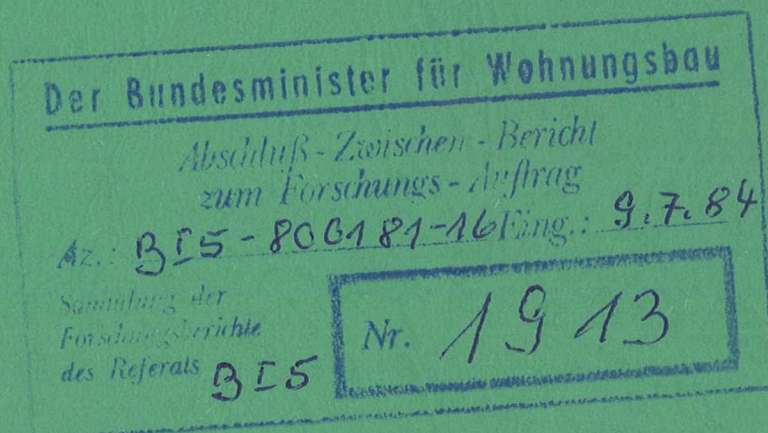


TRAGVERHALTEN VON NAGELVERBINDUNGEN BEI  
GLEICHZEITIGER BEANSPRUCHUNG AUF ABSCHEREN  
UND AUSZIEHEN

von

Jürgen Ehlbeck und Wichard Siebert



Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine  
Abt. Ingenieurholzbau  
Universität Fridericiana Karlsruhe  
o.Prof.Dr.-Ing. Jürgen Ehlbeck  
1984

TRAGVERHALTEN VON NAGELVERBINDUNGEN BEI  
GLEICHZEITIGER BEANSPRUCHUNG AUF ABSCHEREN  
UND AUSZIEHEN

von

Jürgen Ehlbeck und Wichard Siebert

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine  
Abt. Ingenieurholzbau  
Universität Fridericiana Karlsruhe  
o.Prof.Dr.-Ing. Jürgen Ehlbeck  
1984

## V O R W O R T

Diese Arbeit entstand in den Jahren 1982/84 im Auftrage und mit finanzieller Unterstützung des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau der Bundesrepublik Deutschland (Geschäftszeichen BI5 - 80 01 81 - 16).

Die Untersuchungen wurden von Herrn Dipl.-Ing. Wichard Siebert geplant und geleitet. Der Bau der Prüfeinrichtung erfolgte durch Herrn Harald Heck, während die Versuchsdurchführung in bewährter Weise von Herrn Gerhard Köhler besorgt wurde. Mit großem Einsatz half Herr cand.ing. Otto Eberhart bei der Auswertung und der Ergebnisaufbereitung.

Der gesamten Arbeitsgruppe sei für ihre Mitarbeit gedankt.

Jürgen Ehlbeck

## INHALT

1	Einleitung	1
2	Literatur	2
3	Versuchseinrichtung und Probekörper	6
4	Vorversuche	7
5	Versuchsprogramm	8
6	Versuchsmaterial	10
	6.1 Holz	10
	6.2 Nägel	10
7	Versuchsdurchführung	12
8	Ergebnisse und Auswertung	13
	8.1 Tragfähigkeiten	13
	8.2 Verformungen	18
9	Zusammenfassung	19
10	Schrifttum	22

## 123 Anlagen



## 1 Einleitung

Genormte glattschaftige Nägel, deren Verwendung für Verbindungen von tragenden Holzbauteilen hinsichtlich Bemessung und Ausführung in den deutschen Holzbaubestimmungen geregelt ist, sind planmäßig nur für Beanspruchung auf Abscheren vorgesehen. Sie dürfen nur kurzfristig und mit relativ kleinen Kräften auch auf Herausziehen beansprucht werden. Sondernägel, die in zunehmendem Maße Verwendung finden, setzen infolge ihrer profilierten Schaftform Ausziehbeanspruchungen erhöhten Widerstand entgegen, der auch bei Langzeitbeanspruchung oder Relaxation des Holzes erhalten bleibt.

Kombinierte Beanspruchungen werden häufig durch Ausmittigkeiten hervorgerufen oder treten planmäßig auf. Gegenwärtig werden derartige Lastfälle teilweise in den einschlägigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt (z.B. Sondernägel für die Stahlblech-Holz-Nagelung oder für die Anschlüsse im Fassadenbau). Aber auch bei schrägen Dachflächen treten solche kombinierten Beanspruchungen auf (z.B. bei Koppelpfetten), ohne daß über die Tragfähigkeit bis heute ausreichende Grundlagenkenntnisse vorliegen.

Derartige kombinierte Beanspruchungen können mit Sicherheit durch Sondernägel zuverlässiger aufgenommen werden als durch runde Drahtnägel. Für eine Reihe von Sondernägeln wurde die Brauchbarkeit bereits in den Zulassungsversuchen zu den o.g. bauaufsichtlichen Zulassungen nachgewiesen. Die zulässigen Werte auf Abscheren und auf Herausziehen sind dadurch hinreichend abgesichert. Untersuchungen über das Tragverhalten bei kombinierter Beanspruchung wurden jedoch auch in diesem Zusammenhang nicht systematisch durchgeführt. Das Ziel dieser Arbeit war es deshalb, diese Beanspruchungsart näher zu untersuchen.

## 2 Literatur

Es gibt nur wenige Richtlinien oder Veröffentlichungen über zulässige Werte für die Nagelbelastung unter kombinierter Beanspruchung.

In den USA gibt das Timber Construction Manual [1] für schräg eingeschlagene Nägel ("toe-nailed" und "slant nailed joints") Belastungsfaktoren im Verhältnis zur reinen Scherbeanspruchung an.

Nach den "Fassadenrichtlinien" [2] und dem Entwurf zu DIN 18516, Teil 2 [3] dürfen Schrägzugkräfte  $S$  wirken, deren Komponenten  $V$  in vertikaler Richtung und  $H$  in horizontaler Richtung nach

$$\frac{V}{V_{\text{grenz}}} + \frac{H}{H_{\text{grenz}}} \leq 1$$

bestimmt werden können, falls nicht besondere Schrägzugversuche durchgeführt werden.  $V_{\text{grenz}}$  bzw.  $H_{\text{grenz}}$  sind dabei die mit einem ausreichenden Sicherheitsfaktor abzumindernden Höchstkräfte bei Beanspruchung in vertikaler bzw. horizontaler Richtung.

In verschiedenen bauaufsichtlichen Zulassungen für Sondernägel für die Befestigung von Fassadenunterkonstruktionen gilt für die kombinierte Beanspruchung:

$$\left( \frac{\text{vorh } N_Z}{\text{zul } N_Z} \right)^{1,5} + \left( \frac{\text{vorh } N_1}{\text{zul } N_1} \right)^{1,5} \leq 1$$

$N_Z$  bzw.  $N_1$  sind die Kraftkomponenten, die den Nagel auf Herausziehen bzw. auf Abscheren beanspruchen.

Für eingeleimte Gewindestangen und Ankernägel (für Stahlblech-Holz-Nagelung) gibt RIBERHOLT [4;5] die Interaktionsgleichung

$$\left( \frac{\text{vorhandene Querlast}}{\text{Bruch-Querlast}} \right)^2 + \left( \frac{\text{vorhandene Axiallast}}{\text{Bruch-Axiallast}} \right)^2 \leq 1$$

als auf der sicheren Seite liegend an.

1979 faßte EHLBECK [6] die international gesammelten Erfahrungen über Nägel und Nagelverbindungen, Theorien über das Tragverhalten, Entwurfsdaten, Nationale Bestimmungen und Normen sowie Untersuchungsmethoden zusammen. In der umfangreichen Literaturübersicht gibt es jedoch nur eine Quelle, die auf Versuche mit Nägeln unter kombinierter Beanspruchung auf Abscheren und auf Herausziehen hinweist:

De BONIS und BODIG [7] berichten über Untersuchungen, die De BONIS im Rahmen seiner "Masters Thesis" [8] mit einer eigens hierfür konstruierten Versuchsvorrichtung durchführte. Damit war es möglich, Kräfte in verschiedenen Richtungen auf einen Prüfkörper einwirken zu lassen. Es wurden je zwei Versuche mit einem glattschaftigen Nagel  $3,33 \times 63,50$  mm bei drei verschiedenen Einschlagtiefen ( $6d = 20$  mm,  $10d = 33$  mm,  $14d = 47$  mm) unter acht Winkeln ( $0^\circ =$  Abscheren,  $7,5^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $90^\circ =$  Ausziehen) mit drei nordamerikanischen Holzarten (Engelman spruce, Douglas-fir, Red oak) durchgeführt. Die Rohdichten der drei Holzarten, aus dem Darrgewicht ermittelt und auf das Volumen des frischen Holzes bezogen, betragen  $0,314$ ;  $0,440$  bzw.  $0,604$ . Diese Werte entsprechen etwa einer Normalrohichte nach DIN 52182 von  $0,37$ ;  $0,53$  bzw.  $0,77$  g/cm<sup>3</sup>. Feuchtigkeit und Faserrichtung blieben konstant; die Nägel wurden radial zu den Jahrringen eingeschlagen, um die Streuungen niedrig zu halten. Die Proben waren bei  $21^\circ\text{C}$  und  $66$  % relativer Luftfeuchtigkeit klimatisiert worden. Die Prüfung erfolgte eine Stunde nach dem Nageln mit einer konstanten Verformungsgeschwindigkeit von  $2,5$  mm/min. Die Kraft-Verformungskurven wurden aufgezeichnet und ausgewertet. De BONIS stellte fest, daß eine Darstellung

der Resultate nach HANKINSON in der Form

$$\max F = \frac{\max F_x \cdot \max F_y}{\max F_x \cdot \sin^2 \alpha + \max F_y \cdot \cos^2 \alpha} \quad (2.1)$$

eine ungeeignete Näherung darstellt.

In Gl. (2.1) bedeuten:  $\max F$  = unter Winkel  $\alpha$  angreifende Höchstkraft,  $\max F_x$  = maximale Scherkraft ( $\alpha = 0^\circ$ ),  $\max F_y$  = maximale Ausziehkraft ( $\alpha = 90^\circ$ ).

Auch die gebräuchliche Interaktionsformel

$$\frac{F_S}{\max F_S} + \frac{F_Z}{\max F_Z} = 1 \quad (2.2)$$

mit  $F_S$  = Kraftkomponente rechtwinklig zur Nagelachse,

$F_Z$  = Kraftkomponente in Achsrichtung

beschreibt die Tragfähigkeit unter kombinierter Beanspruchung nach De BONIS' Meinung unzureichend. Er erweiterte die Gl. (2.2) in folgender Weise:

$$\frac{F_S}{\max F_S} + \frac{F_Z}{\max F_Z} = Z \quad (2.3a)$$

$$\text{mit } Z = 1 + K \cdot \sin 2\alpha \quad (2.3b)$$

Die aus den Versuchswerten durch Regression ermittelten Werte für  $K$  lagen zwischen 0,151 und 1,406. Aufgrund der großen Unterschiede empfahl De BONIS, die "konservative Näherung" mit  $K = 0$ , also die herkömmliche Interaktionsformel, zu verwenden, solange keine weiteren, klärenden Versuchsergebnisse vorliegen.

Der Zusammenhang zwischen Last und Verformung wurde von De BONIS durch eine halb-logarithmische Beziehung beschrieben:

$$\log K_\alpha = A + B \cdot \alpha, \quad (2.4)$$

mit  $K_{\alpha}$  = Verschiebungsmodul, in Richtung der  
aufgebrachten Last gemessen,

A,B = Konstante, die einerseits von der Holz-  
rohddichte und der Einschlagtiefe abhängen,  
andererseits von der Art des zu bestimmenden  
Moduls (Sekanten- oder Tangentenmodul).

Es wurde festgestellt, daß die Seitensteifigkeit linear  
mit steigender Axiallastkomponente zunimmt.



### 3 Versuchseinrichtung und Probekörper

Um die verschiedenen Belastungsfälle Ausziehen, Abscheren sowie Kombination beider Beanspruchungsarten bei Verwendung eines einzigen Prüfkörpertyps durchführen zu können, wurde eine ähnliche Vorrichtung gebaut, wie sie schon von De BONIS entwickelt wurde. Bild 1 (Anlage 1) zeigt diese Prüfvorrichtung, die auf Bild 2 bis 5 (Anlage 2 und 3) in verschiedenen Stadien des Zusammenbaues gezeigt ist.

In Bild 2 sieht man die "untere" Hälfte, die über vier in der Grundplatte verankerte Führungsbolzen fixiert ist. Aus den beiden halbkreisförmigen Stahlscheiben ragen die mit einem Gewinde versehene Klemmbolzen und die zur Krafteinleitung bestimmten Einspannlaschen (in dieser Darstellung Kraftrichtung  $\alpha = 90^\circ =$  Abscheren). Weiterhin sind die Klemmbacken zu erkennen, die in Bild 3 durch den eingelegten Prüfkörper verdeckt sind. In Bild 4 ist bereits eine "obere" Scheibe angeschraubt, und Bild 5 zeigt die vollständige, mit induktiven Wegaufnehmern versehene Prüfeinrichtung zwischen den Einspannköpfen der Prüfmaschine.

Die Prüfkörper entsprachen Bild 6 (Anlage 4) und bestanden aus zwei Hölzern der Dicke  $d_1$  und  $d_2$  die jeweils aus einer und derselben Latte der Dicke  $d = d_1 + d_2$  geschnitten wurden. Die Dicke  $d_1$  richtete sich nach der Nagellänge und der vorgesehenen Einschlagtiefe. Die Gesamtdicke  $d$  des Prüfkörpers wurde so gewählt, daß die Dicke  $d_2$  mindestens 10 mm größer als die Einschlagtiefe  $s$  war. Sämtliche Prüfkörper waren 150 mm lang und - mit Ausnahme einer Versuchsreihe - 40 mm breit. Lediglich für einen 6 mm dicken Nagel wurden 60 mm breite Probekörper verwendet. Beide Teile des Prüfkörpers wurden jeweils durch nur einen Nagel verbunden, der von Hand mittig eingeschlagen wurde.

#### 4 Vorversuche

Bei Nagelprüfungen wurden bisher die Ausziehversuche in den meisten Fällen auf einer hydraulischen Prüfmaschine mit einer konstanten Belastungsgeschwindigkeit von 4 kN/min durchgeführt. Dabei griff die Kraft über eine Öse am Nagelkopf an. Bei vergleichenden Ausziehversuchen mit Probekörpern, die aus zwei mit einem Nagel verbundenen Holzlatten (Trag- und Konterlatte) bestanden und die auf einer verformungs-gesteuerten Prüfmaschine mit einer konstanten Verformungs-geschwindigkeit von 2 mm/min gefahren worden waren, ließen sich Abweichungen der Höchstlasten feststellen. In vier Versuchsreihen mit je 10 Einzelversuchen wurde daher ge-prüft, welche Unterschiede in den Höchstlasten bei unter-schiedlichem Prüfmodus generell zu erwarten sind. Nach-folgend sind die Ergebnisse dieser Auszieh-Versuche ange-geben. Alle Versuche wurden mit gleichen Hölzern und runden Drahtnägeln 31 x 65 DIN 1151 durchgeführt. Der Mittelwert der Reihe V1 wurde dabei zu 100 % gesetzt.

Reihe	Prüfmaschine	Krafteinleitung	Prüfgeschwin- digkeit	Höchstkraft (%)
V1	hydraulisch	mit Öse auf Nagelkopf	4 kN/min	100
V2	hydraulisch	" "	2 mm/min	104
V3	hydraulisch	Trag- und Konter- lattung	2 mm/min	114
V4	mechanisch	Schrägzugvor- richtung nach Ab- schnitt 3	2 mm/min	121

## 5 Versuchsprogramm

Mit der eigens angefertigten Schrägzugvorrichtung wurden die nachfolgend aufgeführten Versuchsreihen durchgeführt:

- Reihe I : Holz normalklimatisiert  
2 Nageltypen  
 $\alpha = 0-15-30-45-60-75-82,5-90^0$
- Reihe II : Holz normalklimatisiert  
8 Nageltypen  
 $\alpha = 0-15-30-45-60-75-90^0$
- Reihe III : Holz normalklimatisiert  
2 Nageltypen  
unterschiedliche Einschlagtiefen  
 $\alpha = 0-30-60-90^0$
- Reihe IV : Holz normalklimatisiert  
2 Nageltypen  
unterschiedliche Rohdichte des Holzes  
 $\alpha = 0-30-(45)-60-90^0$
- Reihe V : 2 Nageltypen  
unterschiedlicher Feuchtigkeitsgehalt  
des Holzes  
 $\alpha = 0-30-60-90^0$
- Reihe VI : 2 Nageltypen  
Probekörper 1 Jahr im Freien unter Dach  
gelagert  
 $\alpha = 0-30-60-90^0$

Je Reihe und Winkel wurden jeweils fünf gleichartige Versuche durchgeführt.

Der Winkel  $\alpha$  zwischen Nagelachse und Kraftrichtung ist so definiert, daß  $\alpha = 0^\circ$  der Beanspruchung auf Herausziehen und  $\alpha = 90^\circ$  der reinen Abscherbeanspruchung entspricht. Die Scherkomponente wirkte stets parallel zur Faserrichtung des Holzes.

Eine detaillierte Aufstellung der Versuche enthält Tabelle 1 (Anlage 5).

In Reihe I und II wurden unterschiedliche Nageltypen bzw. -größen verwendet, die mit dem Nenndurchmesser  $d_n$  des glatten Schaftteiles, dem Außendurchmesser  $d_1$  des profilierten Schaftteiles und der Nagellänge  $l_n$  bezeichnet sind.

Für die weiteren Reihen III bis VI zur Untersuchung der Einflüsse unterschiedlicher Einschlagtiefen, Holzrohddichten, Feuchtigkeiten und Langzeitlagerungen wurden durchweg nur zwei Nageltypen verwendet, nämlich der glattschaftige Nagel 3,1 x 65 wie bei Reihe I.1 und der Schraubnagel 3,1/3,5 x 80 wie bei Reihe II.3. Tabelle 1 enthält außerdem die Abmessungen der Prüfkörper, Mittelwert und Streubereich deren Rohdichte im normalklimatisierten Zustand sowie deren Feuchtigkeitsgehalt bei der Herstellung und bei der Prüfung.

## 6 Versuchsmaterial

### 6.1 Holz

-----  
Das Holz der Prüfkörper sollte mit Ausnahme einiger Reihen möglichst gleiche Eigenschaften besitzen, um die Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse zu verbessern. Deshalb wurden aus ausgewählten 4,50 m langen Fichtenholzbohlen Latten geschnitten, deren Querschnitt bereits dem der daraus zu fertigen Prüfkörper entsprach und die eine Jahrringneigung im Querschnitt von etwa  $45^{\circ}$  aufwiesen.

Von beiden Enden und aus der Mitte dieser Latten wurden Proben entnommen, an denen die Rohdichte, die Druckfestigkeit und der Feuchtigkeitsgehalt ermittelt wurden. Die Hölzer wurden nach der Rohdichte sortiert und daraufhin für die einzelnen Versuchsreihen ausgewählt. Aufgrund der Streuungen ließen sich mehr oder weniger große Abweichungen von der angestrebten mittleren Rohdichte jedoch nicht bei allen Versuchsreihen gänzlich vermeiden.

In Tabelle 2 (Anlage 6) sind die mittleren Eigenschaften und Grenzwerte der für die Versuche verwendeten Hölzer zusammengestellt.

### 6.2 Nägel

-----  
Bild 7 (Anlage 7) zeigt die für die Versuche verwendeten Nägel. Hierbei handelt es sich um folgende 10 Typen:

I.1 runder Drahtstift DIN 1151, blank,  
mittl. Zugfestigkeit des Nagels  $860 \text{ N/mm}^2$ ;

I.2 Schraubnagel aus nichtrostendem Stahl,  
Werkstoff-Nr. 1.4301 DIN 17440,  
mittlere Zugfestigkeit des Nagelrohdrahtes  
 $780 \text{ N/mm}^2$ , mittl. Gewindesteigung  $67^{\circ}$ ;



- II.1 sherard-verzinkter Rillennagel,  
Zugfestigkeit des Nagelrohdrahtes mind.  $700 \text{ N/mm}^2$ ;
- II.2 feuerverzinkter Schraubnagel,  
mittlere Zugfestigkeit des Nagelrohdrahtes  $770 \text{ N/mm}^2$ ,  
mittl. Gewindesteigung  $45^\circ$ ;
- II.3 Schraubnagel aus nichtrostendem Stahl,  
Werkstoff-Nr. 1.4301 DIN 17440,  
Zugfestigkeit des Nagelrohdrahtes mind.  $700 \text{ N/mm}^2$ ,  
mittlere Gewindesteigung  $72^\circ$ ;
- II.4 runder Drahtstift DIN 1151, blank,  
mittlere Zugfestigkeit des Nagels  $820 \text{ N/mm}^2$ ;
- II.5 runder Drahtstift DIN 1151, blank,  
mittlere Zugfestigkeit des Nagels  $590 \text{ N/mm}^2$ ;
- II.6 verzinkter Rillennagel für Stahlblech-Holz-Nagelung,  
mittlere Zugfestigkeit des Nagelrohdrahtes  $450 \text{ N/mm}^2$ ;
- II.7 verzinkter Rillennagel für Stahlblech-Holz-Nagelung,  
mittlere Zugfestigkeit des Nagelrohdrahtes  $490 \text{ N/mm}^2$ ;
- II.8 verzinkter Rillennagel für Stahlblech-Holz-Nagelung,  
mittlere Zugfestigkeit des Nagelrohdrahtes  $510 \text{ N/mm}^2$ .

Die Bezeichnung der Nägel entspricht hier den Versuchsreihen, bei denen sie zur Anwendung kamen. Die Nägel I.1 (jedoch mit Zugfestigkeit  $740 \text{ N/mm}^2$ ) und II.3 wurden auch für die Versuchsreihen III bis VI verwendet. Die Größe der Nägel ist in Tabelle 1 angegeben.

## 7 Versuchsdurchführung

Die Versuchskörper wurden von Hand genagelt und mit Ausnahme der Reihen V.2, V.5, VI.1 und VI.2 einen Tag nach Herstellung geprüft. Die Prüfung erfolgte auf einer Universalprüfmaschine mit einer konstanten Verformungsgeschwindigkeit von 2 mm/min. Mit Hilfe induktiver Wegaufnehmer wurden die gegenseitigen Verschiebungen der Prüfkörperteile in zwei Richtungen gemessen und mittels Zweikomponentenschreiber für jeden Versuch zwei Diagramme — ein Kraft-Ausziehweg - und ein Kraft-Scherweg-Diagramm — aufgezeichnet.

Die Bilder 8 und 9 (Anlage 8) zeigen das Einspannen der Prüfvorrichtung in die Prüfmaschine sowie den Versuchsaufbau mit Prüfmaschine, Meßverstärkern und X-Y-Schreibern.

Die für Reihe V vorgesehenen Hölzer wurden in einem Behälter über Wasser gelagert, bis sie den gewünschten Feuchtigkeitsgehalt erreicht hatten. Dann wurden die Versuchskörper hergestellt und nach einem Tag bzw. nach dem Herabtrocknen auf 15 bis 16 % Holzfeuchtigkeit geprüft.

Die Versuchskörper der Reihe VI wurden nach Fertigstellung ein Jahr lang in einem seitlich offenen Schuppen dem Außenklima ausgesetzt. Der Feuchtigkeitsgehalt wurde anhand von Vergleichsproben festgestellt und wöchentlich aufgezeichnet. Bild 10 (Anlage 9 und 10) zeigt den Verlauf der Tageshöchst- und -tiefstwerte von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit der umgebenden Atmosphäre für die Dauer der Lagerung sowie den Verlauf der Holzfeuchtigkeiten der Prüfkörper während dieser Zeit.

Das Austrocknen bzw. die Klimabeanspruchung bewirkte bei den Versuchskörpern der Reihen V.2, V.5 und VI ein Auseinanderklaffen der beiden Holzteile, wie in Bild 11 und 12 (Anlage 11) erkennbar ist.

## 8 Ergebnisse und Auswertung

### 8.1 Tragfähigkeiten

-----

In den Tabellen 3 bis 28 (Anlagen 12 bis 37) sind die Höchstkräfte (in N) aller Versuche sowie die Auswertungen der einzelnen Reihen mit Hilfe von Linearregressionen zusammengestellt. Es wurden dabei jeweils drei verschiedene Funktionen gewählt:

#### 1. Geradengleichung

Bei der Darstellung der Höchstkräfte im kartesischen Koordinatensystem mit dem Winkel  $\alpha$  als Abszisse und der Schrägzugkraft  $F$  als Ordinate zeigte sich häufig ein geradliniger Zusammenhang, der sich durch die Funktion

$$F = a_1 \cdot \alpha + b_1 \quad (8.1)$$

beschreiben läßt. Bei dieser Darstellung ergeben sich die maximalen Auszieh- bzw. Abscherwerte der Verbindung zu

$$\begin{aligned} \max F_Z &= b_1 \\ \max F_S &= b_1 + 90 \cdot a_1 \end{aligned} \quad (8.2a,b)$$

#### 2. Ellipsengleichung

Werden die Kräfte in radialer Richtung vom Ursprung aus und die Winkel im Uhrzeigersinn von der Ordinate ausgehend dargestellt, so bietet sich eine Ellipse als Näherungsgleichung an. Dabei stellen die maximalen Ausziehkräfte  $\max F_Z$  bzw. maximalen Abscherwerte  $\max F_S$  die Halbachsen der Ellipsen dar.

Die Ellipsengleichung

$$\left( \frac{F_S}{\max F_S} \right)^2 + \left( \frac{F_Z}{\max F_Z} \right)^2 = 1 \quad (8.3)$$

bzw.

$$\left( \frac{F \cdot \sin \alpha}{\max F_S} \right)^2 + \left( \frac{F \cdot \cos \alpha}{\max F_Z} \right)^2 = 1 \quad (8.4)$$

wurde für die Linearregression umgeformt zu

$$y = a_2 + b_2 \cdot x. \quad (8.5)$$

Darin bedeuten

$$a_2 = \max F_Z^2$$
$$b_2 = - \left( \frac{\max F_Z}{\max F_S} \right)^2 \quad (8.6a-d)$$

$$x = F^2 \cdot \sin^2 \alpha$$

und  $y = F^2 \cdot \cos^2 \alpha.$

Aus der Regressionsgleichung (8.5) ergaben sich dann die maximalen Auszieh- bzw. Abscherwerte der Verbindung zu

$$\max F_Z = \sqrt{a_2} \quad (8.7a,b)$$
$$\max F_S = \sqrt{-\left(\frac{a_2}{b_2}\right)}.$$

### 3. Funktion nach De BONIS

Als dritte Möglichkeit der Kurvenanpassung wurde die von De BONIS vorgeschlagene Funktion verwendet:

$$\frac{F \cdot \sin \alpha}{\max F_S} + \frac{F \cdot \cos \alpha}{\max F_Z} = 1 + K \cdot \sin 2\alpha. \quad (8.8)$$

Eine Umformung der Gl. (8.8) führt zu

$$F = \frac{a_3 + b_3 \cdot \sin 2\alpha}{\sin \alpha + c_3 \cdot \cos \alpha} \quad (8.9)$$

mit den Werten

$$a_3 = \max F_S ; b_3 = K \cdot \max F_S \text{ und } c_3 = \frac{\max F_S}{\max F_Z}.$$

Für  $c_3 = \frac{\max F_S}{\max F_Z}$  wurde das gleiche Verhältnis eingesetzt, wie es sich aus der Linearregression mit den Werten nach Gl. (8.2a,b) ergeben hatte, also

$$c_3 = \frac{b_1 + 90a_1}{b_1} = 1 + 90 \frac{a_1}{b_1} . \quad (8.10)$$

Die Tabellen 3 bis 28 enthalten neben den Regressionsgleichungen entsprechend den Gln.(8.1), (8.4) und (8.8) auch die zugehörigen Werte  $\max F_S$  und  $\max F_Z$ .

Ferner sind angegeben:

der Korrelationskoeffizient  $R$ ,  
die aus  $R$ , der Standardabweichung  $S_y$  der  $y$ -Werte und der Versuchszahl  $N$  ermittelte Reststreuung

$$S_R = S_y \cdot \sqrt{\frac{N-1}{N-2} \cdot (1-R^2)} \quad (8.11)$$

sowie der aus  $S_R$  und dem Mittel der  $y$ -Werte  $\bar{y}$  berechnete Variationskoeffizient

$$v = \frac{S_R}{\bar{y}} \cdot 100 \quad [\%] . \quad (8.12)$$

Durch die Umformungen und Substitutionen werden die Regressionen teilweise mit stark verzerrten Funktionen durchgeführt. Ein Vergleich der statistischen Werte der verschiedenen Regressionsergebnisse wurde daher nicht vorgenommen.

Die Versuchsergebnisse sind in den Bildern 13 bis 64 (Anlagen 38 bis 89) dargestellt. Die Versuchseinzelwerte sind stets mit dem Symbol  $\Delta$  (kleines Dreieck), die zugehörigen Mittelwerte aus den je fünf Versuchen mit dem Symbol  $o$  (kleiner Kreis) gekennzeichnet.



Die durch die Regressionen ermittelten Anpassungsfunktionen sind in folgender Darstellungsweise eingezeichnet:

Die Gerade (Gl. 8.1) mit einer durchgezogenen Linie,  
die Ellipse (Gl. 8.4) mit einer unterbrochenen Linie gleicher Strichlänge,  
die Kurve nach De BONIS (Gl. 8.8) mit einer unterbrochenen Linie mit zwei unterschiedlichen Strichlängen.

Die Darstellung erfolgte in zwei Varianten:

1. Darstellungsform (Bild 13 bis 38)

Größte Schrägzugkraft  $F$  in Abhängigkeit vom Winkel  $\alpha$  zwischen Kraftrichtung und Nagelachse. Hierbei bildet sich die Geradengleichung (8.1) jeweils unverzerrt als Gerade ab, während die anderen Funktionen gekrümmte Kurvenverläufe zeigen.

2. Darstellungsform (Bild 39 bis 64)

Kraftkomponente  $F_z = F \cdot \cos\alpha$  in Abhängigkeit von der Kraftkomponente  $F_s = F \cdot \sin\alpha$ . Hierbei wird nur die Ellipsengleichung (8.4) unverzerrt dargestellt. Diese Darstellungsform ist vorwiegend bei Interaktionen zweier Beanspruchungen üblich.

Im Rahmen der oft beträchtlichen Streuungen der Versuchswerte zeigte sich in den meisten Fällen doch eine gute Annäherung durch die ausgewählten Regressionsfunktionen. Die besten Näherungen wurden dabei etwa zu gleichen Teilen mit der linearen Anpassung sowie mit derjenigen nach De BONIS erzielt.

Die in vielen Fällen größere Abweichung der Ellipse von den Versuchswerten ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß die Regression mit dem Quadrat der Versuchswerte durchgeführt wird; dies hat eine Verzerrung durch stärker abweichende Einzelwerte zur Folge.

Im allgemeinen zeigte sich aber ein annähernd ähnlicher Verlauf der Kurven, d.h. der Einfluß von Parametern wie Nagelform, Rohdichte, Einschlagtiefe und Holzfeuchtigkeit auf die Höchstkraft war i.a. nicht vom Winkel zwischen Kraftrichtung und Nagelachse abhängig. So nehmen z.B. mit größer werdender Einschlagtiefe oder Rohdichte des Holzes die Tragfähigkeiten unter den verschiedenen Winkeln von reiner Ausziehbeanspruchung bis zur reinen Scherbeanspruchung fast gleichmäßig zu.

Eine Ausnahme bilden allerdings die glattschaftigen Nägel (runde Drahtnägel). Hier war zu erkennen, daß beispielsweise sehr kleine Einschlagtiefen (Reihe III.1), niedrige Rohdichten (Reihe IV.1), das Austrocknen des Holzes (Reihe V.2) oder eine Wechselklimabeanspruchung (Reihe VI.1) die Haftfestigkeiten beim Ausziehen stärker beeinträchtigen als die Scherfestigkeiten.

Eine weitere Abweichung stellte ein deutliches Nachlassen der Schrägzugkraft bei  $\alpha = 45^\circ$  in Reihe I.1 (siehe Bild 13 und 39) dar. Die daher nachträglich ergänzend durchgeführten Versuche unter  $\alpha = 45^\circ$  in den Reihen IV.1 und IV.2 bestätigten diese Erscheinung (siehe Bild 24 und 53 bzw. 28 und 54).

In einer am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe angefertigten studentischen Vertieferarbeit [9] wird dieses Verhalten mit einem durch die seitliche Belastung bewirkten Nachlassen der Haftfestigkeit des noch nicht plastisch verformten Nagels erklärt und die Kraftzunahme bei größeren Winkeln auf höhere Reibungskräfte durch das Ausnutzen der Biegefestigkeit des Nagels und der Lochleibungsfestigkeit des Holzes zurückgeführt.

In den Bildern 65 bis 68 (Anlagen 90 und 91) ist zu erkennen, daß der glattschaftige Nagel (Reihe I.1) nach der Beanspruchung unter  $\alpha = 30^\circ$  und  $45^\circ$  noch gerade ist, während er nach der Prüfung unter  $60^\circ$  bereits plastisch verformt ist. Der Schraubnagel (Reihe I.2) zeigte jedoch bei einer Beanspruchung unter  $\alpha = 30^\circ$  bereits Fließgelenke.

## 8.2 Verformungen

-----

Aus den aufgezeichneten Kraft-Verformungs-Diagrammen sämtlicher Versuche der Reihe II wurden die Verschiebungen  $\delta_y$  in Richtung der Nagelachse sowie  $\delta_x$  rechtwinklig dazu bei einem Drittel der jeweiligen Höchstkraft entnommen und die daraus resultierenden Gesamtverschiebungen  $\delta$  berechnet. Die Einzelwerte der Verschiebungen  $\delta_x$  in Richtung der Scherkomponente sind in den Tabellen 29 bis 36 (Anlagen 92 bis 99) und die Gesamtverschiebungen  $\delta$  in den Tabellen 37 bis 44 (Anlagen 100 bis 107) zusammengestellt. Eine Darstellung der Verschiebungen  $\delta_x$  erfolgt in den Bildern 69 bis 76 (Anlagen 108 bis 115) und der Gesamtverschiebungen  $\delta$  in den Bildern 77 bis 84 (Anlagen 116 bis 123).

Der Verlauf der Verformungen ist sehr unregelmäßig, und die Einzelwerte streuen beträchtlich.

Mit größer werdendem Winkel  $\alpha$  ist im allgemeinen auch eine Zunahme der Verformungen und der Streuungen verbunden. Die Verschiebungen in Richtung der Nagelachse sind bei einer Kraft von einem Drittel der Höchstkraft meist noch sehr gering. Folglich sind die Gesamtverschiebungen  $\delta$  in der Regel nur bei kleinen Winkeln von den Verschiebungen  $\delta_x$  verschieden.

## 9 Zusammenfassung

Mit einer eigens konstruierten Versuchseinrichtung wurden Vollholz-Nagelverbindungen unter verschiedenen Winkeln zwischen Nagelschaft- und Kraftrichtung geprüft. Die Richtung der Beanspruchung reichte dabei jeweils von  $\alpha = 0^\circ$  (reine Ausziehbeanspruchung) bis  $\alpha = 90^\circ$  (reine Abscherbeanspruchung). Als weitere Parameter wurden Form (Schaftausbildung), Durchmesser und Einschlagtiefe der Nägel sowie Rohdichte und Feuchtigkeitsgehalt des Holzes variiert. Sämtliche Versuche wurden mit Fichtenholz (*picea abies*) deutscher Herkunft durchgeführt.

Der Zusammenhang zwischen den aufnehmbaren Höchstkräften und dem Winkel zwischen Kraft- und Nagelschafttrichtung wurde durch drei Funktionsansätze beschrieben:

### 1. Eine Geradengleichung

$$F = a \cdot \alpha + b,$$

### 2. Eine Ellipse

$$\left( \frac{F_S}{\max F_S} \right)^2 + \left( \frac{F_Z}{\max F_Z} \right)^2 = 1,$$

mit  $F_S = F \sin \alpha$  bzw.  $F_Z = F \cdot \cos \alpha$  als reine Scher- bzw.-Ausziehungskraft.

### 3. Eine von De BONIS verwendete Funktion

$$\frac{F \cdot \sin \alpha}{\max F_S} + \frac{F \cdot \cos \alpha}{\max F_Z} = Z$$

mit  $Z = 1 + K \cdot \sin 2\alpha$ .

Wird  $Z$  über  $\alpha$  aufgetragen, so ergibt sich von  $\alpha = 0^\circ$  bis  $90^\circ$  eine halbe Sinusschwingung mit der Amplitude  $K$  und den Werten  $Z = 1$  bei  $\alpha = 0^\circ$  und  $90^\circ$  sowie  $Z = 1+K$  bei  $\alpha = 45^\circ$ .

Die Auswertungen haben gezeigt:

1. die gewählten Funktionen stellen durchweg eine befriedigende Näherung dar;
2. die untersuchten Einflußgrößen (Nageldurchmesser und -schaftform, Einschlagtiefe, Holzrohddichte, Holzfeuchtigkeit) wirken sich auf die Auszieh- und Scherfestigkeiten der Nagelverbindungen gleichermaßen aus. Ihr Einfluß ist also nicht abhängig vom Winkel zwischen Kraft- und Nagelachse;
3. die Verformungen und deren Streuungen nehmen mit dem Winkel zwischen Kraft- und Nagelachse erheblich zu.

Abweichend von diesen Ergebnissen ist jedoch folgendes hervorzuheben:

1. bei glattschaftigen (runden) Nägeln besteht im Bereich des Winkels zwischen Kraft- und Nagelachse um  $45^\circ$  ein deutlicher Tragfähigkeitsabfall;
2. bei glattschaftigen (runden) Nägeln wirken sich geringe Holzrohddichten und Einschlagtiefen, aber auch Feuchtigkeits- und Klimaeinflüsse besonders stark auf die Ausziehkräfte aus.

Während die Tragfähigkeit von Sondernägeln, d.h. Schraub- und Rillennägeln, bei unterschiedlichen Winkeln zwischen Kraft- und Nagelachse mit den drei Funktionen gut beschrieben werden kann, muß bei glattschaftigen (runden) Nägeln im Bereich um  $\alpha = 45^\circ$  mit vergleichsweise deutlich geringeren Tragfähigkeiten gerechnet werden.



Um diesem Effekt Rechnung zu tragen, sollte bei glattschaftigen (runden) Nägeln unter gleichzeitiger Beanspruchung auf Abscheren und Ausziehen eine Interaktion in der Form

$$\frac{F_S}{\max F_S} + \frac{F_Z}{\max F_Z} = 1$$

zugrunde gelegt werden. Bei Winkeln zwischen  $0^\circ$  und  $30^\circ$  sowie  $60^\circ$  und  $90^\circ$  kann aber mit einem günstigeren Verhalten gerechnet werden.

Bei den üblichen Schraub- und Rillennägeln kann für die praktische Anwendung die Ellipsenfunktion

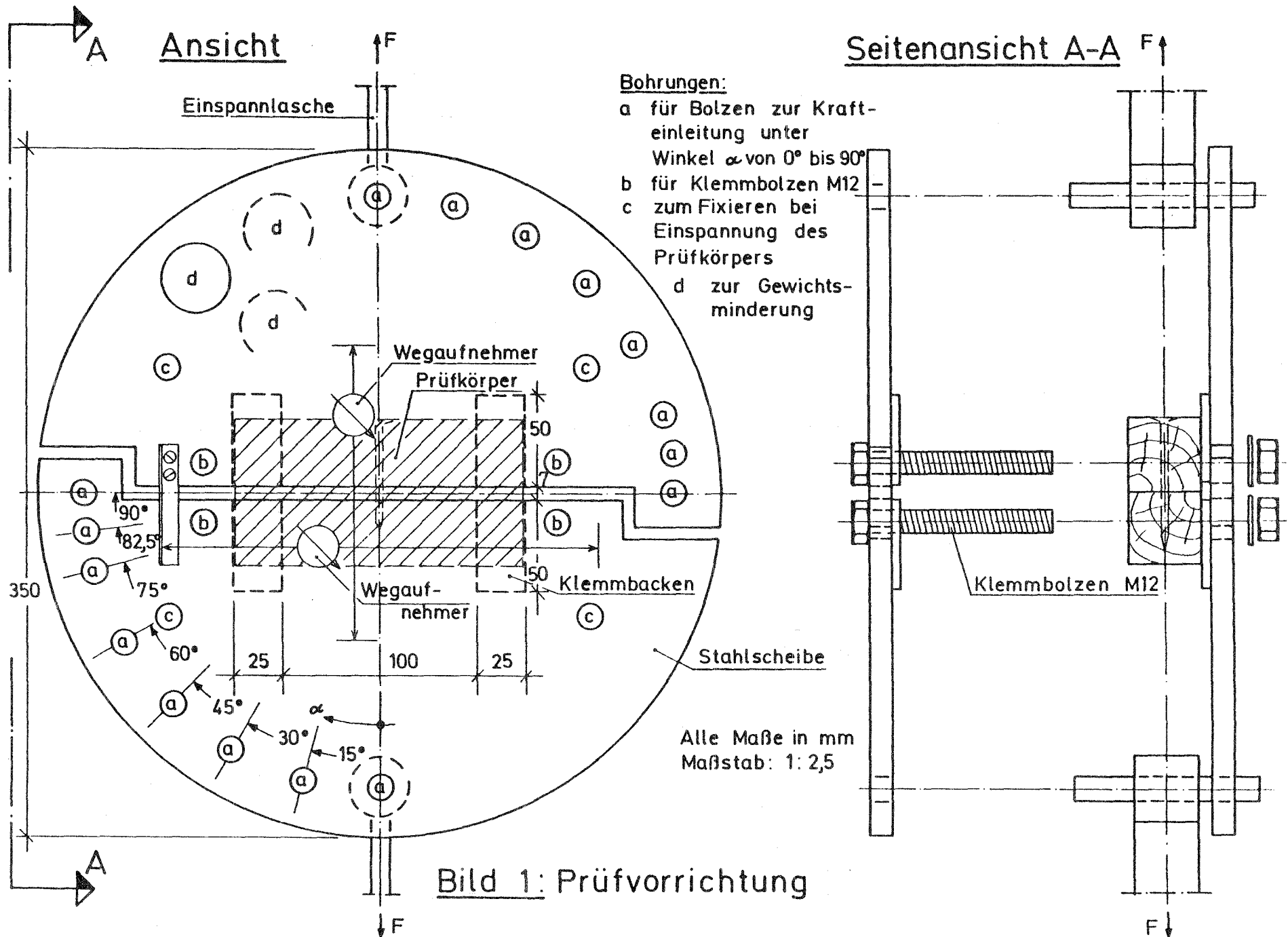
$$\left(\frac{F_S}{\max F_S}\right)^2 + \left(\frac{F_Z}{\max F_Z}\right)^2 = 1$$

für alle Winkel als gute Näherung betrachtet werden.

10 SCHRIFTTUM

- [1] American Institute of Timber Construction:  
Timber Construction Manual, 2nd Edition.  
John Wiley and Sons, Inc., New York-London-  
Sidney-Toronto. 1974.
  
- [2] Richtlinien für Fassadenbekleidungen mit und ohne  
Unterkonstruktion. Herausgegeben vom DIN Deutsches  
Institut für Normung e.V., August 1975.
  
- [3] DIN 18516, Teil 2. Außenwandbekleidungen - Prüfung  
der Befestigung von Außenwandbekleidungselementen  
auf die Unterkonstruktion.
  
- [4] Riberholt, H.: Berechnung von Stahlblech-Holz-  
Verbindungsteilen in Dänemark.  
Bauen mit Holz 77 (1975), Nr. 3, S. 114/118.
  
- [5] Riberholt, H.: Eingeleimte Gewindestangen. Rapport  
Nr. R 99, Afdelingen for Baerende Konstruktioner,  
Danmarks tekniske Højskole, Lyngby/Dänemark, 1978.  
(Deutsche Fassung Januar 1979).
  
- [6] Ehlbeck, J.: Nailed Joints in Wood Structures.  
Virginia Polytechnic Institute and State University,  
Report No. 166. Blacksburg/VA, USA, 1979.
  
- [7] De BONIS, A.L., and J. Bodig: Nailed Wood Joints  
Under Combined Loading. Wood Science & Technology 9  
(1975), Nr. 2, S. 129-144.

- [8] De BONIS, A.L.: Combined Axial and Lateral Loading of Nailed Joints. Masters Thesis. Colorado State University, Fort Collins/Co, USA, 1974.
  
- [9] Kaiser, J.: Nagelbelastung unter verschiedenen Winkeln zur Schaftrichtung. Vertieferarbeit am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe, 1982, unveröffentlicht.



