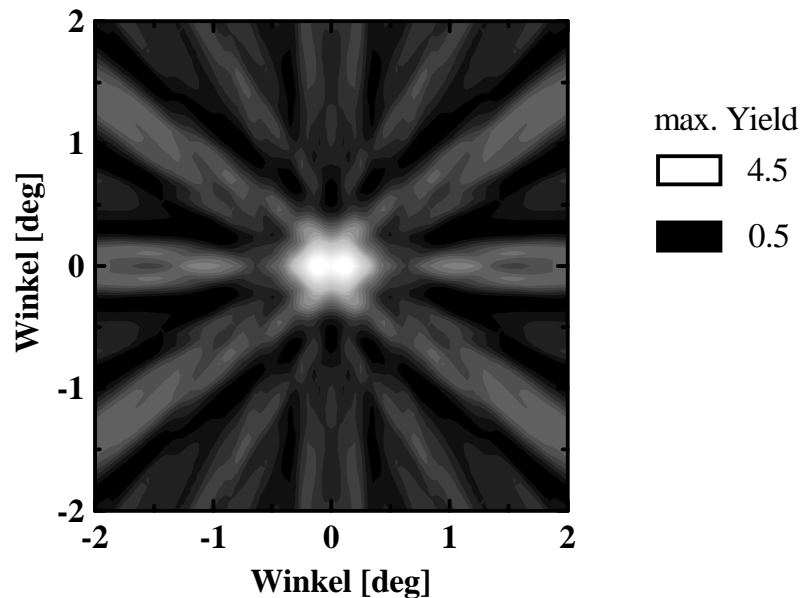
Aus dem  $\beta^-$  Energiespektrum von  $^{33}\text{P}$  aus Bild 8.2 ergeben sich folgende Gewichtungsfaktoren für die verschiedenen Energien.

Energie	Faktor
100 keV	0.702
150 keV	0.234
200 keV	0.064

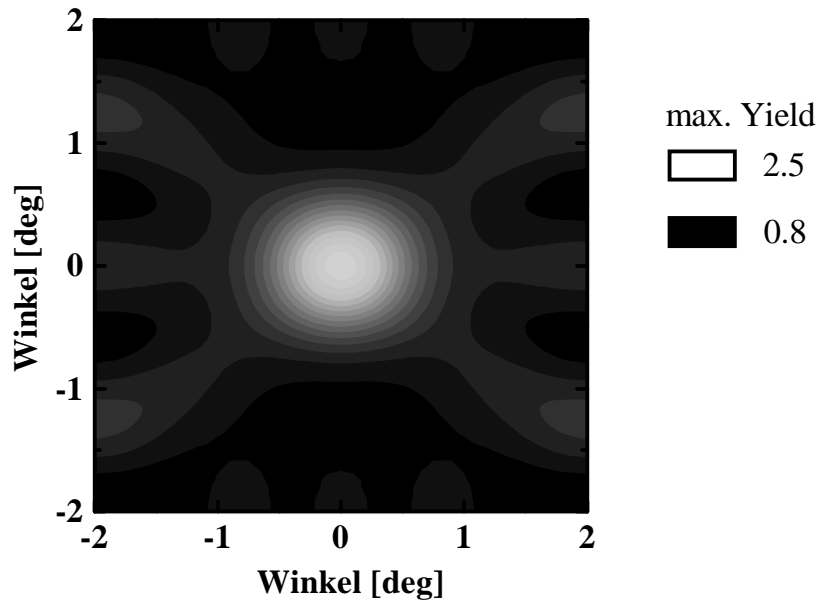
## 8.2 Meßergebnisse und Auswertung

Im Bild 8.3a sehen wir ein gerechnetes Channelingspektrum für  $^{32}\text{P}$  in Diamant mit einer Elektronenenergie von 1 MeV. Man erkennt die Ähnlichkeit zu Beugungsbildern aus der Elektronenmikroskopie. In Bild 8.3b ist zusätzlich die beim Experiment vorhandene Winkelauflösung berücksichtigt. Zudem ist der Effekt auch noch in dreidimensionaler Darstellung in Bild 8.3c gezeigt. Aus diesem Raster wird nun das Spektrum mit dem richtigen Winkel zu den Ebeneneffekten herausgeschnitten, wie er im Experiment gemessen worden ist.

a) Ohne Glättung über die Winkelauflösung des Detektors



b) Mit Glättung über die Detektorauflösung von  $\sigma = 0.45^\circ$



c) Dreidimensionale Darstellung von 8.3b

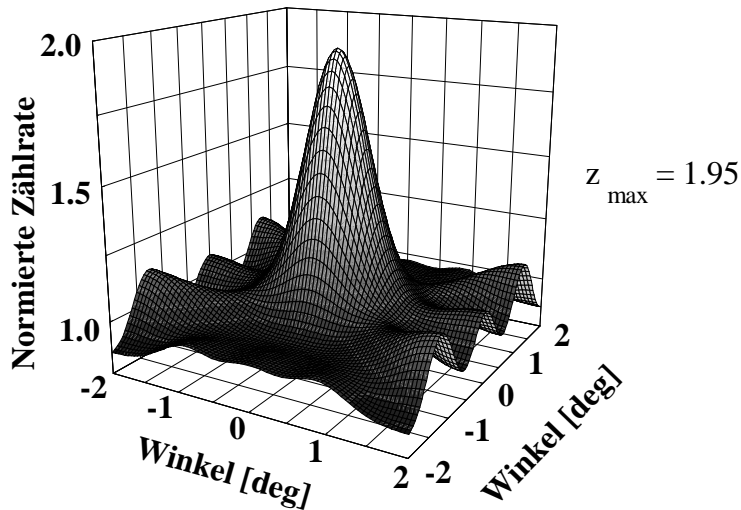





Bild 8.3: Theoretische Spektren des Channelingeffektes in  $\langle 110 \rangle$  von  $^{32}\text{P}$  in Diamant auf substitutionellen Plätzen.

Aufgrund der geringen Menge des radioaktiven Phosphors, den wir implantieren konnten, war es nur möglich, den Effekt in der  $\langle 110 \rangle$  Richtung zu vermessen. Deshalb mußte überprüft werden, ob auch ein anderer als der substitutionelle Anteil der Emittieratome zu dem Effekt in  $\langle 110 \rangle$  beitragen könnte. In Bild 8.4 ist eine Aufsicht der  $\{110\}$  Ebene gezeigt. Man erkennt, daß außer dem substitutionellen Gitterplatz nur der Bond Center und der Antibond Center Platz in Frage kommt, also solche Plätze, die relativ nahe zur Achse liegen. Für den Tetraederplatz können wir aufgrund Bild 8.4 eine nahezu isotrope Emissionsverteilung erwarten.