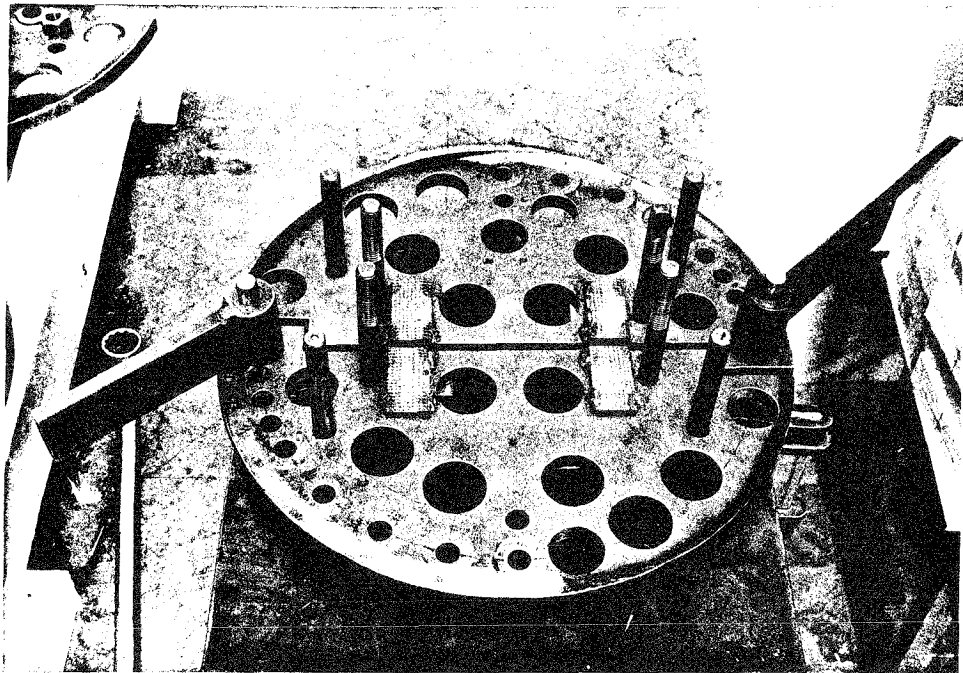


Bild 2: "Untere" Hälfte der Prüfvorrichtung

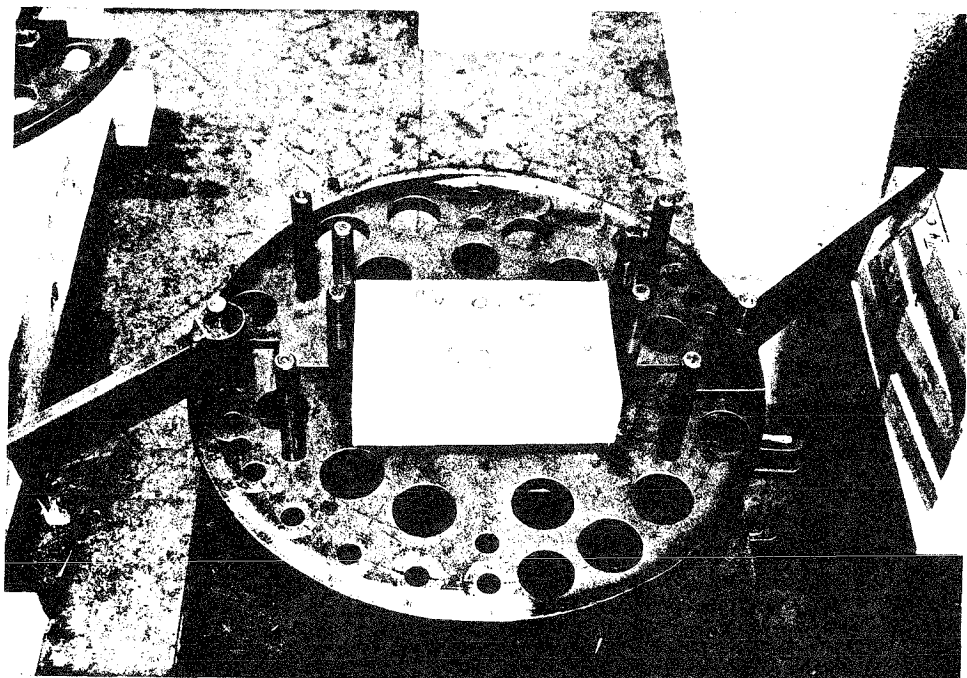


Bild 3: "Untere" Hälfte mit Prüfkörper

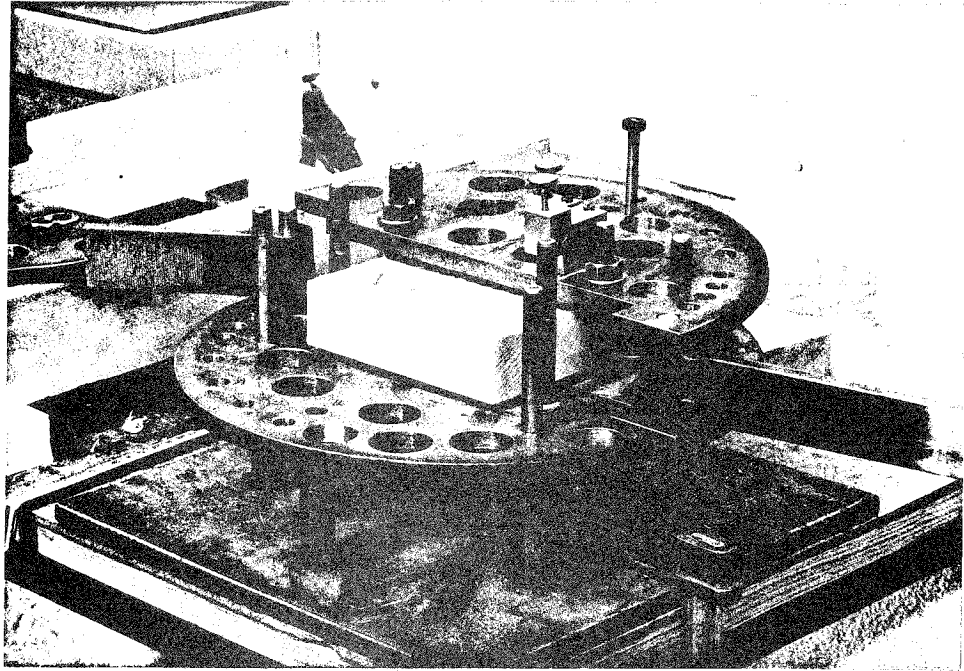


Bild 4: "Obere" Hälfte wird aufgeschraubt

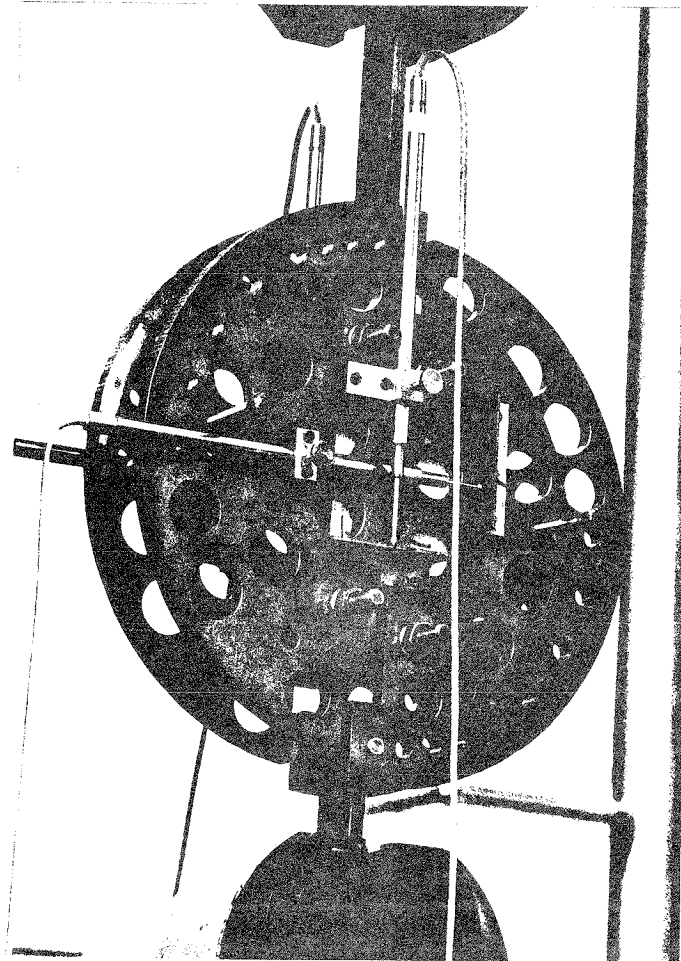


Bild 5: Prüfvorrichtung mit induktiven Wegaufnehmern

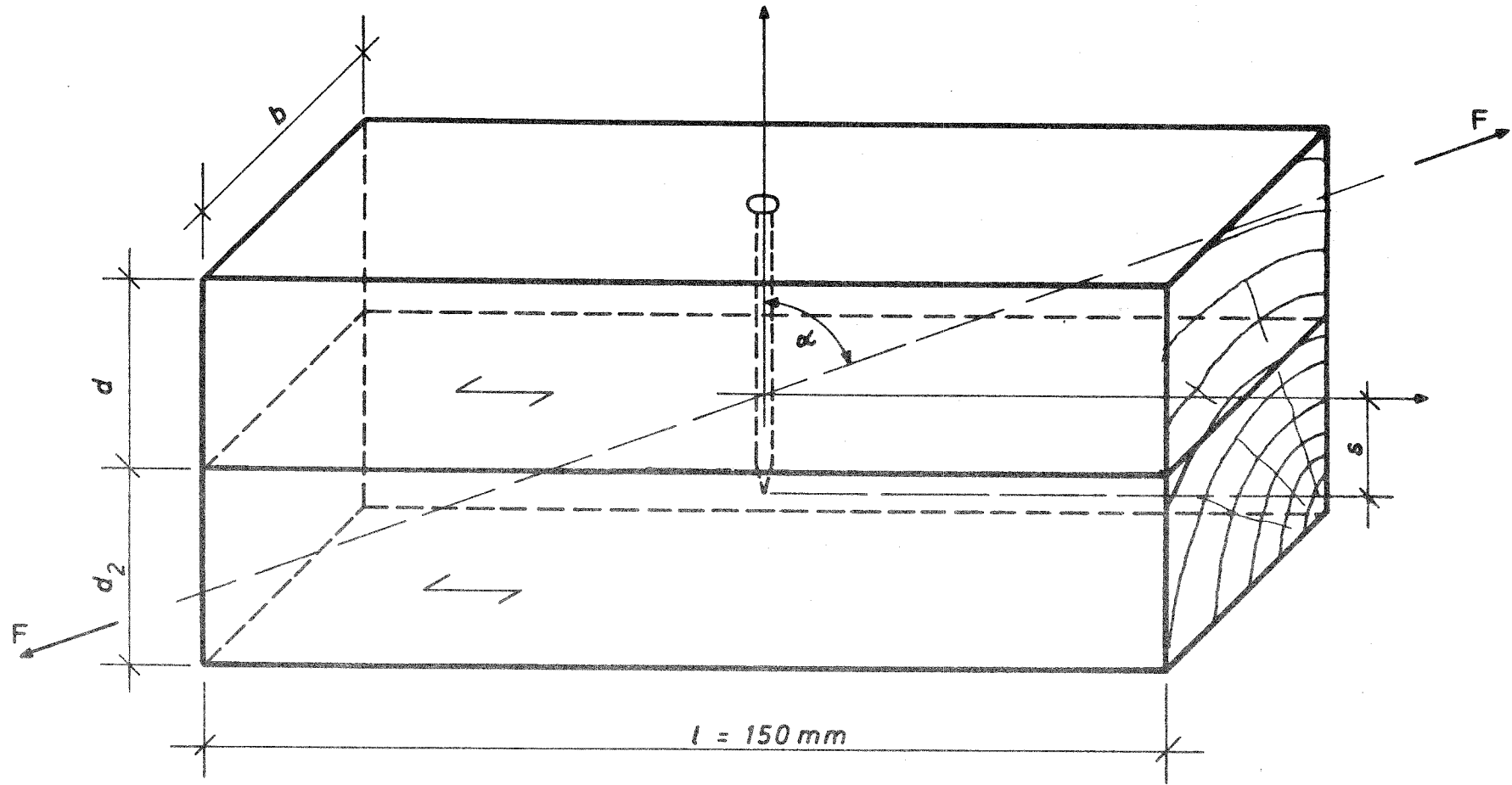


Bild 6: Prüfkörper

Tabelle 1: Übersicht über die durchgeführten Versuche

Reihe	Nagel	Größe $d_n/d_1 \times l_n$ mm	Ein- schlag- tiefe s mm	Prüfkörper			Normalrohdichte $\rho_{N\%}$ (bei $u=11,2$ bis $13,6\%$ )			Feuchtigkeits- gehalt $u$ (%)	
				Höhe		Breite b mm	Kleinst-	Mittel- wert	Größt-	beim Nageln	beim Prüfen
				$d_1$ mm	$d_2$ mm						
I.1	DIN 1151	3,1 x 65	37	28	50	40	0,47	0,49	0,53	12	bis 13
I.2	Schraubnagel	2,8/3,2 x 65	37	28	50	40	0,41	0,42	0,45	"	"
II.1	Rillennagel	2,9/3,2 x 63	28	35	45	40	0,40	0,44	0,50	"	"
II.2	Schraubnagel	3,1/3,7 x 65	30	35	45	40	0,40	0,44	0,50	"	"
II.3	Schraubnagel	3,1/3,5 x 80	30	50	40	40	0,39	0,42	0,47	"	"
II.4	DIN 1151	2,5 x 60	30	30	50	40	0,39	0,44	0,50	"	"
II.5	DIN 1151	4,2 x 110	50	60	60	40	0,40	0,44	0,49	"	"
II.6	Rillennagel	3,1/3,3 x 60	30	30	50	40	0,36	0,45	0,50	"	"
II.7	Rillennagel	4,0/4,4 x 75	40	35	55	40	0,40	0,43	0,50	"	"
II.8	Rillennagel	6,0/6,4 x 100	60	40	70	60	0,44	0,47	0,51	"	"
III.1	DIN 1151	3,1 x 65	25	40	50	40	0,41	0,45	0,46	"	"
III.2	DIN 1151	3,1 x 80	50	30	60	40	0,40	0,43	0,46	"	"
III.3	Schraubnagel	3,1/3,5 x 80	20	60	30	40	0,40	0,45	0,49	"	"
III.4	Schraubnagel	3,1/3,5 x 80	50	30	60	40	0,40	0,43	0,48	"	"
IV.1	DIN 1151	3,1 x 65	37	28	50	40	0,37	0,39	0,43	"	"
IV.2	DIN 1151	3,1 x 65	37	28	50	40	0,56	0,63	0,66	"	"
IV.3	Schraubnagel	3,1/3,5 x 80	30	50	40	40	0,35	0,38	0,42	"	"
IV.4	Schraubnagel	3,1/3,5 x 80	30	50	40	40	0,51	0,53	0,55	"	"
V.1	DIN 1151	3,1 x 65	37	28	50	40	0,38	0,45	0,51	31	32
V.2	DIN 1151	3,1 x 65	37	28	50	40	0,38	0,45	0,51	31	15
V.3	DIN 1151	3,1 x 65	37	28	50	40	0,38	0,45	0,51	20	21
V.4	Schraubnagel	3,1/3,5 x 80	30	50	40	40	0,38	0,44	0,49	31	31
V.5	Schraubnagel	3,1/3,5 x 80	30	50	40	40	0,38	0,44	0,48	31	16
V.6	Schraubnagel	3,1/3,5 x 80	30	50	40	40	0,38	0,44	0,49	20	20
VI.1	DIN 1151	3,1 x 65	37	28	50	40	0,45	0,47	0,50	13	13
VI.2	Schraubnagel	3,1 x 80	30	50	40	40	0,45	0,46	0,48	13	13

Ausbildung der Schraub- und Rillennägel siehe Abschnitt 6.2 / Bild 7.



Tabelle 2: Eigenschaften des bei 20 ° C Temperatur und  
95% relativer Luftfeuchtigkeit gelagerten Holzes

Reihe	I, II, III, V, VI			IV.1			IV.2			IV.3			IV.4		
	K	M	G	K	M	G	K	M	G	K	M	G	K	M	G
mittlere Jahrringbreite	1,0	2,3	5,3	1,9	3,2	4,8	1,3	1,9	2,6	2,7	4,0	4,9	1,7	2,0	2,4
Rohdichte $\rho_N$ (g/cm <sup>3</sup> )	0,36	0,45	0,53	0,37	0,39	0,43	0,56	0,63	0,66	0,35	0,38	0,42	0,51	0,53	0,55
Druckfestigkeit $\beta_{DII}$ (N/mm <sup>2</sup> )	27,4	42,7	54,4	27,8	38,5	44,3	51,5	54,7	58,3	28,1	31,1	37,2	48,2	50,5	53,0
Feuchtigkeitsgehalt u (%)	11,4	12,4	13,6	11,9	12,1	12,3	12,2	12,8	13,1	12,0	12,3	12,5	12,5	12,7	12,9
$\beta_{D15II} = \frac{17}{32-u} \cdot \beta_{DII}$ (N/mm <sup>2</sup> )	24,2	37,0	47,3	23,6	32,9	37,8	44,6	48,3	51,8	23,9	26,7	32,0	42,9	44,3	46,6

K = Kleinstwert  
M = Mittelwert  
G = Größtwert

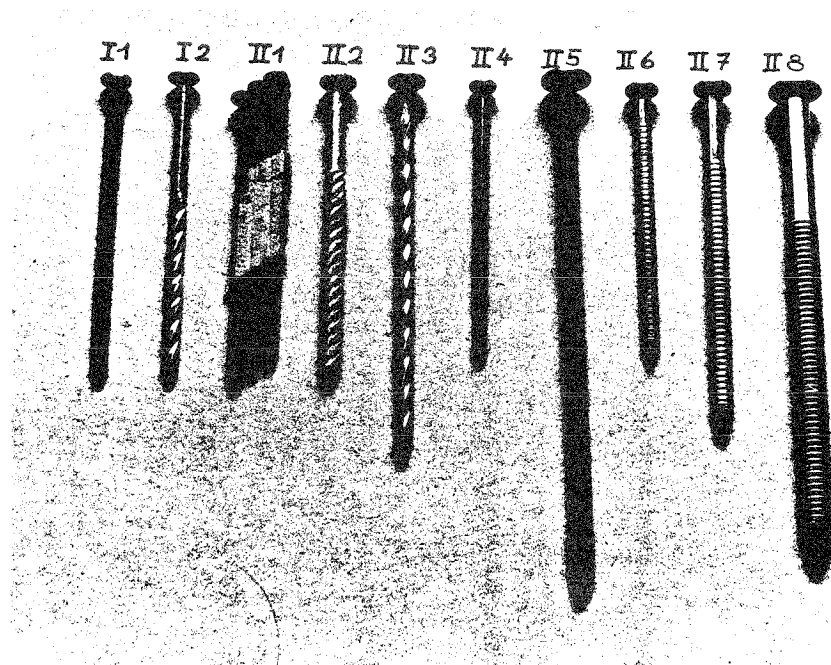


Bild 7: Nägel



Bild 8: Einspannen der Prüfvorrichtung

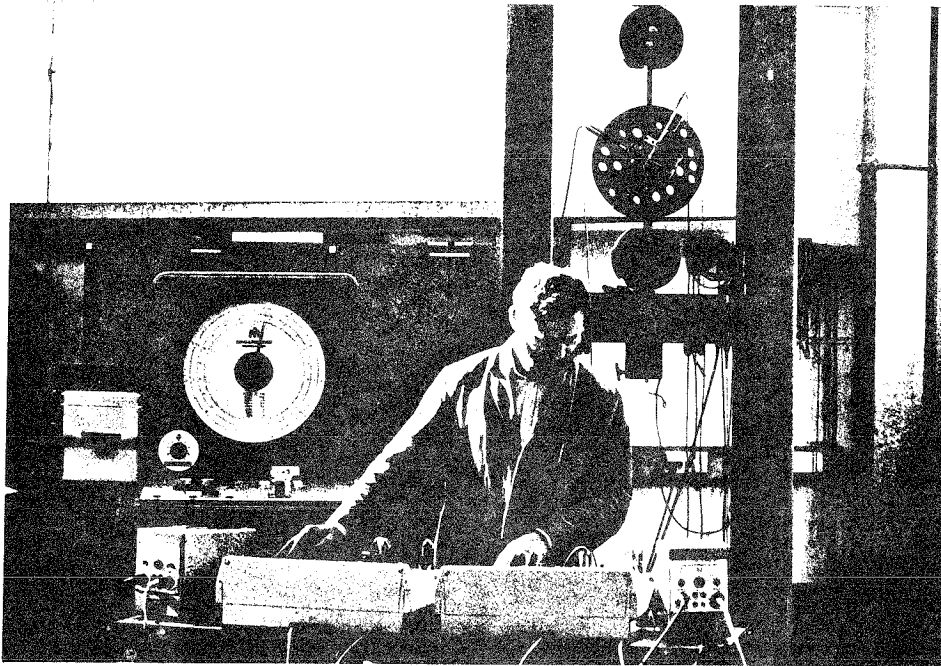
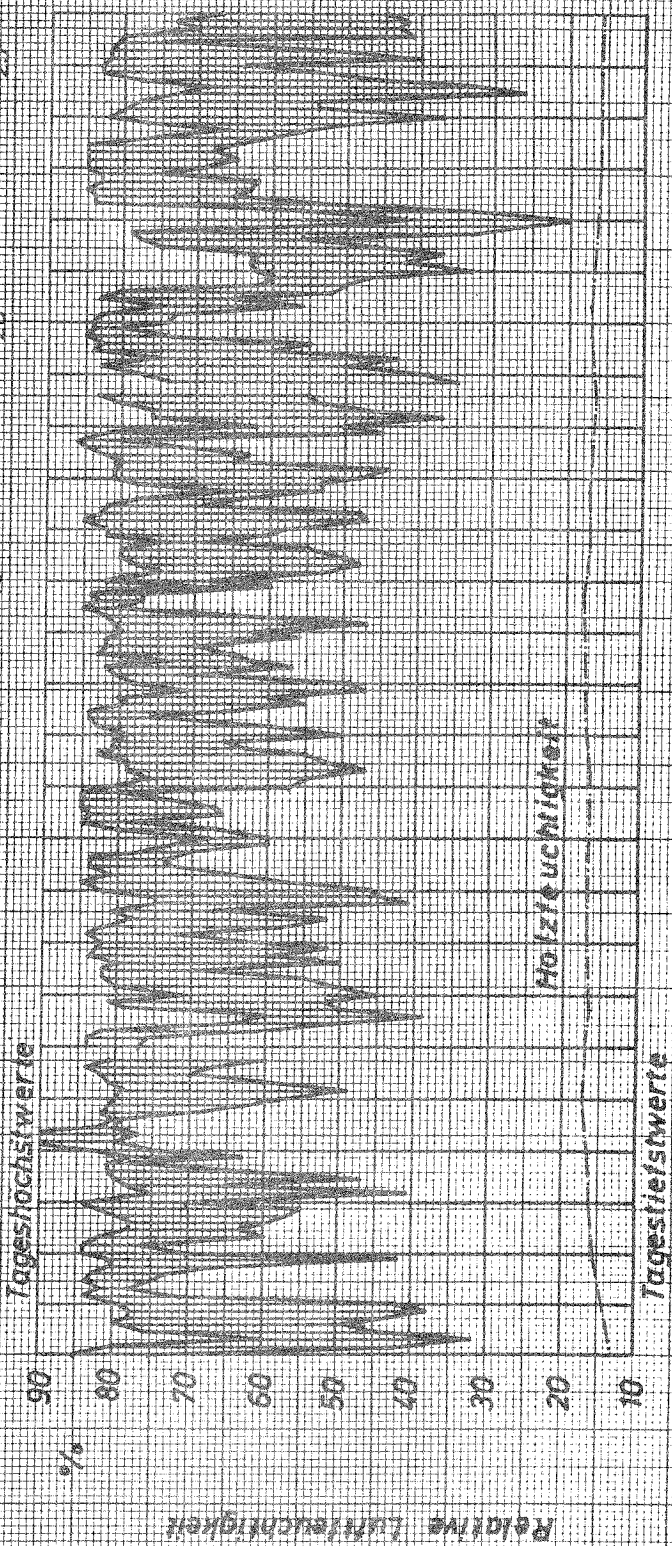
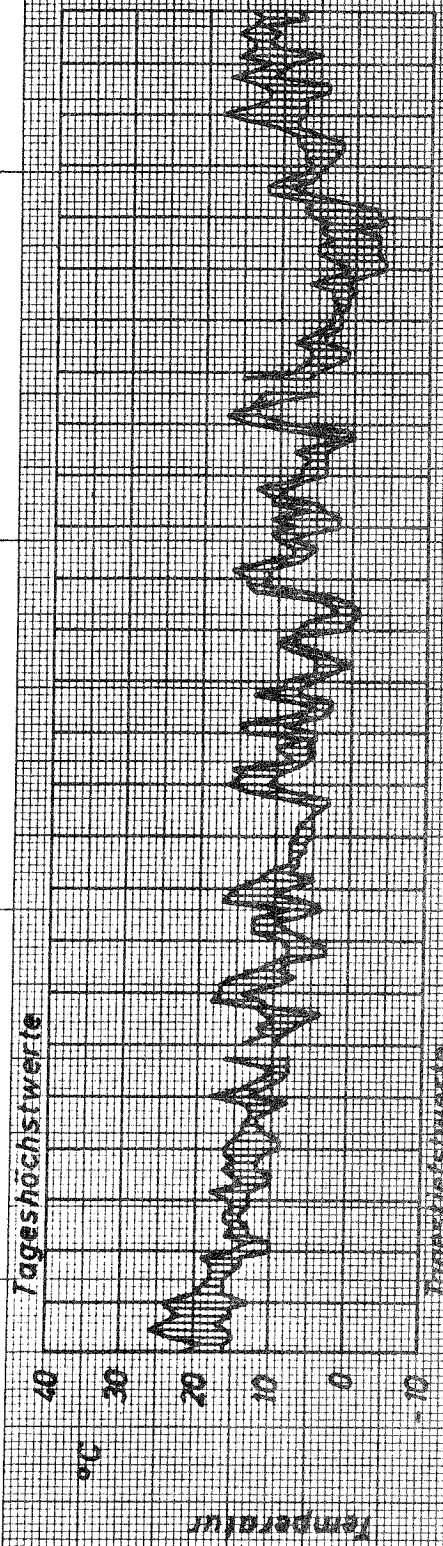


Bild 9: Versuchsanordnung



**Bild 10: Außenklima und Holzfeuchtigkeit Reihe VI**



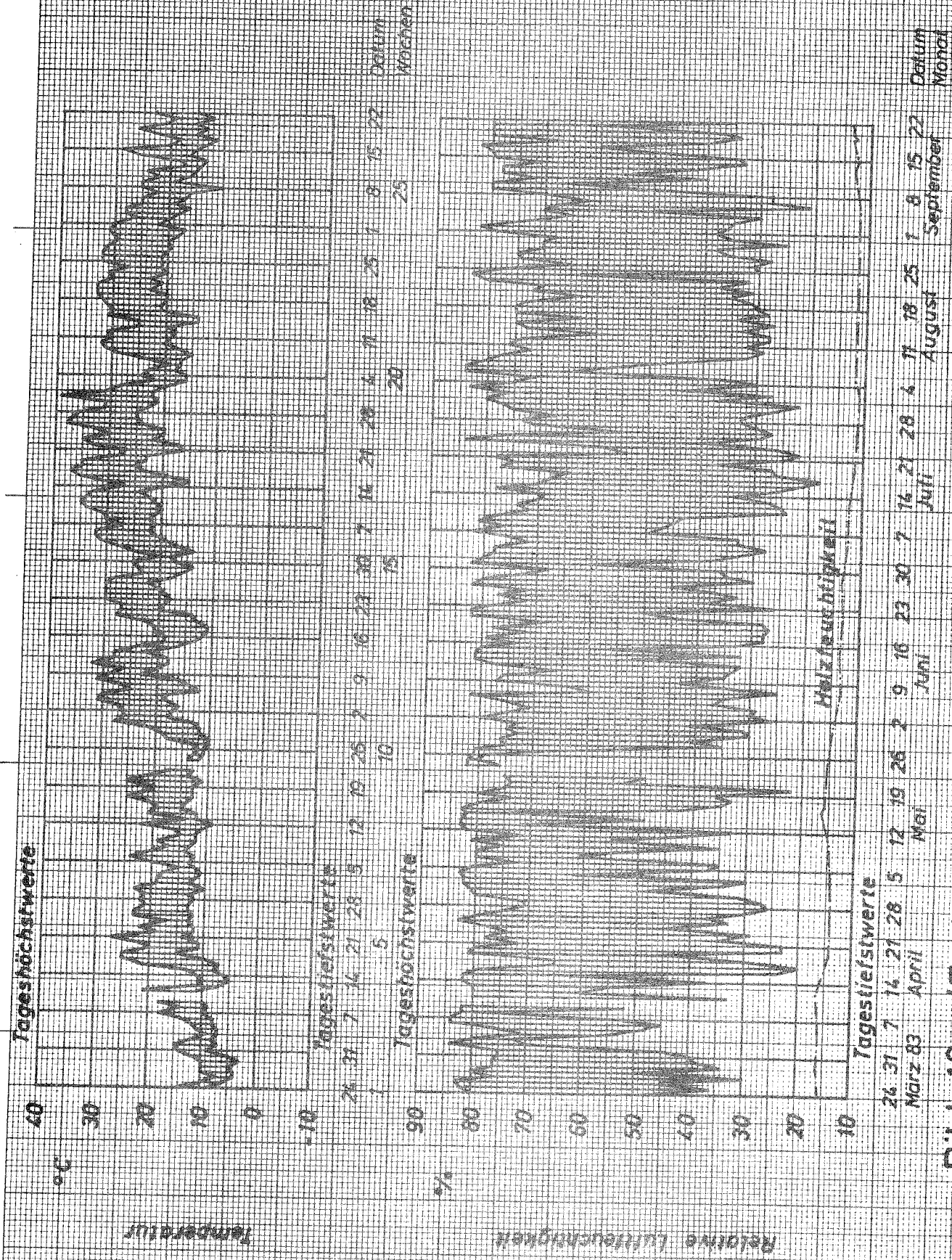


Bild 10 (Fortsetzung)

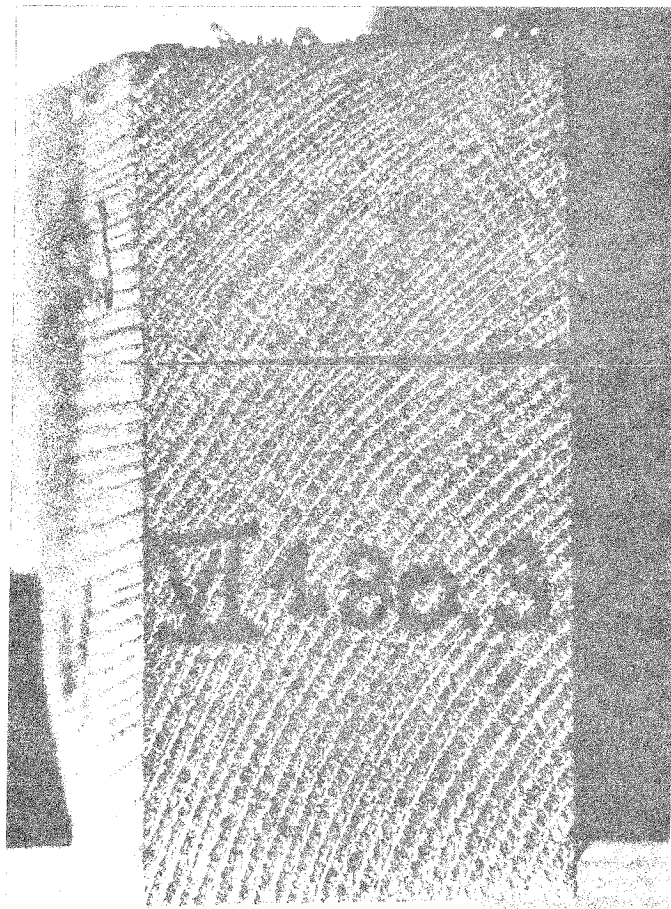
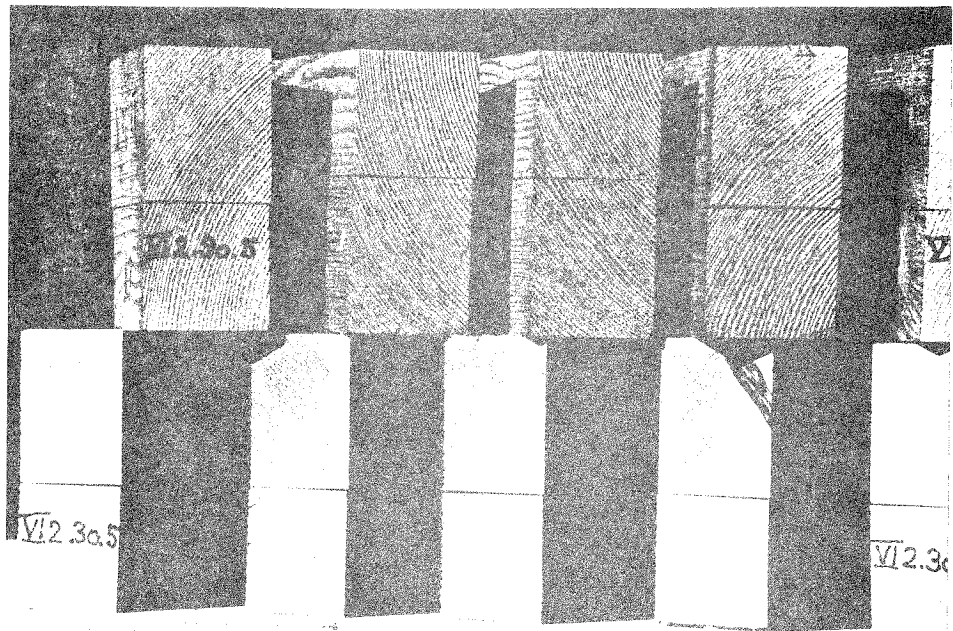


Bild 11 und 12: Versuchskörper nach Klimabeanspruchung

Tabelle 3 : Ergebnisse REIHE I.1

\*\*\*\*\*

```

*****
**                               *                               **
** Winkel *                       Krafte F (N)                       * Mittelwert F **
**                               *                               *                               **
*****
**                               *                               *                               **
**   .00 *                       455.00   695.00   935.00   1005.00   1370.00 *   892.00   **
**  15.00 *                       805.00   575.00   1120.00   1045.00   1115.00 *   932.00   **
**  30.00 *                       655.00   820.00   1195.00   1005.00   975.00 *   930.00   **
**  45.00 *                       865.00   680.00   600.00   875.00   665.00 *   737.00   **
**  60.00 *                       735.00   1005.00   930.00   1160.00   905.00 *   947.00   **
**  75.00 *                       920.00   1160.00   1015.00   1040.00   995.00 *   1026.00  **
**  82.50 *                       875.00   1025.00   1225.00   1345.00   1225.00 *   1139.00  **
**  90.00 *                       895.00   890.00   1175.00   1170.00   1160.00 *   1058.00  **
**                               *                               *                               **

```

\*\*\*\*\*

```

**                               *                               **
**Regressions- *                               *                               **
**ergebnisse *   BR *   v *   R *   max Fz *   max Fs *   Regressionsgleichungen **
**                               *                               *                               **

```

```

**                               *                               **
** LINAR *201.9 *21.39* .33* 843.1690 *1050.4855 * F = 2.304 *(ALPHA) + 843.2 **
**                               *                               *                               **

```

```

**                               *                               **
**                               *                               *                               **
** ELLIPSE * .3319+006* 88.04 * .66* 837.0048 *1125.3949 * ----- + ----- = 1 **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **

```

```

**                               *                               **
** DE BONIS *271.4 *21.25* .31* 932.5528 *1161.8469 * ----- + ----- =1+k*sin(2A) **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **

```

```

**                               *                               **
**                               *                               *                               **

```

Tabelle 4 : Ergebnisse REIHE I.2

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

Winkel	Kraefte F (N)	Mittelwert F
00	1135.00 1270.00 1315.00 1205.00 1135.00	1212.00
15.00	1325.00 1475.00 1285.00 885.00 1165.00	1227.00
30.00	1335.00 1295.00 1525.00 1435.00 1425.00	1403.00
45.00	1655.00 1545.00 1705.00 1505.00 1425.00	1567.00
60.00	1815.00 1695.00 1435.00 1405.00 1435.00	1557.00
75.00	2005.00 1715.00 2025.00 1535.00 1765.00	1809.00
82.50	1945.00 1625.00 1785.00 1605.00 1685.00	1729.00
90.00	1905.00 1725.00 1865.00 1735.00 1565.00	1759.00

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*  
 \*\*Regressions-  
 \*\*ergebnisse SR y R max Fz max Fs Regressionsgleichungen

\*\*\*\*  
 \*\* LINEAR 153.2 9.99 .82 1191.4864 1809.8506 F = 6.871 \*(ALPHA) + 1191.

\*\*\*\*  
 \*\* ELLIPSE .3151+006 33.7 .88 1233.3927 1856.8100  $\frac{(F \cdot \sin(A))^2}{(\max F_s)^2} + \frac{(F \cdot \cos(A))^2}{(\max F_z)^2} = 1$

\*\*\*\*  
 \*\* DE BONIS 237.9 10.51 .82 1190.9768 1809.0765  $\frac{F \cdot \sin(A)}{\max F_s} + \frac{F \cdot \cos(A)}{\max F_z} = 1 + k \cdot \sin(2A)$   
 k = .5028

\*\*\*\*\*



Tabelle 5 : Ergebnisse REIHE II.1

\*\*\*\*\*

```

**
** Winkel Kraefte F (N) Mittelwert F **
**
** .00 1085.00 895.00 1025.00 865.00 1065.00 987.00 **
** 15.00 1085.00 1075.00 905.00 795.00 1095.00 991.00 **
** 30.00 1145.00 985.00 985.00 1015.00 1125.00 1051.00 **
** 45.00 875.00 1135.00 995.00 1045.00 1155.00 1041.00 **
** 60.00 1125.00 925.00 1265.00 815.00 865.00 999.00 **
** 75.00 1125.00 1065.00 1105.00 935.00 1375.00 1121.00 **
** 90.00 1165.00 1325.00 1115.00 845.00 1705.00 1231.00 **

```

\*\*\*\*\*

```

**
**Regressions-
**ergebnisse SR v R max Fz max Fs Regressionsgleichungen **

```

```

**
** LINAR 4164.4 15.70 .38 959.4286 1160.8571 F = 2.238 *(ALPHA) + 959.4 **

```

```

**
** ELLIPSE 2626+006 50.6 .77 908.8539 1307.6810
**
** (F*sin(A))**2 (F*cos(A))**2
** (max Fs)**2 (max Fz)**2 = 1

```

```

**
** DE BONIS 201.5 14.11 .61 1004.6717 1215.5989
**
** F*sin(A) F*cos(A)
** max Fs max Fz = 1+k*sin(2A)
**
** k = .3279

```

\*\*\*\*\*

Tabelle 6: Ergebnisse REIHE II.2

\*\*\*\*\*

Winkel	Kraefte F (N)					Mittelwert F
.00	1345.00	1605.00	1315.00	1235.00	1665.00	1433.00
15.00	1515.00	1495.00	1605.00	1125.00	1745.00	1497.00
30.00	1825.00	1605.00	1735.00	1345.00	1915.00	1685.00
45.00	1855.00	1765.00	1765.00	1895.00	.00	1820.00
60.00	1785.00	2055.00	1655.00	1575.00	2085.00	1831.00
75.00	1865.00	1865.00	2135.00	1615.00	2055.00	1907.00
90.00	2185.00	1785.00	2075.00	1915.00	2065.00	2005.00

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*  
 \*\*Regressions-  
 \*\*ergebnisse SR v R max Fz max Fs Regressionsgleichungen

\*\*\*\*  
 \*\* LINEAR \*349.3 \*20.70\* .49\*1450.3571 \*2025.0714 \* F = 6.386 \*(ALPHA) + 1450.

\*\*\*\*  
 \*\* ELLIPSE \*.6193+006\* 49.3\* .77\*1440.7613 \*2101.5444 \*  

$$\frac{(F \cdot \sin(A))^{**2}}{(\max F_s)^{**2}} + \frac{(F \cdot \cos(A))^{**2}}{(\max F_z)^{**2}} = 1$$

\*\*\*\*  
 \*\* DE BONIS \*577.7 \*23.44\* .46\*1458.8978 \*2057.6375 \*  

$$\frac{F \cdot \sin(A)}{\max F_s} + \frac{F \cdot \cos(A)}{\max F_z} = 1 + k \cdot \sin(2A)$$
  
 k = .3707

\*\*\*\*\*

Tabelle 7 : Ergebnisse REIHE II.3

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

** Winkel *	** Kraefte F (N) *	** Mittelwert F **
** 00 *	1345.00 1465.00 1345.00 1155.00 1305.00	1323.00
** 15.00 *	1415.00 1485.00 1115.00 1245.00 1355.00	1323.00
** 30.00 *	1455.00 1215.00 1495.00 1415.00 1295.00	1375.00
** 45.00 *	1625.00 1625.00 1415.00 1445.00 1385.00	1499.00
** 60.00 *	1825.00 1675.00 1425.00 1675.00 1545.00	1629.00
** 75.00 *	1765.00 1605.00 1785.00 1665.00 1475.00	1659.00
** 90.00 *	1865.00 2045.00 1725.00 1785.00 1855.00	1855.00

\*\*\*\*\*

** Regressions- ** ergebnisse *	** SR *	** v *	** R *	** max Fz *	** max Fs *	** Regressionsgleichungen **
** LINEAR *	127.1	8.35	.82	1253.0714	1793.5000	F = 6.005 *(ALPHA) + 1253.
** ELLIPSE *	2751+006	28.2	.92	1291.9996	1829.4606	$\frac{(F*\sin(A))^{**2}}{(max Fs)^{**2}} + \frac{(F*\cos(A))^{**2}}{(max Fz)^{**2}} = 1$
** DE BONIS *	187.4	8.37	.63	1302.4223	1864.1351	$\frac{F*\sin(A)}{max Fs} + \frac{F*\cos(A)}{max Fz} = 1+k*\sin(2A)$ k = .3786

\*\*\*\*\*

Tabelle 8 : Ergebnisse REIHE II.4

\*\*\*\*\*

```

*****
**                                     *
** Winkel                             * Mittelwert F **
**                                     *
**                                     *
**                                     *
**      00 * 473.00  423.00  560.00  584.00  481.00 * 504.20 **
**     15.00 * 585.00  388.00  503.00  845.00  585.00 * 581.20 **
**     30.00 * 414.00  447.00  487.00  717.00  531.00 * 519.20 **
**     45.00 * 507.00  569.00  707.00  627.00  617.00 * 605.40 **
**     60.00 * 675.00  677.00  715.00  825.00  713.00 * 721.00 **
**     75.00 * 657.00  713.00  727.00  771.00  729.00 * 719.40 **
**     90.00 * 665.00  773.00  831.00  827.00  741.00 * 767.40 **
**                                     *
*****
**                                     *
**Regressions-
**ergebnisse SR v R max Fz max Fs Regressionsgleichungen
**                                     *
**                                     *
** LINAR 494.36 14.95 .70 495.2786 766.9500 * F = 3.019 *(ALPHA) + 495.3 **
**                                     *
**                                     *
** ELLIPSE 4.98901005 59.94 .71 522.3063 795.4014 *
**                                     *
**                                     *
** DE BONIS 4163 B 16.91 .61 513.2866 794.8359 *
**                                     *
**                                     *
**                                     *
*****

```

Tabelle 9 : Ergebnisse REIHE II.5

\*\*\*\*\*

```

*****
**                               *                               **
** Winkel                         Kraefte F (N)                   * Mittelwert F **
**                               *                               *                               **
*****
**                               *                               *                               **
**      .00 *      1165.00      1545.00      1035.00      1315.00      1085.00 *      1229.00 **
**     15.00 *      1405.00      1165.00      1315.00      1245.00      1125.00 *      1251.00 **
**     30.00 *      1125.00      1625.00      1375.00      1375.00      1175.00 *      1335.00 **
**     45.00 *      1485.00      1415.00      2065.00      1075.00      1435.00 *      1495.00 **
**     60.00 *      1455.00      2585.00      1255.00      1915.00      1575.00 *      1757.00 **
**     75.00 *      2275.00      1525.00      1935.00      1575.00      1855.00 *      1833.00 **
**     90.00 *      1655.00      1985.00      1565.00      1725.00      1465.00 *      1679.00 **
**                               *                               *                               **
*****
**                               *                               *                               **
**Regressions-   *                               *                               **
**ergebnisse     * SR      v      R      max Fz * max Fs *      Regressionsgleichungen **
**                               *                               *                               **
*****
**                               *                               *                               **
** LINEAR *292.0 *19.32+ .59*1196.7143 *1825.8571 * F = 6.990 *(ALPHA) + 1197. **
**                               *                               *                               **
*****
**                               *                               *                               **
** ELLIPSE * .57/9+006* 61.3+ .55*1149.3623 *2262.2705 *----- + ----- = 1 **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **
** DE BCNIS *471.0 *20.38+ .62*1183.1545 *1805.1687 *----- + ----- =1+k*sin(2A) **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **
*****
*****

```

Tabelle 10: Ergebnisse REIHE II.6

\*\*\*\*\*

```

*****
*****
**      *
** Winkel *          Kraefte F (N) *          Mittelwert F **
**      *
*****
**      *
**      .00 *          1235.00      1225.00      1265.00      1615.00      1315.00 *          1331.00 **
**      15.00 *          1375.00      1265.00      1485.00      1475.00      1425.00 *          1405.00 **
**      30.00 *          1475.00      1335.00      1615.00      1495.00      1385.00 *          1461.00 **
**      45.00 *          1585.00      1385.00      1675.00      1555.00      1465.00 *          1533.00 **
**      60.00 *          1405.00      1575.00      1655.00      1435.00      1415.00 *          1497.00 **
**      75.00 *          1715.00      1575.00      1705.00      1565.00      1335.00 *          1579.00 **
**      90.00 *          1985.00      1475.00      2305.00      1605.00      2545.00 *          1983.00 **
**      *
*****
*****
**      *
**Regressions- *          *          *          *          *          *
**ergebnisse *          SR *          v *          R *          max Fz *          max Fs *          Regressionsgleichungen **
**      *          *          *          *          *          *          *
*****
**      *          *          *          *          *          *          *
** LINFAR *217.5 *          14 11 *          .62*1290.5714 *          1792.0000 *          F = 5.571 *          *(ALPHA) + 1291. **
**      *          *          *          *          *          *          *
*****
**      *          *          *          *          *          *          *
**      *          *          *          *          *          *          *
** ELLIPSE *          4.4511+006 *          41.4 *          .81*1265.8455 *          1985.0703 *          ----- + ----- = 1 **
**      *          *          *          *          *          *          *
**      *          *          *          *          *          *          *
**      *          *          *          *          *          *          *
** DE BONIS *238.9 *          10.73 *          .71*1364.7510 *          1895.0008 *          ----- + ----- = 1+k*sin(2A) **
**      *          *          *          *          *          *          *
**      *          *          *          *          *          *          *
**      *          *          *          *          *          *          *
*****
*****

```

Tabelle 11: Ergebnisse REIHE II.7

\*\*\*\*\*

```

*****
**                               *                               **
** Winkel                         Kraefte F (N)                 * Mittelwert F **
**                               *                               *                               **
*****
**                               *                               *                               **
** 0.00                          2555.00    2035.00    2575.00    2315.00    2365.00 * 2369.00 **
** 15.00                         2535.00    2265.00    2365.00    2455.00    2455.00 * 2415.00 **
** 30.00                         2385.00    2045.00    2505.00    2505.00    2575.00 * 2403.00 **
** 45.00                         2545.00    2145.00    2575.00    2585.00    2705.00 * 2511.00 **
** 60.00                         2715.00    2415.00    2845.00    2715.00    2625.00 * 2675.00 **
** 75.00                         2935.00    2455.00    2875.00    2635.00    2745.00 * 2729.00 **
** 90.00                         3555.00    2635.00    3185.00    2795.00    3135.00 * 3061.00 **
**                               *                               *                               **

```

\*\*\*\*\*

```

**                               *                               **
**Regressions-                     *                               **
**ergebnisse SR  v  R  max Fz  max Fs  Regressionsgleichungen **
**                               *                               *                               **
*****
** LINEAR  *222.5  * 8.58+ .70*2275.8571 *2913.5714 * F = 7.086 *(ALPHA) + 2276. **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **
** ELLIPSE  * .69001006 * 29.54 .92*2288.0919 *2989.8084 *  $\frac{(F*\sin(A))^{**2}}{(\max Fs)^{**2}} + \frac{(F*\cos(A))^{**2}}{(\max Fz)^{**2}} = 1$  **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **
** DE BONIS *272.5  * 7.57+ .63*2385.3530 *3053.7489 *  $\frac{F*\sin(A)}{\max Fs} + \frac{F*\cos(A)}{\max Fz} = 1+k*\sin(2A)$  **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **

```

\*\*\*\*\*

Tabelle 12: Ergebnisse REIHE II.8

\*\*\*\*\*

```

*****
**                                     *                                     **
** Winkel *                               * Kraefte F (N) *                               * Mittelwert F **
**                                     *                                     *                                     **
*****
**                                     *                                     **
** .00 * 4315.00 4445.00 4345.00 3845.00 3405.00 * 4077.00 **
** 15.00 * 4765.00 4405.00 4565.00 4385.00 4265.00 * 4477.00 **
** 30.00 * 4965.00 4845.00 4785.00 4985.00 4445.00 * 4805.00 **
** 45.00 * 4965.00 4825.00 5005.00 5085.00 5485.00 * 5073.00 **
** 60.00 * 6075.00 5045.00 5445.00 5425.00 5245.00 * 5447.00 **
** 75.00 * 5765.00 5415.00 5645.00 5385.00 5485.00 * 5539.00 **
** 90.00 * 6065.00 6165.00 6125.00 5865.00 5785.00 * 6001.00 **
**                                     *                                     **
*****
**                                     *                                     **
** Regressions- *                                     *                                     **
** ergebnisse * SR * v * R * max Fz * max Fs * Regressionsgleichungen **
**                                     *                                     *                                     **
**                                     *                                     **
** LINEAR *264.7 * 5.27 * .92*4145.0714 *5974.6428 * F = 20.33 *(ALPHA) + 4145. **
**                                     *                                     *                                     **
**                                     *                                     *                                     **
** ELLIPSE * .2348+007 * 21.8 * .95*4332.6313 *5981.8506 * ----- + ----- = 1 **
**                                     *                                     *                                     **
**                                     *                                     *                                     **
**                                     *                                     *                                     **
** DE BONIS *405.4 * 5.41 * .94*4126.2064 *5947.4511 * ----- + ----- =1+k*sin(2A) **
**                                     *                                     *                                     **
**                                     *                                     *                                     **
**                                     *                                     *                                     **
*****

```



Tabelle 13: Ergebnisse REIHE III.1

\*\*\*\*\*

Winkel	Kraefte F (N)	Mittelwert F
0.00	560.00 360.00 610.00 250.00 575.00	471.00
30.00	740.00 505.00 610.00 325.00 1030.00	642.00
60.00	1000.00 970.00 995.00 480.00 1270.00	943.00
90.00	1275.00 1035.00 1215.00 715.00 1590.00	1166.00

SR	r	R	max Fz	max Fs	Regressionsgleichungen
251.3	31.19	.75	447.6000	1163.4000	$F = 7.953 \cdot (\text{ALPHA}) + 447.6$
1912+006	92.0	.33	519.7138	1571.7064	$\frac{(F \cdot \sin(A))^2}{(\max Fs)^2} + \frac{(F \cdot \cos(A))^2}{(\max Fz)^2} = 1$
524.1	33.824	.58	459.8001	1195.1105	$\frac{F \cdot \sin(A)}{\max Fs} + \frac{F \cdot \cos(A)}{\max Fz} = 1 + k \cdot \sin(2A)$ k = .6851



Tabelle 15 Ergebnisse REIHE III.3

\*\*\*\*\*

```

*****
*****
**
** Winkel *
** Kraefte F (N) * Mittelwert F **
** *
*****
** *
** 00 * 720.00 925.00 650.00 735.00 805.00 * 767.00 **
** 30.00 * 655.00 605.00 695.00 635.00 640.00 * 646.00 **
** 60.00 * 880.00 1090.00 1245.00 855.00 980.00 * 1010.00 **
** 90.00 * 595.00 965.00 1105.00 1045.00 985.00 * 1019.00 **
** *

```

\*\*\*\*\*

```

**
**Regressions- *
**ergebnisse * SR * v * R * max Fz * max Fs * Regressionsgleichungen **
** *

```

```

**
** LINEAR *141.7 *16.47* .68* 692.5000 *1028.5000 * F = 3.733 *(ALPHA) + 692.5 **
**

```

```

**
** ELLIPSE *.1608+006* 51.9* .74* 686.3144 *1127.7507 *
** * * * * *
** * * * * *
** * * * * *

```

```

**
** DE BONIS *233.3 *18.91* .57* 726.5517 *1079.0735 *
** * * * * *
** * * * * *

```

\*\*\*\*\*

Tabelle 16: Ergebnisse REIHE III.4

\*\*\*\*\*

```

*****
**                               *                               **
** Winkel *                       Krafte F (N)                       * Mittelwert F **
**                               *                               *                               **
*****
**                               *                               *                               **
** .00 * 2305.00 1985.00 1705.00 2145.00 2465.00 * 2121.00 **
** 30.00 * 2005.00 1725.00 2245.00 2285.00 1965.00 * 2045.00 **
** 60.00 * 1855.00 2385.00 2525.00 2165.00 1805.00 * 2147.00 **
** 90.00 * 2645.00 2565.00 2575.00 1785.00 2615.00 * 2437.00 **
**                               *                               *                               **

```

```

*****
**                               *                               **
** Regressions- *                               *                               **
** ergebnisse * SR * v * R * max Fz * max Fs * Regressionsgleichungen **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **
** LINEAR *303.4 *13.87+ .38+2029.9999 *2345.0000 * F = 3.500 *(ALPHA) + 2030. **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **
** ELLIPSE * .1064+007* 47.8* .84+1978.8149 *2481.0812 * ----- + ----- = 1 **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **
** DE BONIS *357.8 *12.95+ .69*2115.3206 *2443.5602 * ----- + ----- =1+k*sin(2A) **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **
*****

```

Tabelle 17: Ergebnisse REIHE IV.1

\*\*\*\*\*

```

*****
*****
**
** Winkel *
**
**
**
**
** 00 * 250.00 255.00 385.00 410.00 565.00 * 373.00 **
** 30.00 * 275.00 195.00 360.00 535.00 395.00 * 356.00 **
** 45.00 * 385.00 241.00 171.00 241.00 371.00 * 281.80 **
** 60.00 * 280.00 305.00 520.00 555.00 475.00 * 427.00 **
** 90.00 * 1080.00 825.00 1170.00 780.00 895.00 * 950.00 **
**
*****
*****
**
**
**Regressions-
**ergebnisse * SR * y * R * max Fz * max Fs * Regressionsgleichungen **
**
**
** LINEAR *206.3 *43.19* .67* 207.2600 * 747.8600 * F = 6.007 *(ALPHA) + 207.3 **
**
**
** ELLIPSE * .6930+005* 99.3* .46* 301.0297 *1000.5297 * ----- + ----- = 1 **
** * (max Fs)**2 (max Fz)**2 **
**
**
** DE BONIS *382.8 *43.90* .07* 322.0667 *1162.1190 * ----- + ----- =1+k*sin(2A) **
** * max Fs max Fz **
** k = -.0522 **
*****
*****

```

Tabelle 18: Ergebnisse REIHE IV.2

\*\*\*\*\*

```

*****
**                               *                               **
** Winkel *                               * Mittelwert F **
**                               *                               **
*****
**                               *                               **
** .00 * 1655.00 1725.00 1565.00 1555.00 1565.00 * 1615.00 **
** 30.00 * 2045.00 1845.00 1825.00 1765.00 1735.00 * 1843.00 **
** 45.00 * 1655.00 1555.00 1600.00 1585.00 1545.00 * 1588.00 **
** 60.00 * 2425.00 2015.00 1855.00 2225.00 1725.00 * 2049.00 **
** 90.00 * 2645.00 2635.00 2405.00 2005.00 2245.00 * 2387.00 **
**                               *                               **
*****
**                               *                               **
**Regressions- *                               *                               **
**ergebnisse SR * v * R * max Fz * max Fs * Regressionsgleichungen **
**                               *                               **
*****
** LINEAR *239.2 *12.61* .74*1518.1000 *2274.7000 * F = 8.407 *(ALPHA) + 1518. **
**                               *                               **
*****
**                               *                               **
** ELLIPSE * .5562+006 * 37.1 * .85 * 1542.1766 * 2447.0687 * ----- + ----- = 1 **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
*****
**                               *                               **
** DE BONIS *338.3 *11.68* .72*1623.9008 *2433.2305 * ----- + ----- = 1+k*sin(2A) **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
*****

```

Tabelle 19: Ergebnisse REIHE IV.3

\*\*\*\*\*

```

*****
**                                     *                                     **
** Winkel *                           Krafte F (N) *                           Mittelwert F **
**                                     *                                     *                                     **
**                                     *                                     *                                     **
** .00 *                               925.00   805.00   700.00   905.00   880.00 *   843.00 **
** 30.00 *                             920.00   910.00   860.00   890.00   865.00 *   889.00 **
** 60.00 *                             1015.00  965.00   1075.00  1135.00  1110.00 *  1060.00 **
** 90.00 *                             1190.00  1260.00  1380.00  1430.00   .00 *   1315.00 **
**                                     *                                     *                                     **

```

\*\*\*\*\*

```

**                                     *                                     **
**Regressions- *                                     *                                     **
**ergebnisse *   SR *   v *   R *   max Fz *   max Fs *   Regressionsgleichungen **
**                                     *                                     *                                     **
** LINEAR *   92.11 *   9.11 *   .69 * 791.0349 * 1256.6279 * F = 5.173 *(ALPHA) + 791.0 **
**                                     *                                     *                                     **
** ELLIPSE * 1048+006 * 25.0 *   .94 * 819.9022 * 1304.1113 *  $\frac{(F \sin(A))^2}{(\max Fs)^2} + \frac{(F \cos(A))^2}{(\max Fz)^2} = 1$  **
**                                     *                                     *                                     **
** DE BONIS * 110.5 * 7.22 *   .88 * 836.2353 * 1328.4327 *  $\frac{F \sin(A)}{\max Fs} + \frac{F \cos(A)}{\max Fz} = 1 + k \sin(2A)$  **
**                                     *                                     *                                     **
**                                     *                                     *                                     **
**                                     *                                     *                                     **

```

\*\*\*\*\*

Tabelle 20: Ergebnisse REIHE IV.4

\*\*\*\*\*

```

*****
**                                     **
** Winkel *                           * Mittelwert F **
**                                     * **
**                                     * **
** .00 * 1505.00 1445.00 1525.00 1275.00 1365.00 * 1423.00 **
** 30.00 * 1555.00 1605.00 1525.00 1415.00 1415.00 * 1503.00 **
** 60.00 * 1625.00 1745.00 1725.00 1625.00 1735.00 * 1691.00 **
** 90.00 * 1945.00 1955.00 1805.00 1905.00 1925.00 * 1907.00 **
**                                     * **
**                                     * **
**Regressions- * * * * *
**ergebnisse * SR * r * R * max Fz * max Fs * Regressionsgleichungen **
**                                     * * * * *
** LINRAR *83.63 * 5.13+ .92*1385.0000 *1877.0000 * F = 5.467 *(ALPHA) + 1385. **
**                                     * * * * *
**                                     * * * * *
** ELLIPSE * 2015+006 * 18.1 * .97*1413.6844 *1892.0839 *  $\frac{(F*\sin(A))^2}{(\max Fs)^2} + \frac{(F*\cos(A))^2}{(\max Fz)^2} = 1$  **
**                                     * * * * *
** DE BONIS *113.9 * 5.08 * .95*1415.0680 *1917.7493 *  $\frac{F*\sin(A)}{\max Fs} + \frac{F*\cos(A)}{\max Fz} = 1+k*\sin(2A)$  **
**                                     * * * * *
**                                     * k = .3885 **
*****

```



Tabelle 21: Ergebnisse REIHE V.1

\*\*\*\*\*

```

*****
**                                     *                                     **
** Winkel *                               Kraefte F (N) *                               Mittelwert F **
**                                     *                                     *                                     **
**                                     *                                     *                                     **
** 00 *                               730.00 420.00 700.00 785.00 830.00 *                               693.00 **
** 30.00 *                               730.00 605.00 615.00 835.00 880.00 *                               733.00 **
** 60.00 *                               695.00 785.00 1015.00 1000.00 1325.00 *                               964.00 **
** 90.00 *                               1165.00 900.00 1055.00 1315.00 1215.00 *                               1130.00 **
**                                     *                                     *                                     **
*****
**                                     *                                     *                                     **
**Regressions- *                                     *                                     **
**ergebnisse * SR * v * R * max Fz * max Fs * Regressionsgleichungen **
**                                     *                                     *                                     **
** LINEAR *173.5 *19.71* .72* 648.7000 *1111.3000 * F = 5.140 *(ALPHA) + 648.7 **
**                                     *                                     *                                     **
** ELLIPSE * .1735+006* 60.0 * .68* 661.7270 *1263.9282 * ----- + ----- = 1 **
**                                     *                                     *                                     **
**                                     *                                     *                                     **
** DE BONIS *286.0 *21.06* .59* 676.3078 *1158.5955 * ----- + ----- =1+k*sin(2A) **
**                                     *                                     *                                     **
**                                     *                                     *                                     **
**                                     *                                     *                                     **
**                                     *                                     *                                     **
*****

```

Tabelle 22: Ergebnisse REIHE V.2

\*\*\*\*\*

```

*****
**                                     *
** Winkel *                           * Mittelwert F **
**                                     *
*****
**                                     *
**          *      555.00   275.00   590.00   510.00   645.00 *      505.00 **
**   0.00  *      545.00   445.00   645.00   870.00   800.00 *      661.00 **
**  30.00  *      680.00   745.00  1130.00  1270.00  1235.00 *     1052.00 **
**  60.00  *      960.00   940.00  1360.00  1265.00  1530.00 *     1211.00 **
**  90.00  *                                     *
**                                     *
*****

```

\*\*\*\*\*

```

**                                     *
**Regressions- *
**ergebnisse * SR * v * R * max Fz * max Fs * Regressionsgleichungen **
**                                     *
*****

```

```

**                                     *
** LINEAR *205.5 *23.97* .82* 480.9000 *1233.6000 * F = 8.363 *(ALPHA) + 480.9 **
**                                     *
*****

```

```

**                                     *
**                                     *
** ELLIPSE *.1603+006* 70.5* .49* 552.7990 *1562.7461 *  $\frac{(F \sin(A))^2}{(\max F_s)^2} + \frac{(F \cos(A))^2}{(\max F_z)^2} = 1$  **
**                                     *
*****

```

```

**                                     *
**                                     *
** DE BONIS *435.3 *26.52* .68* 488.5448 *1253.2104 *  $\frac{F \sin(A)}{\max F_s} + \frac{F \cos(A)}{\max F_z} = 1+k \sin(2A)$  **
**                                     *
**                                     * k = .7154 **
*****

```

\*\*\*\*\*

Tabelle 23: Ergebnisse REIHE V.3

\*\*\*\*\*

```

*****
**                                     *
** Winkel                             * Mittelwert F **
**                                     *
**                                     *
**                                     *
**      .00 *      660.00      445.00      770.00      710.00      995.00 *      716.00 **
**     30.00 *      935.00      680.00      475.00      950.00      625.00 *      733.00 **
**     60.00 *      750.00     1000.00     1100.00     1100.00     1255.00 *     1041.00 **
**     90.00 *      815.00     1035.00     1400.00     1315.00     1485.00 *     1210.00 **
**                                     *
*****
**                                     *
**Regressions- *
**ergebnisse   * SR * v * R * max Fz * max Fs * Regressionsgleichungen **
**                                     *
** LINEAR      *217.3 *23.49* .70* 656.5000 *1193.5000 * F = 5.967 *(ALPHA) + 656.5 **
**                                     *
** ELLIPSE     * .2174+006* 69.6* .63* 681.6260 *1382.6731 *  $\frac{(F*\sin(A))^{**2}}{(max\ Fs)^{**2}} + \frac{(F*\cos(A))^{**2}}{(max\ Fz)^{**2}} = 1$  **
**                                     *
** DE BONIS   *356.2 *24.23* .54* 690.7879 *1255.8346 *  $\frac{F*\sin(A)}{max\ Fs} + \frac{F*\cos(A)}{max\ Fz} = 1+k*\sin(2A)$  **
**                                     *
**                                     * k = .3938 **
*****

```

Tabelle 24: Ergebnisse REIHE V. 4

\*\*\*\*\*

```

*****
**                               *                               **
** Winkel                         *           Mittelwert F      **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**      .00      4      550.00      755.00      835.00      620.00      645.00      *      681.00      **
**     30.00     4      560.00      780.00      910.00      690.00      700.00      *      728.00      **
**     60.00     4      680.00      900.00     1085.00     875.00      755.00      *      859.00      **
**     90.00     4      875.00     1140.00     1335.00     1075.00     945.00      *     1074.00      **
**                               *                               **
*****
**                               *                               **
**Regressions-                     *                               **
**ergebnisse      SR      v      R      max Fz      max Fs      Regressionsgleichungen      **
**                               *                               **
**                               *                               **
** LINEAR      *141.8      *17.33*      .73*      639.0000      *1032.0000      * F = 4.367      *(ALPHA) + 639.0      **
**                               *                               **
**                               *                               **
** ELLIPSE      * 1418+006*      51.1*      .76*      647.5462      *1140.8987      *----- + ----- = 1      **
**                               *                               **
**                               *                               **
** DE BONIS      *209.1      *16.67*      .63*      673.0028      *1086.9154      *----- + ----- = 1+k*sin(2A)      **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
*****

```

Tabelle 25 : Ergebnisse REIHE V. 5

\*\*\*\*\*

```

*****
**                                     *
** Winkel *                               * Mittelwert F **
**                                     *
**                                     *
**                                     *
**      .00 *          625.00      870.00      885.00      860.00      880.00 *          824.00 **
**     30.00 *          785.00     1040.00     985.00     895.00     1035.00 *          948.00 **
**     60.00 *          955.00     1480.00     1250.00     1170.00     1125.00 *         1196.00 **
**     90.00 *         1210.00     1715.00     1480.00     1255.00     1460.00 *         1424.00 **
**                                     *
*****
**                                     *
**                                     *
**                                     *
**                                     *
** Regressions- *
** Ergebnisse * SR * y * R * max Fz * max Fs * Regressionsgleichungen **
**                                     *
**                                     *
** L INCAR *153.9 *14.01* .84* 790.8000 *1405.2000 * F = 6.827 *(ALPHA) + 790.8 **
**                                     *
**                                     *
** ELLIPSE * 1.806+006* 41.6* .83* 823.8298 *1530.6578 * ----- + ----- = 1 **
**                                     *
**                                     *
**                                     *
**                                     *
** DE BONIS *210.6 *13.91* .78* 812.6899 *1444.0970 * ----- + ----- =1+k*sin(2A) **
**                                     *
**                                     *
**                                     *
**                                     *

```

Tabelle 26: Ergebnisse REIHE V.6

\*\*\*\*\*

```

*****
**                                     *
** Winkel *                           * Mittelwert F **
**                                     *
**                                     *
**                                     *
** .00 * 695.00 1130.00 925.00 920.00 895.00 * 913.00 **
** 30.00 * 730.00 1145.00 955.00 935.00 1040.00 * 961.00 **
** 60.00 * 920.00 1280.00 1130.00 1090.00 1110.00 * 1106.00 **
** 90.00 * 1205.00 1465.00 1305.00 1220.00 1460.00 * 1331.00 **
**                                     *
*****
**Regressions-+
**ergebnisse + SR * v * R * max Fz * max Fs * Regressionsgleichungen **
**                                     *
** LINEAR *141.0 *13.08+ .76* 867.9000 *1287.6000 * F = 4.663 *(ALPHA) + 867.9 **
**                                     *
**                                     *
** ELLIPSE *.2116+006* 45.3* .84* 888.2400 *1343.9060 * (F*sin(A))**2 (F*cos(A))**2
**                                     * (max Fs)**2 (max Fz)**2 = 1 **
**                                     *
** DE BONIS *204.7 *13.25+ .72* 905.0766 *1342.7546 * F*sin(A) F*cos(A)
**                                     * max Fs max Fz =1+k*sin(2A) **
**                                     * k = .3474 **
*****

```

Tabelle 27: Ergebnisse REIHE VI.1

\*\*\*\*\*

```

*****
**                                     *                                     **
** Winkel *                               Kraefte F (N) * Mittelwert F **
**                                     *                                     **
*****
**                                     *                                     **
**      .00 *           870.00      770.00      920.00      630.00      475.00 *           733.00 **
**    30.00 *           1280.00     1015.00     850.00     825.00     825.00 *           959.00 **
**    60.00 *           1735.00     1655.00     1255.00     1285.00     1325.00 *          1451.00 **
**    90.00 *           1870.00     1760.00     1790.00     1700.00     1520.00 *          1728.00 **
**                                     *                                     **
*****
**                                     *                                     **
**Regressions- *           *           *           *           *           *           *           **
**ergebnisse * SR * v * R * max Fz * max Fs * Regressionsgleichungen **
**                                     *                                     **
**                                     *                                     **
** LINEAR *185.7 *15.25* .91* 696.2000 *1739.3000 * F = 11.59 *(ALPHA) + 696.2 **
**                                     *                                     **
**                                     *                                     **
** ELLIPSE *.2669+006* 58.9* .65* 815.1185 *1952.7983 *----- + ----- = 1 **
**                                     *                                     **
**                                     *                                     **
**                                     *                                     **
** DE BONIS *446.5 *19.45* .77* 712.3384 *1779.6181 *----- + ----- =1+k*sin(2A) **
**                                     *                                     **
**                                     *                                     **
**                                     *                                     **
*****

```

Tabelle 28: Ergebnisse REIHE VI.2

\*\*\*\*\*

```

*****
*****
**          *
** Winkel   *          Kraefte F (N)          *          Mittelwert F      **
**          *          *          *          *          *          *          *          *
*****
**          *
**   .00    *      1205.00    1050.00    1240.00    900.00    1085.00    *      1096.00    **
**  30.00   *      1270.00    1130.00    1135.00    1045.00    1055.00    *      1127.00    **
**  60.00   *      1435.00    1465.00    1245.00    1355.00    1270.00    *      1354.00    **
**  90.00   *      1710.00    1620.00    1715.00    1610.00    1615.00    *      1654.00    **
**          *
*****
*****
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**Regressions- *          *          *          *          *          *          *          *
**ergebnisse   *  SR    *  v    *  R    *  max Fz  *  max Fs  *          Regressionsgleichungen  **
**          *          *          *          *          *          *          *          *
*****
**          *          *          *          *          *          *          *          *
** LINEAR     *117.7  * 9.00* .89*1022.6000 *1592.9000 * F = 6.337  *(ALPHA) + 1023.  **
**          *          *          *          *          *          *          *          *
*****
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
** ELLIPSE    * .1918+006* 29.1* .93*1062.0582 *1632.4827 *-----+----- = 1 **
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
** DE BONIS   *160.0  * 8.34* .84*1078.9122 *1680.6173 *-----+----- =1+k*sin(2A) **
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
*****
*****

```



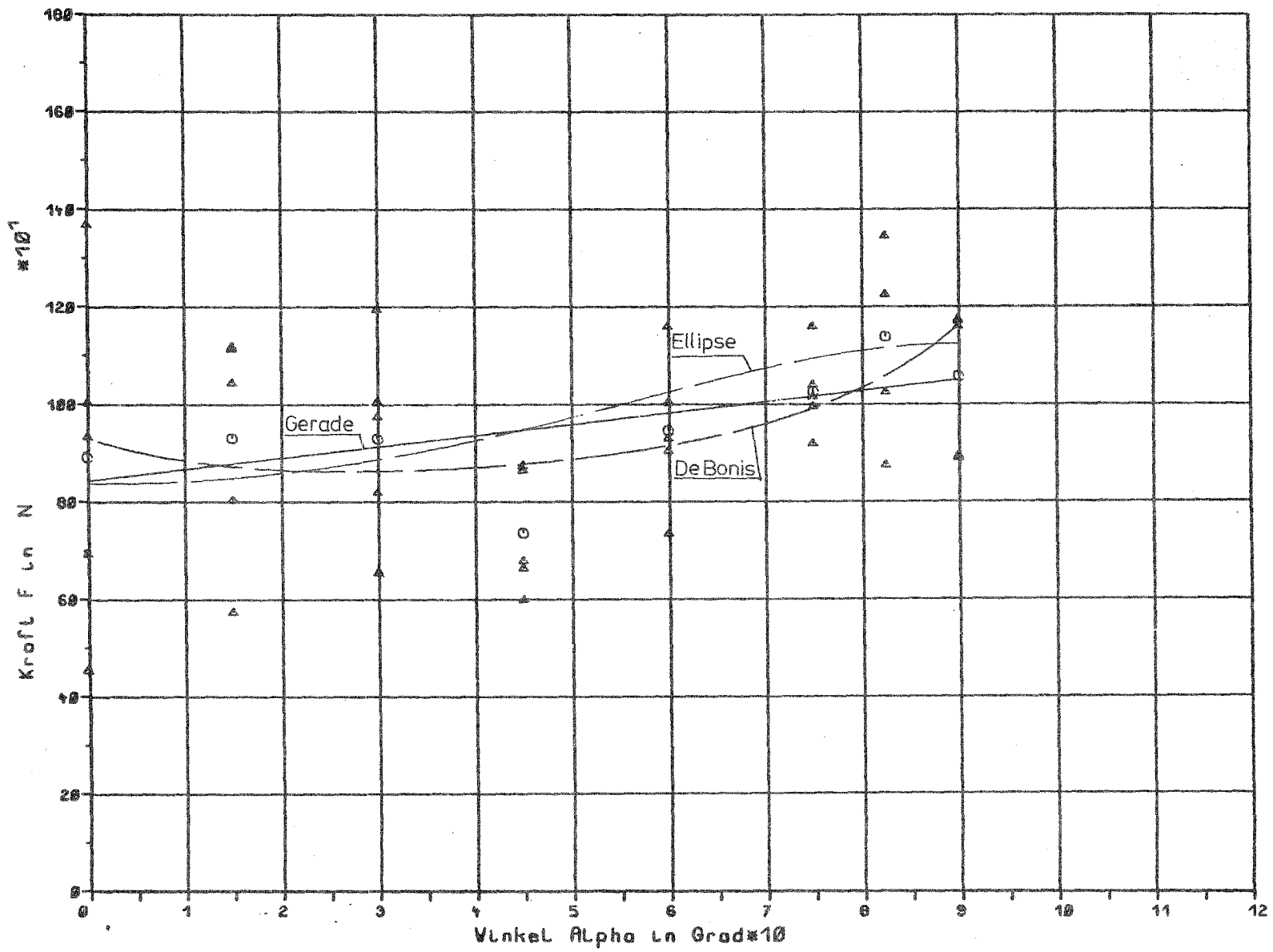


Bild 13: Reihe I.1

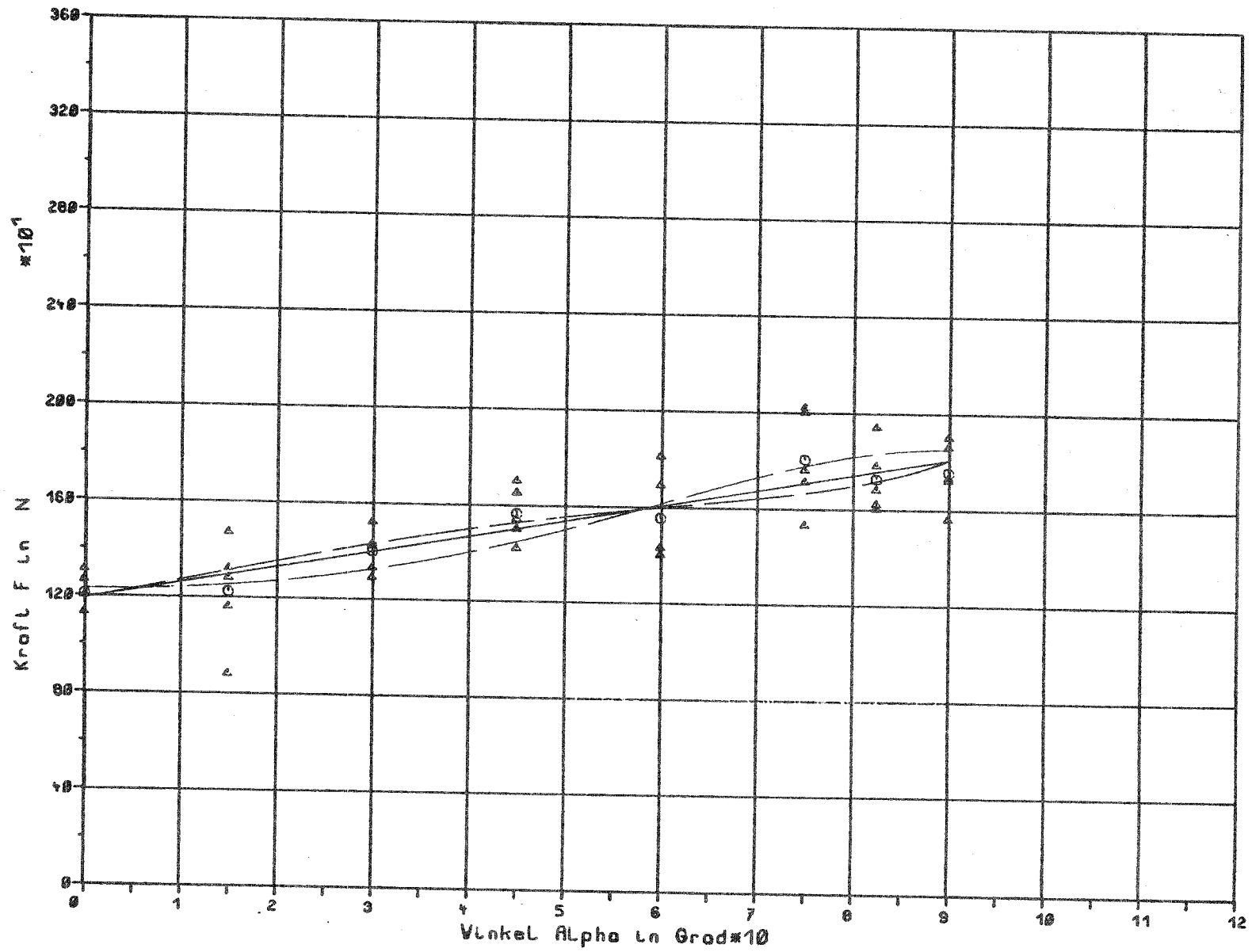


Bild 14: Reihe I.2

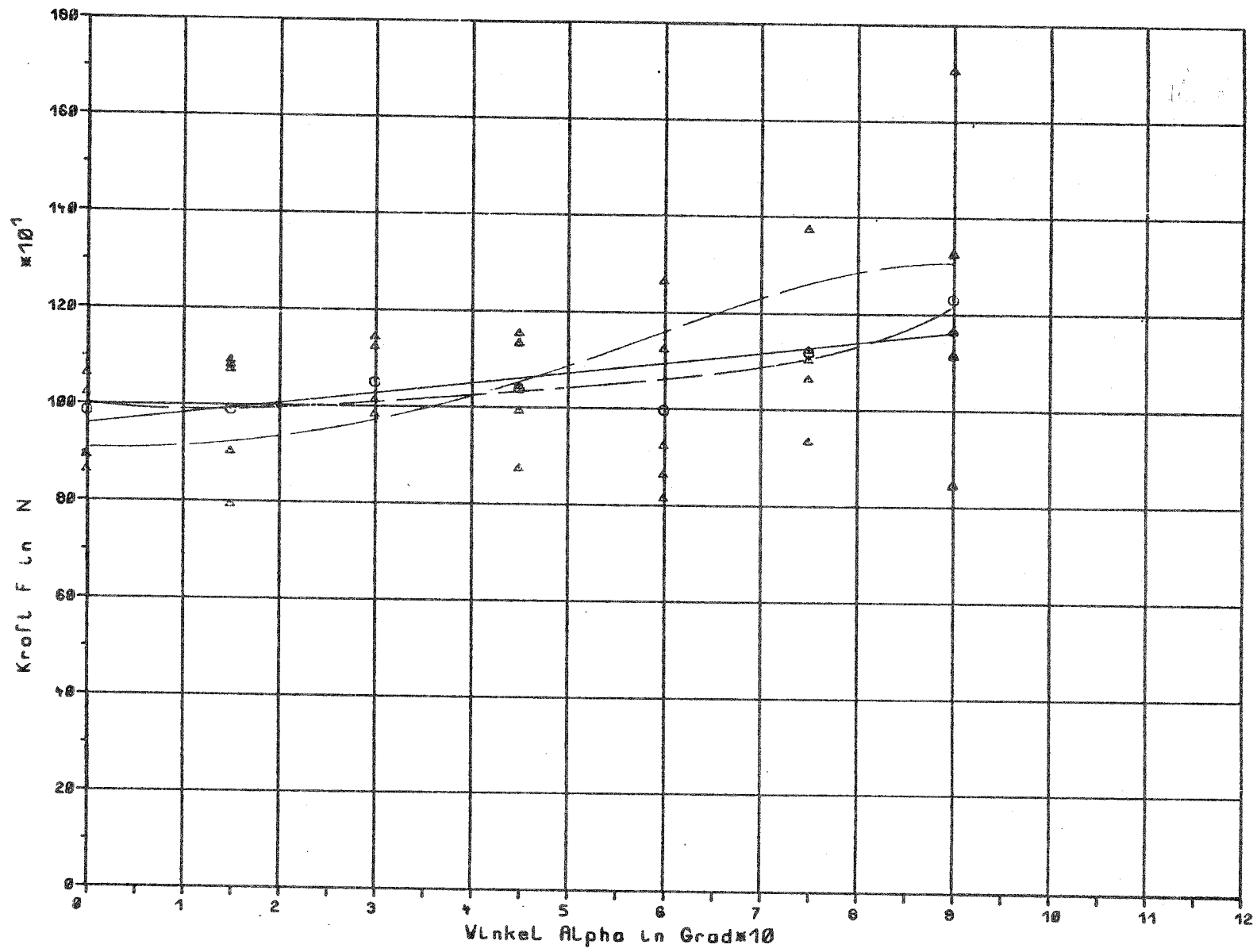


Bild 15 : Reihe II.1

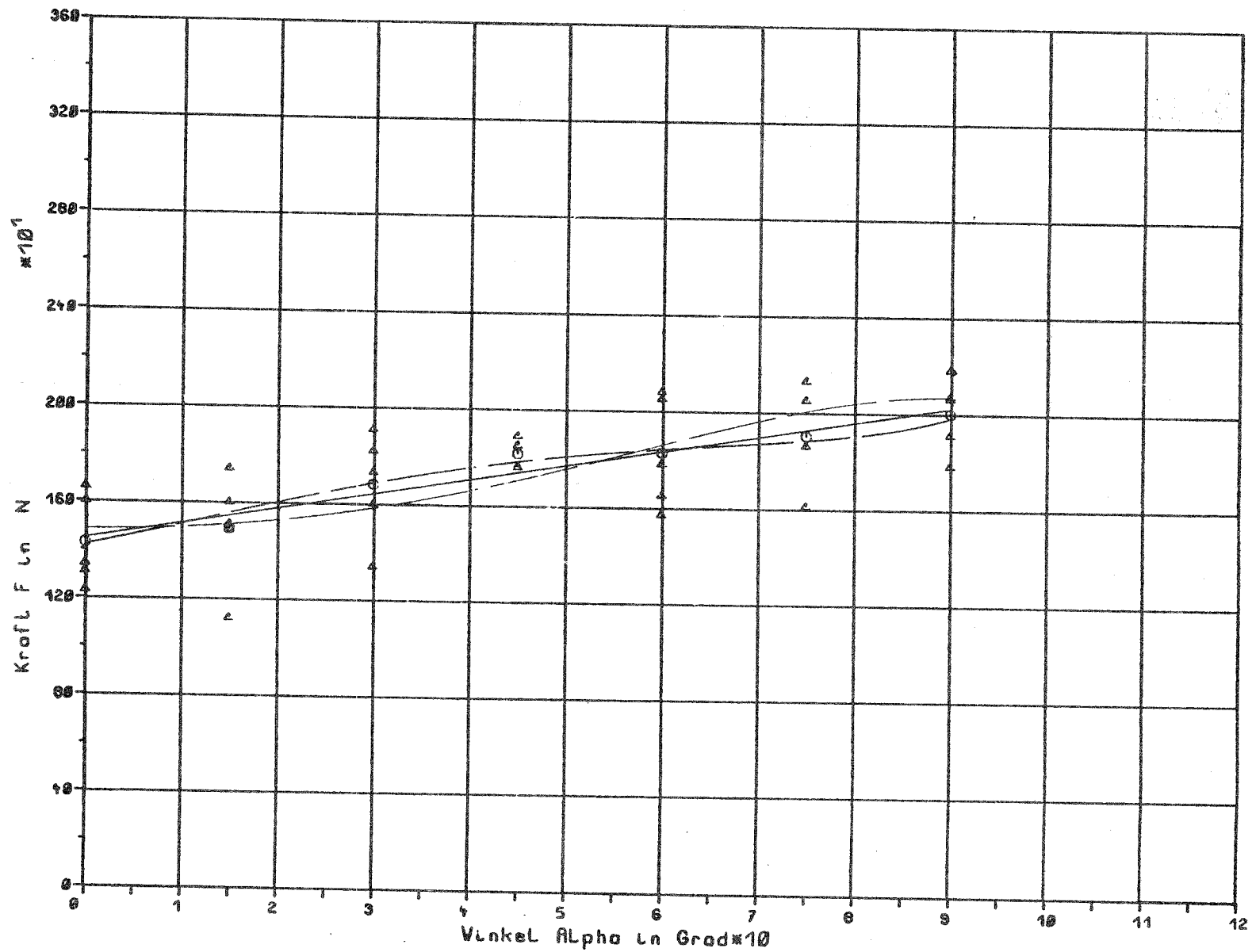


Bild 16: Reihe II.2

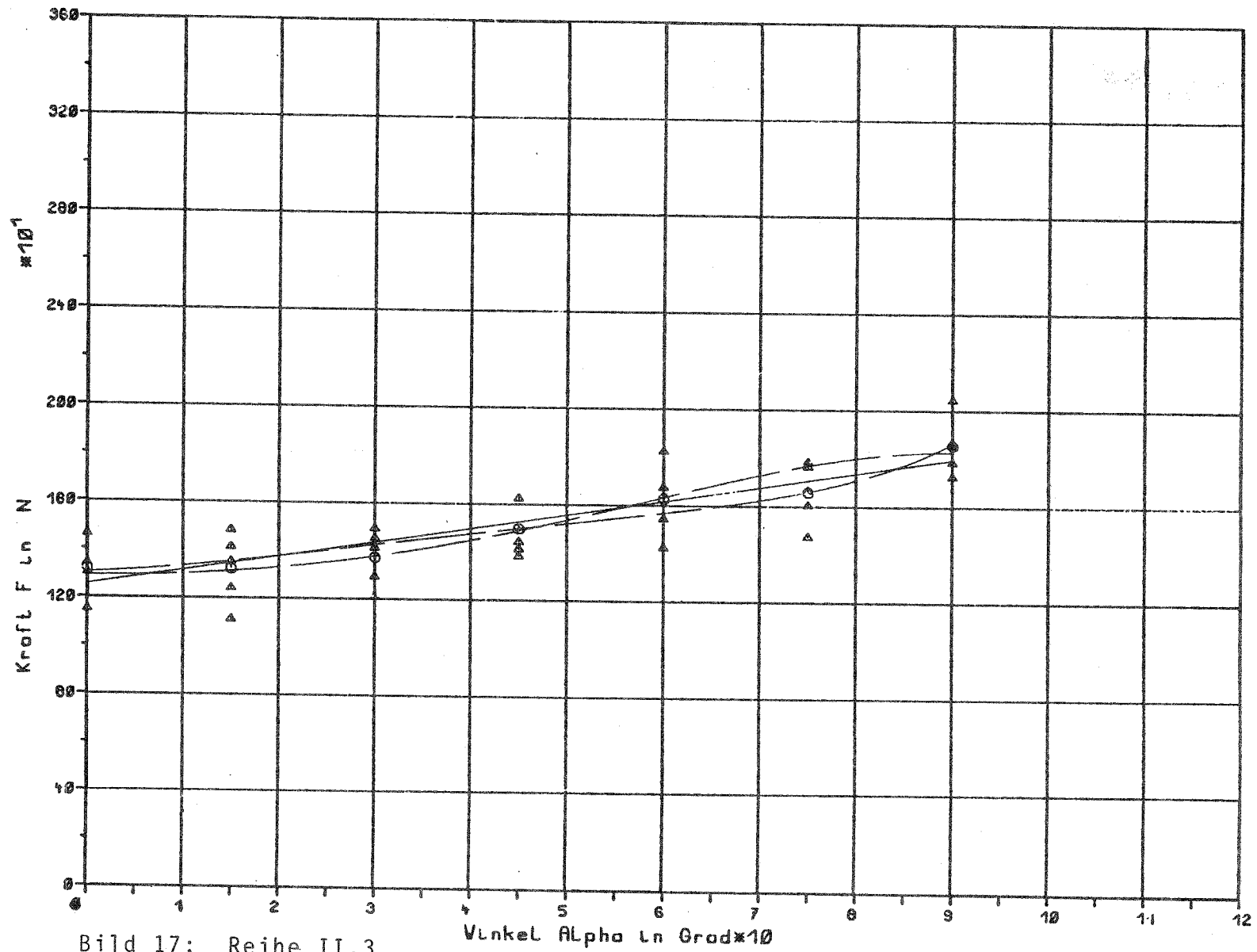


Bild 17: Reihe II.3

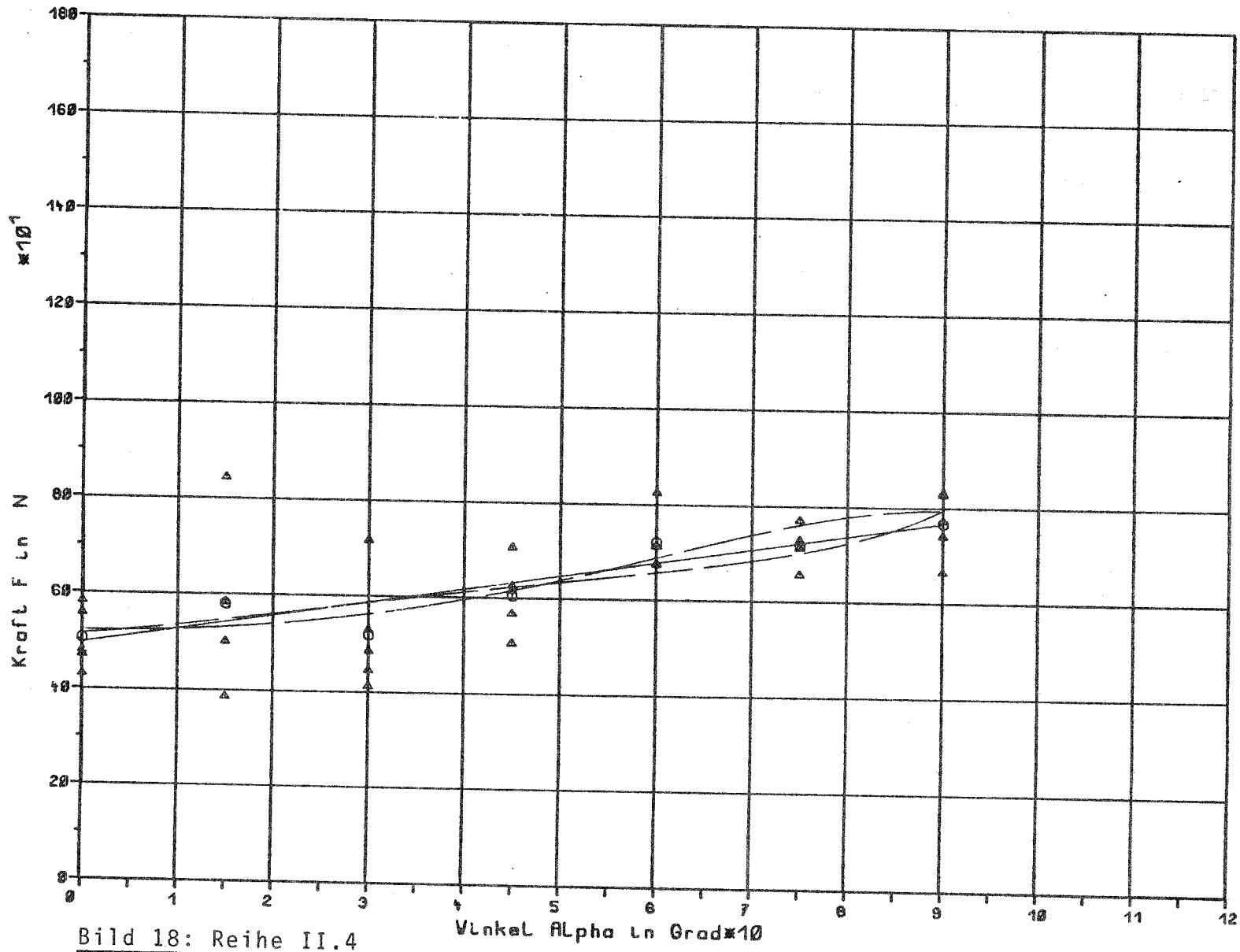


Bild 18: Reihe II.4

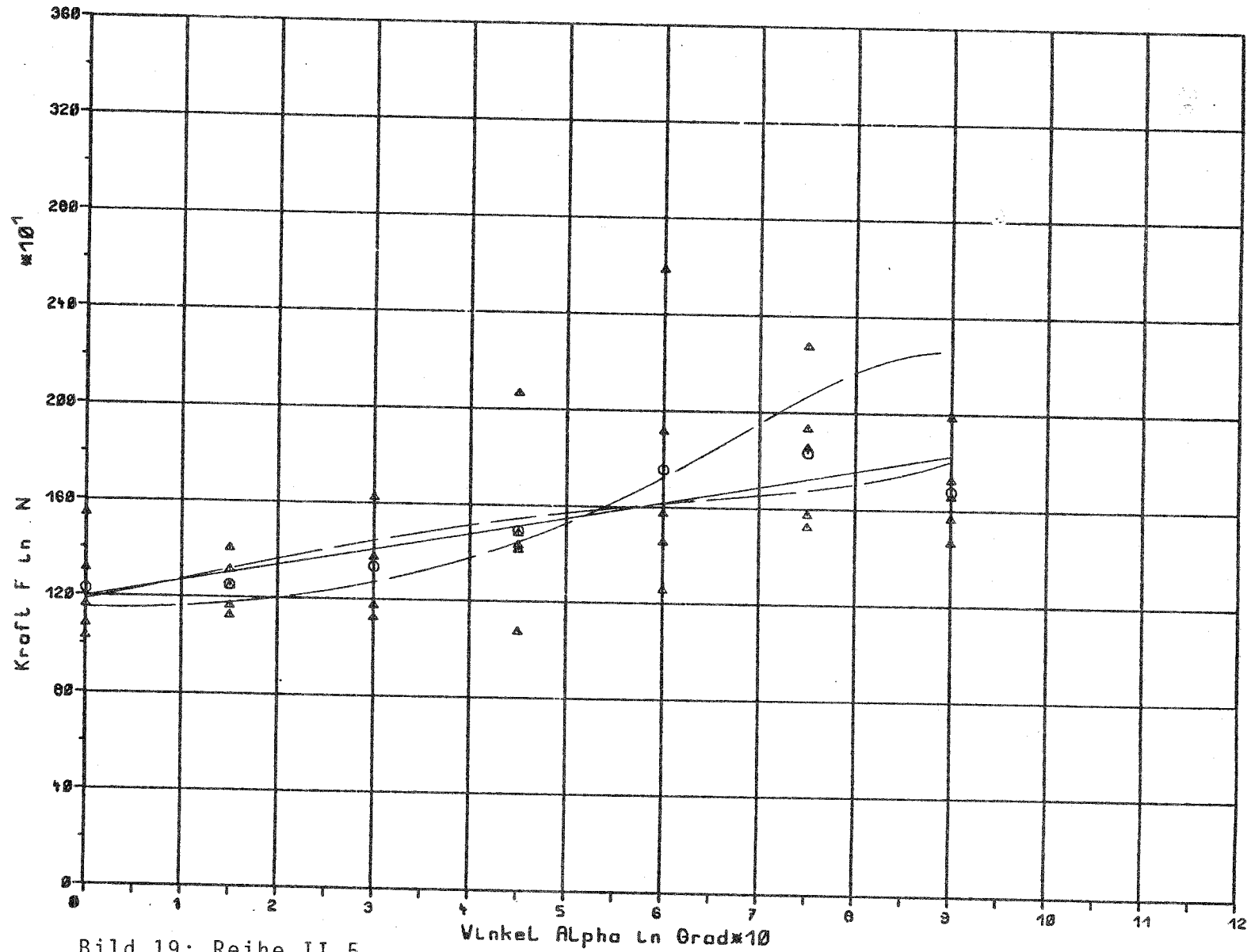


Bild 19: Reihe II.5

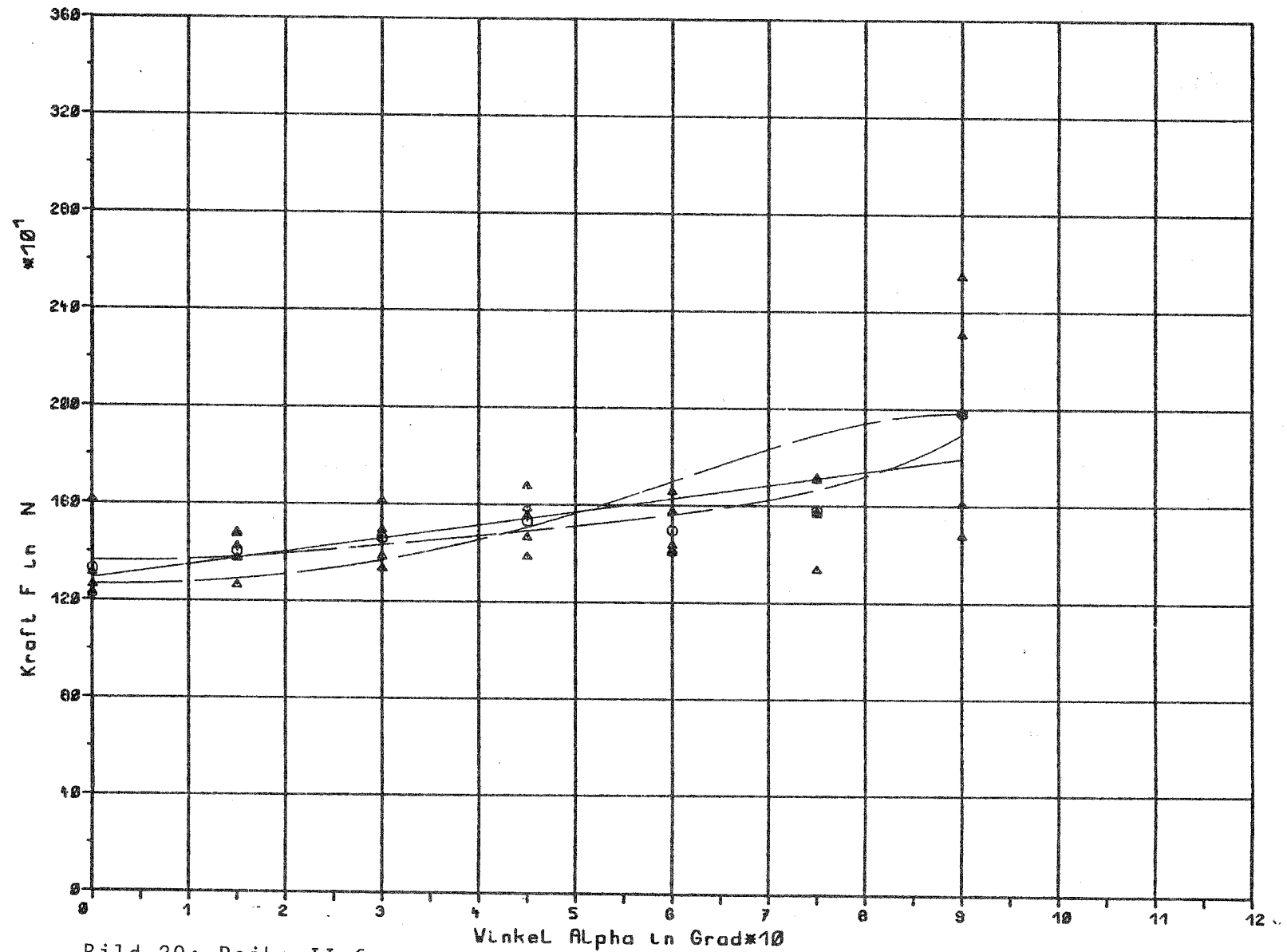


Bild 20: Reihe II.6



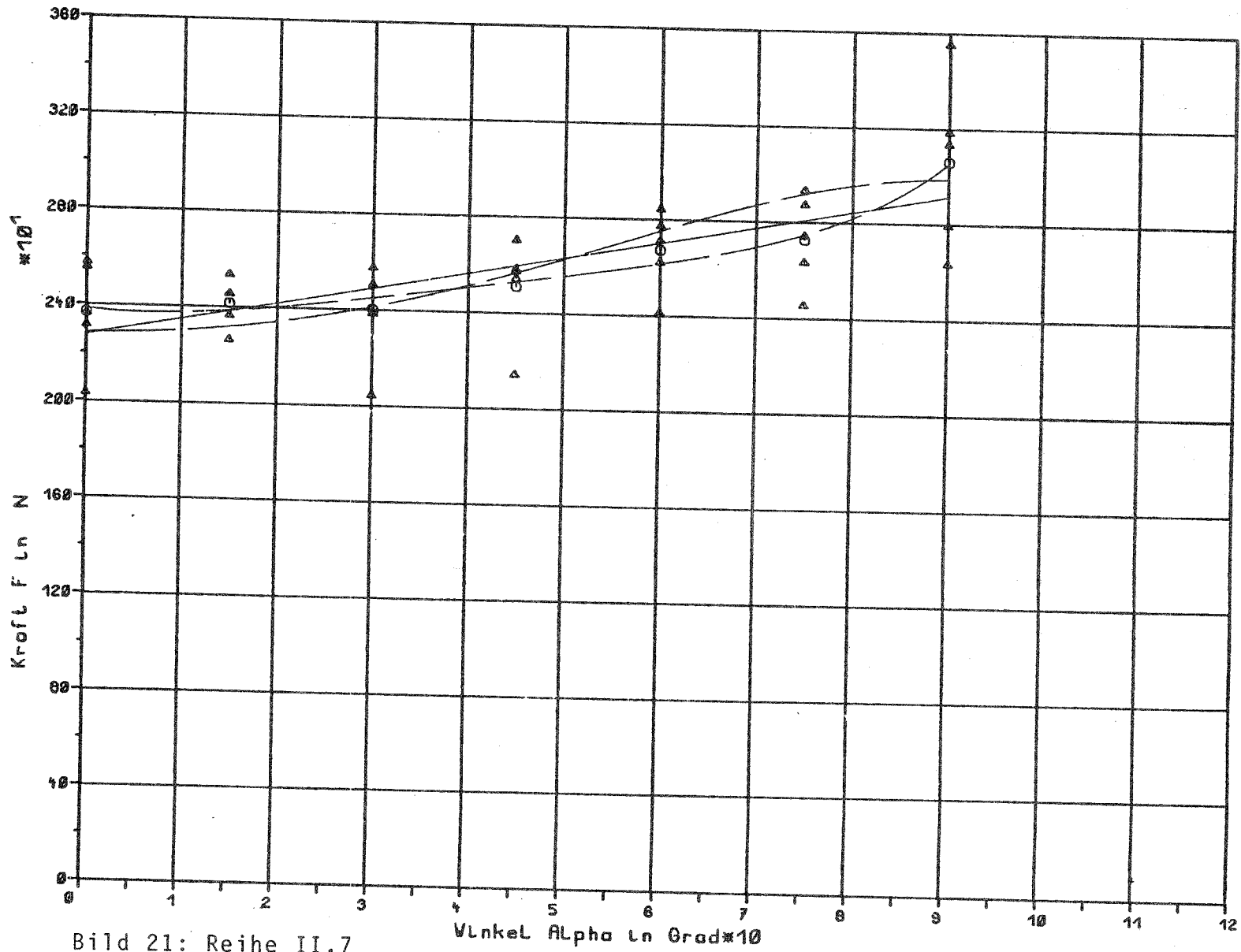


Bild 21: Reihe II.7

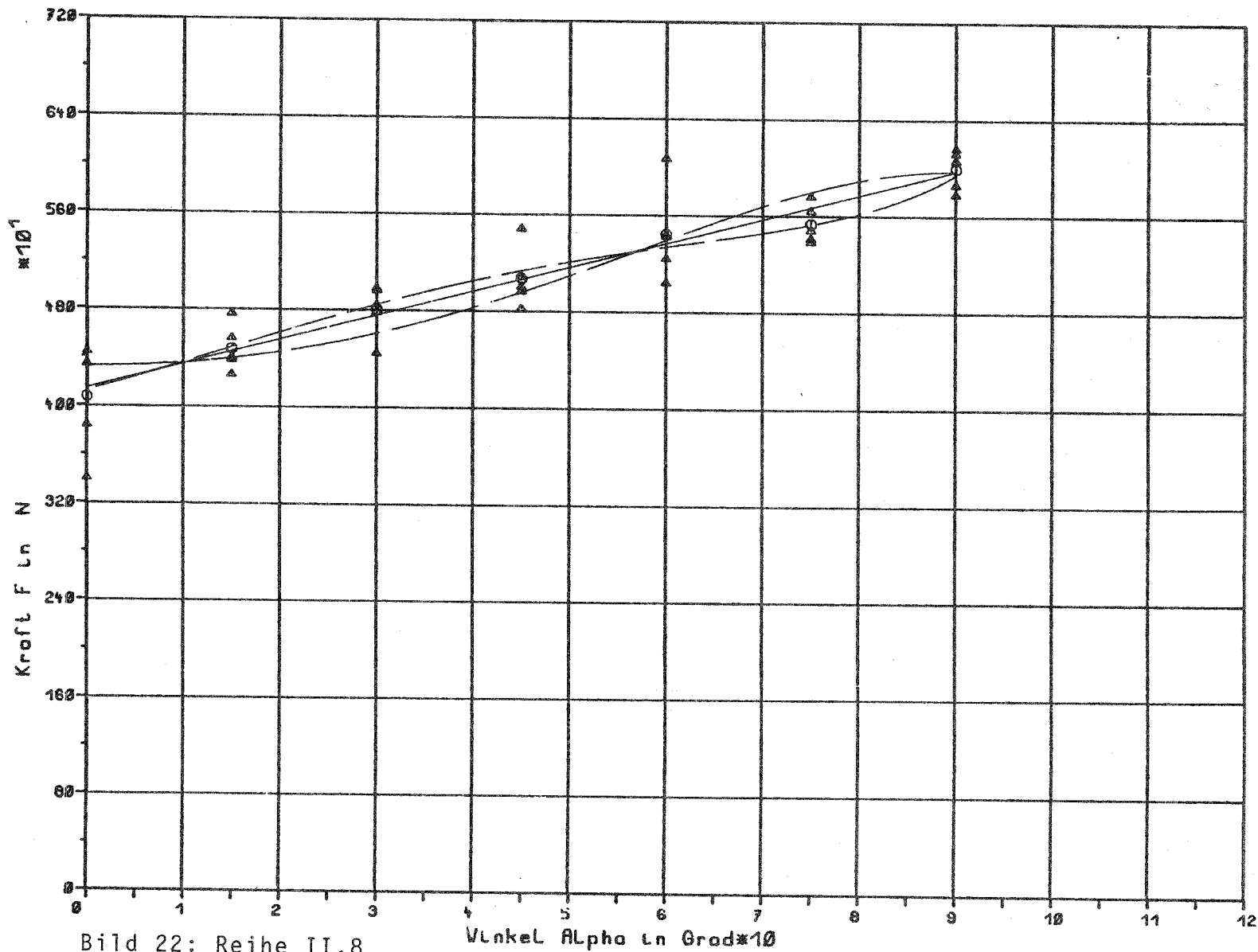


Bild 22: Reihe II.8

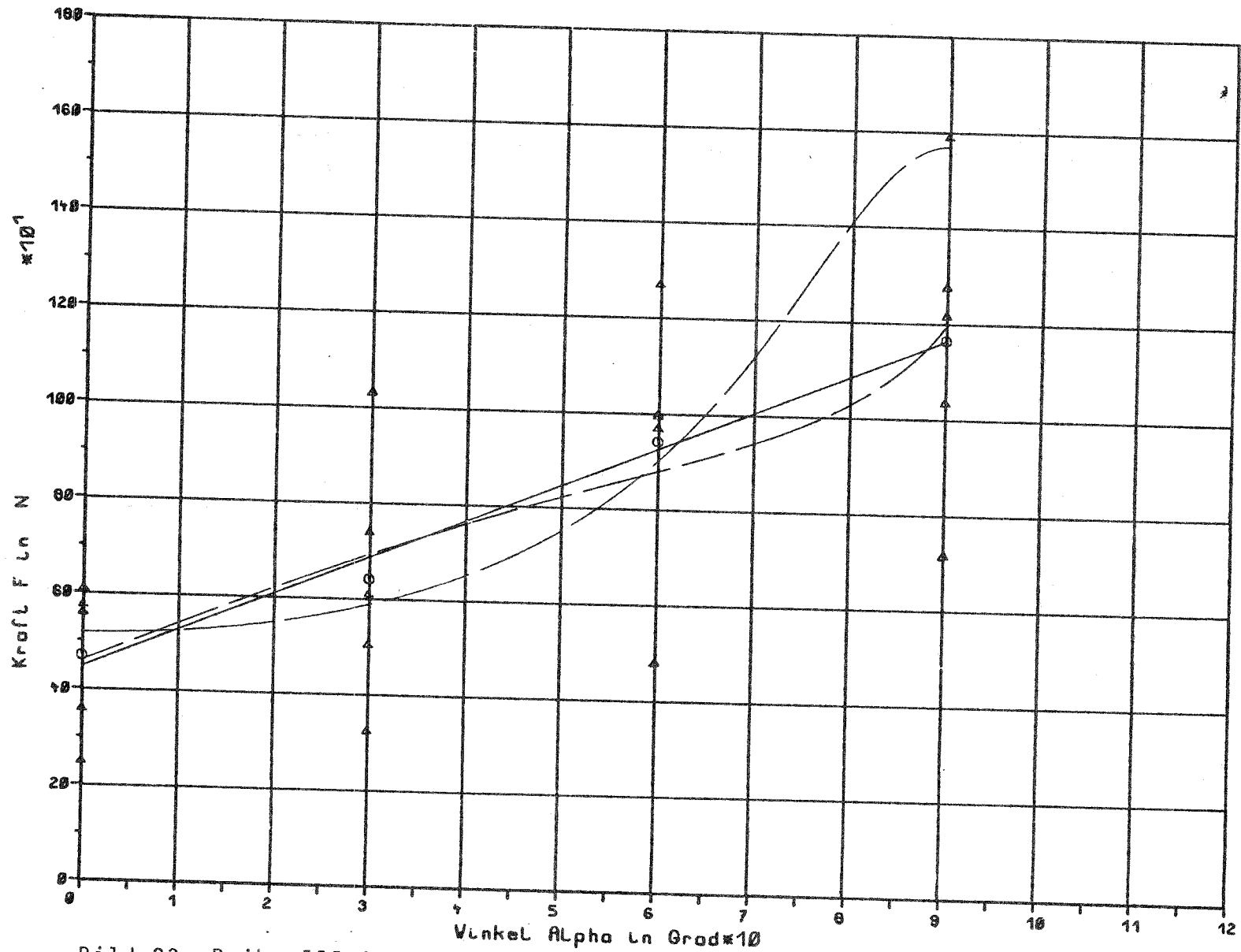


Bild 23: Reihe III.1

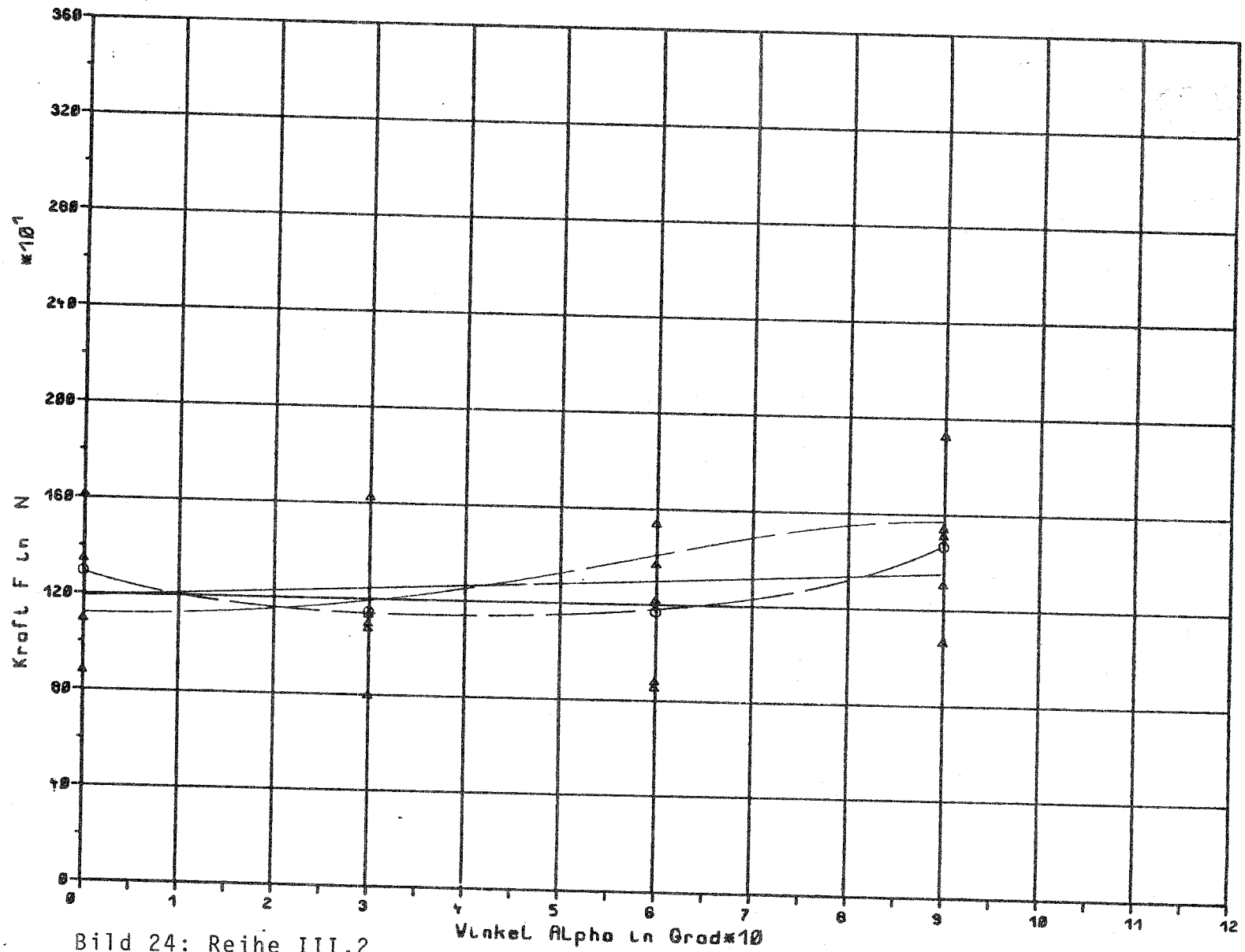


Bild 24: Reihe III.2

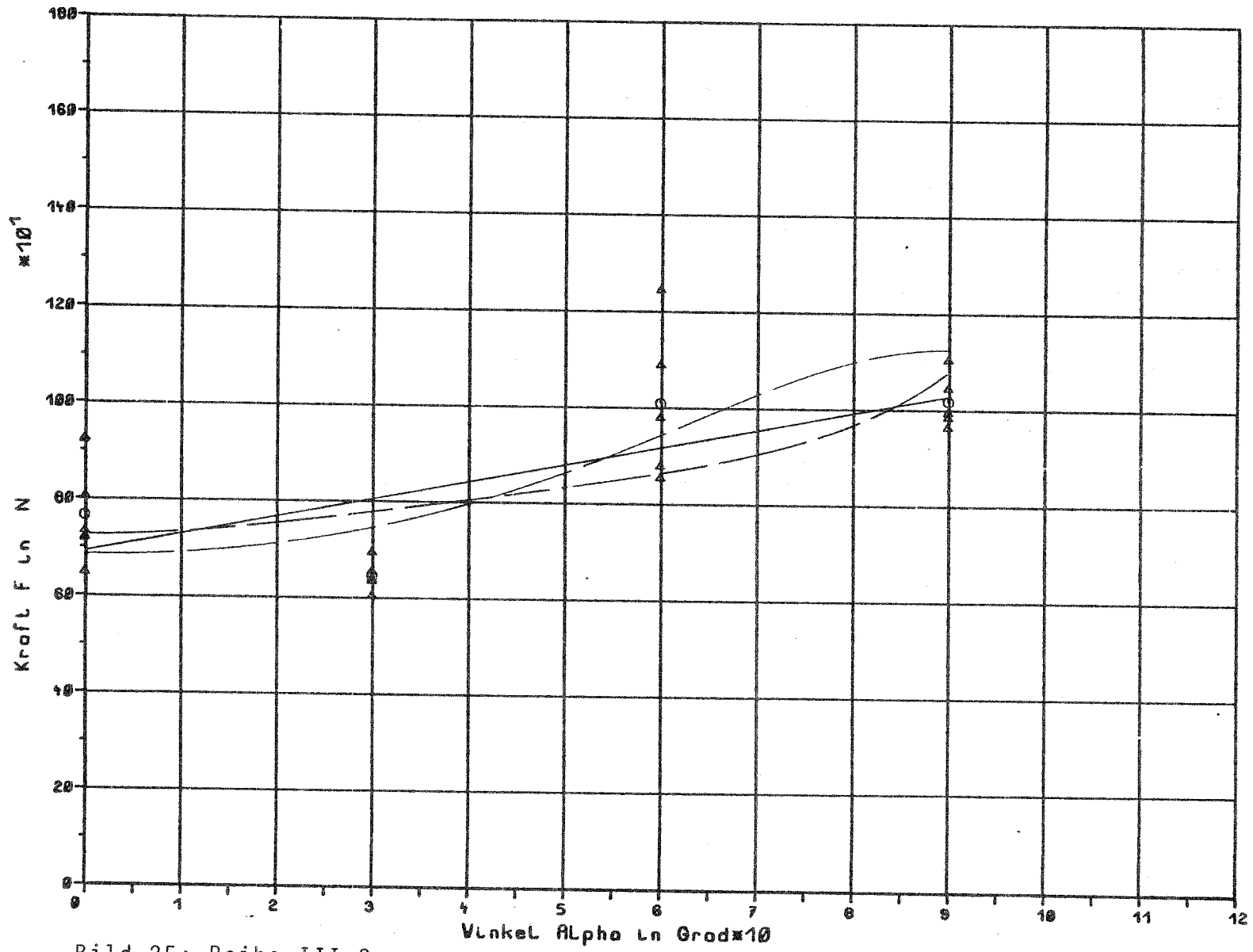


Bild 25: Reihe III.3

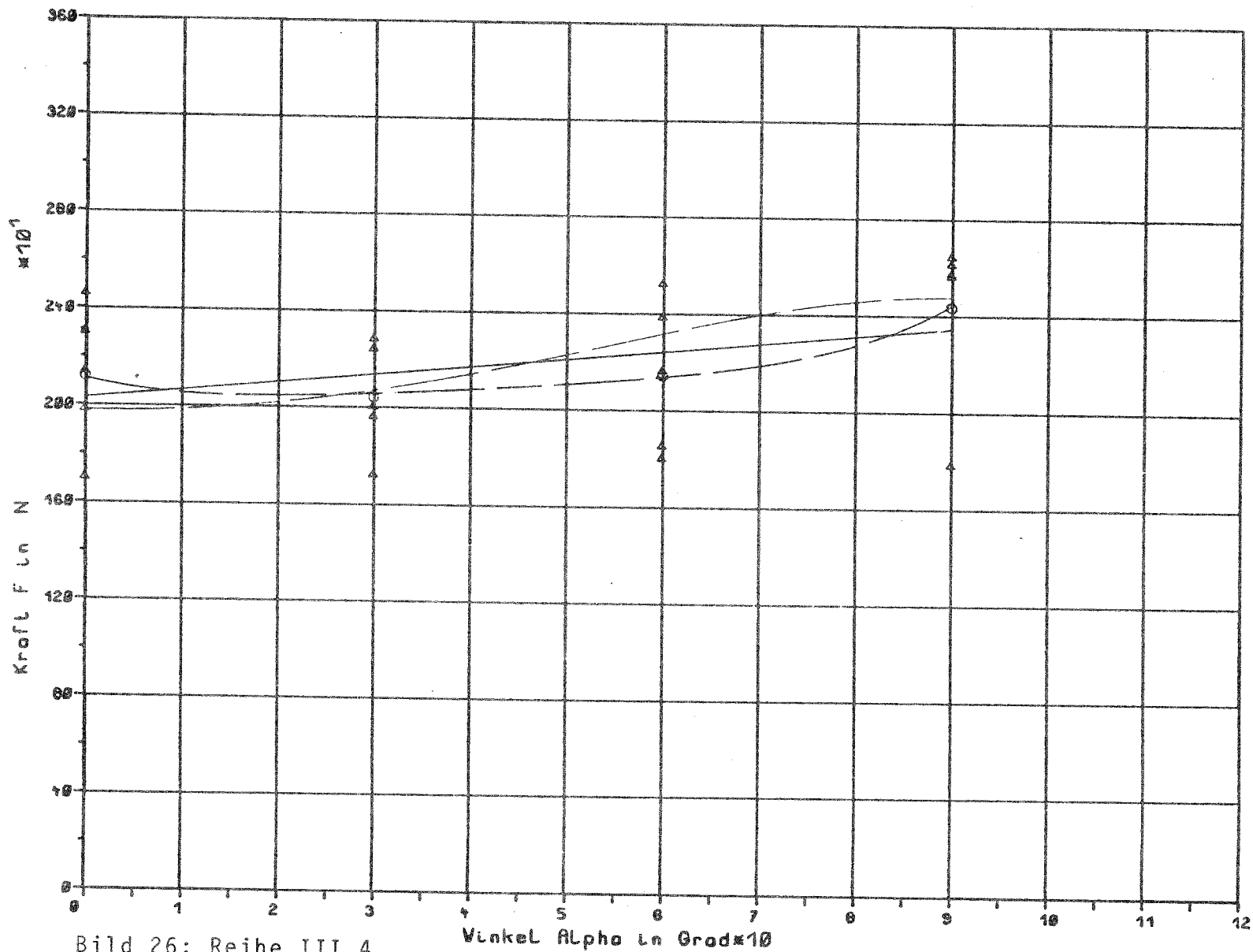


Bild 26: Reihe III.4

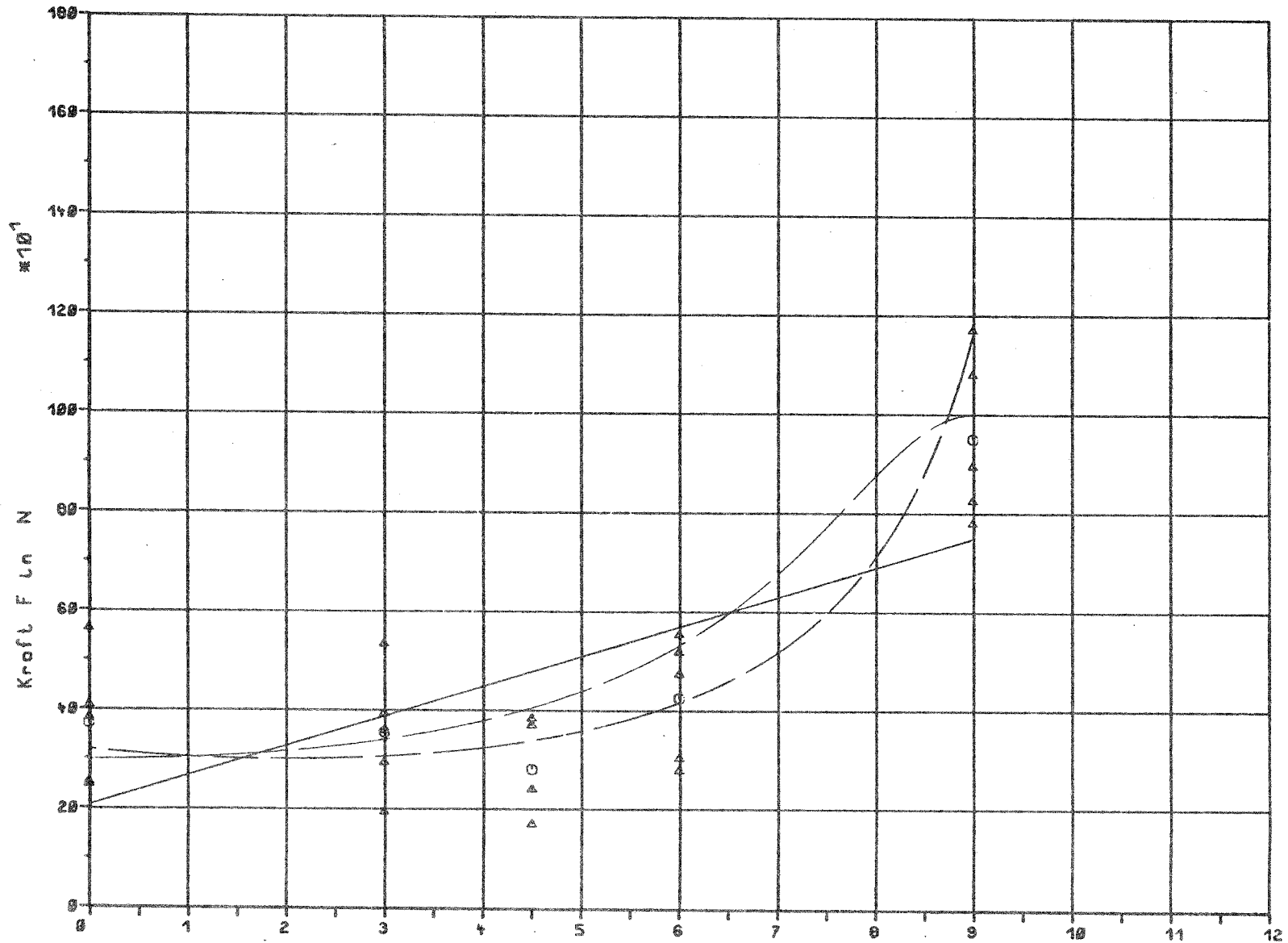


Bild 27: Reihe IV.1

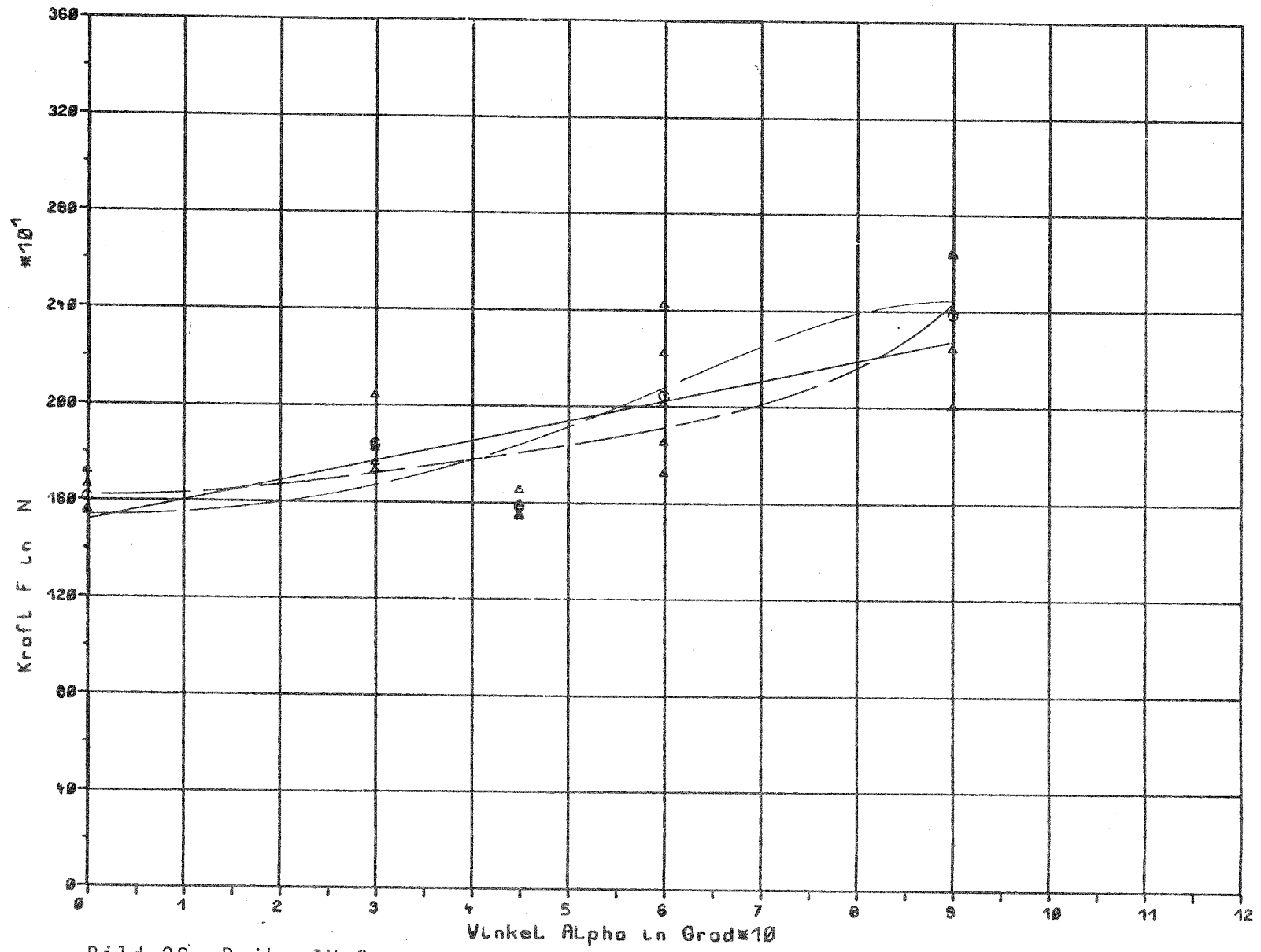


Bild 28: Reihe IV.2



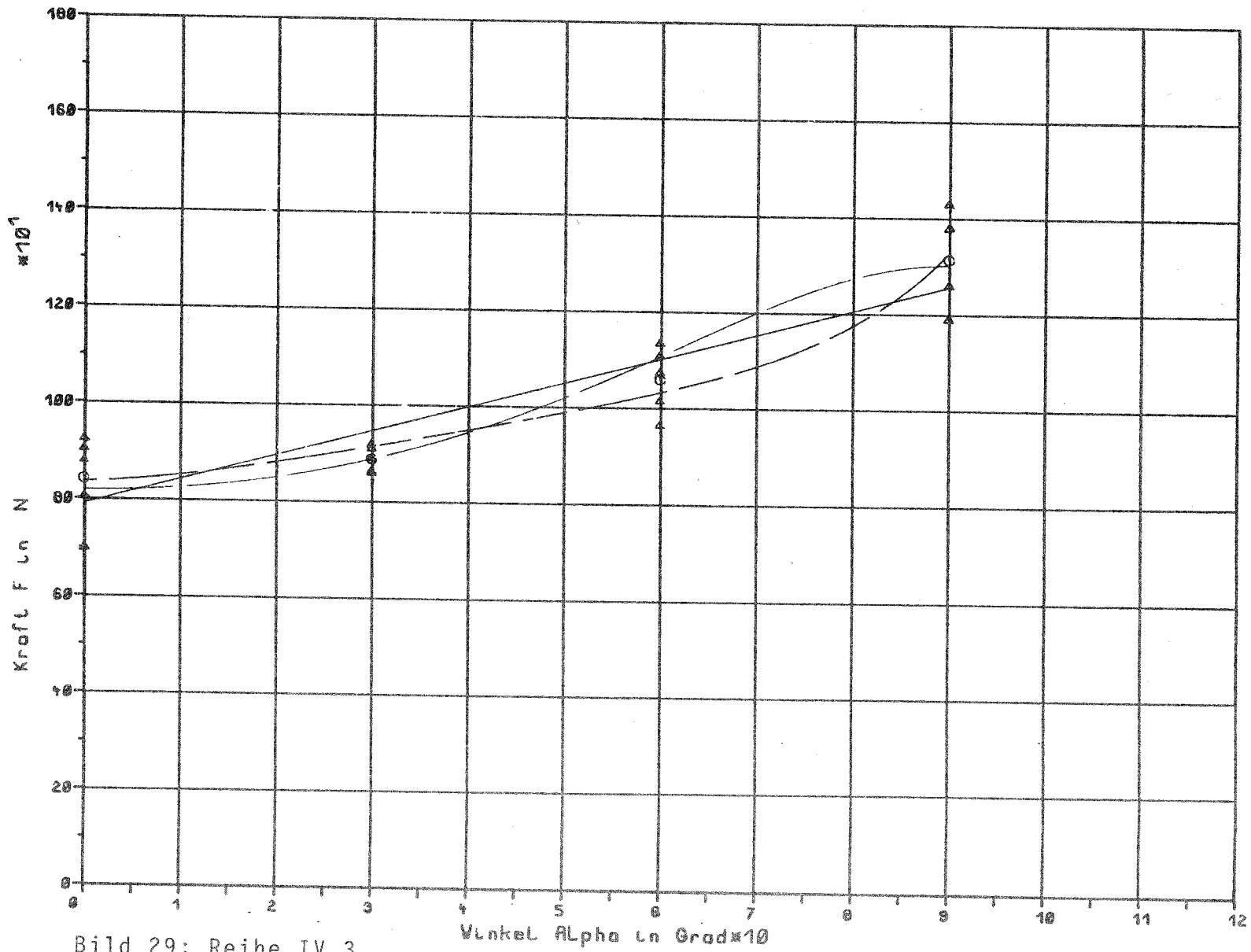


Bild 29: Reihe IV.3

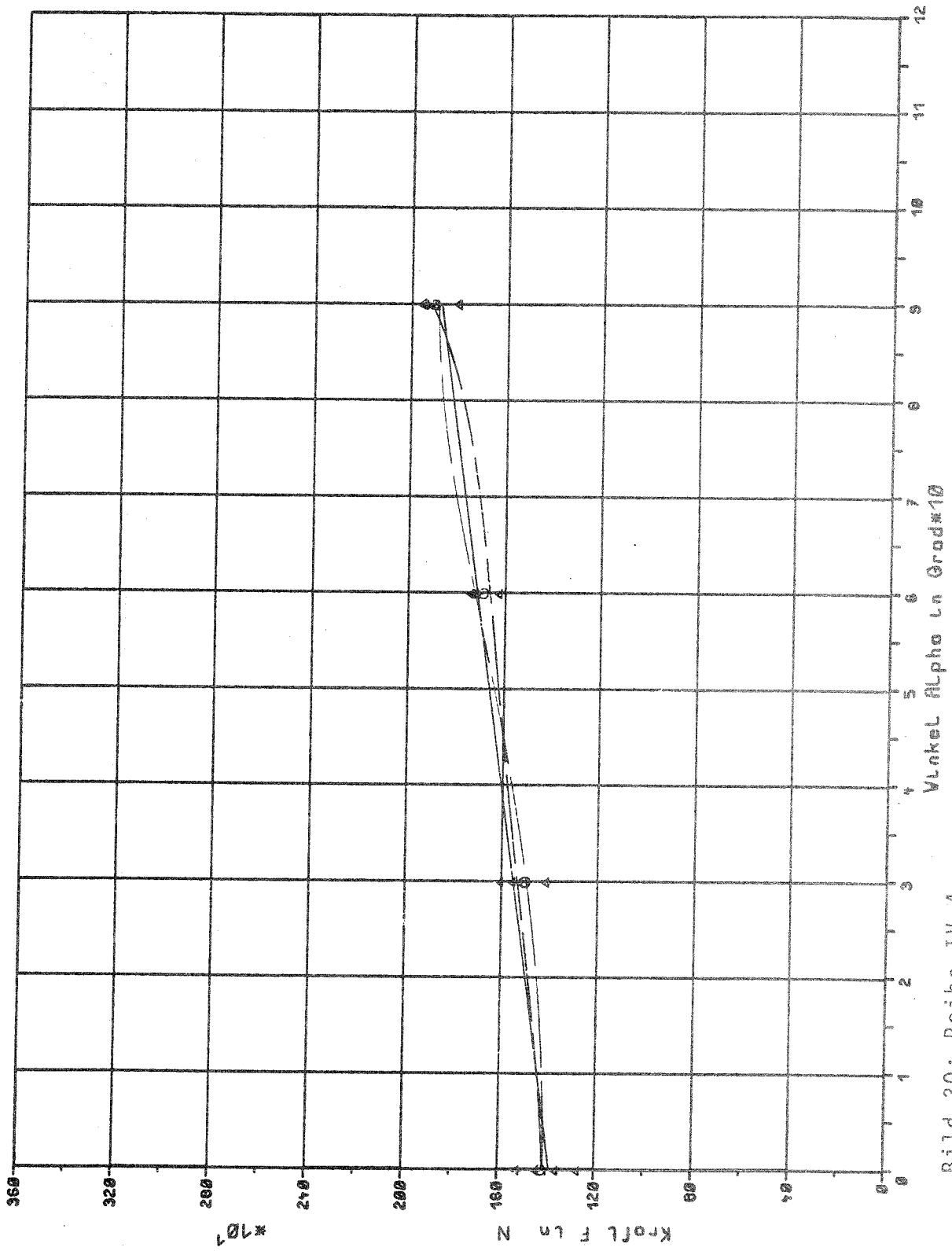


Bild 30: Reihe IV.4

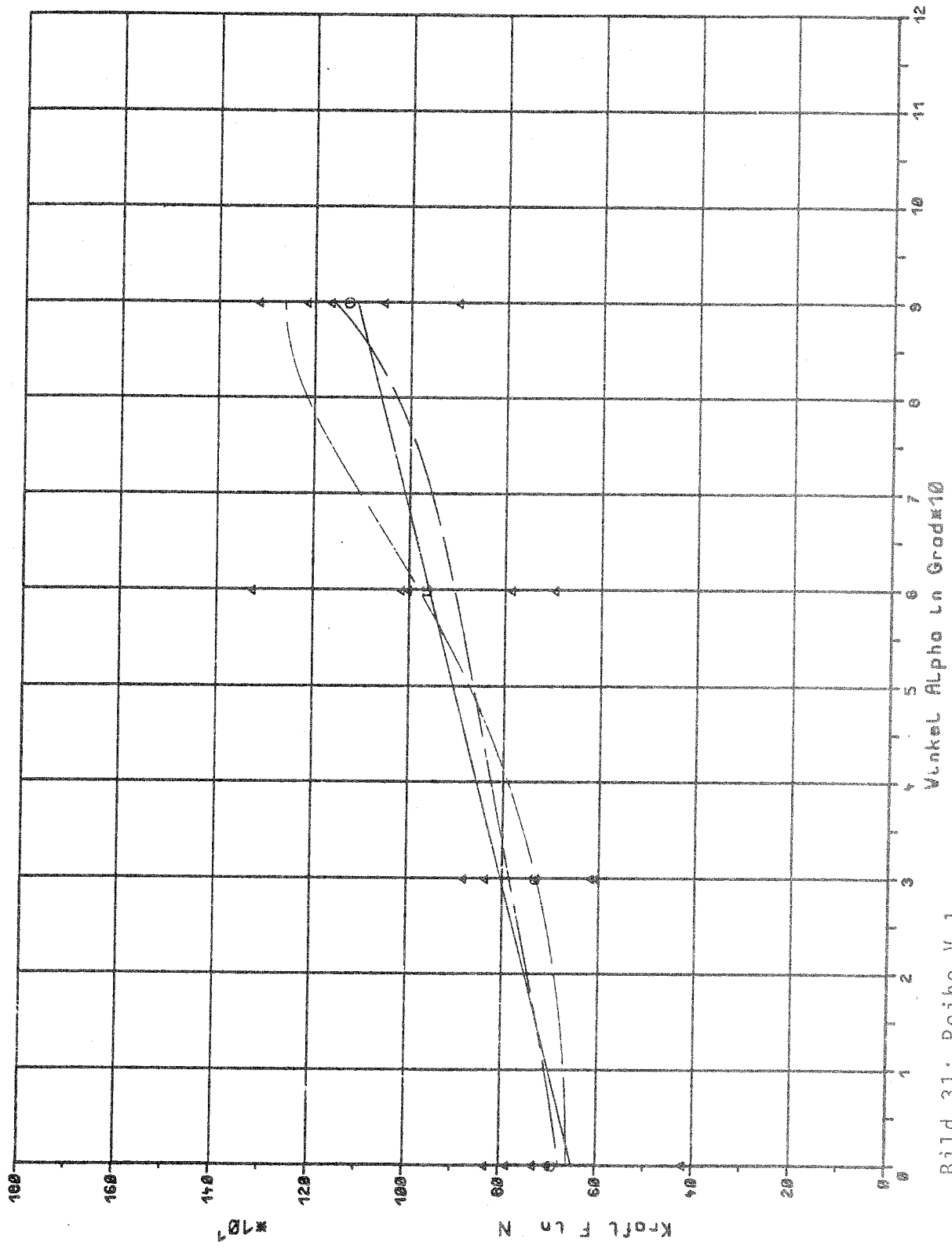


Bild 31: Reihe V.1

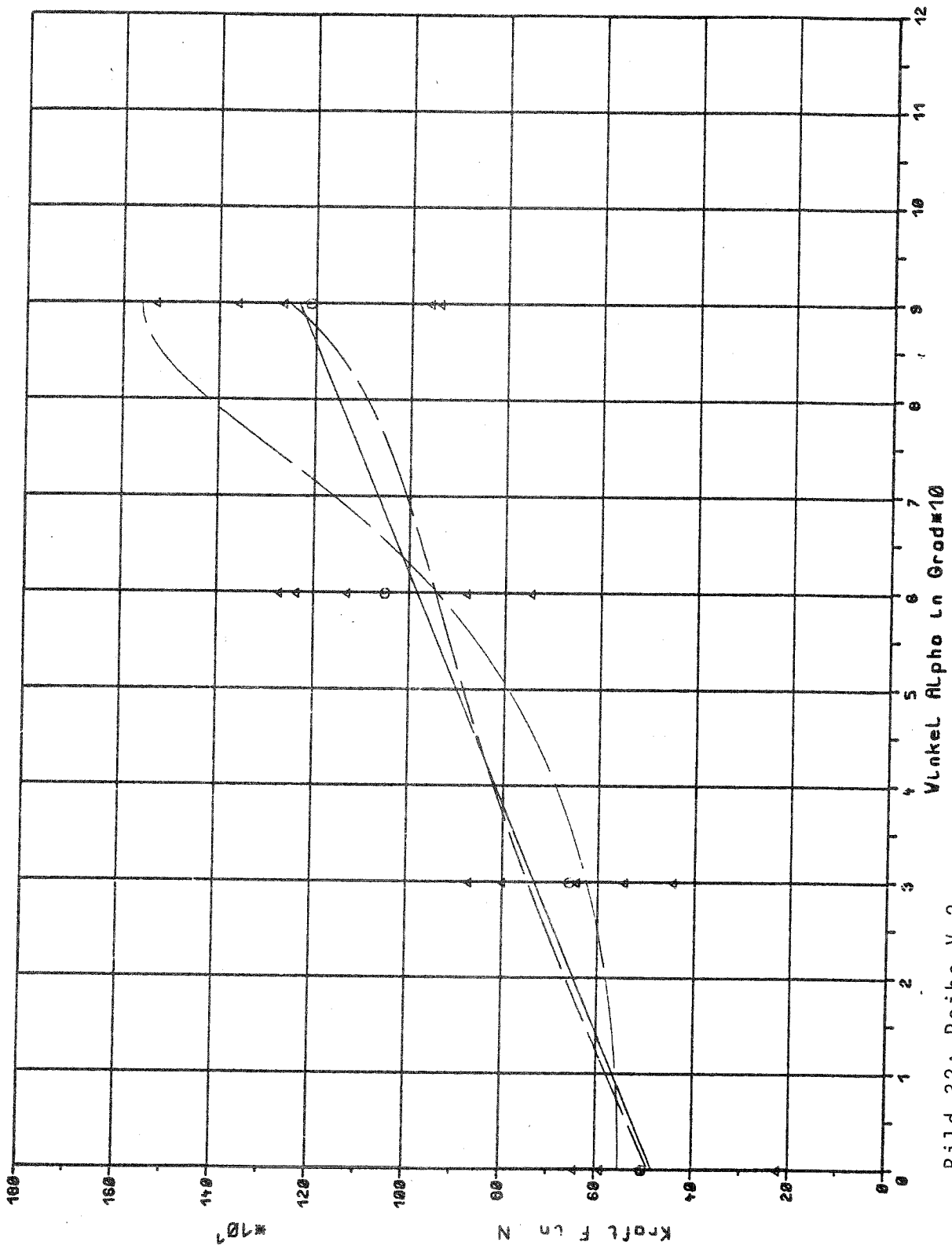


Bild 32: Reihe V.2

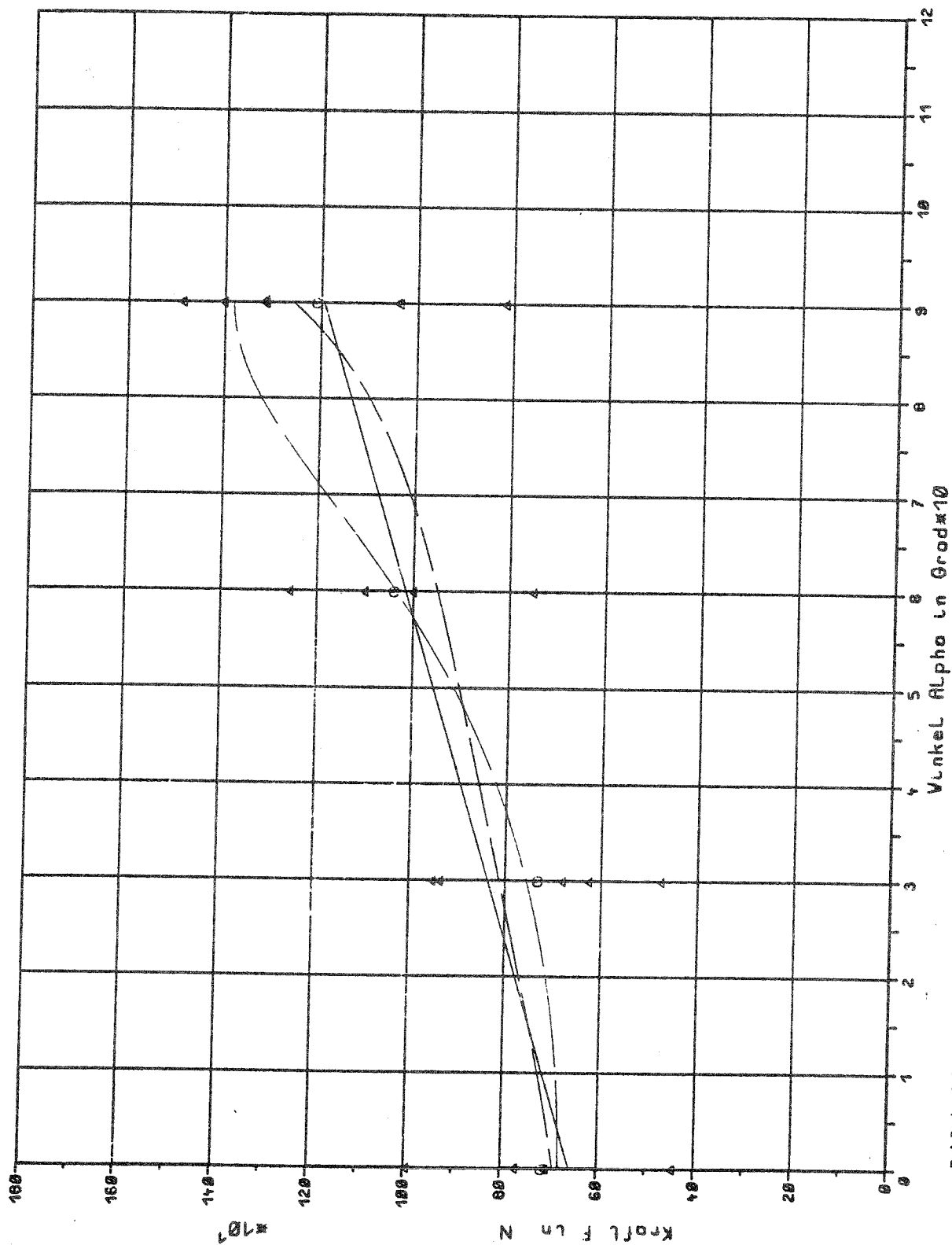


Bild 33: Reihe V.3

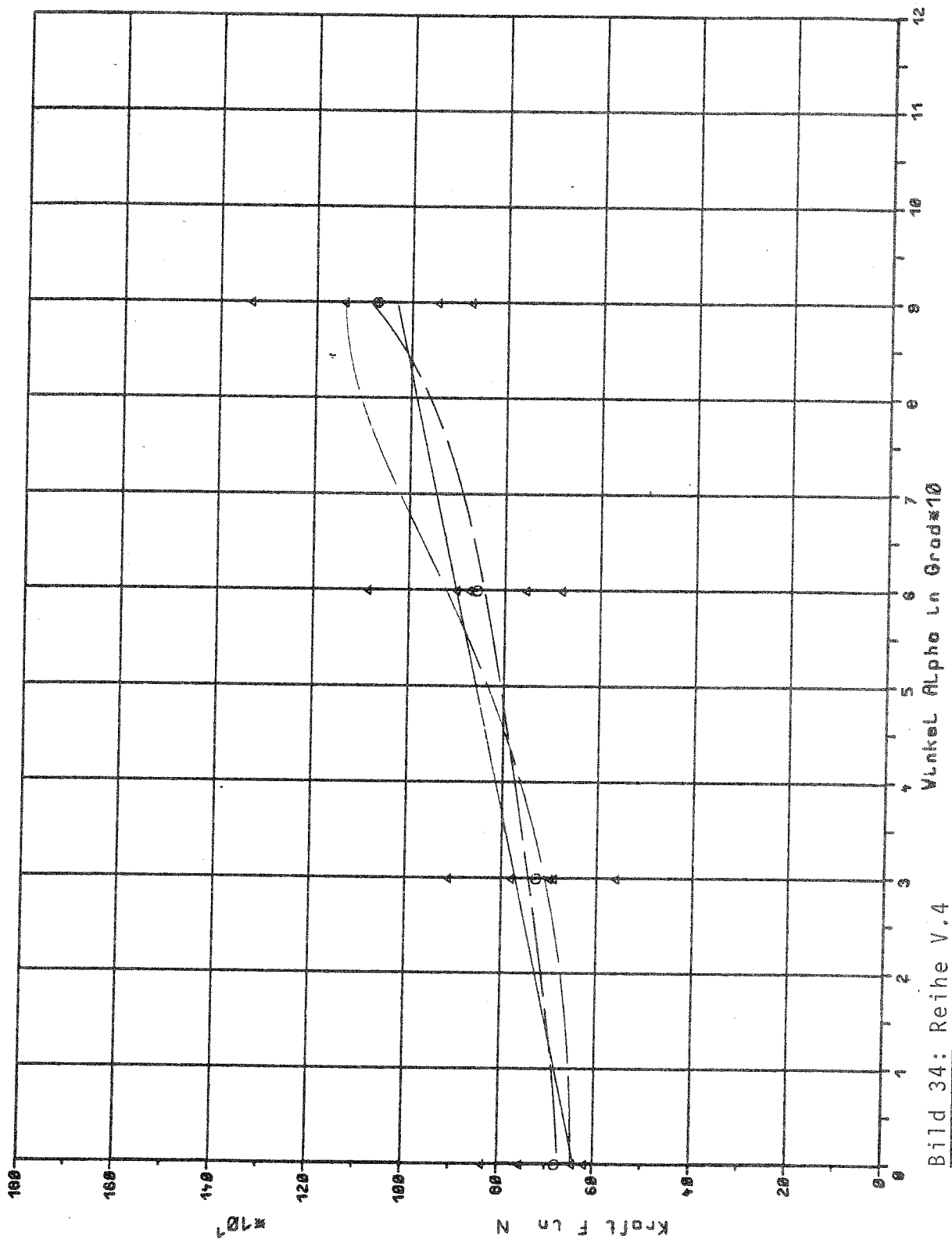


Bild 34: Reihe V.4

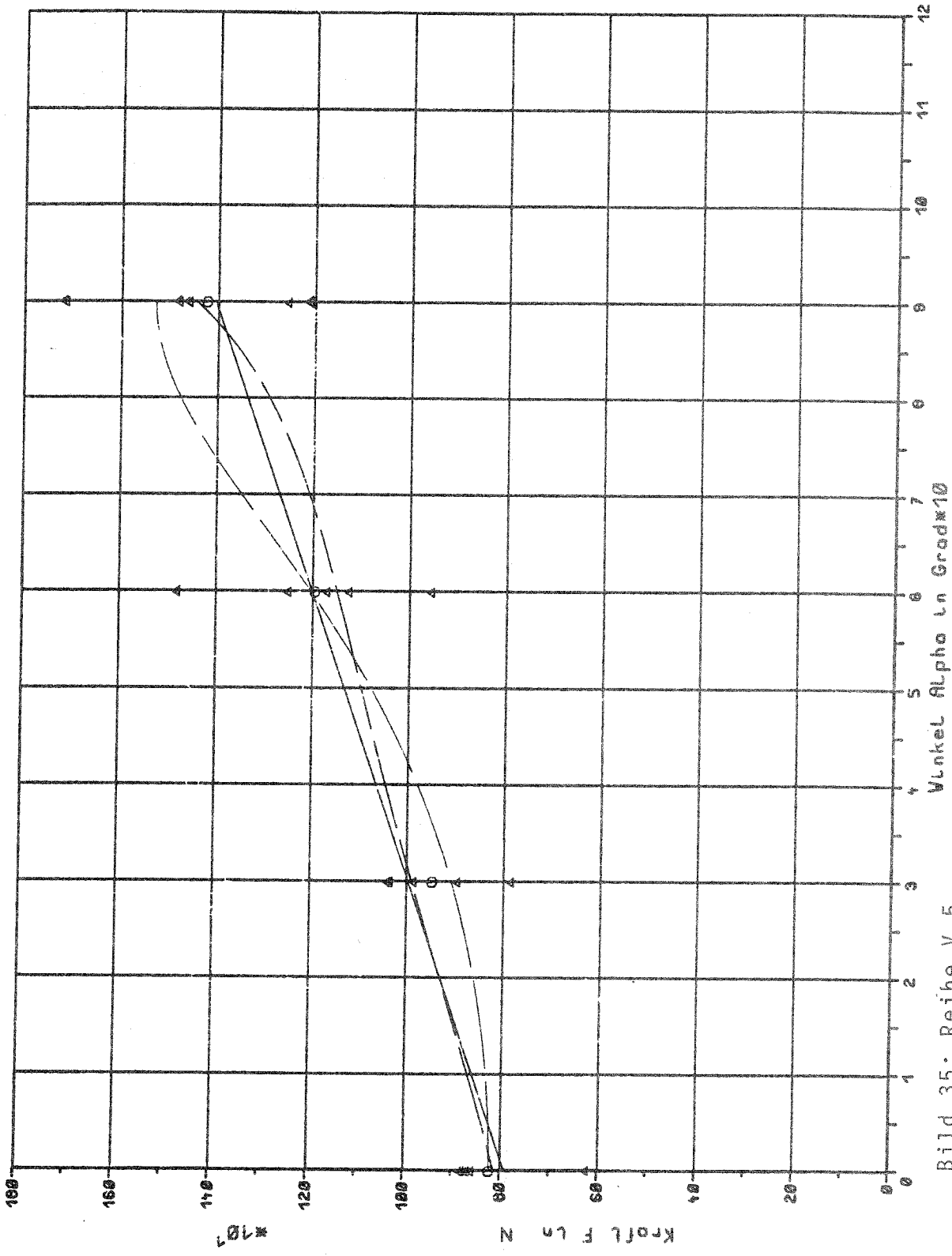


Bild 35: Reihe V.5

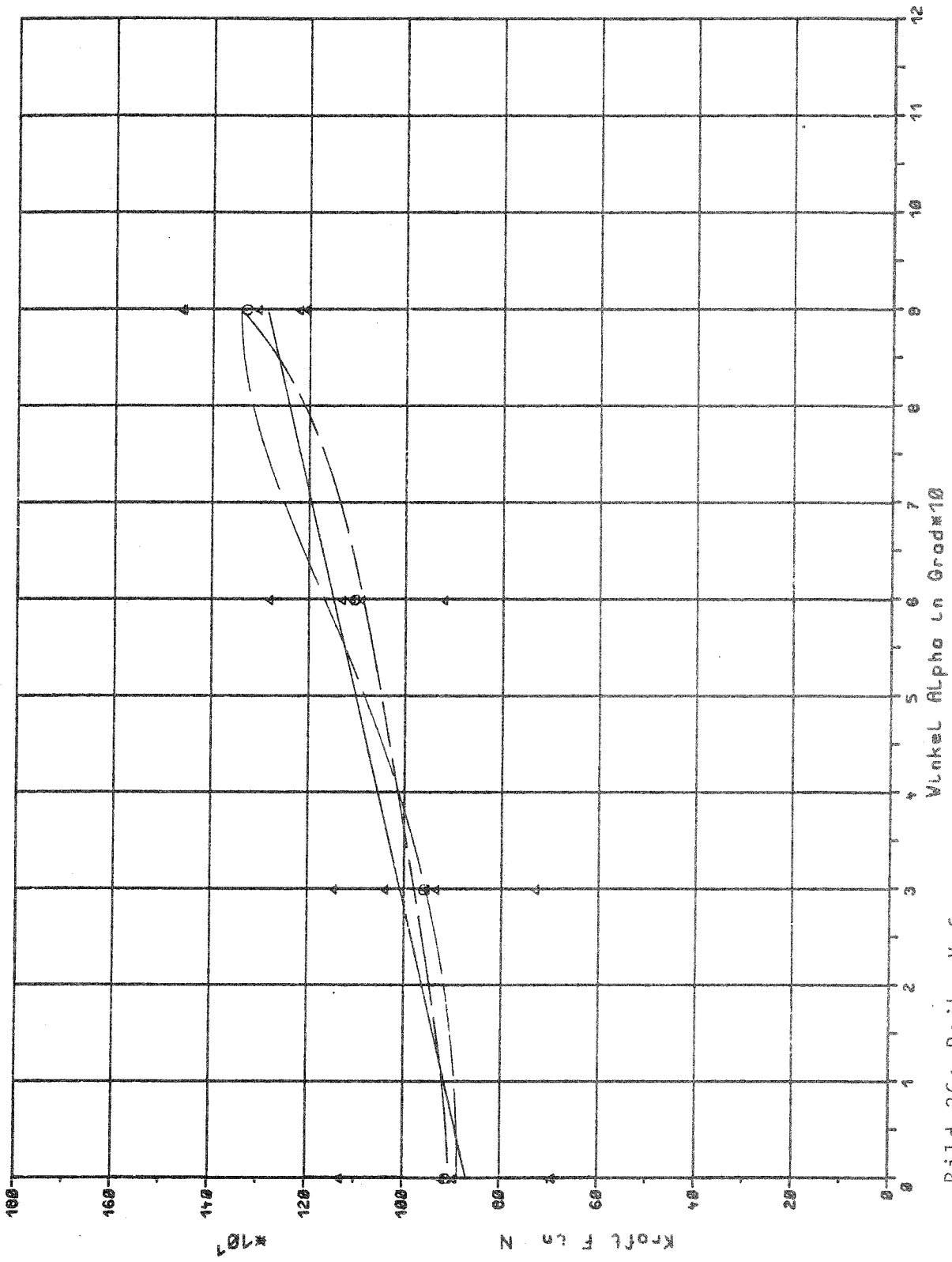


Bild 36: Reihe V.6



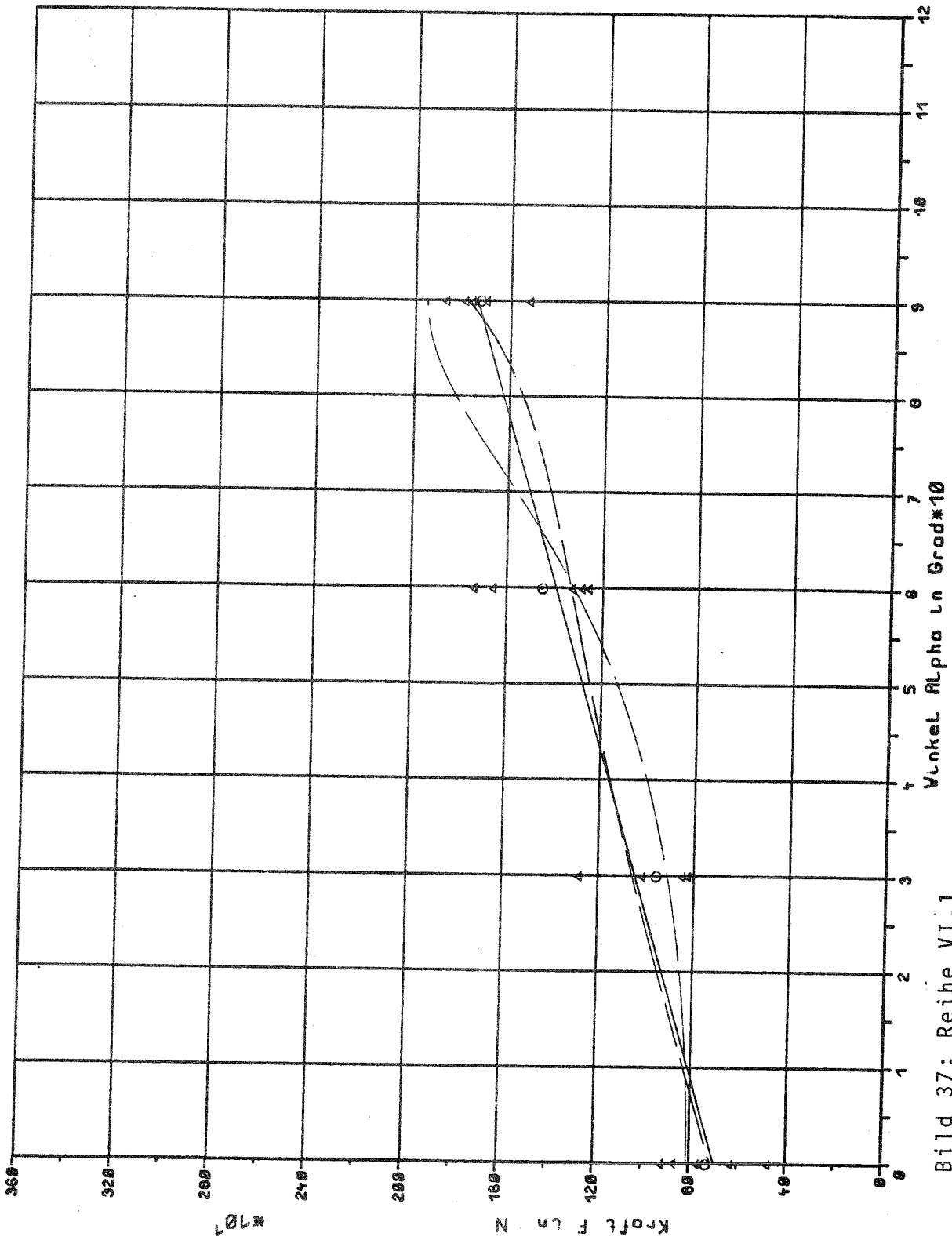


Bild 37: Reihe VI.1

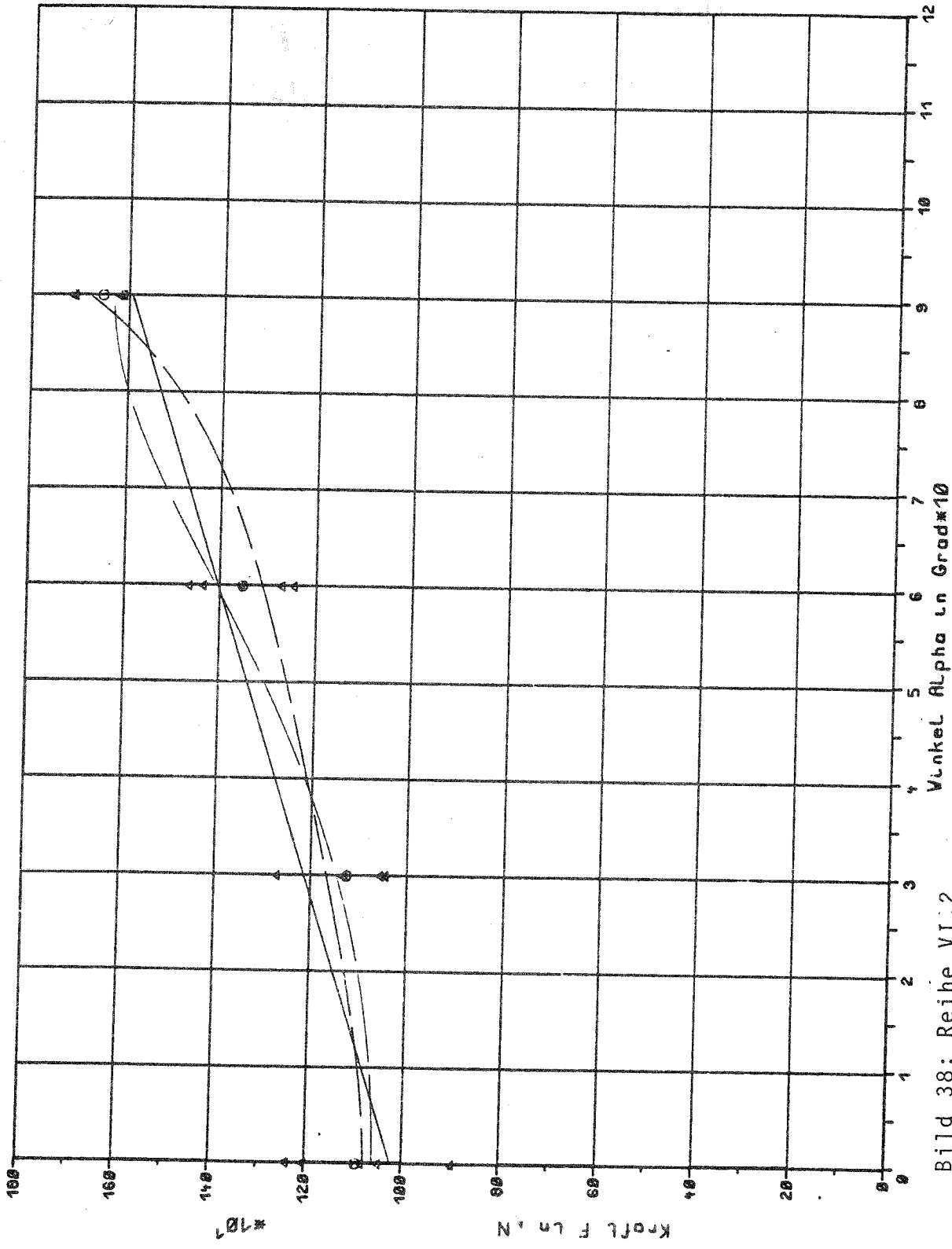


Bild 38: Reihe VI:2

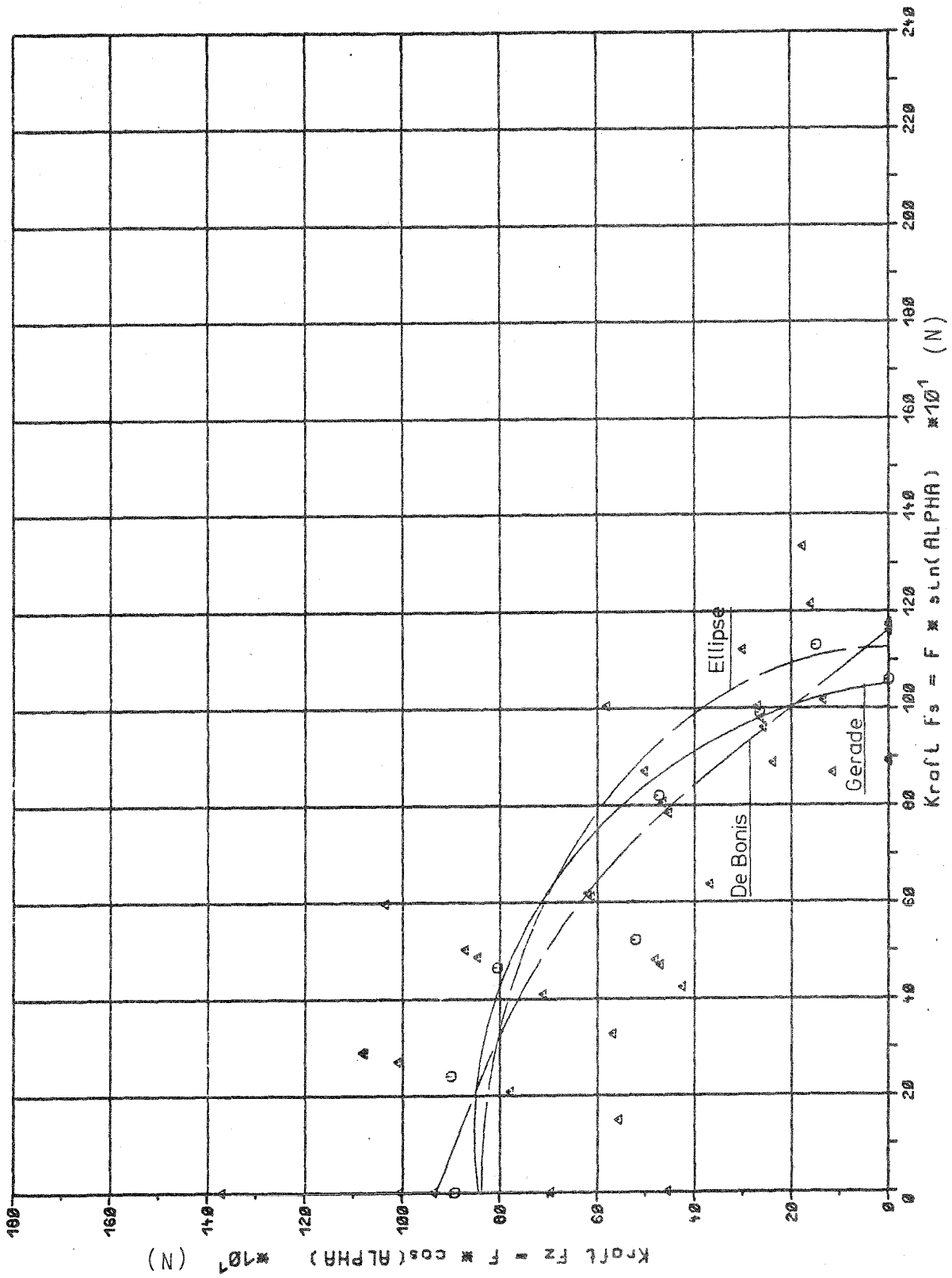


Bild 39: Reihe I.1

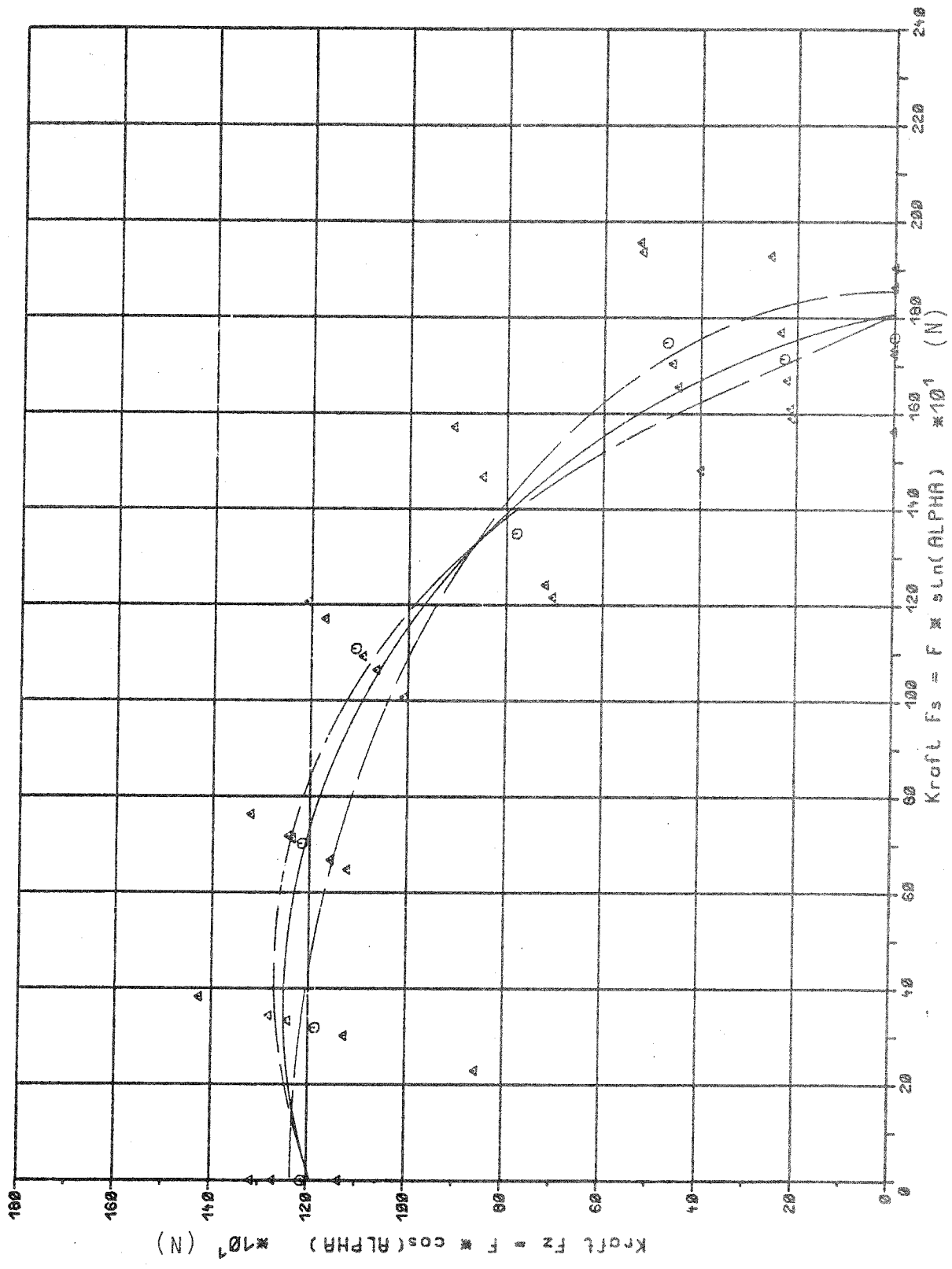


Bild 40: Reihe I.2

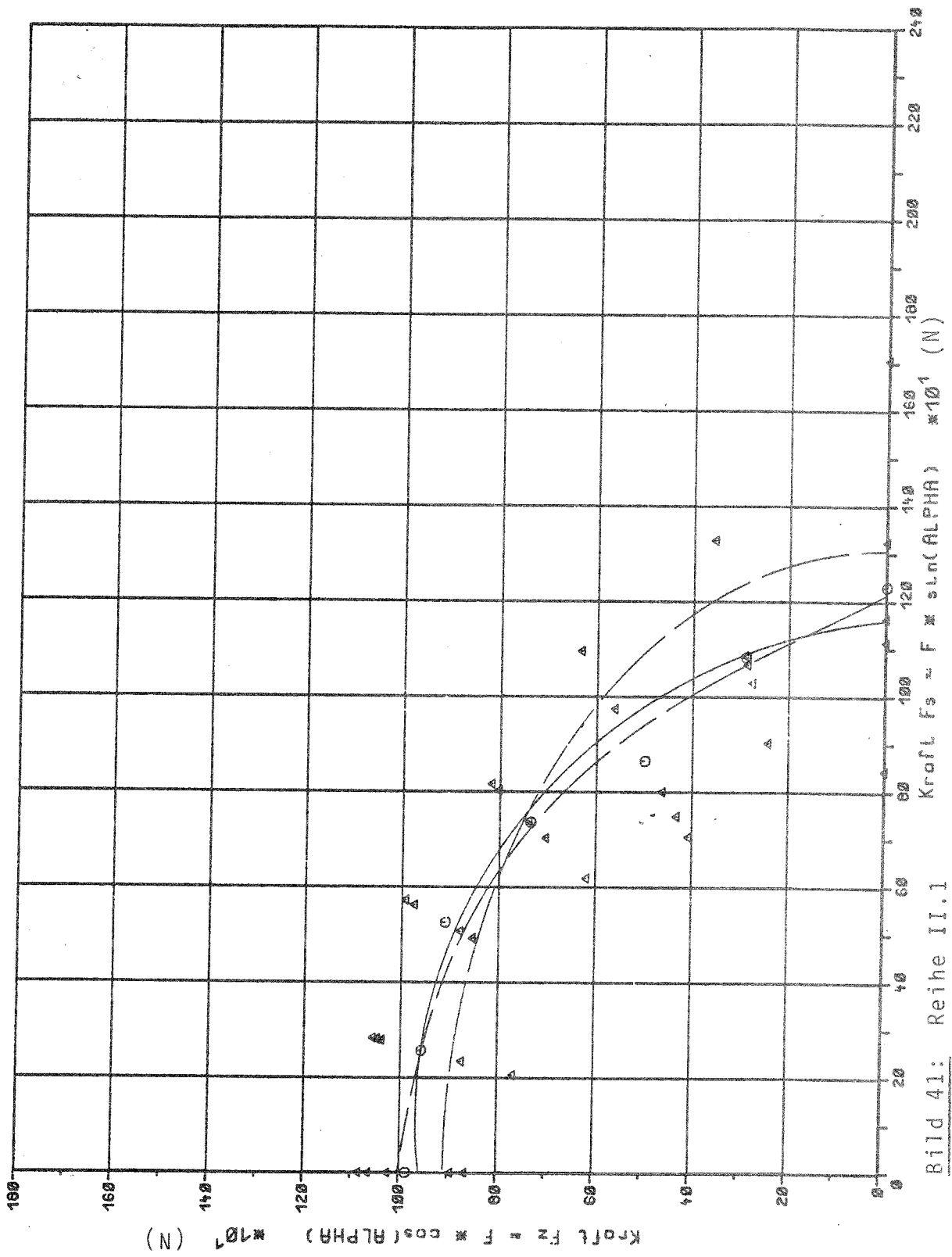


Bild 41: Reihe II.1

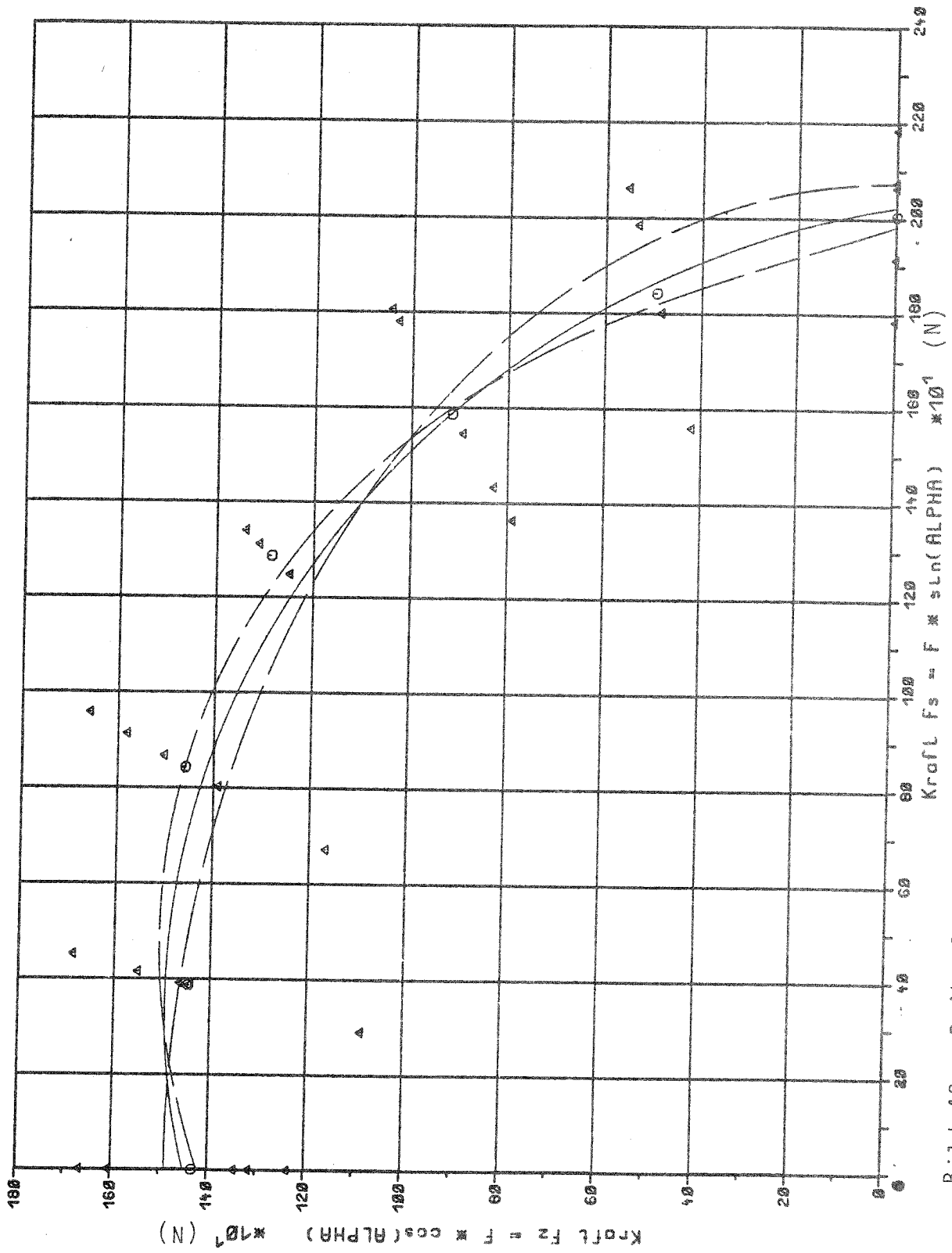


Bild 42: Reihe II.2

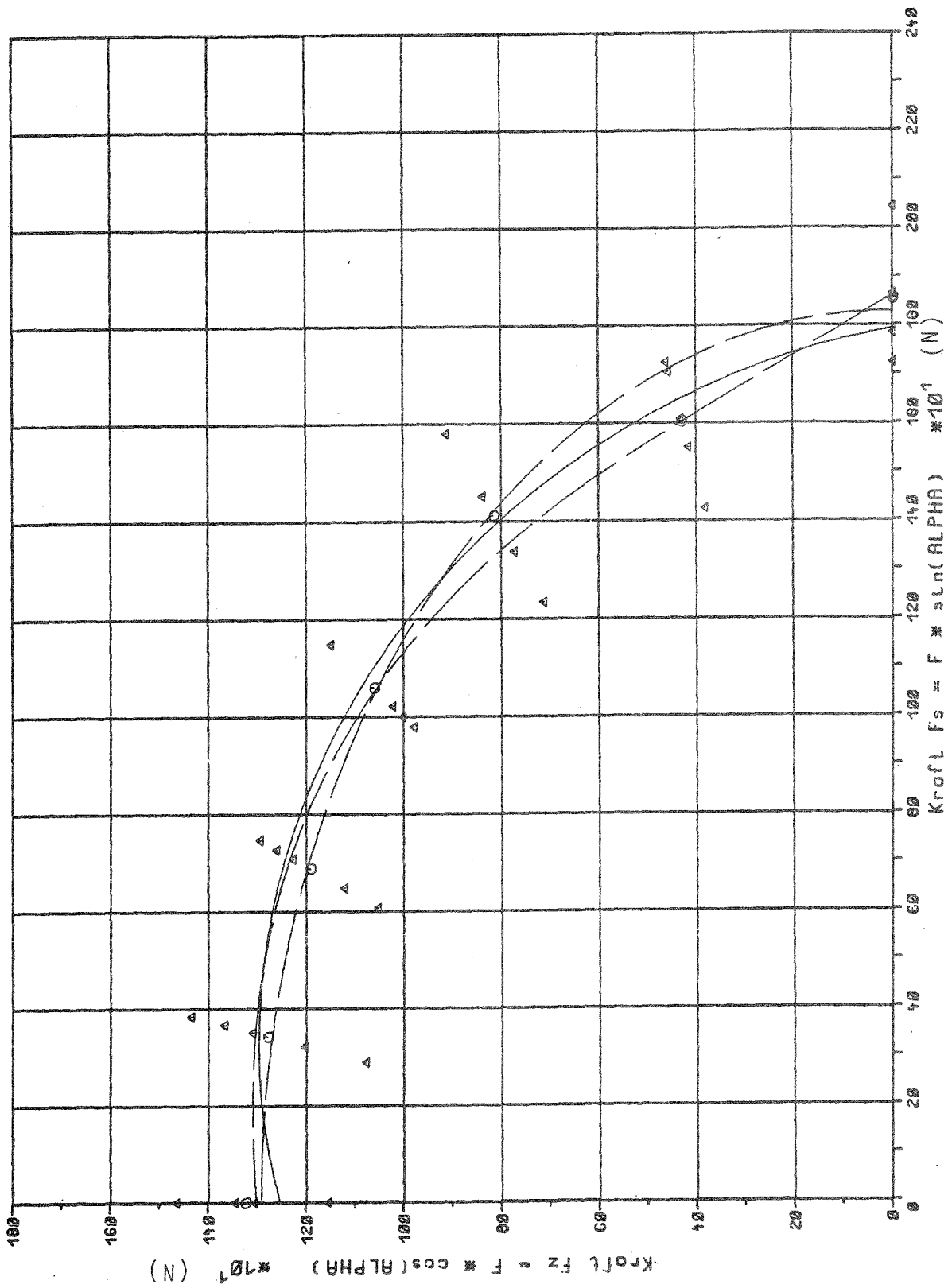


Bild 43: Reihe II.3

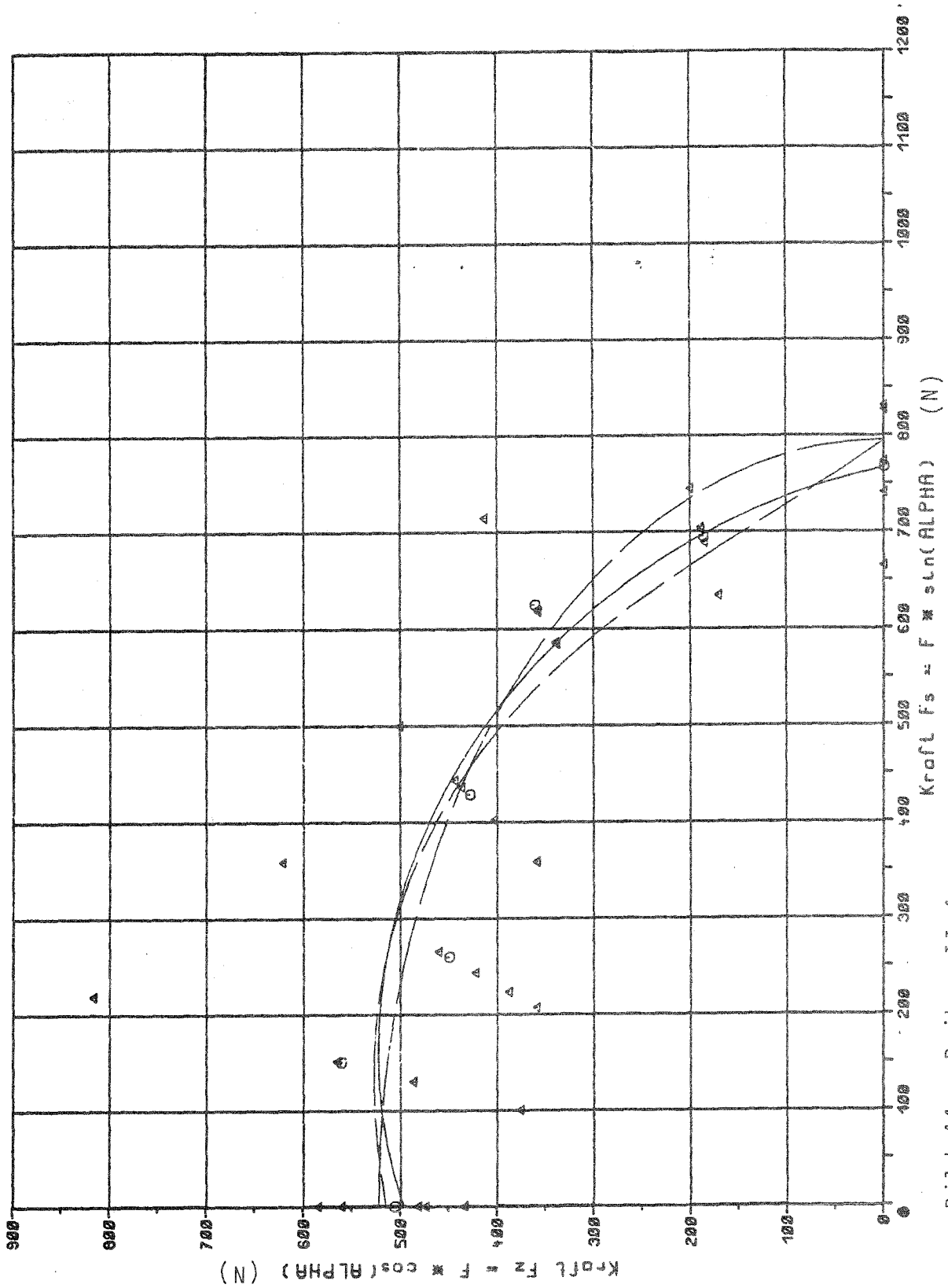


Bild 44: Reihe II.4



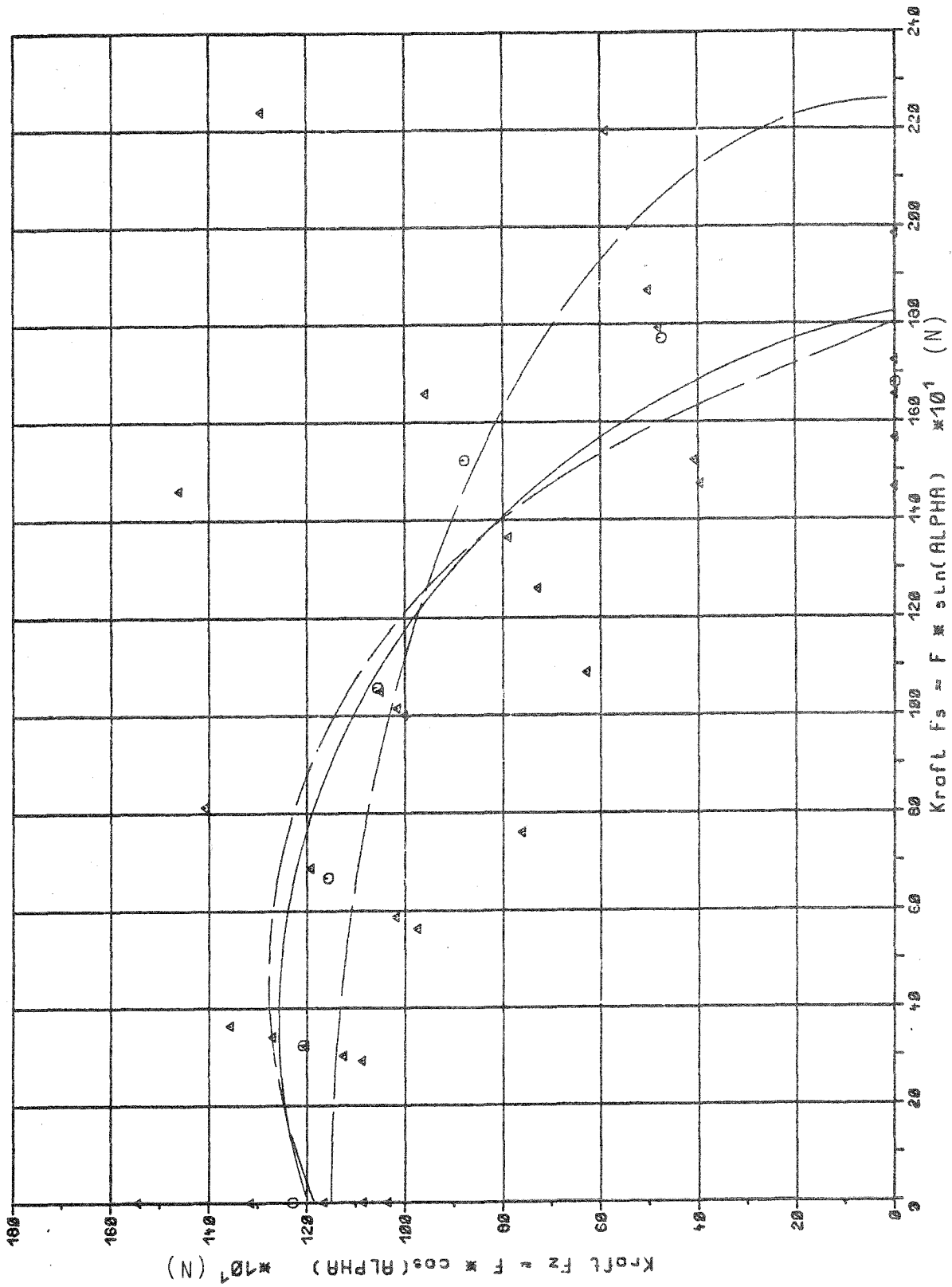


Bild 45: Reihe II.5

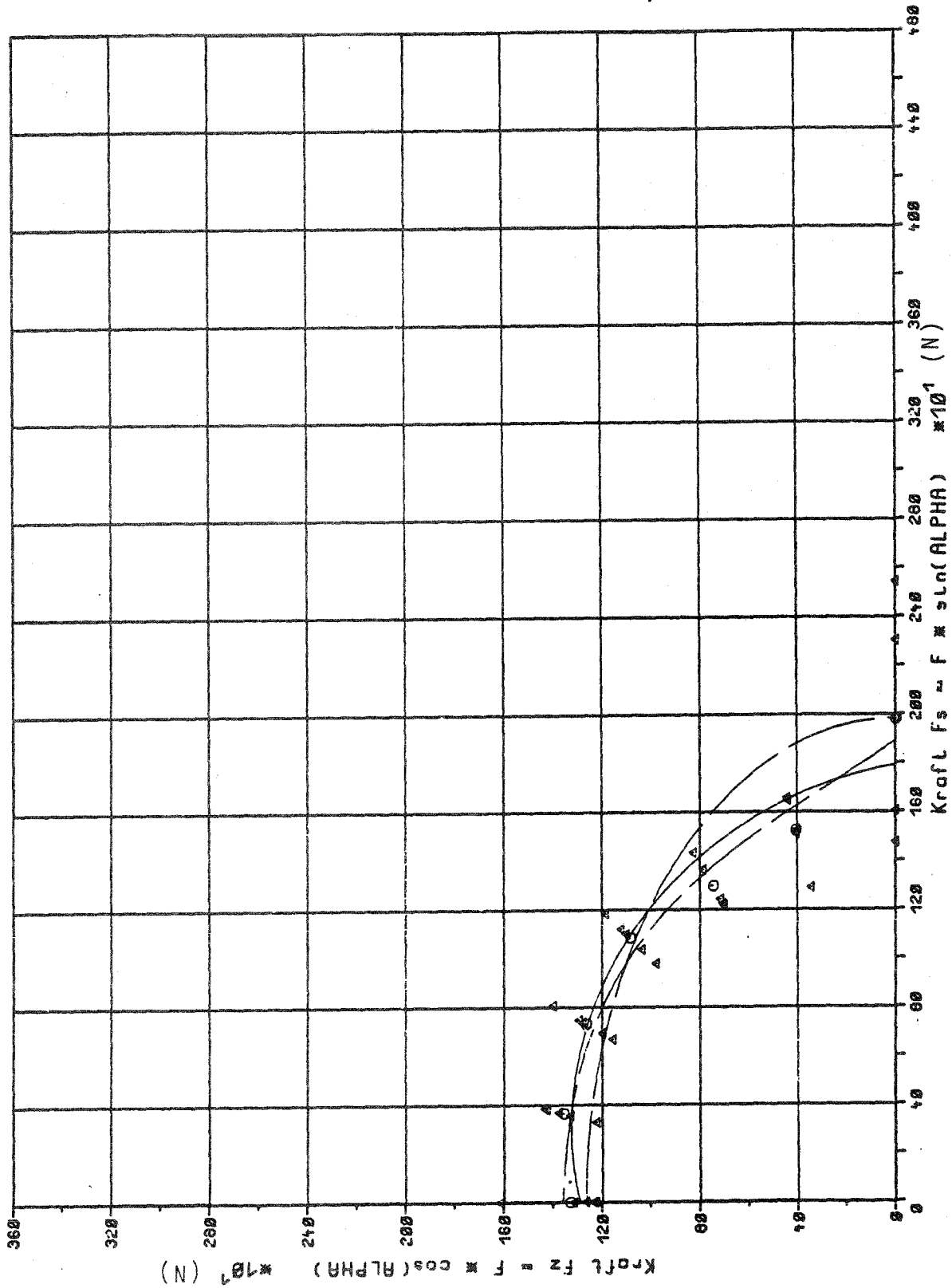


Bild 46: Reihe II.6

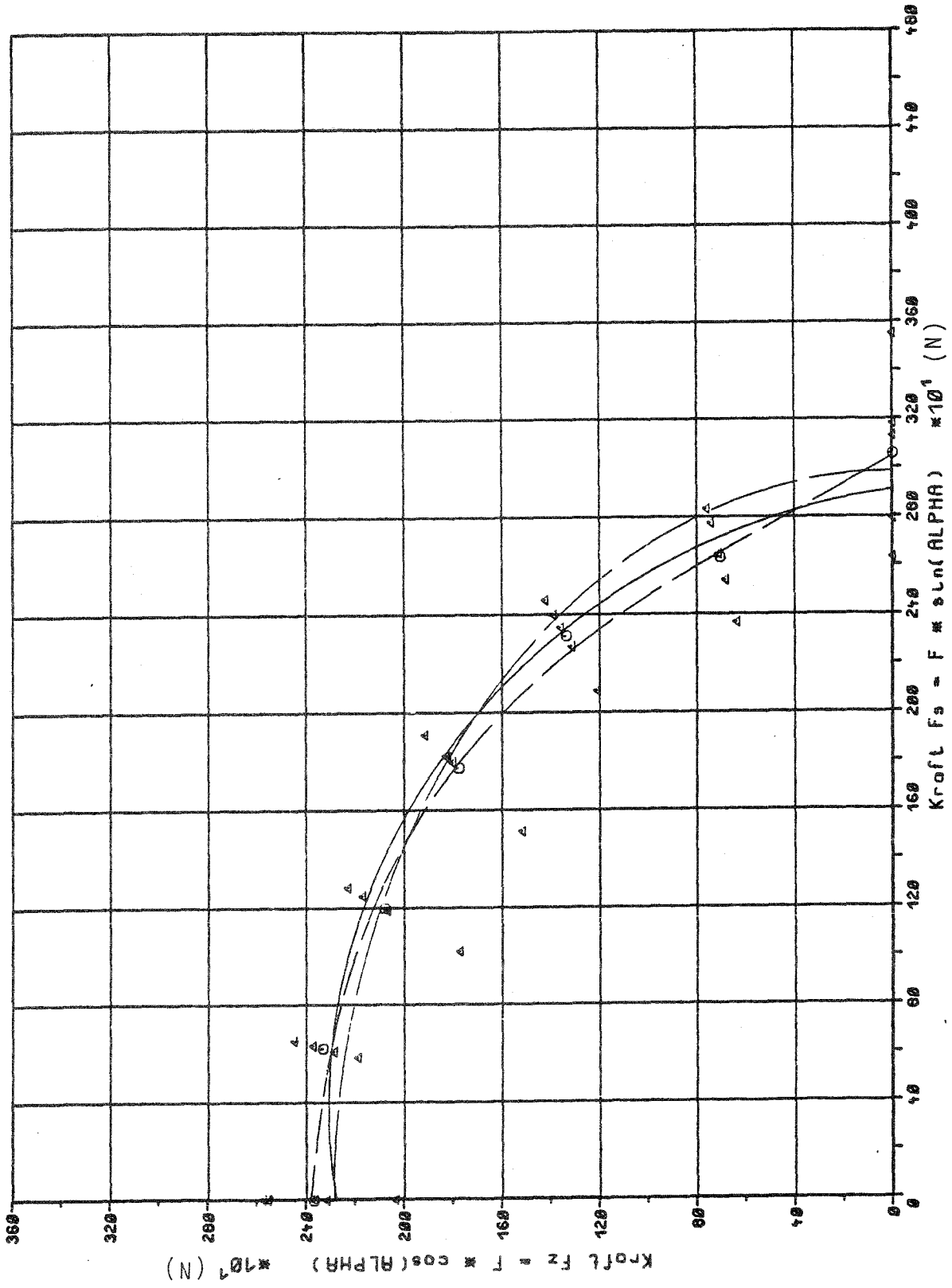


Bild 47: Reihe II.7

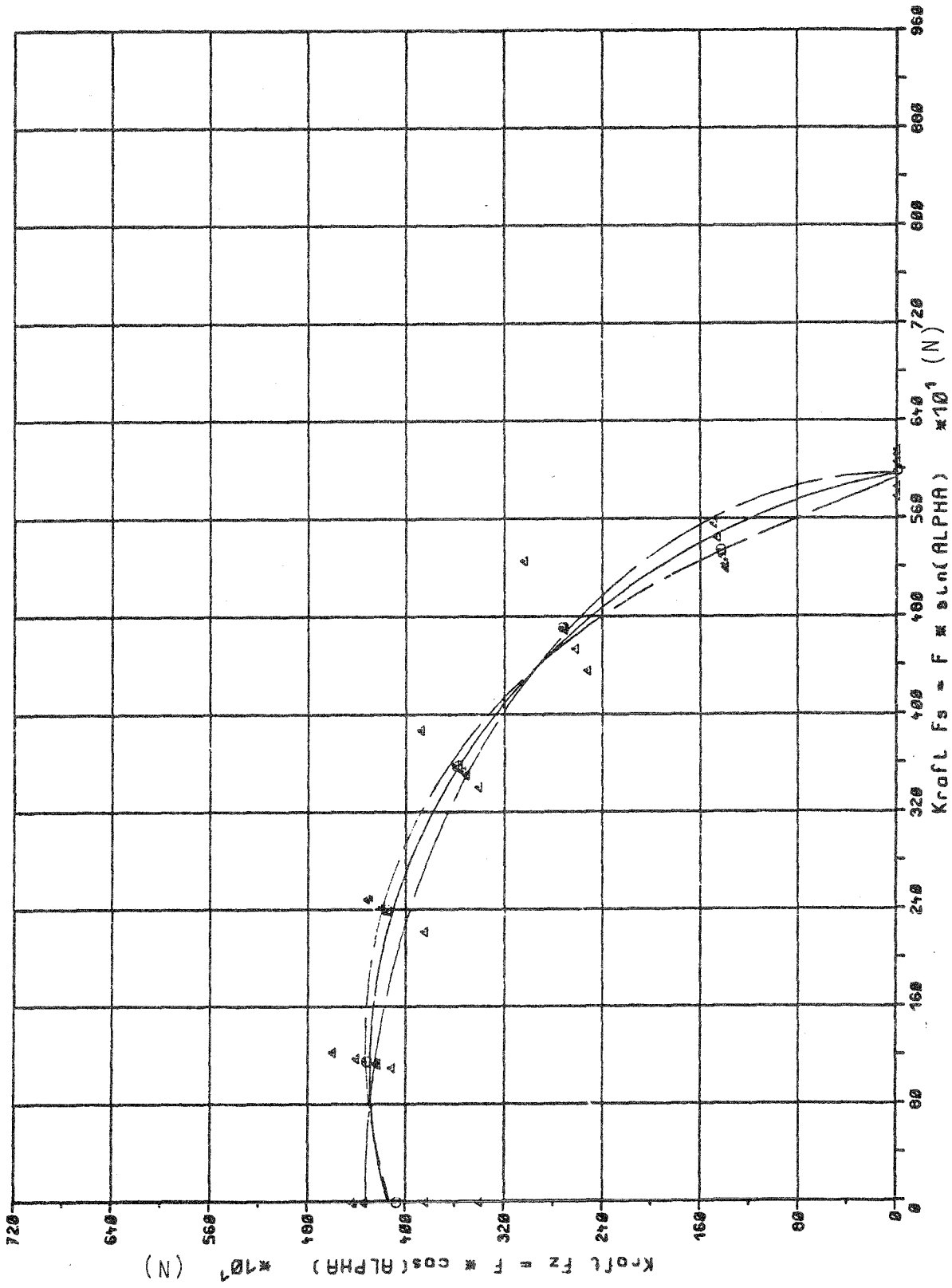


Bild 48: Reihe II.8

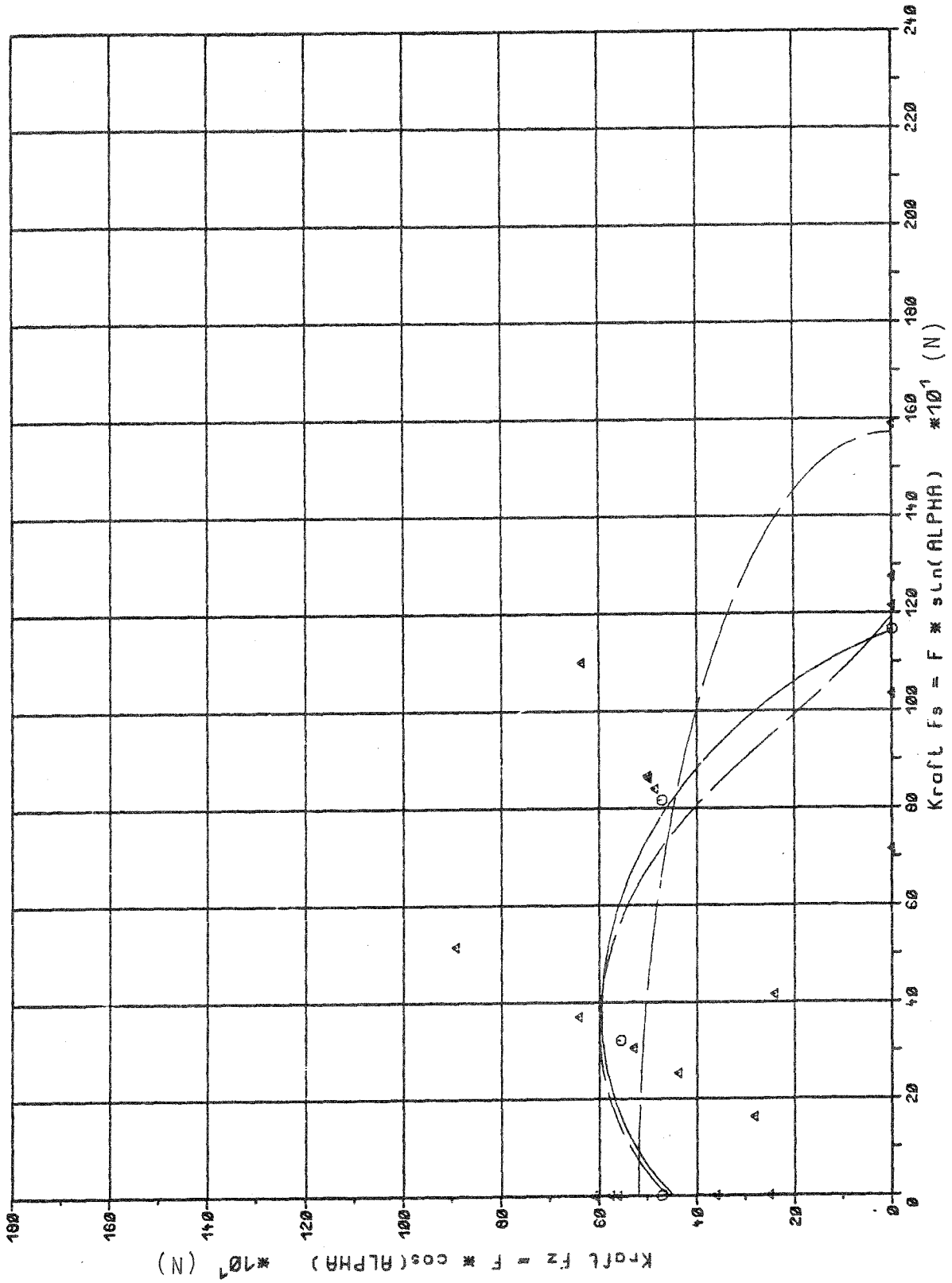


Bild 49: Reihe III.1

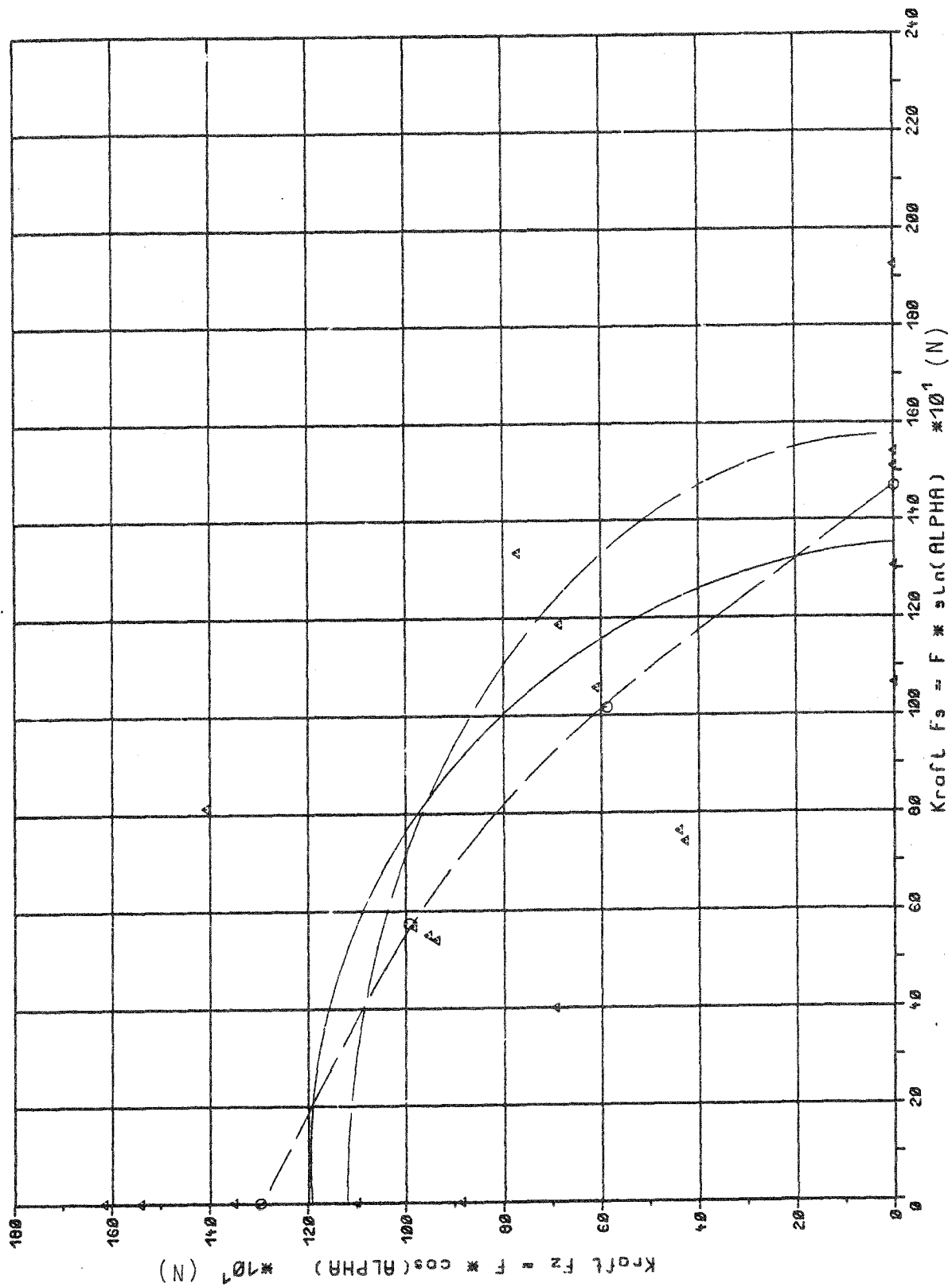


Bild 50: Reihe III.2

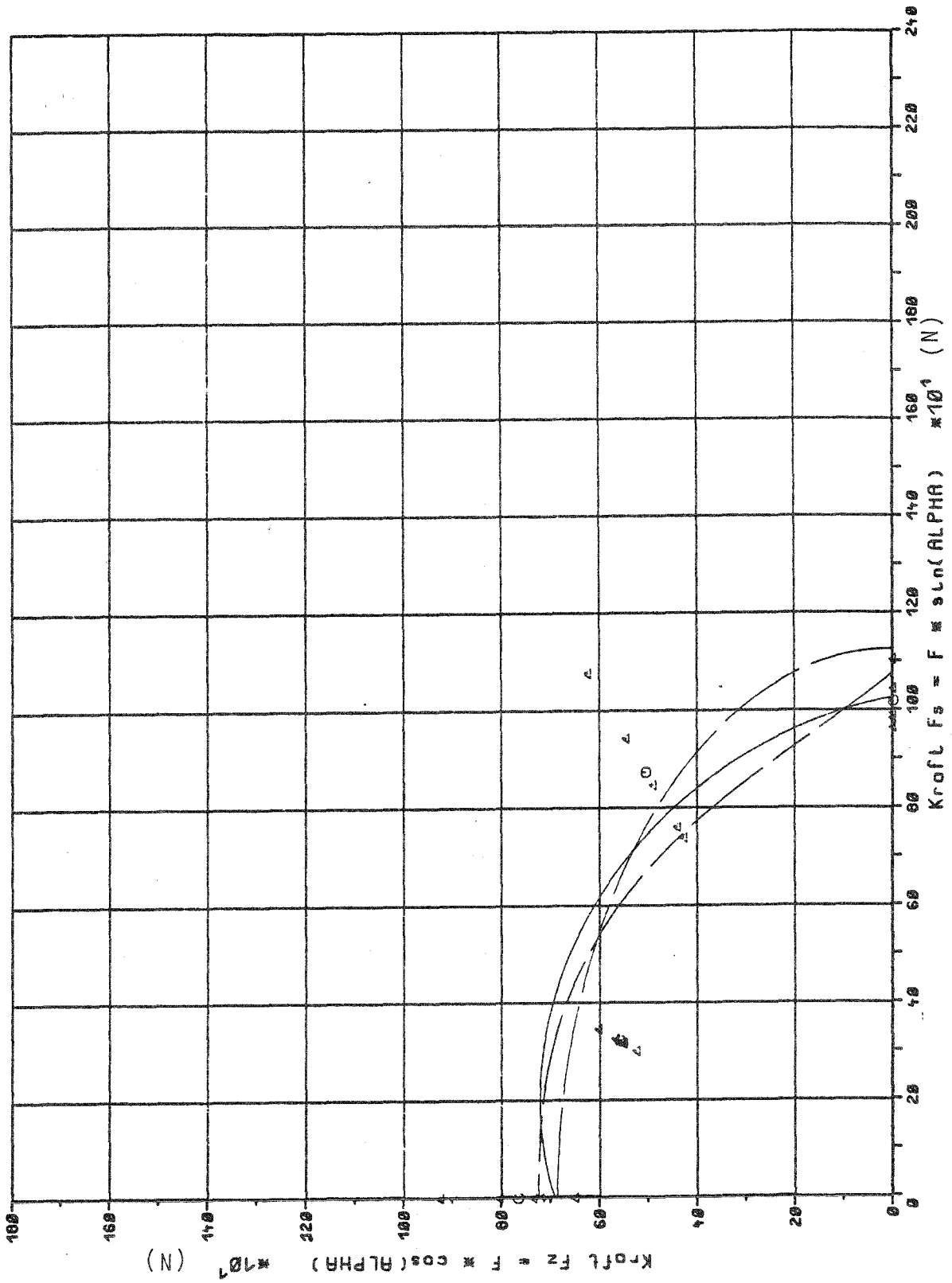


Bild 51: Reihe III.3

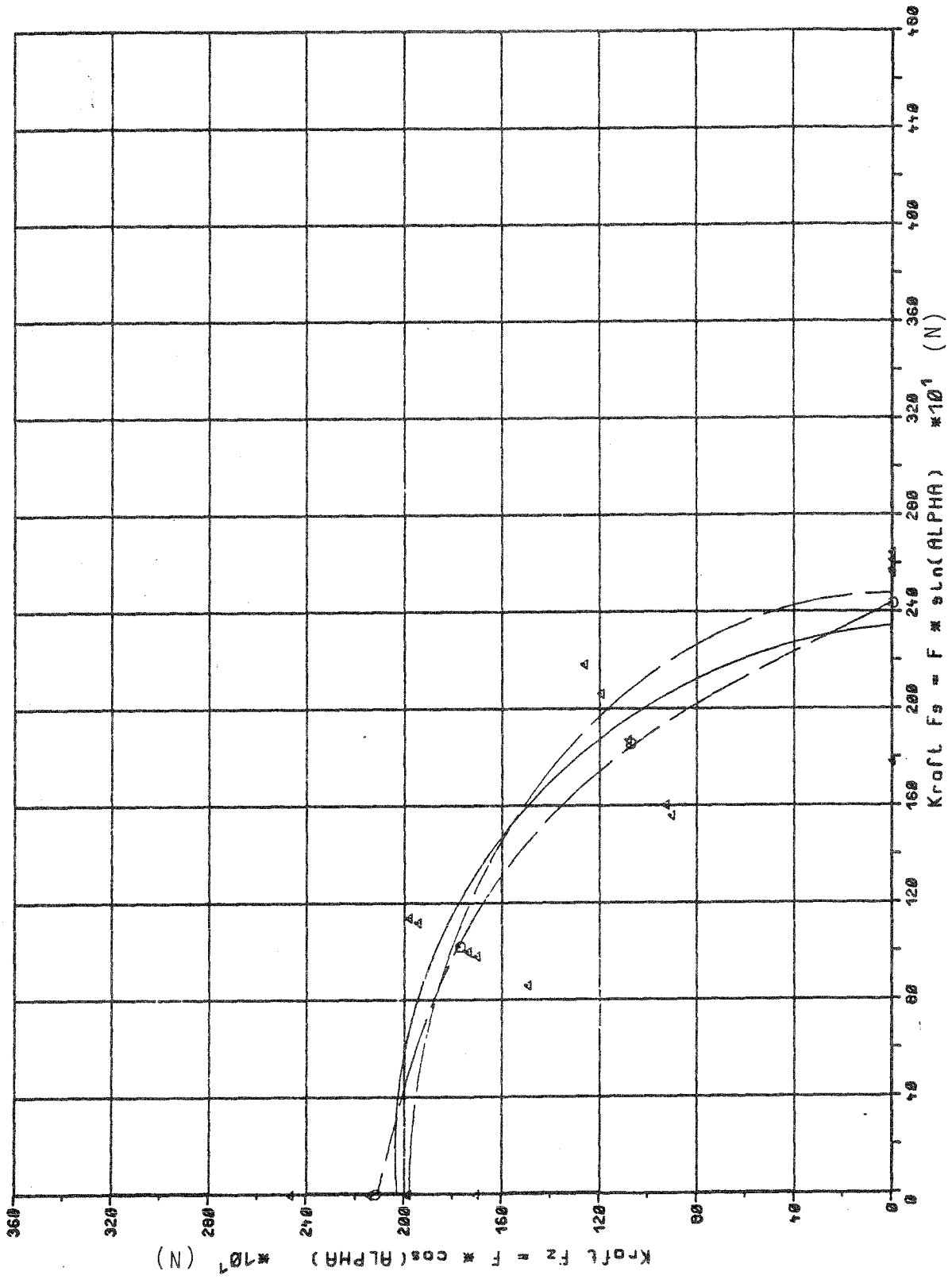


Bild 52: Reihe III.4



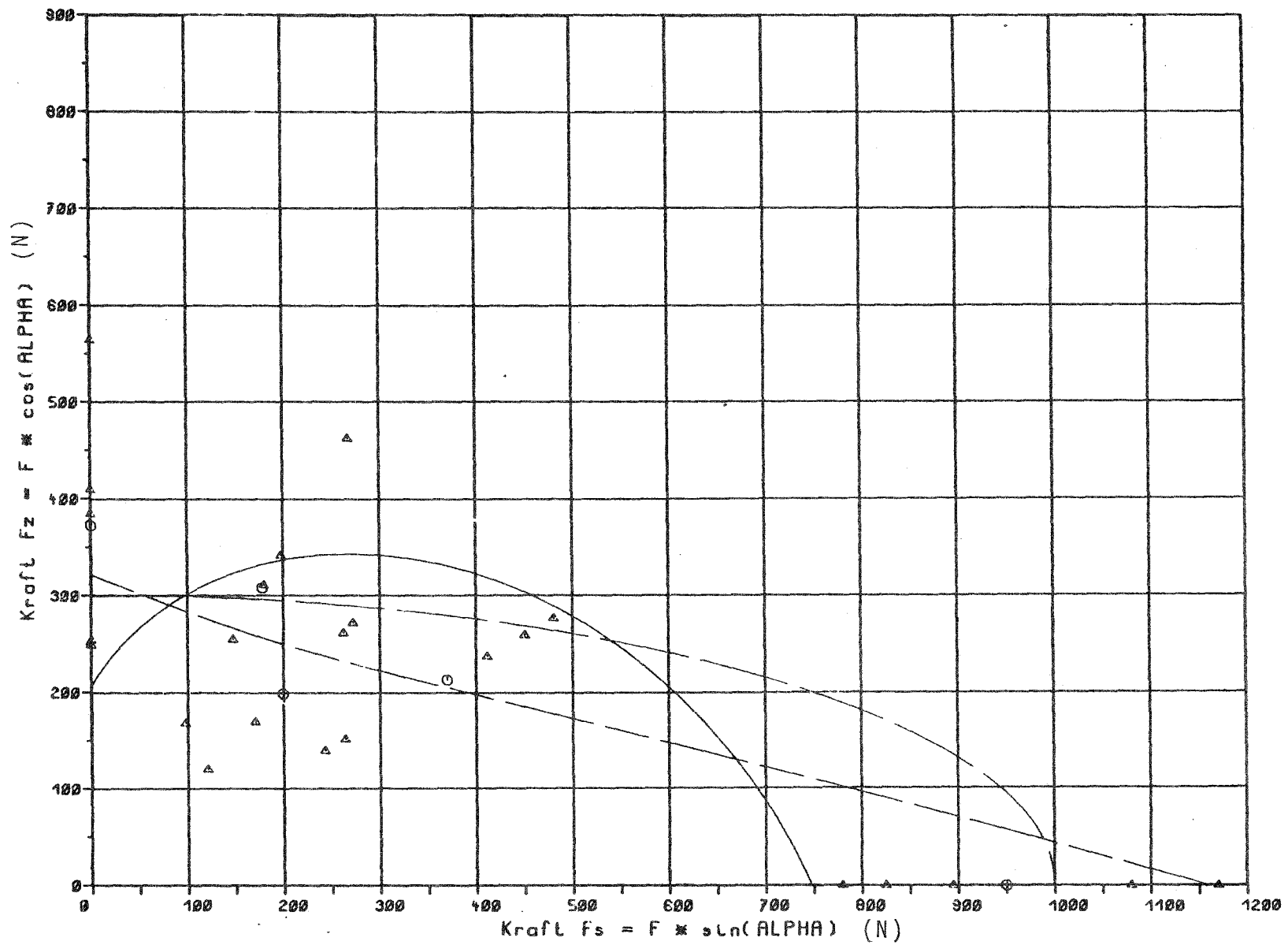


Bild 53: Reihe IV.1

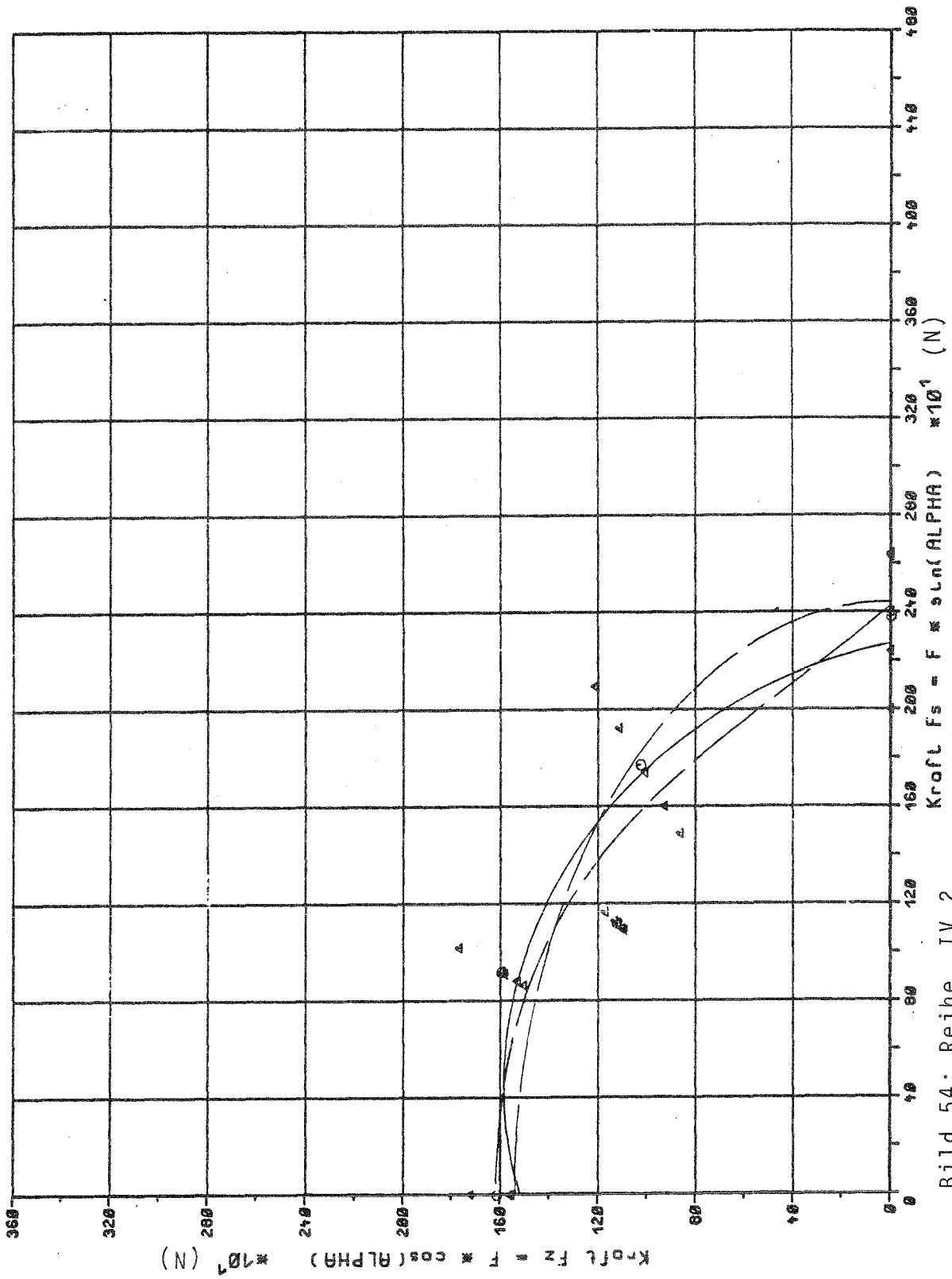


Bild 54: Reihe IV.2

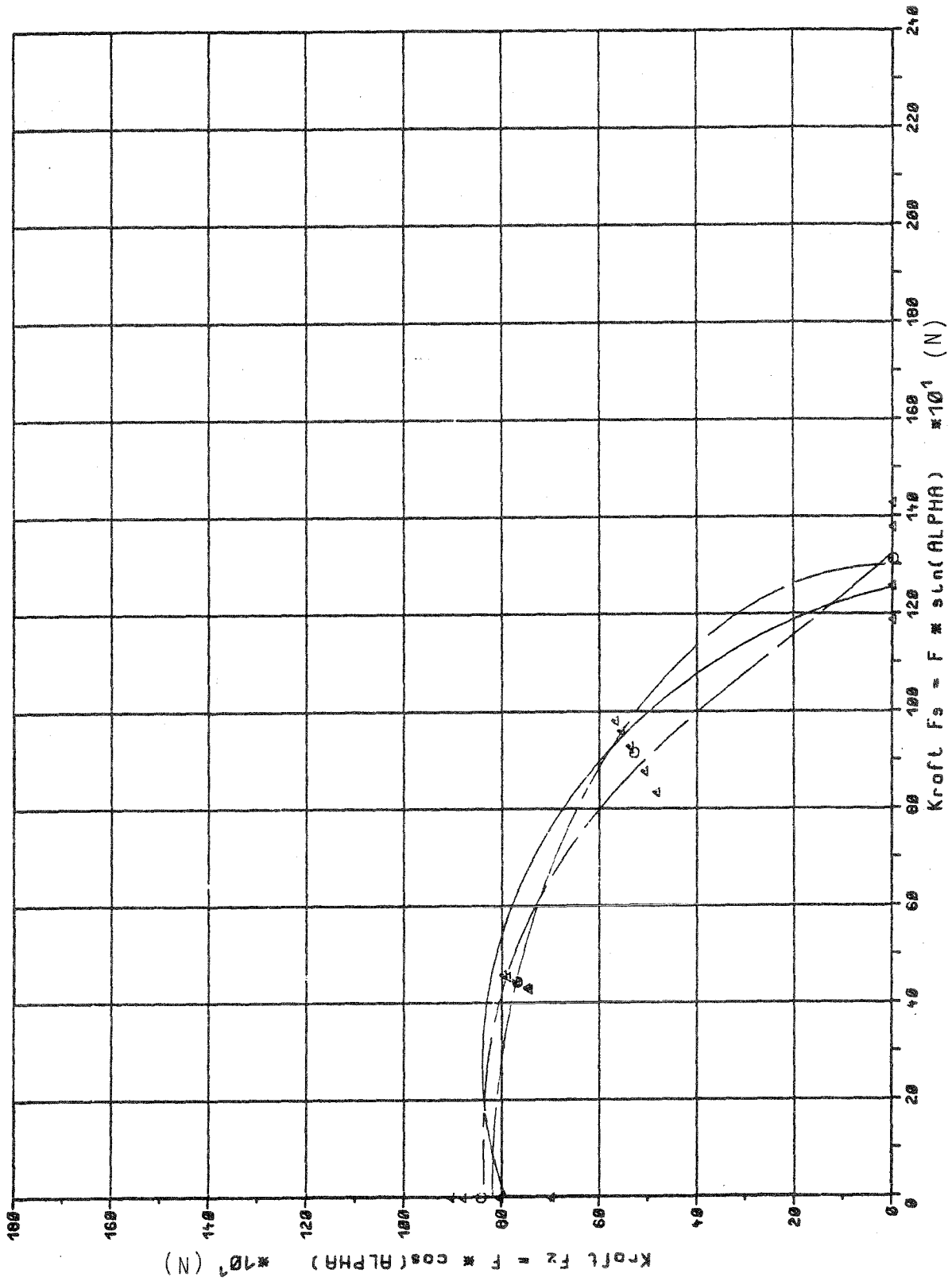


Bild 55: Reihe IV.3

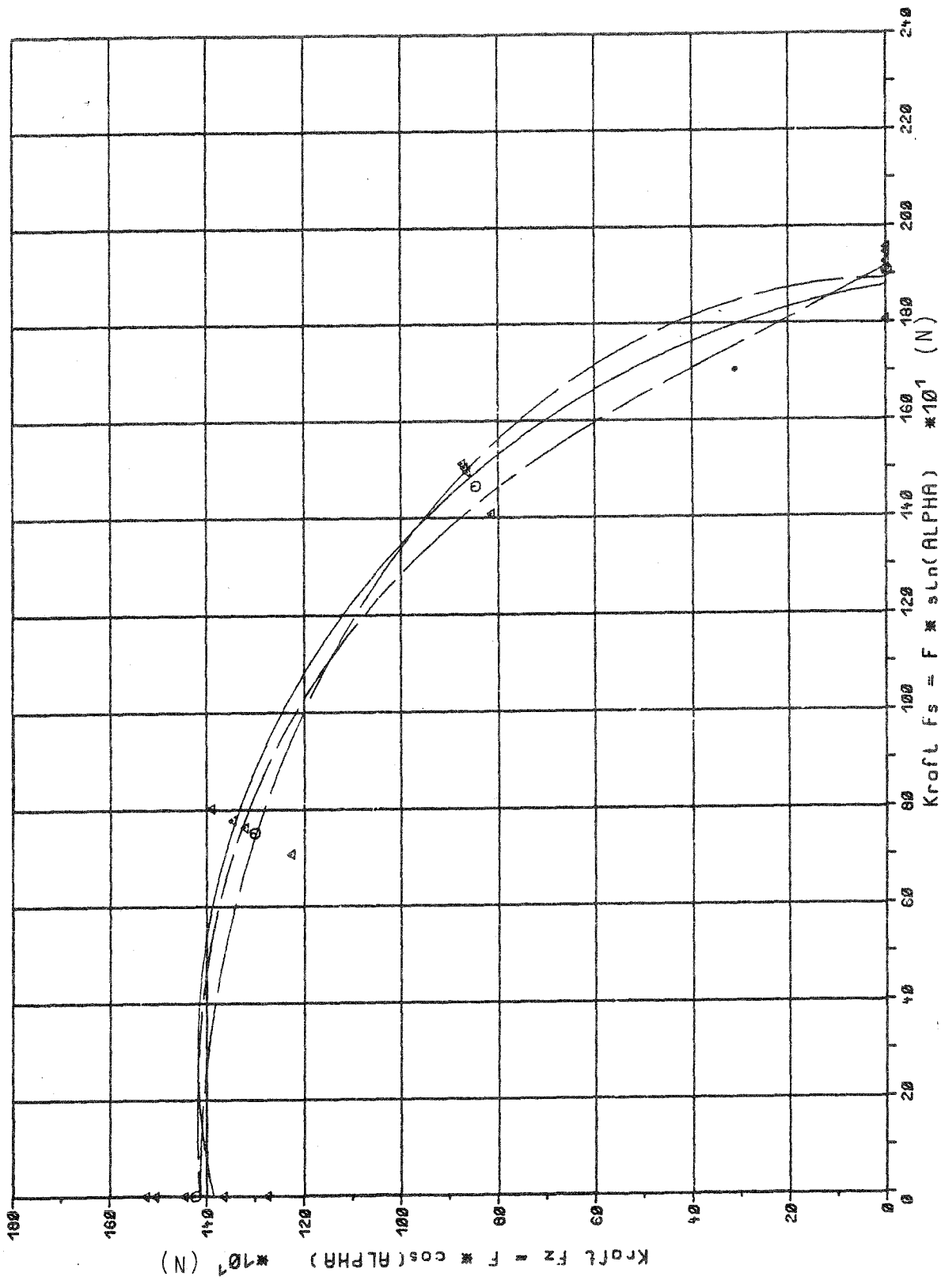


Bild 56: Reihe IV.4

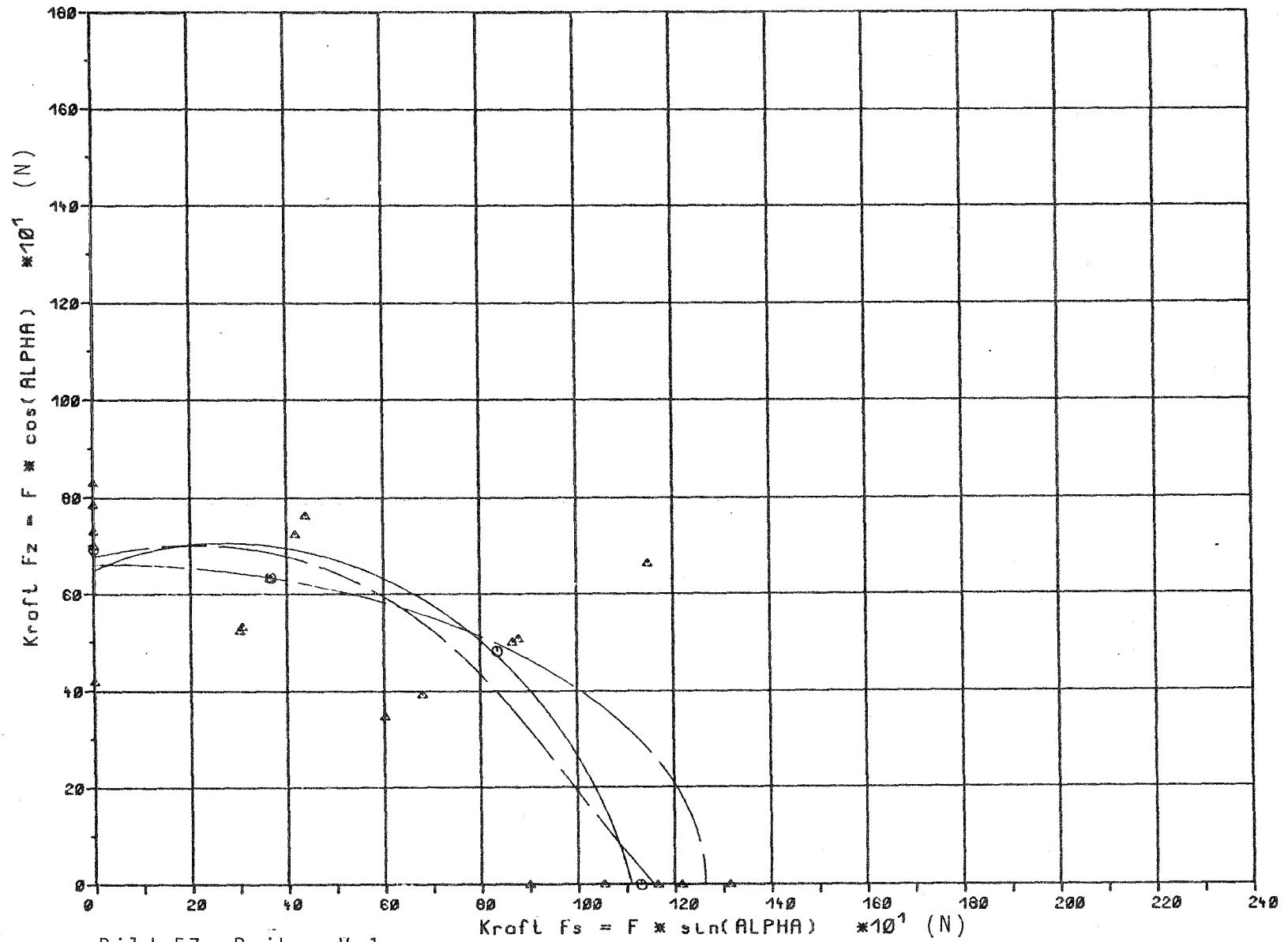


Bild 57: Reihe V.1

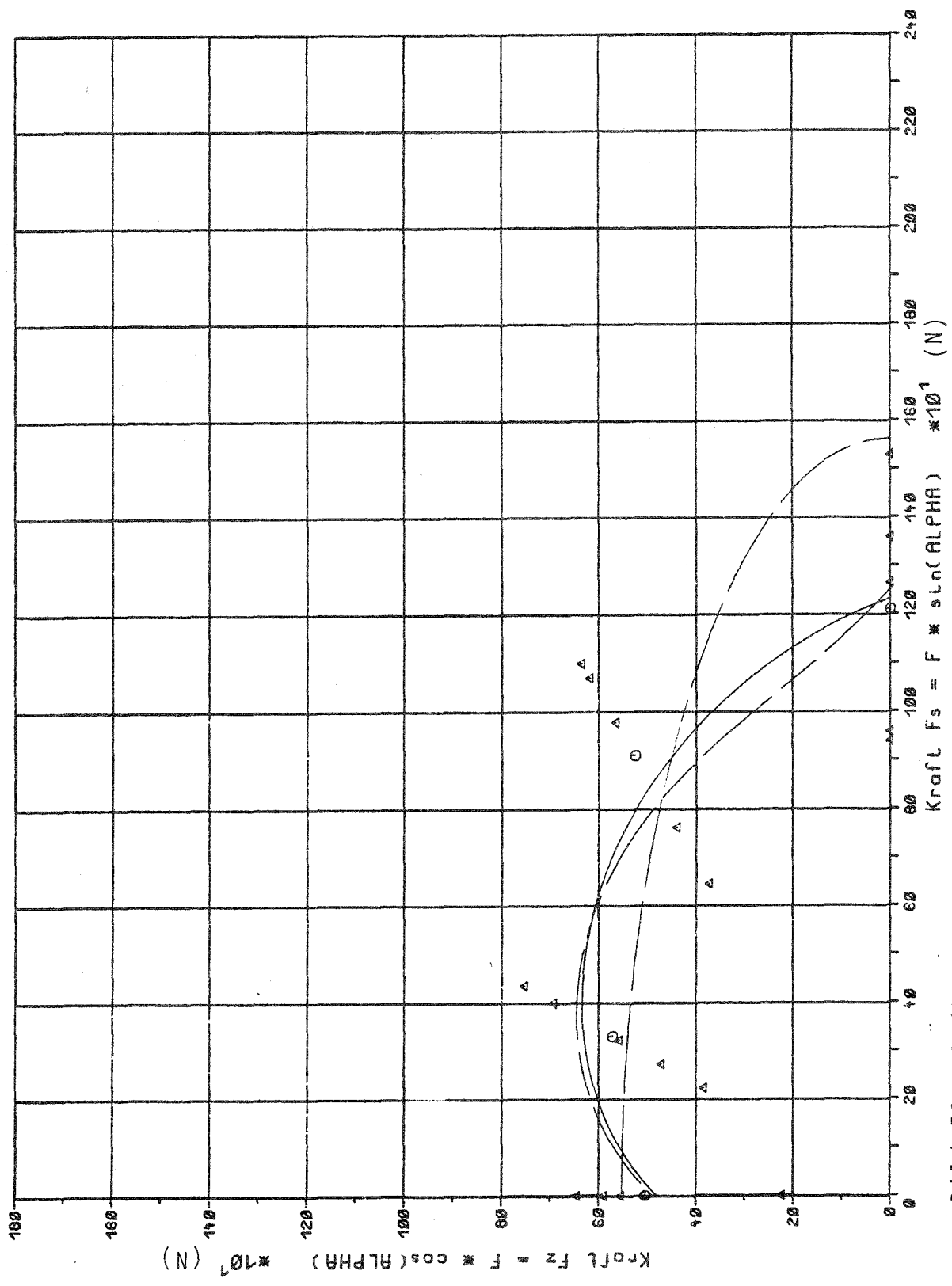


Bild 58: Reihe V.2

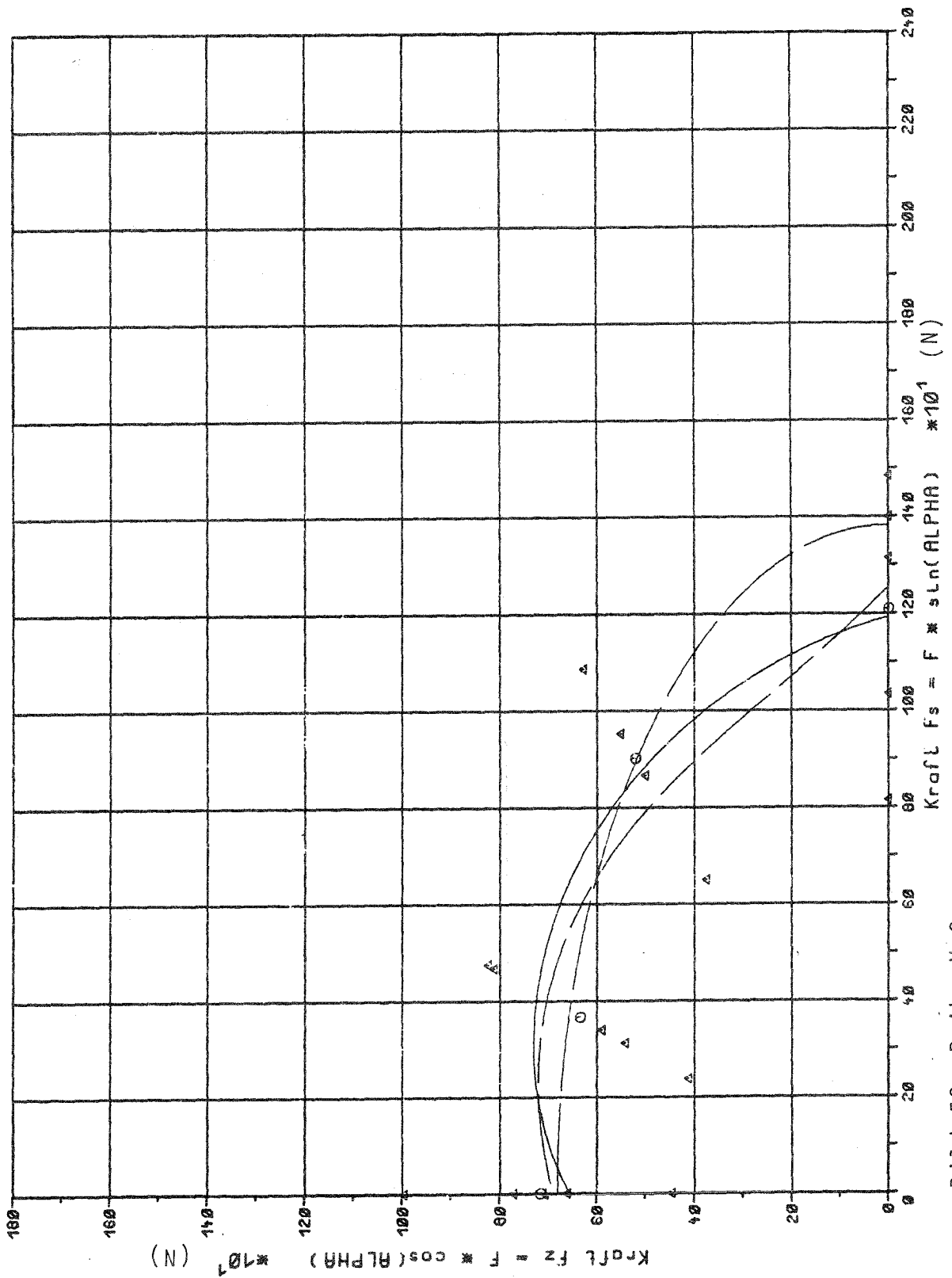


Bild 59: Reihe V.3

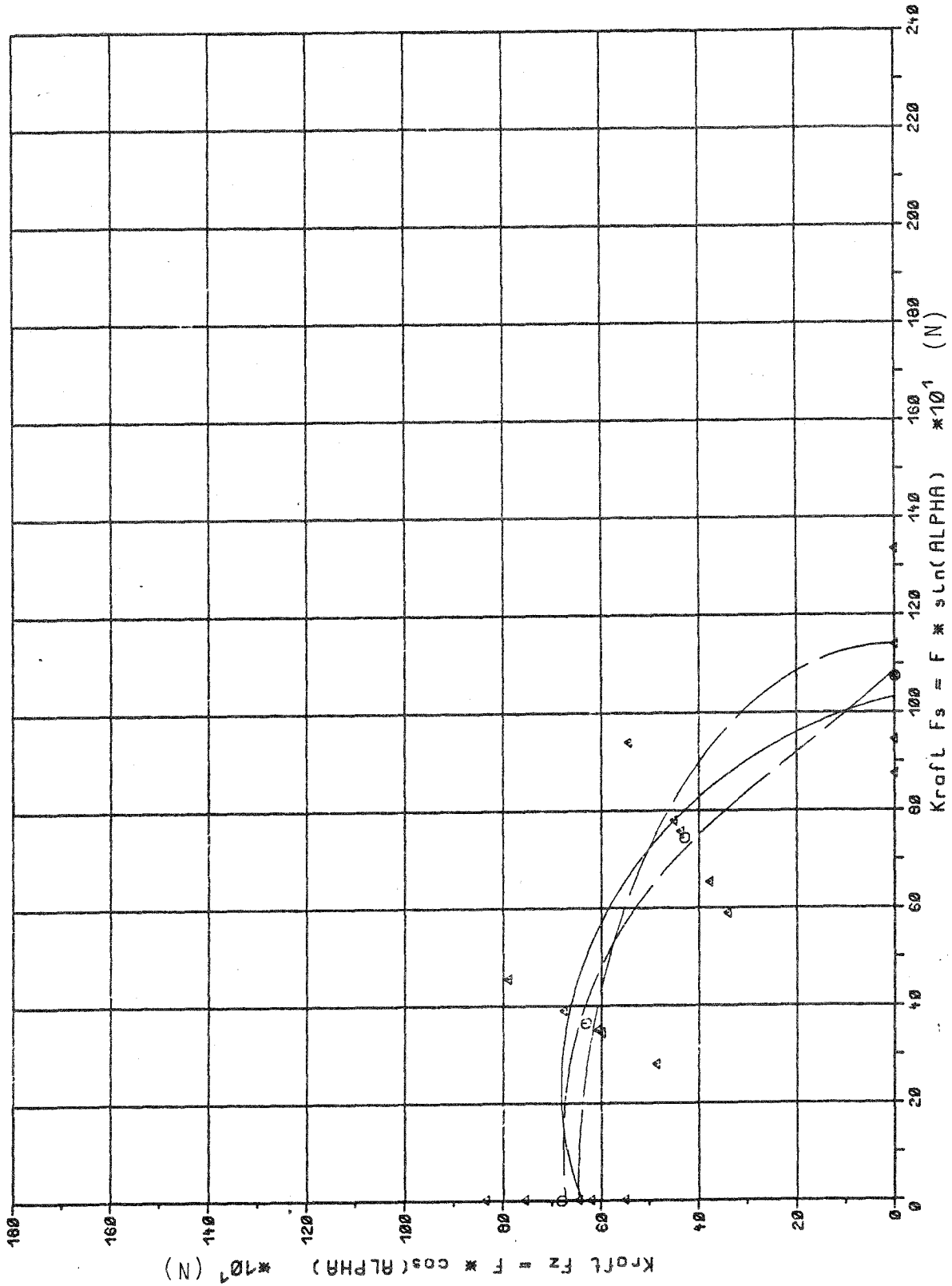


Bild 60: Reihe V.4