-  tetrahedral interstitial site
-  anti bonding site
-  bond center site

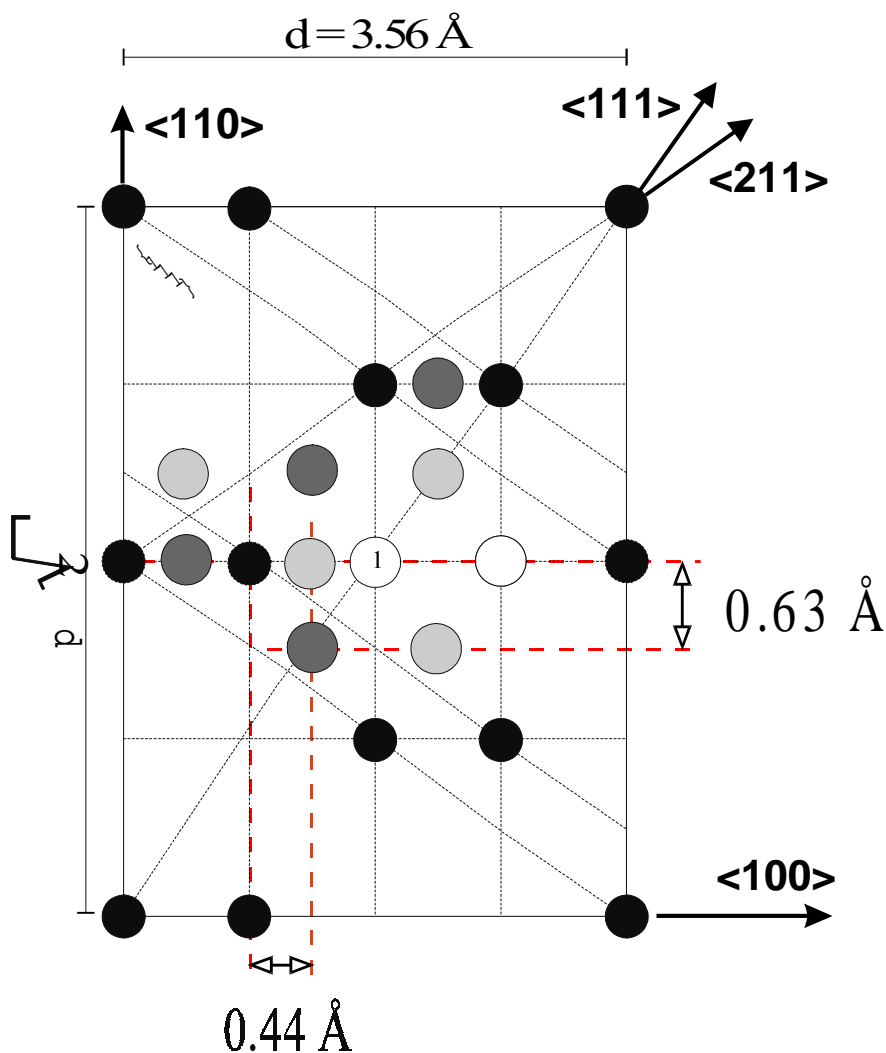


Bild 8.4: Aufsicht in Richtung einer  $\langle 110 \rangle$  Achse im Diamantgitter

Es wurden nun die erwarteten Effekte in  $\langle 110 \rangle$  Richtung für substitutionelle Emitter mit denen auf Tetraederplätzen, auf anti-bond Plätzen und auf bond center Plätzen verglichen. Aus Bild 8.5 erkennt man, daß nur der substitutionelle Anteil zu einem Effekt in  $\langle 110 \rangle$  beiträgt. Der  $\langle 110 \rangle$  Effekt ist also ein direktes Maß für den substitutionellen Anteil.

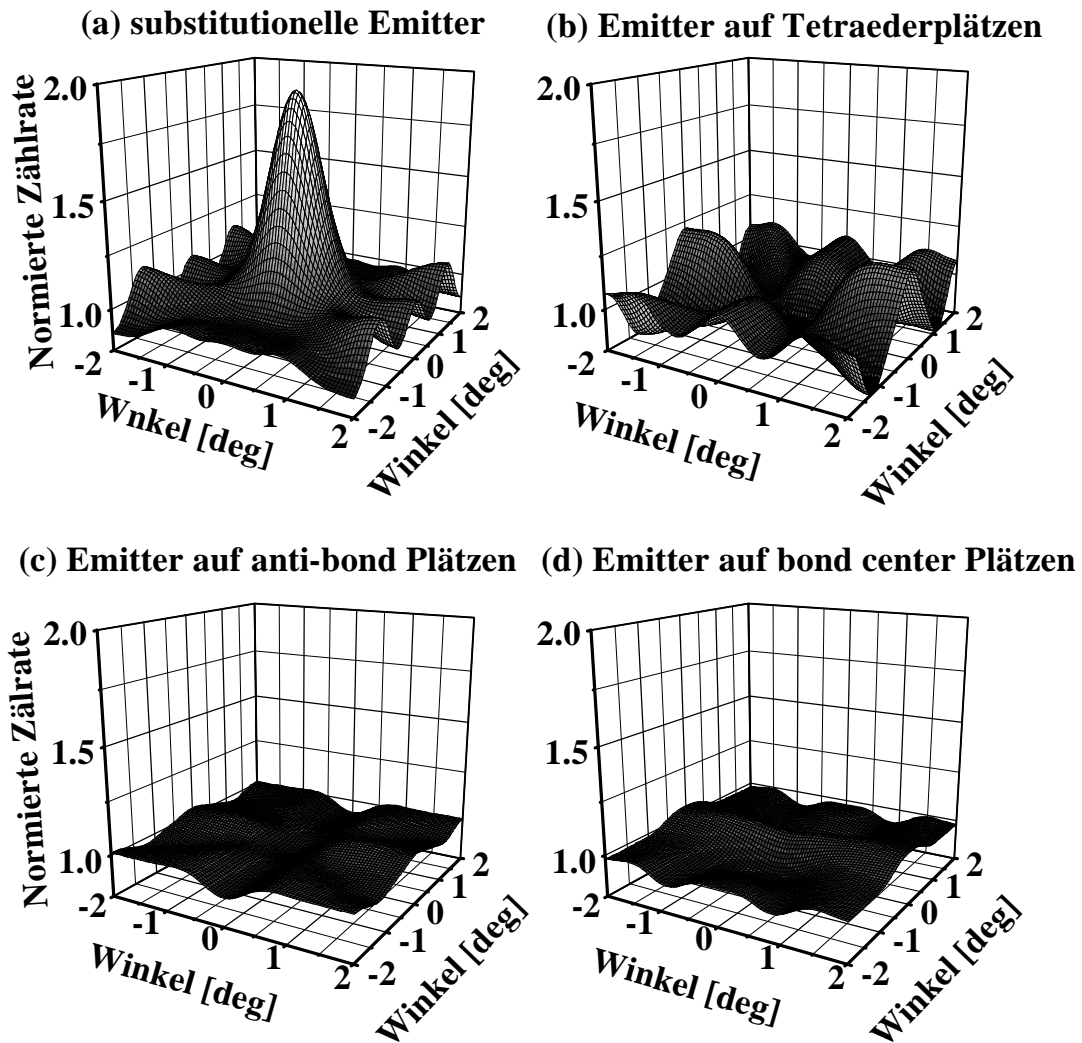
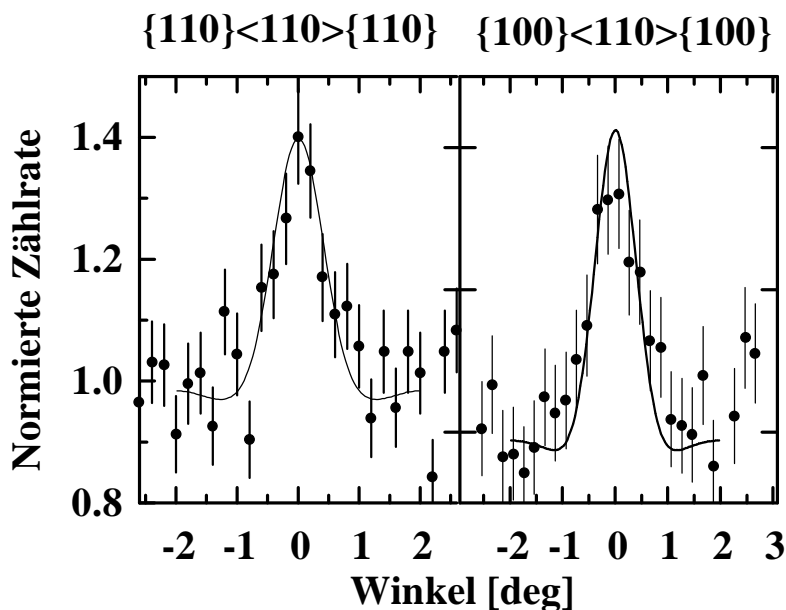


Bild 8.5: Theoretische Spektren der Channelingeffekte in  $\langle 110 \rangle$  von  $^{32}\text{P}$  in Diamant auf verschiedenen Gitterplätzen.