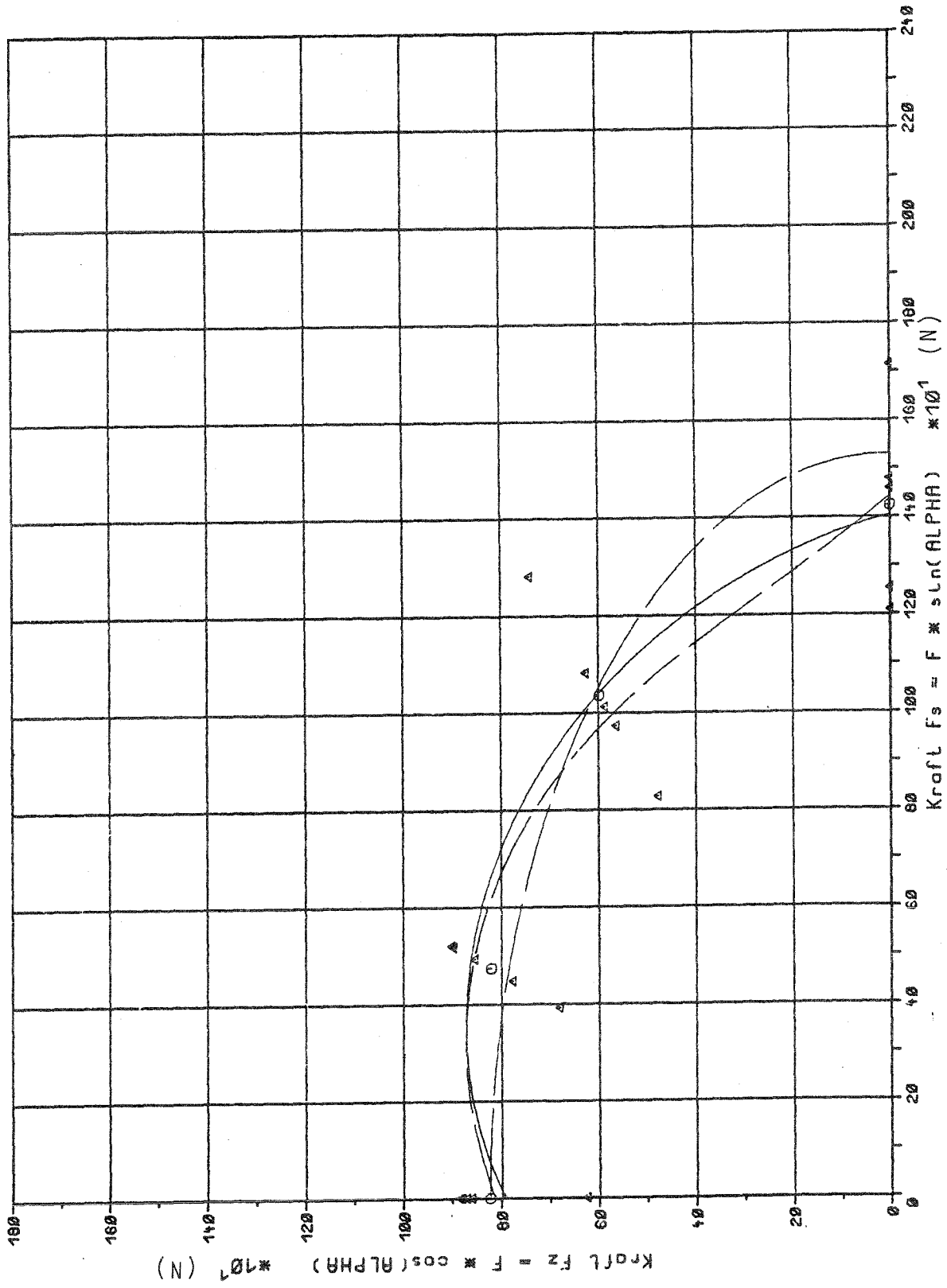


Bild 61: Reihe V.5

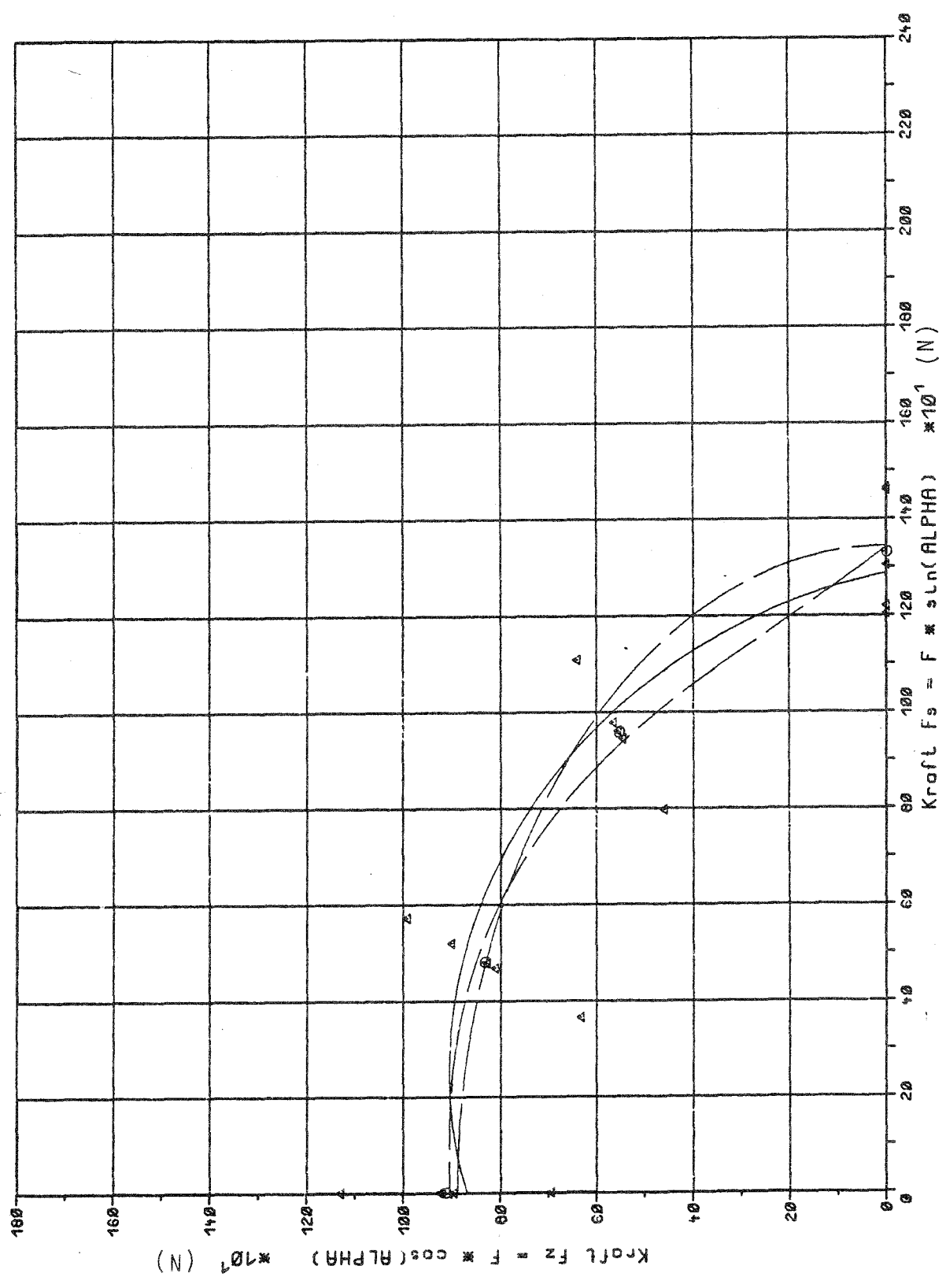


Bild 62: Reihe V.6

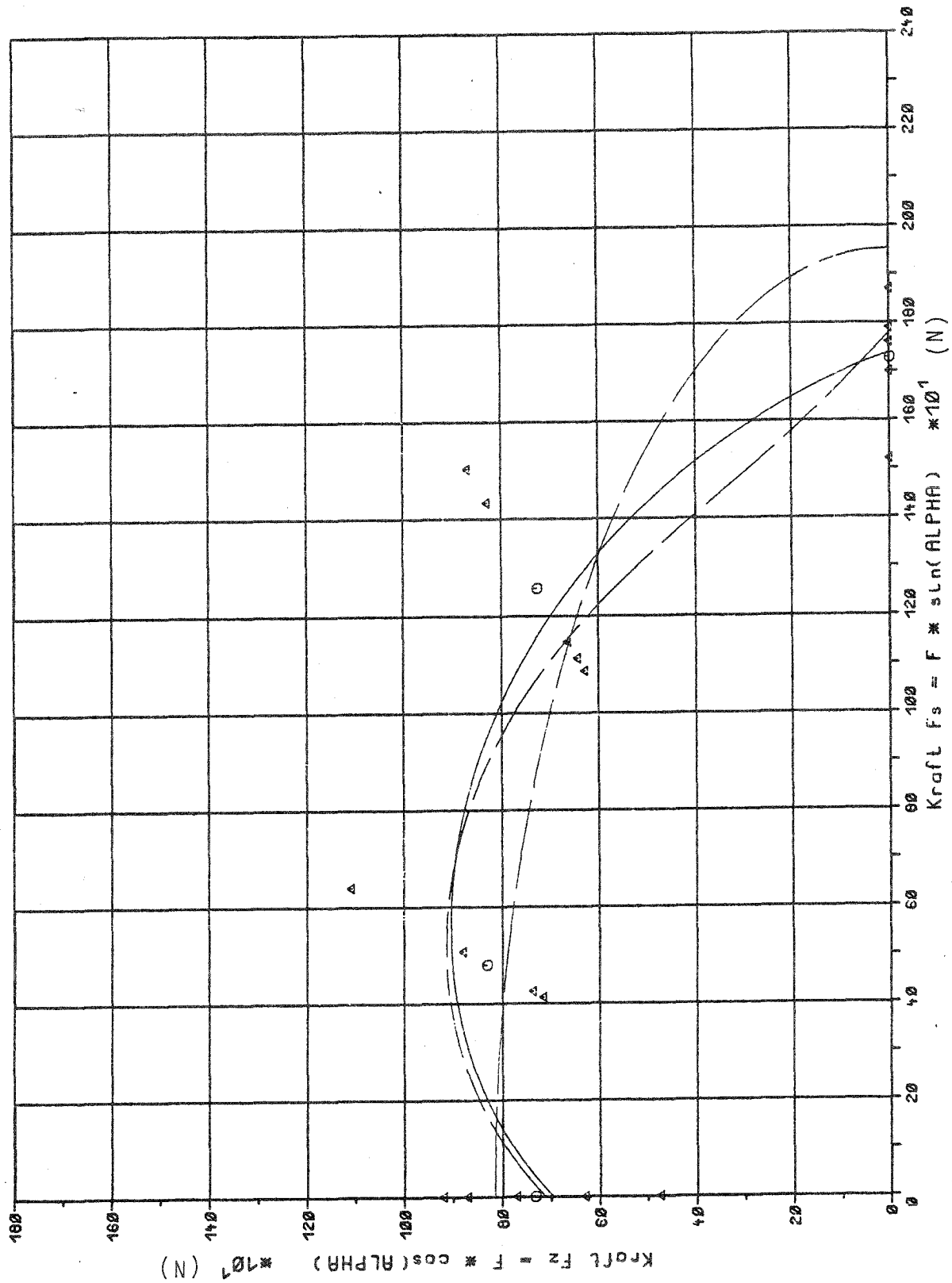


Bild 63: Reihe VI.1

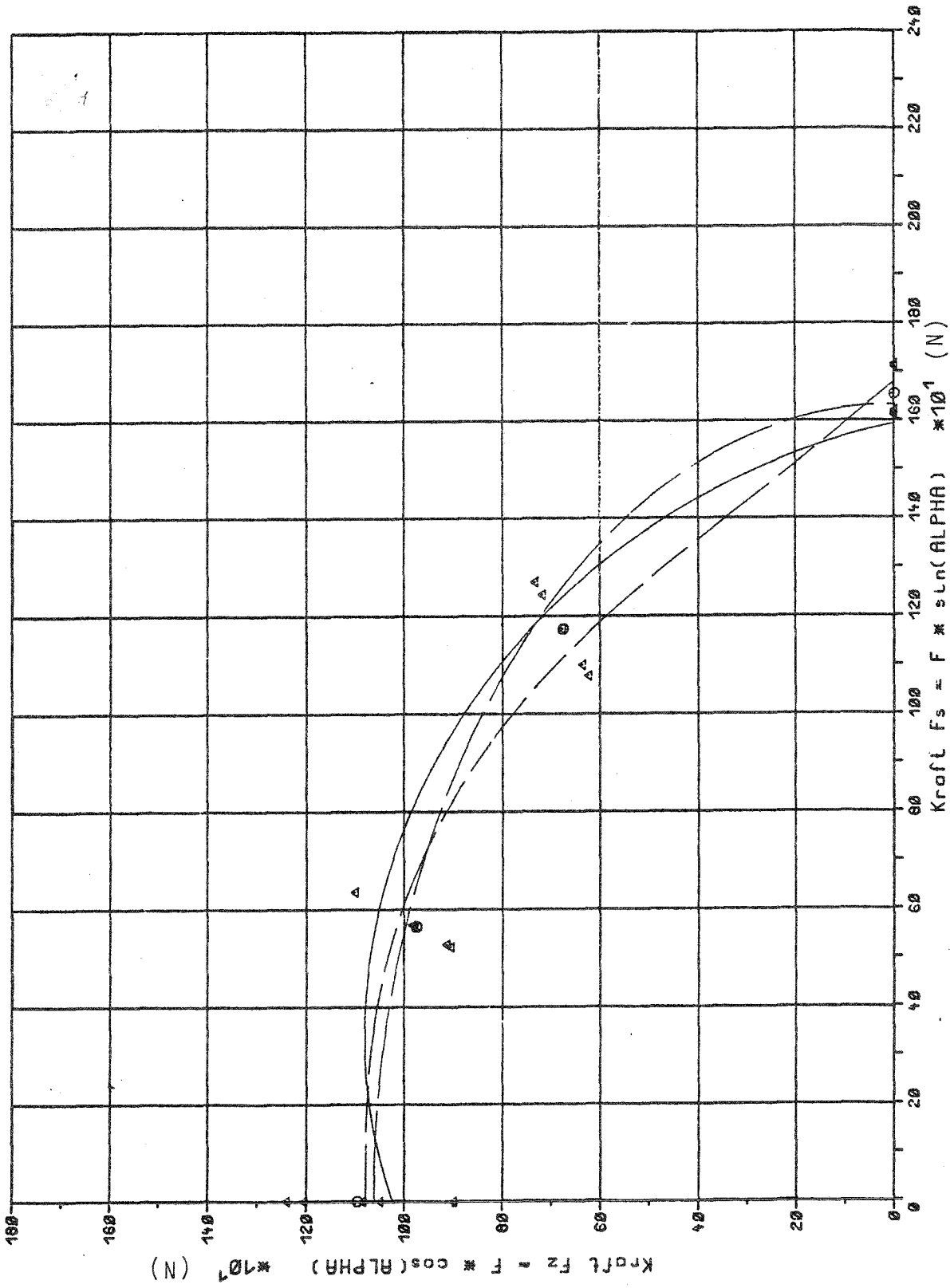


Bild 64: Reihe VI.2

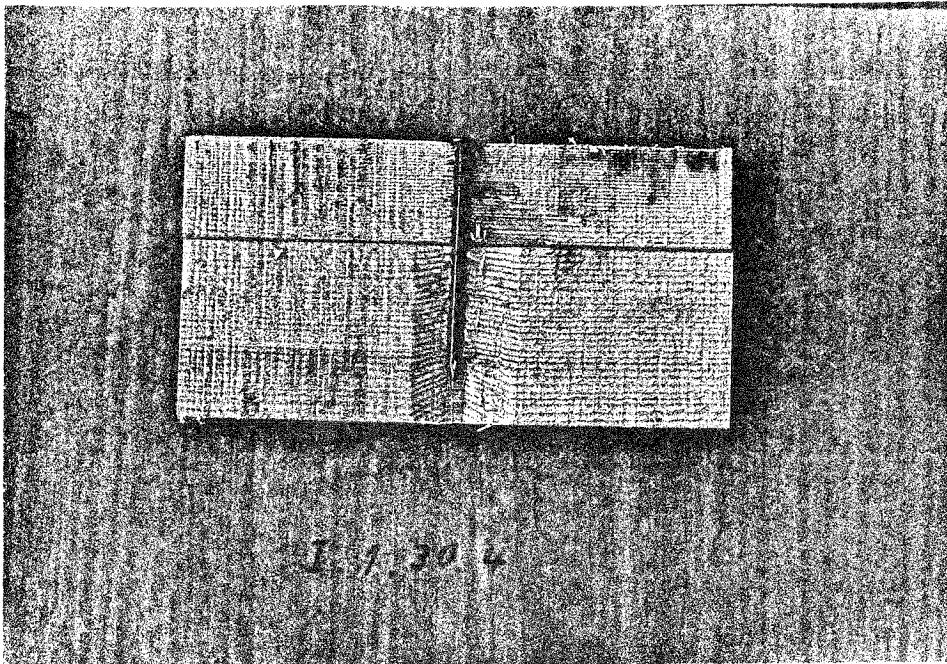


Bild 65: Glattschaftiger Nagel nach der Prüfung unter  $\alpha = 30^\circ$

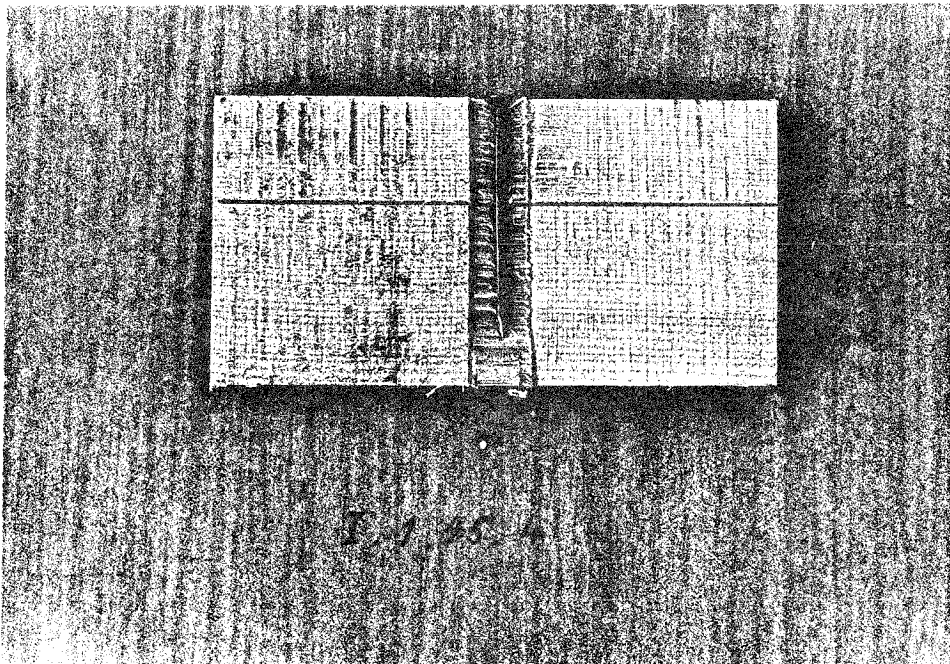


Bild 66: Glattschaftiger Nagel nach der Prüfung unter  $\alpha = 45^\circ$

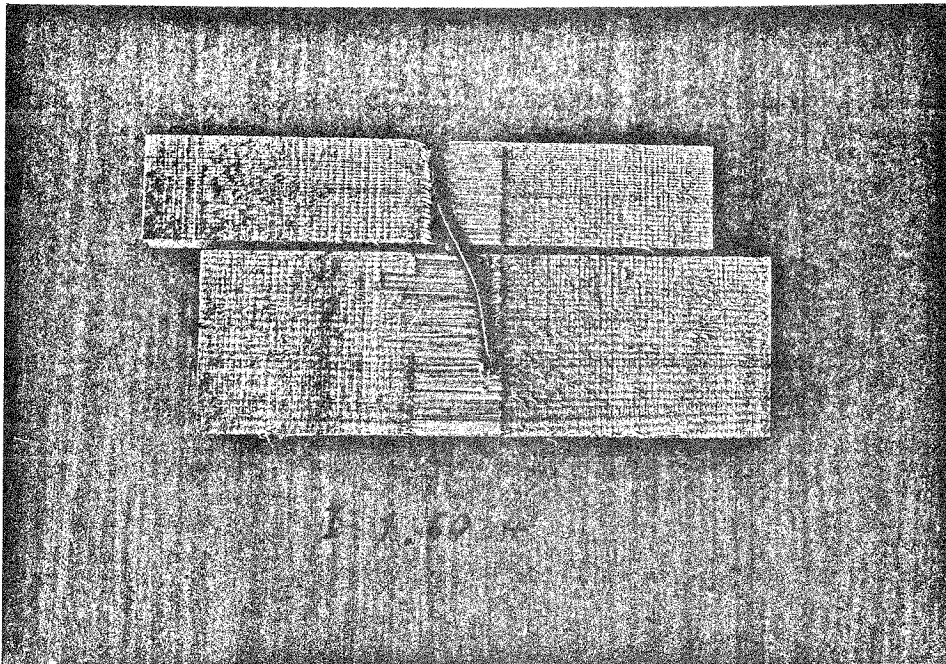


Bild 67: Glattschaftiger Nagel nach der Prüfung unter  $\alpha = 60^\circ$

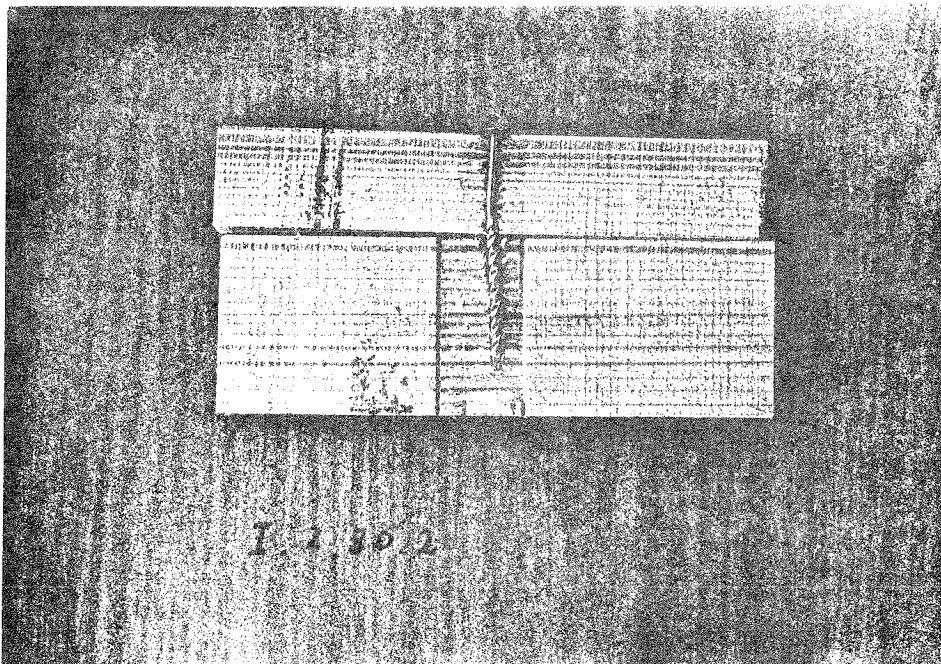


Bild 68: Schraubnagel nach der Prüfung unter  $\alpha = 30^\circ$

Tabelle 29: Ergebnisse REIHE II.1

\*\*\*\*\*

```

*****
*****
**                               *                               **
** Winkel                         Verschiebungen Delta X (mm)           *Mittelwert Delta**
**                               *                               **
*****
**                               *                               **
**      .00                       .0000      .0000      .0000      .0000      .0000      .0000 *      .0000      **
**    15.00                       .0100      .0000      .0100      .0000      .0000      .0000 *      .0040      **
**    30.00                       .0100      .0100      .0100      .0100      .0100      .0100 *      .0100      **
**    45.00                       .0200      .0600      .0600      .0700      .0000      .0000 *      .0525      **
**    60.00                       .0200      .0400      .2000      .0800      .0200      .0200 *      .0720      **
**    75.00                       .0000      .0600      .1200      .0800      .0300      .0300 *      .0580      **
**    90.00                       .0300      .1600      .0800      .0600      .0400      .0400 *      .0740      **
**                               *                               **
*****
*****

```

Tabelle 30 : Ergebnisse REIHE II.2

\*\*\*\*\*

```

*****
*****
**                               *                               **
** Winkel *                               *                               **
**                               *                               **
*****
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
*****
*****

```

Winkel	Delta X (mm)	Mittelwert Delta
00	.0000	.0000
15.00	.0000	.0160
30.00	.1400	.0900
45.00	.3200	.1800
60.00	.1600	.3800
75.00	.8000	.5320
90.00	.2400	.2780



Tabelle 31 : Ergebnisse REIHE II.3

\*\*\*\*\*

```

*****
*****
**                               *                               **
** Winkel                        *   Verschiebungen Delta X (mm)   *   *Mittelwert Delta**
**                               *                               *                               **
*****
**                               *                               *                               **
**      .00 *                   .0000   .0000   .0000   .0000   .0000 *   .0000   **
**    15.00 *                   .0100   .0000   .0000   .0100   .0000 *   .0040   **
**    30.00 *                   .0100   .0000   .0400   .0100   .0000 *   .0120   **
**    45.00 *                   .0200   .0000   .0000   .0000   .0200 *   .0080   **
**    60.00 *                   .0600   .0400   .0100   .0400   .0000 *   .0375   **
**    75.00 *                   .0600   .0400   .1600   .0400   .0800 *   .0760   **
**    90.00 *                   .0800   .0800   .1200   .0400   .0800 *   .0800   **
**                               *                               *                               **
*****
*****

```

Tabelle 32 : Ergebnisse REIHE II.4

\*\*\*\*\*

```

*****
**                                     *                                     **
** Winkel *                               * *Mittelwert Delta**
**                                     *                                     **
*****
** *                                     *                                     **
** .00 * .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 * .0000 **
** 15.00 * .0200 .0000 .0000 .0100 .0000 * .0060 **
** 30.00 * .0200 .0000 .0000 .0200 .0100 * .0100 **
** 45.00 * .0100 .0400 .0800 .0000 .0400 * .0340 **
** 60.00 * .0400 .0300 .0200 .0000 .0200 * .0220 **
** 75.00 * .0500 .0200 .0000 .0200 .0200 * .0220 **
** 90.00 * .1200 .0800 .0000 .0200 .0000 * .0550 **
** *                                     *                                     **
*****
*****

```

Tabella 33: Ergebnisse REIHE 11.5

\*\*\*\*\*

```

*****
*****
**                               *                               **
** Winkel                         * Verschiebungen Delta X (mm) *                               **
**                               *                               **
*****
**                               *                               **
**      .00                       * .0000      .0000      .0000      .0000      .0000 * .0000 **
**    15.00                       * .0000      .0000      .0000      .0000      .0000 * .0000 **
**    30.00                       * .0000      .0000      .0000      .0200      .0000 * .0040 **
**    45.00                       * .0000      .0000      .0100      .0100      .0000 * .0040 **
**    60.00                       * .0100      .0800      .0500      .0200      .0200 * .0360 **
**    75.00                       * .0100      .0400      .0400      .0200      .0200 * .0260 **
**    90.00                       * .0600      .0200      .0100      .0400      .0600 * .0380 **
**                               *                               **
*****
*****

```

Tabelle 34: Ergebnisse REIHE II.6

\*\*\*\*\*

```

*****
*****
**          *
** Winkel *          Verschiebungen Delta X (mm)          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
*****
**          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
**          *          *          *          *          *          *          *          *
*****
*****

```

Winkel	00	15.00	30.00	45.00	60.00	75.00	90.00	Mittelwert Delta
	.0000	.0800	.1600	.1600	.1600	.0400	.0400	.0000
	.0000	.0200	.0400	.0200	.0400	.1200	.1600	.0000
	.0000	.0400	.0800	.2800	.3200	.3200	.4000	.0800