In Bild 8.6 werden die experimentellen Daten mit denen aus der Manybeam Simulation errechneten verglichen. Die theoretischen Spektren werden mit folgender Formel an die Meßdaten angepaßt.

$$f(x) = a \cdot (1 + f_s \cdot (g(x) - 1)) \quad (8.1)$$

- Mit:  $f_s$ : Substitutioneller Anteil der Emittieratome  
 $a$ : Normierungsfaktor (0.95-1.05)  
 $g(x)$ : Theoretischer Scan für 100% substitutionelle Emittier  
 $f(x)$ : Theoretischer Scan für  $f_s$  100 % substitutionelle Emittier  
 $x$ : Winkel zur Kristallachse [deg]



**Bild 8.6:** Emissionschannelingmessungen der  $\beta$ -Elektronen des  $^{32}\text{P}$  in Diamant mit der Anpassung der simulierten Spektren für einen substitutionellen Anteil von  $50 \pm 15\%$ .

Die Anpassung ergab einen substitutionellen Anteil des  $^{32}\text{P}$  von  $50 \pm 15\%$ .

In Bild 8.7 ist der theoretische Channelingeffekt der Elektronen des  $^{33}\text{P}$  in  $\langle 110 \rangle$  Richtung gezeigt, der, wie in Kap. 8.1 erläutert, durch eine gewichtete Mittelung über die Energien 100 keV, 150 keV und 200 keV berechnet wurde.

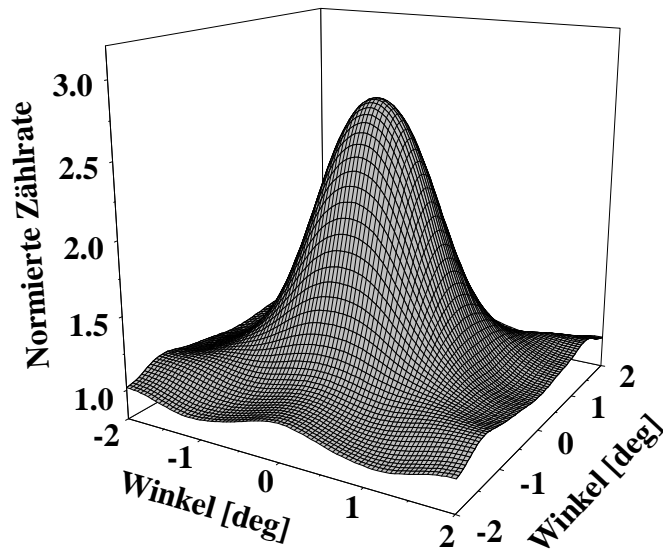


Bild 8.7: Theoretischer Channelingeffekt der Elektronen des  $^{33}\text{P}$  in  $\langle 110 \rangle$  Richtung. (Gewichtete Mittelung über die Energien 100 keV, 150 keV und 200 keV).