	.0000	.0400	.0800	.1400	.1600	.2400	.3200	.1040
	.0000	.0400	.0800	.1760	.2840	.3040	.4160	.1760
	.0000	.0400	.0800	.2840	.3040	.4160		.2840
	.0000	.0400	.0800	.4160				.3040
	.0000	.0400	.0800					.4160

Tabelle 35: Ergebnisse REIHE II.7

\*\*\*\*\*

```
*****
*****
**                               *                               **
** Winkel *                   Verschiebungen Delta X (mm)           *Mittelwert Delta**
**                               *                               **
*****
**                               *                               **
** .00 *                   .0000   .0000   .0000   .0000   .0000   .0000 *                   .0000   **
** 15.00 *                   .0600   .0900   .0000   .0800   .0200 *                   .0500   **
** 30.00 *                   .0800   .2400   .0400   .3000   .0000 *                   .1320   **
** 45.00 *                   .2800   .3500   .2300   .4800   .6800 *                   .4060   **
** 60.00 *                   .3000   .8000   .3200   .8800   .3600 *                   .5320   **
** 75.00 *                   .8800   .8200   .3600   1.1600   .7600 *                   .7960   **
** 90.00 *                   .8200   .8000   .3000   .6800   .7600 *                   .5720   **
**                               *                               **
*****
*****
```

Tabelle 36: Ergebnisse REIHE II.8

\*\*\*\*\*

```

*****
*****
**                               *                               **
** Winkel *                               *                               **
**                               *                               **
*****
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
*****
*****

```

Winkel	Verschiebungen Delta X (mm)					Mittelwert Delta
00	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
15.00	.1200	.0400	.0600	.0800	.0600	.0720
30.00	.3600	.2800	.2400	.2800	.1600	.2640
45.00	.4800	.5000	.5600	.6400	.7200	.5800
60.00	1.4000	1.0000	.8400	.6800	.9400	.9720
75.00	1.0000	1.6000	1.2800	1.2000	1.6400	1.3440
90.00	1.9200	1.6400	1.0800	1.6000	.7200	1.3920

Tabelle 37 Ergebnisse REIHE II.1

\*\*\*\*\*

```

*****
*****
**          *
** Winkel *          Gesamtverschiebung Delta (mm)          *          **
**          *
*****
**          *
**      00 *          .0200          .0100          .0300          .0400          .0200 *          .0240          **
**    15.00 *          .0100          .0200          .0412          .0000          .0100 *          .0162          **
**    30.00 *          .0100          .0224          .0224          .0100          .0224 *          .0174          **
**    45.00 *          .0263          .0721          .0600          .0728          .0000 *          .0583          **
**    60.00 *          .0200          .0412          .2040          .0800          .0200 *          .0730          **
**    75.00 *          .0200          .0608          .1200          .0800          .0300 *          .0582          **
**    90.00 *          .0200          .1600          .0800          .0600          .0400 *          .0740          **
**          *
*****
*****