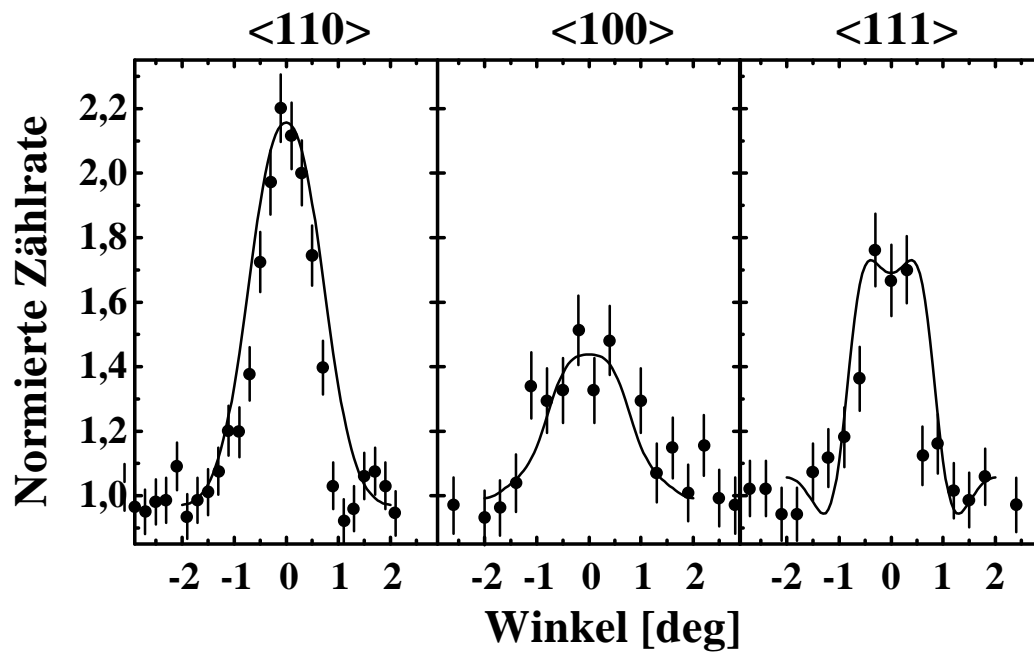


Bild 8.8: Emissionschannelingmessungen der  $\beta$ -Elektronen des  $^{33}\text{P}$ . Die Anpassung der theoretischen Spektren an die experimentellen Daten ergab einen substitutionellen Anteil von  $70 \pm 10 \%$ .

In Bild 8.8 sind wieder die simulierten Spektren den experimentellen Daten nach (8.1) angepaßt. Diesmal konnte praktisch sauerstofffrei Phosphor mit  $1 \cdot 10^{11}/\text{cm}^2$  implantiert werden, allerdings immer noch nicht mit der gewünschten Dosis von  $10^{13}/\text{cm}^2$ . Hier ergibt sich ein substitutioneller Anteil des Phosphors in Diamant von  $70 \pm 10\%$ . Aus dem Vergleich der Höhe der Effekte in  $\langle 110 \rangle$  und  $\langle 111 \rangle$  Richtung bekommt man zudem die Information, daß wir keinen Anteil des Phosphors auf Tetraederplätzen haben.

## **9. Gitterplatzbestimmung von $^{73}\text{As}$ in Diamant**

Auch Arsen kommt als Gruppe V Element als Dotieratom für Diamant in Frage. Eine Gitterplatzbestimmung wurde bereits mit  $^{73}\text{As}$  durchgeführt [BHAR95]. Als Ergebnis bekam man einen substitutionellen Anteil von  $55 \pm 5 \%$ . Hierzu wurde  $10^{13} \text{ } ^{73}\text{Se}/\text{cm}^2$  am Isotopenseparator ISOLDE am CERN in Genf mit 60 keV implantiert.

### **9.1 Vergleich der Channelingmessungen mit $e^-$ - $\gamma$ - Messungen**

Am gleichen System Arsen in Diamant wurden auch  $e^-$  -  $\gamma$  - Messungen am CERN durchgeführt [CORR96]. Hierzu wurde  $^{73}\text{Se}$  mit einer Dosis von  $10^{14}/\text{cm}^2$  implantiert. Mit der  $e^-$  -  $\gamma$  Methode bestimmt man die elektrischen Feldgradienten am Ort der Sondenatome. Daraus lassen sich bestimmte Defektkonzentrationen oder aber Sondenanteile in nahezu ungestörter kubischen Umgebung identifizieren. Für  $^{73}\text{As}$  in Diamant konnte lediglich ein Anteil mit nahezu ungestörter kubischer Umgebung extrahiert werden.

In Bild 9.1. sind die Meßpunkte dieser Messung gezeigt. Es ergab sich ein Anteil der Emitter in ungestörter kubischer Umgebung von 15 - 30 %.