```

Tabelle 38 : Ergebnisse REIHE II.2

\*\*\*\*\*

```

*****
**                                     *                                     **
** Winkel *                           Gesamtverschiebung Delta (mm) * Mittelwert Delta**
**                                     *                                     **
*****
**                                     *                                     **
**      .00 *      .0400      .0400      .0200      .0200      .0200 *      .0280 **
** 15.00 *      .0200      .0447      .0721      .0400      .0400 *      .0434 **
** 30.00 *      .1523      .1616      .0721      .0632      .0721 *      .1043 **
** 45.00 *      .3239      .0894      .2631      .1265      .1265 *      .1859 **
** 60.00 *      .1649      .8016      .1456      .4817      .3225 *      .3832 **
** 75.00 *      .8010      .9209      .2010      .6412      .1000 *      .5328 **
** 90.00 *      .2400      .7000      .0300      .3800      .0400 *      .2780 **
**                                     *                                     **
*****
*****

```



Tabelle 39 : Ergebnisse REIHE II.3

\*\*\*\*\*

```

*****
*****
**                               *                               **
** Winkel *                               *                               **
**                               *                               **
*****
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
**                               *                               **
*****
*****

```

Winkel	0000	0400	0400	0200	0400	Mittelwert Delta
00	.0000	.0400	.0400	.0200	.0400	.0280
15.00	.0224	.0300	.0200	.0316	.0200	.0248
30.00	.0141	.0000	.0721	.0316	.0200	.0276
45.00	.0447	.0400	.0200	.0200	.0283	.0306
60.00	.0632	.0412	.0100	.0566	.0000	.0428
75.00	.0608	.0400	.1612	.0400	.0800	.0764
90.00	.0800	.0800	.1200	.0400	.0800	.0800

Tabelle 40: Ergebnisse REIHE II.5

\*\*\*\*\*

*****										
*****										
**	+						*	**		
** Winkel	+	Gesamtverschiebung Delta (mm)					*Mittelwert Delta**			
**	+						*	**		
*****										
**	+						*	**		
**	00	+	.0000	.0200	.0000	.0000	.0100	*	.0060	**
**	15.00	+	.0447	.0200	.0100	.0141	.0200	*	.0218	**
**	30.00	+	.0283	.0000	.0400	.0447	.0100	*	.0246	**
**	45.00	+	.0100	.0447	.0825	.0100	.0412	*	.0377	**
**	60.00	+	.0447	.0361	.0200	.0100	.0283	*	.0278	**
**	75.00	+	.0539	.0200	.0000	.0283	.0283	*	.0261	**
**	90.00	+	.1200	.0200	.0000	.0200	.0000	*	.0550	**
**	+						*	**		
*****										
*****										

Tabelle 41: Ergebnisse REIHC II.5

\*\*\*\*\*

```

*****
*****
**      *
** Winkel *
**      *
*****
**      *
**      *
**      *
**      *
**      *
**      *
**      *
**      *
**      *
**      *
**      *
**      *
*****
*****

```

Winkel	Gesamtverschiebung Delta (mm)						Mittelwert Delta
	.0000	.0000	.0000	.0200	.0200	.0080	
15.00	.0400	.0000	.0200	.0200	.0200	.0200	
30.00	.0100	.0100	.0200	.0283	.0000	.0137	
45.00	.0100	.0100	.0141	.0224	.0000	.0113	
60.00	.0100	.0806	.0539	.0283	.0224	.0390	
75.00	.0141	.0400	.0400	.0224	.0200	.0273	
90.00	.0600	.0200	.0100	.0400	.0600	.0380	

Tabelle 42: Ergebnisse REIHC II.6

\*\*\*\*\*

```

*****
**                                     *                                     **
** Winkel *                           Gesamtverschiebung Delta (mm) *                           *Mittelwert Delta**
**                                     *                                     *                                     **
*****
**                                     *                                     *                                     **
** .00 * .0600 .1000 .0400 .0800 .0400 * .0640 **
** 15.00 * .0894 .1342 .0447 .0566 .0400 * .0730 **
** 30.00 * .1649 .1789 .0566 .0894 .0894 * .1159 **
** 45.00 * .1649 .2912 .0447 .2828 .1456 * .1859 **
** 60.00 * .1612 .7424 .0500 .3214 .1600 * .2870 **
** 75.00 * .0400 .8000 .1200 .3206 .2400 * .3041 **
** 90.00 * .0400 1.1600 .1600 .4000 .3200 * .4160 **
**                                     *                                     *                                     **
*****

```

Tabelle 43: Ergebnisse REIHE II.7

\*\*\*\*\*

```

*****
*****
**      *
** Winkel *
**      *
*****
**      *
**      *
**      *
**      *
**      *
**      *
**      *
**      *
**      *
**      *
**      *
**      *
**      *
*****
*****

```

Winkel	Gesamtverschiebung Delta (mm)						Mittelwert Delta
00	.0800	.0800	.0600	.0800	.0600	.0720	
15.00	.1000	.1345	.0400	.1131	.0825	.0940	
30.00	.1000	.2778	.0721	.3105	.0600	.1641	
45.00	.2864	.3711	.2377	.4948	.6873	.4154	
60.00	.3059	.8105	.3239	.8857	.3622	.5376	
75.00	.8809	.8239	.3622	1.1607	.7603	.7976	
90.00	.3200	.8000	.3000	.6800	.7600	.5720	

Tabelle 44: Ergebnisse REIHE II.8

\*\*\*\*\*

```

*****
*****
**                               *                               **
** Winkel                         *   Gesamtverschiebung Delta (mm)   *   *Mittelwert Delta**
**                               *                               *                               **
*****
**                               *                               *                               **
**                               *                               *                               **
**      .00 *   .2200   .1800   .1200   .1600   .0000 *   .1700   **
**     15.00 *   .2683   .1649   .2088   .1789   .2088 *   .2060   **
**     30.00 *   .4561   .3441   .2884   .3688   .2561 *   .3427   **
**     45.00 *   .5367   .5250   .5727   .6908   .7473 *   .6145   **
**     60.00 *   1.4277   1.0072   .8459   .6905   .9476 *   .9838   **
**     75.00 *   1.0032   1.6031   1.2825   1.2027   1.6444 *   1.3472   **
**     90.00 *   1.9200   1.6400   1.0800   1.6000   .7200 *   1.3920   **
**                               *                               *                               **
*****
*****

```

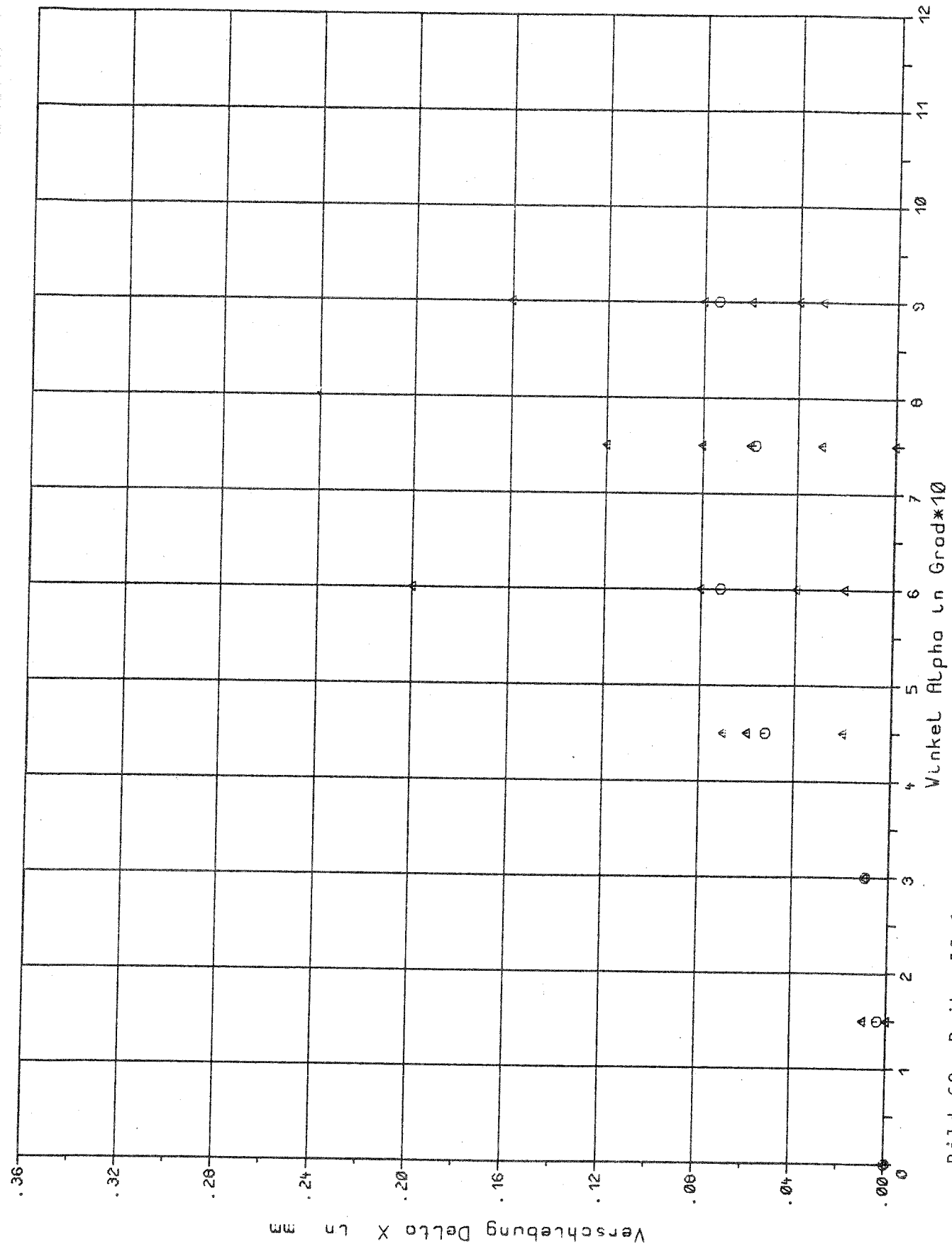


Bild 69: Reihe II.1

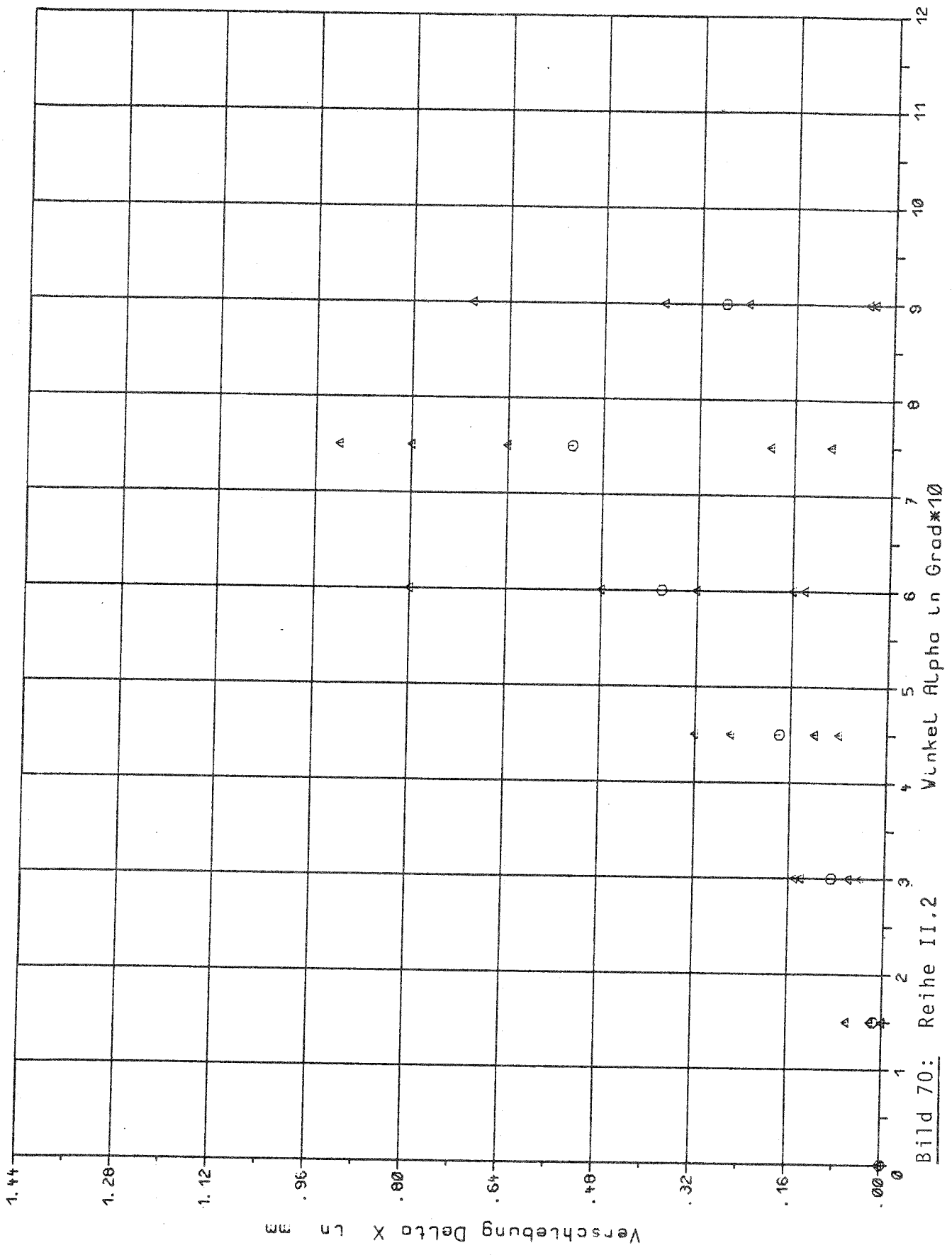


Bild 70: Reihe II.2



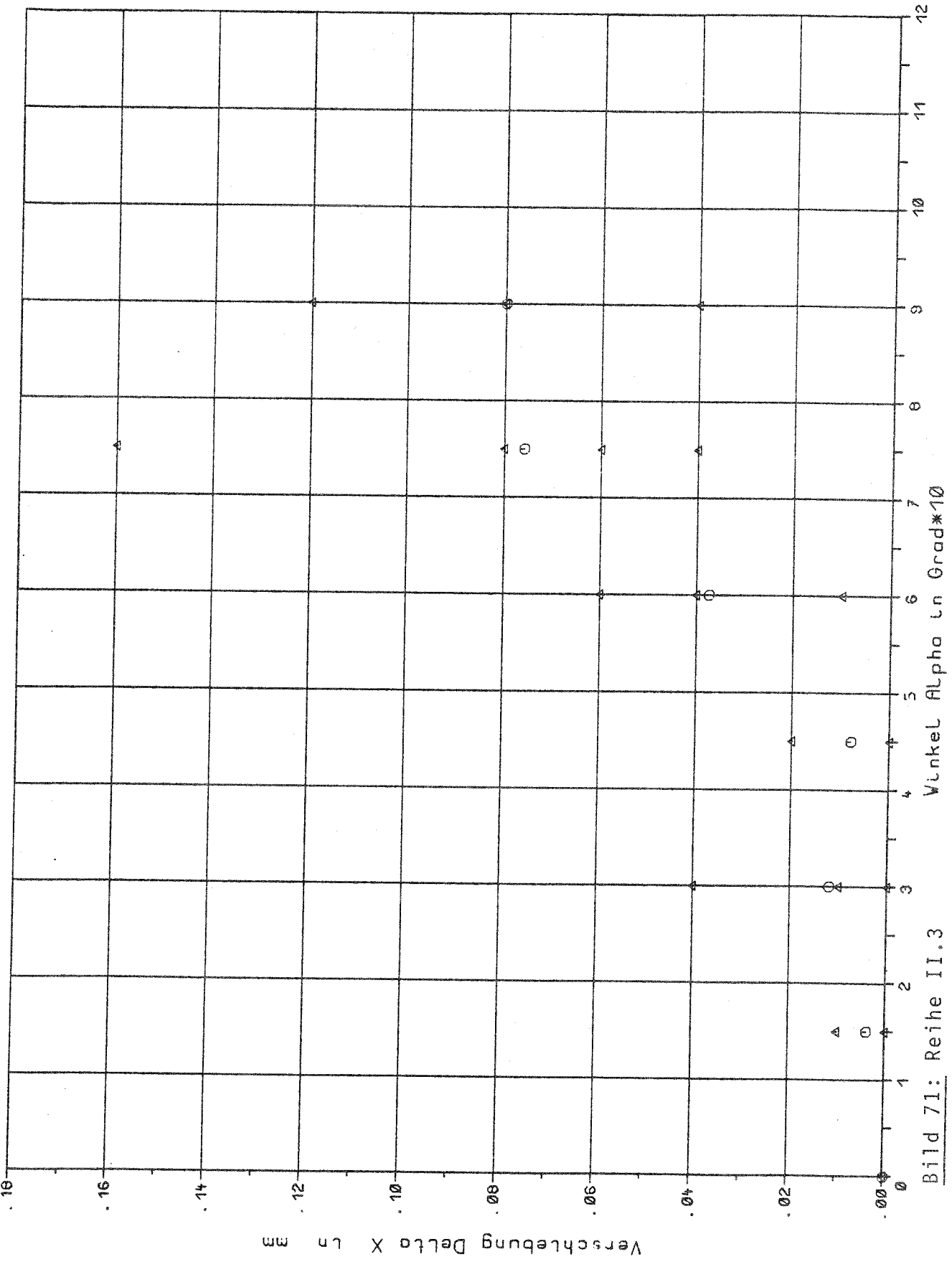


Bild 71: Reihe II.3

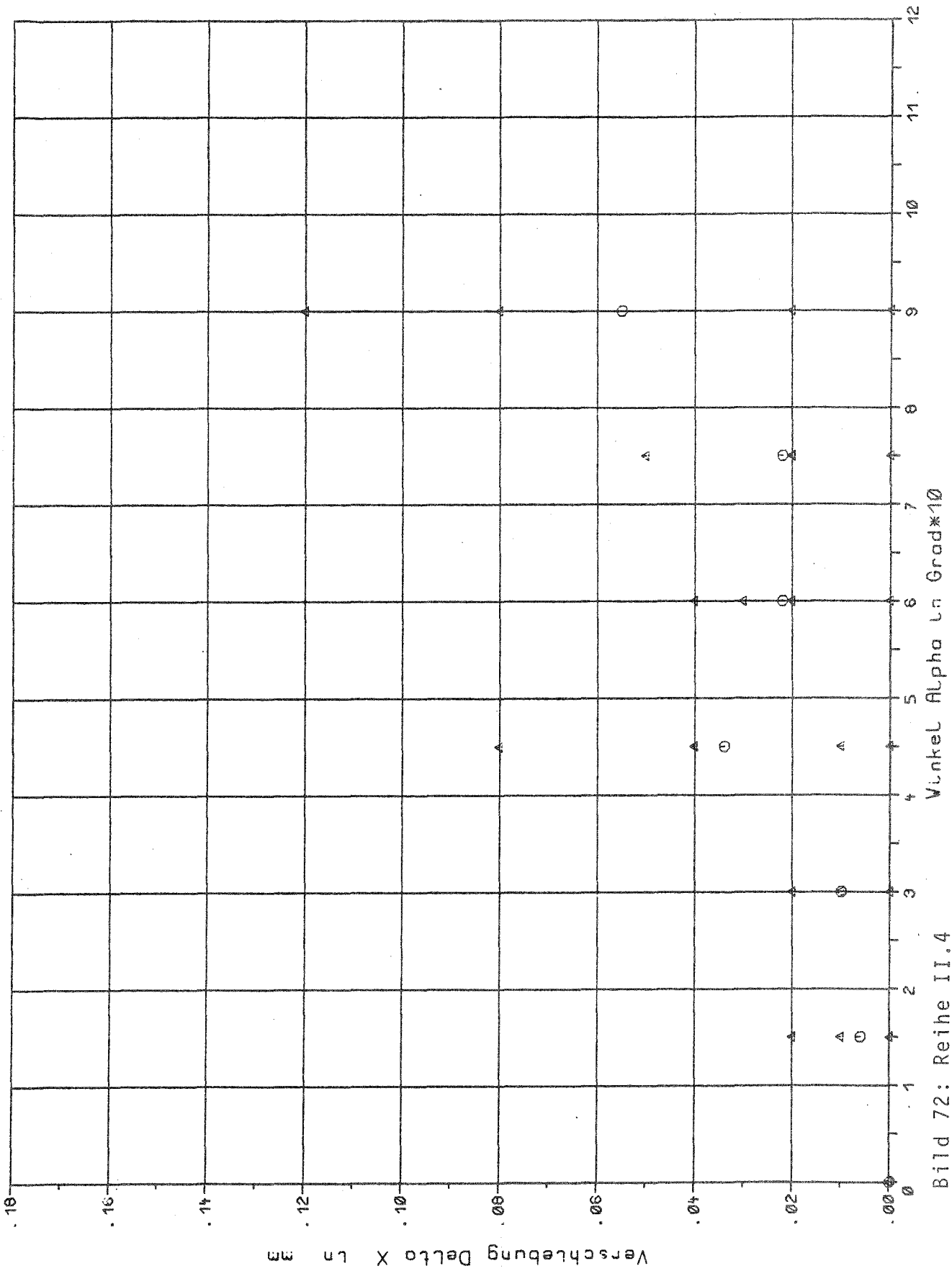


Bild 72: Reihe II.4

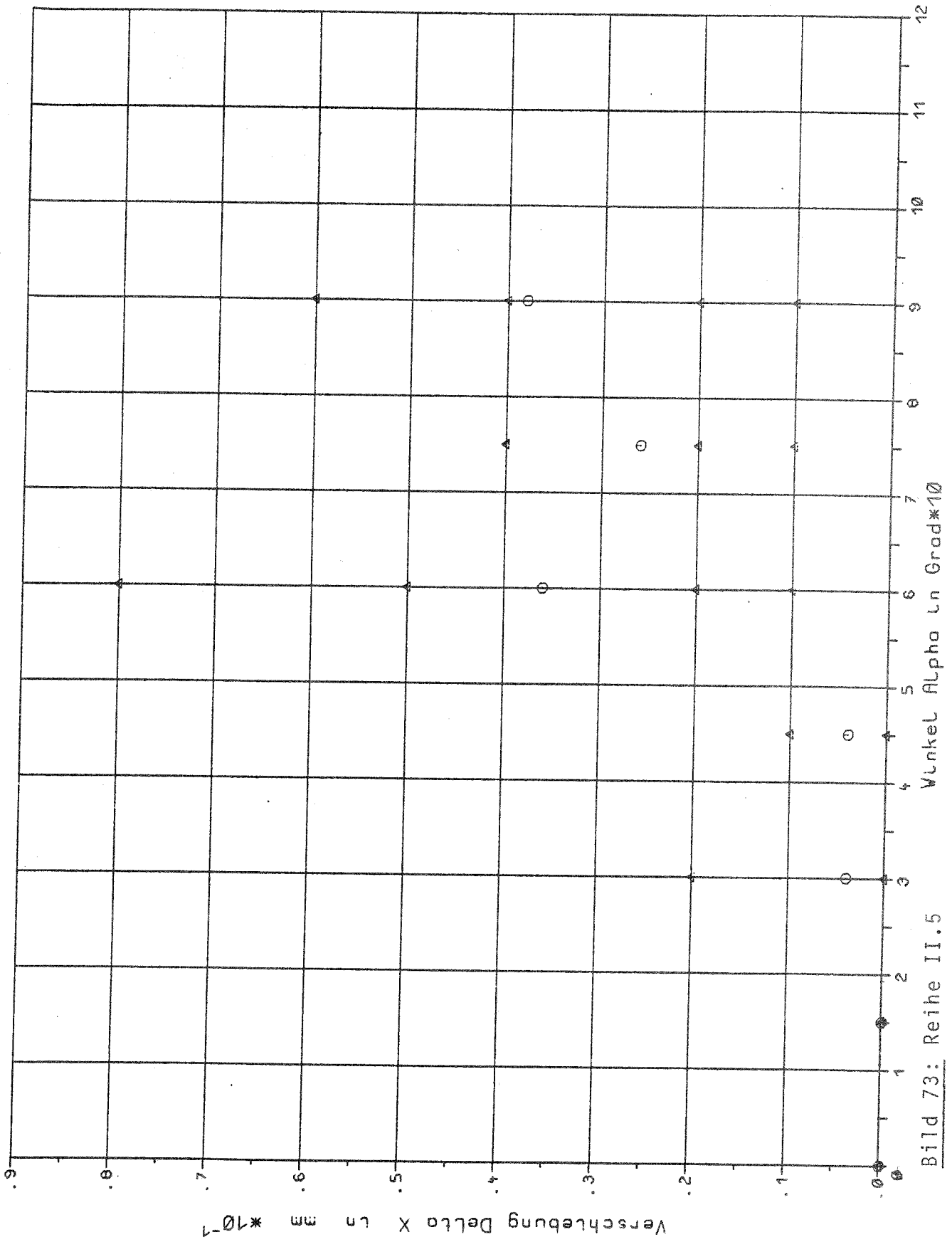


Bild 73: Reihe II.5

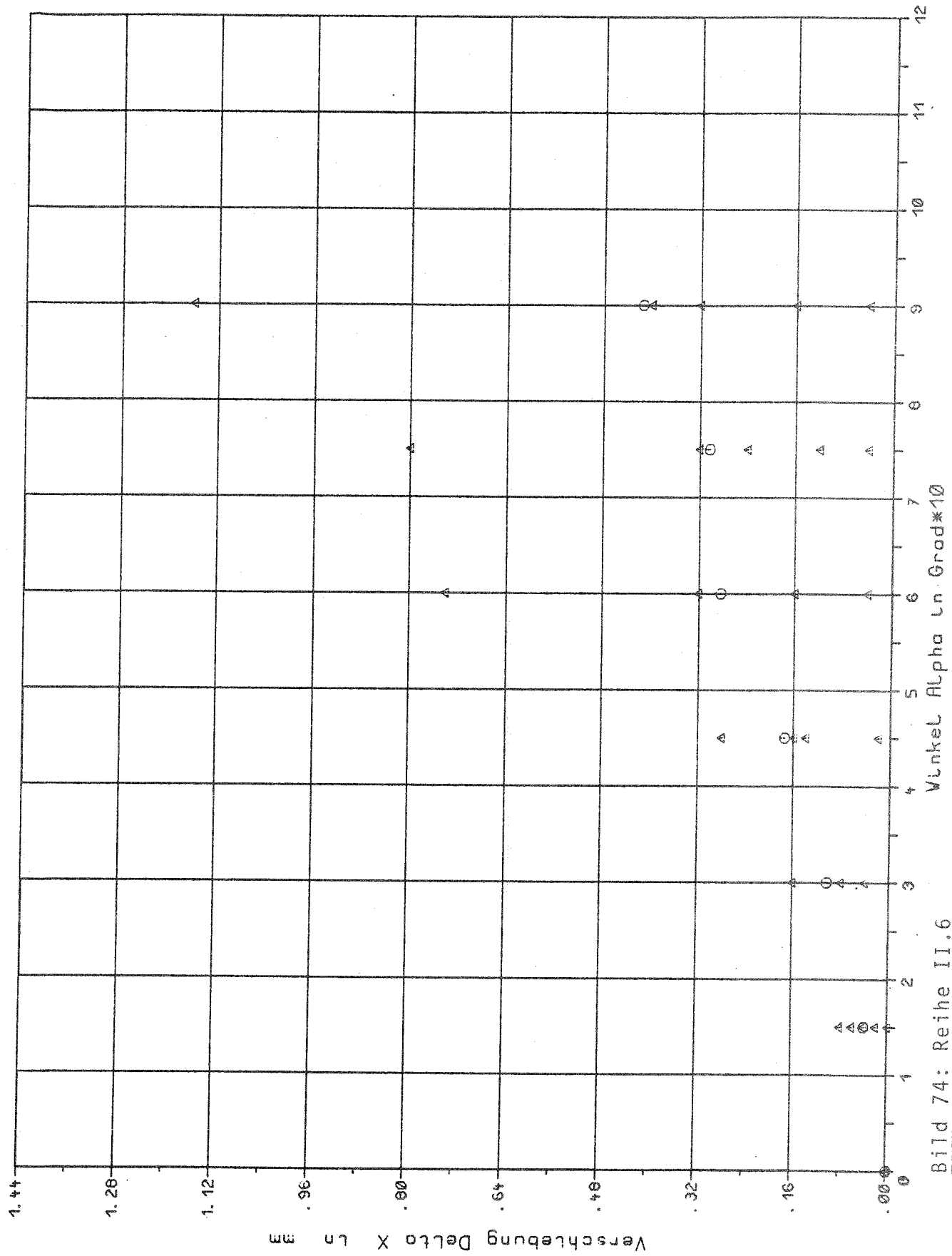


Bild 74: Reihe II.6

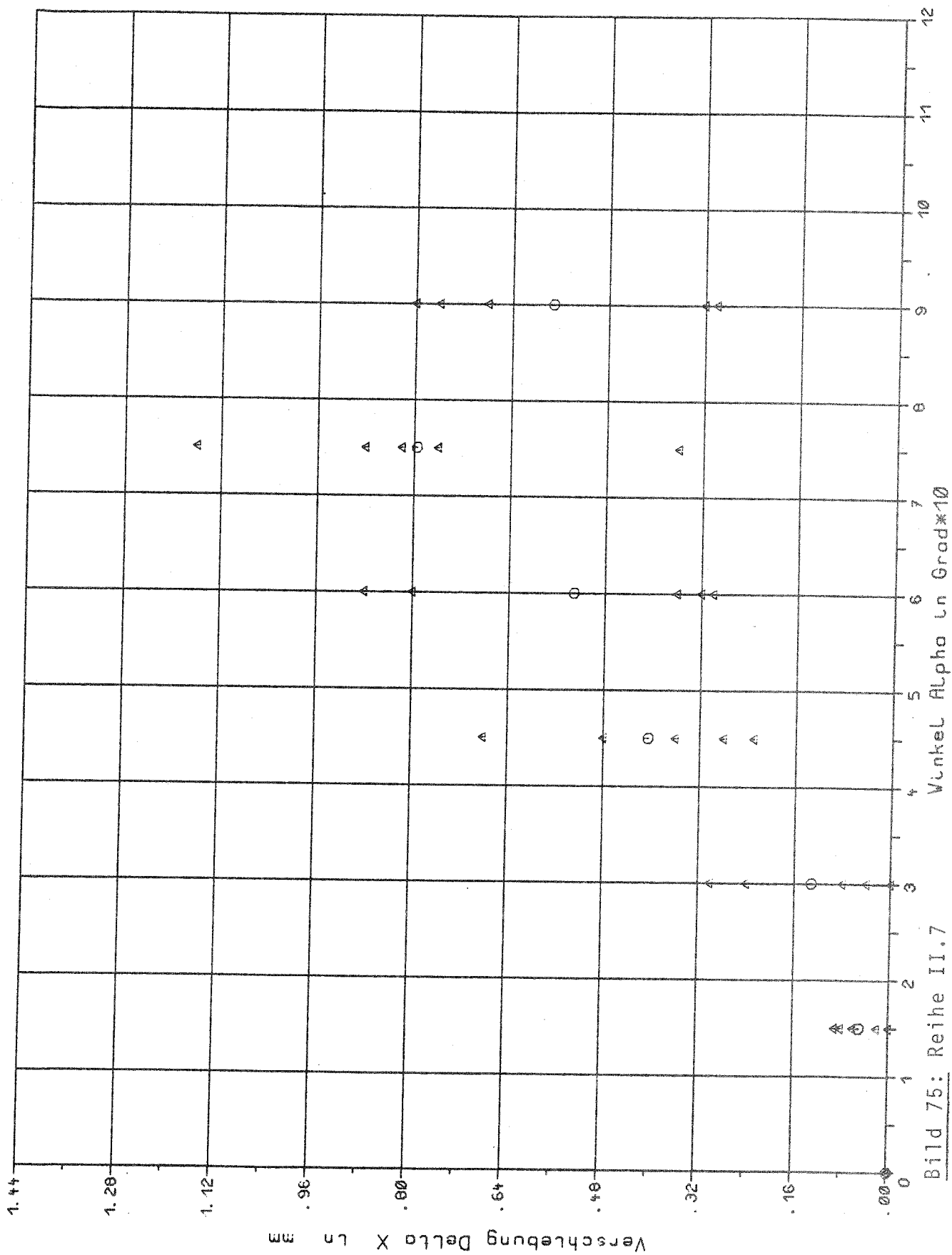


Bild 75: Reihe II.7

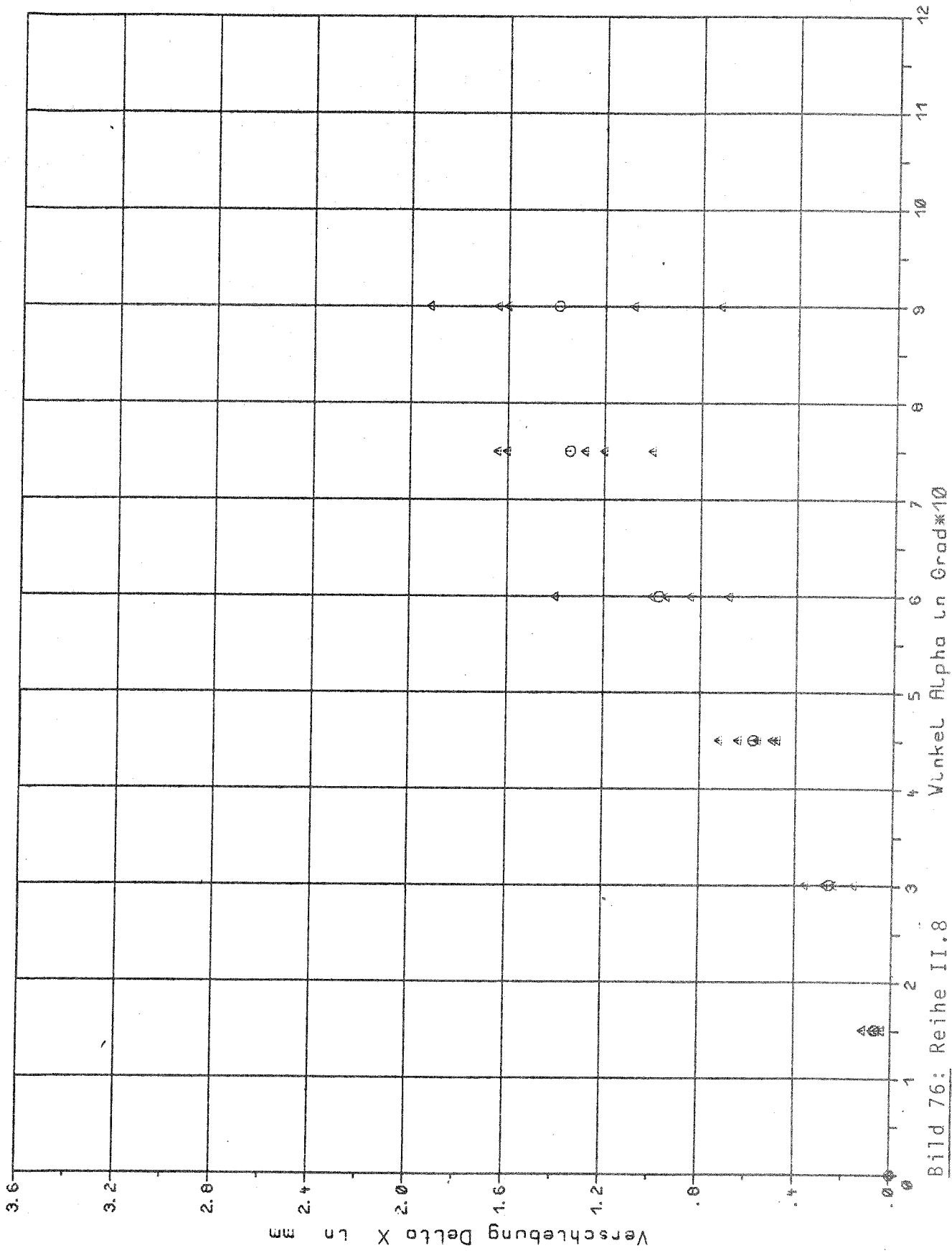


Bild 76: Reihe II.8

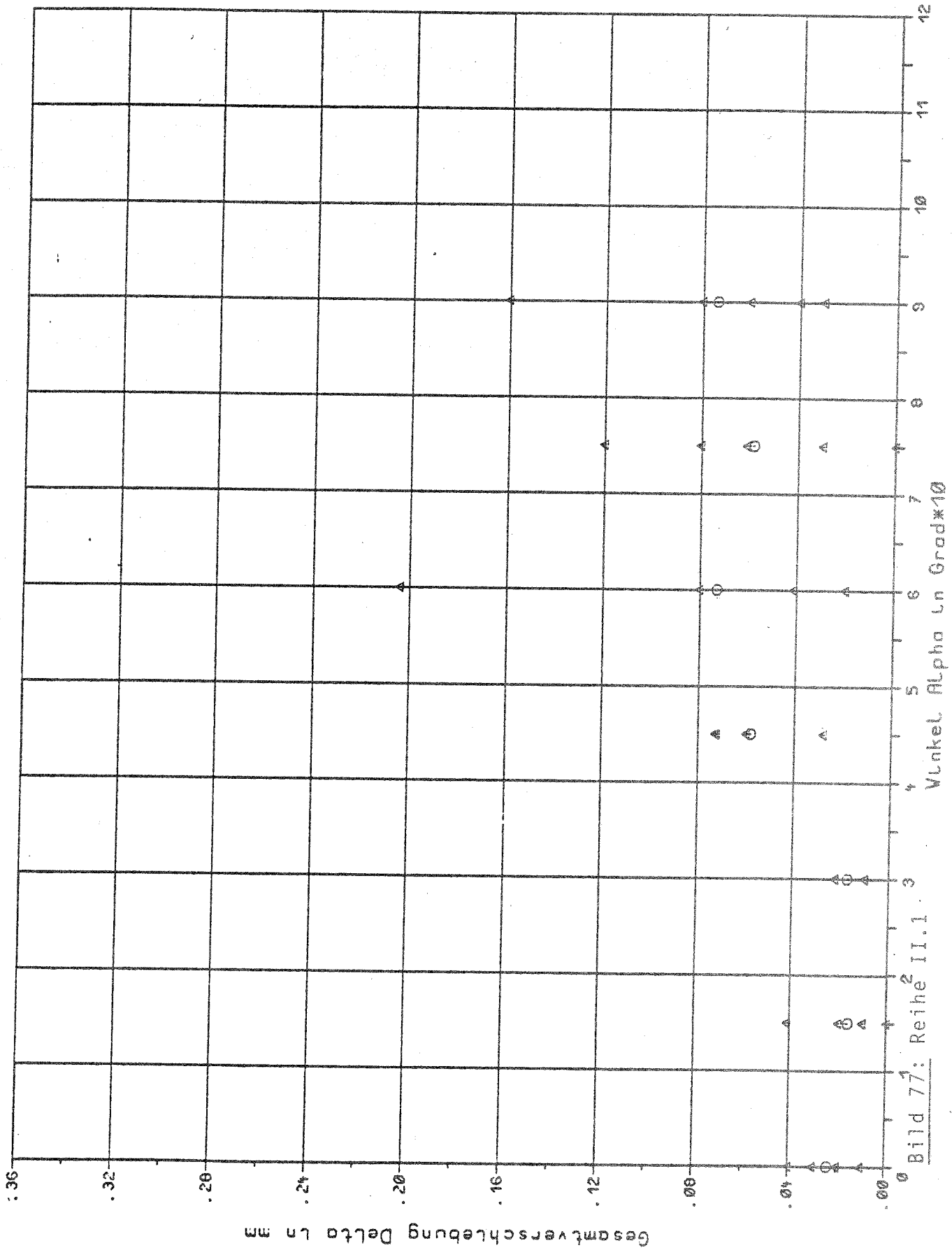


Bild 77: Reihe II.1.3

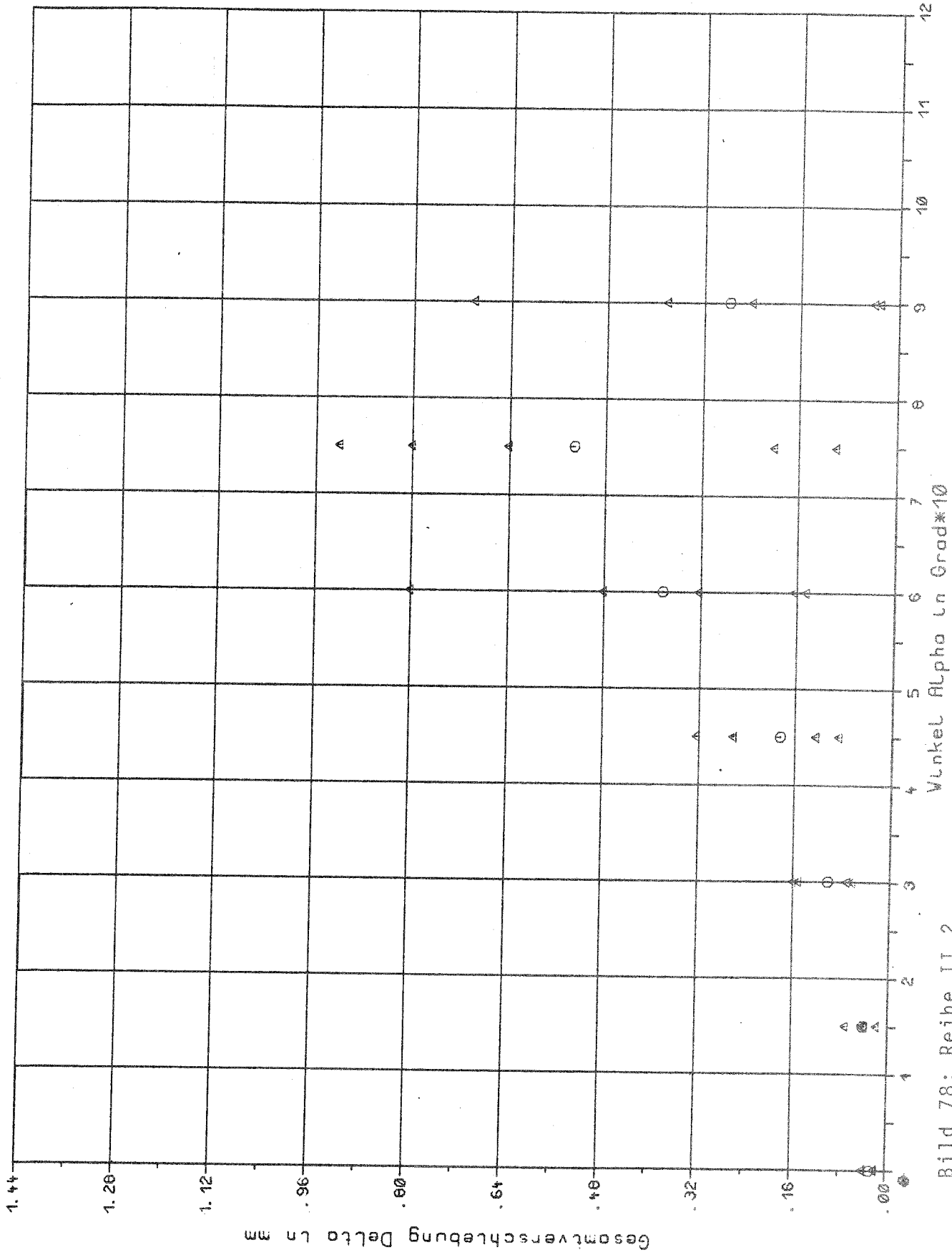
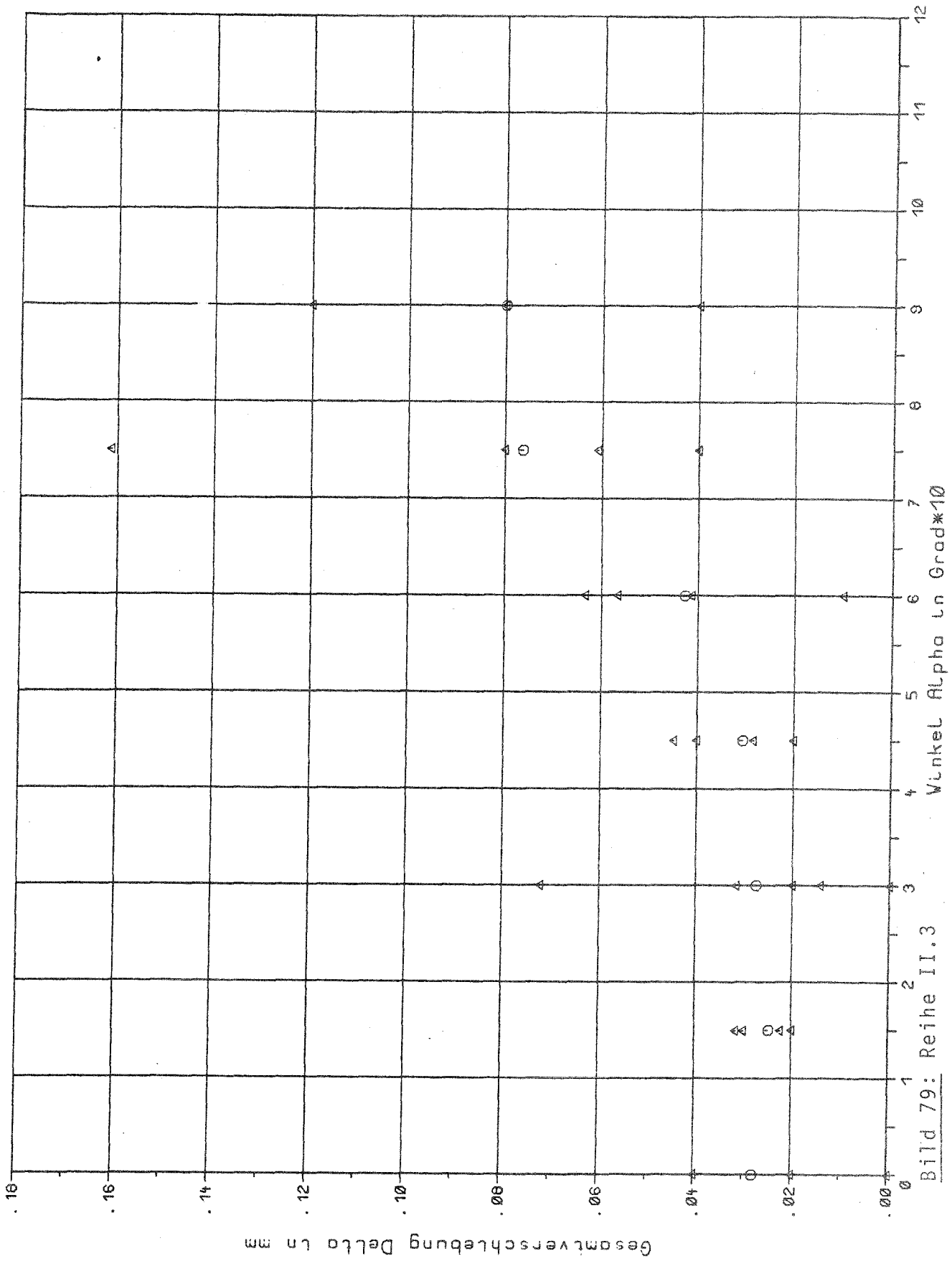


Bild 78: Reihe II.2





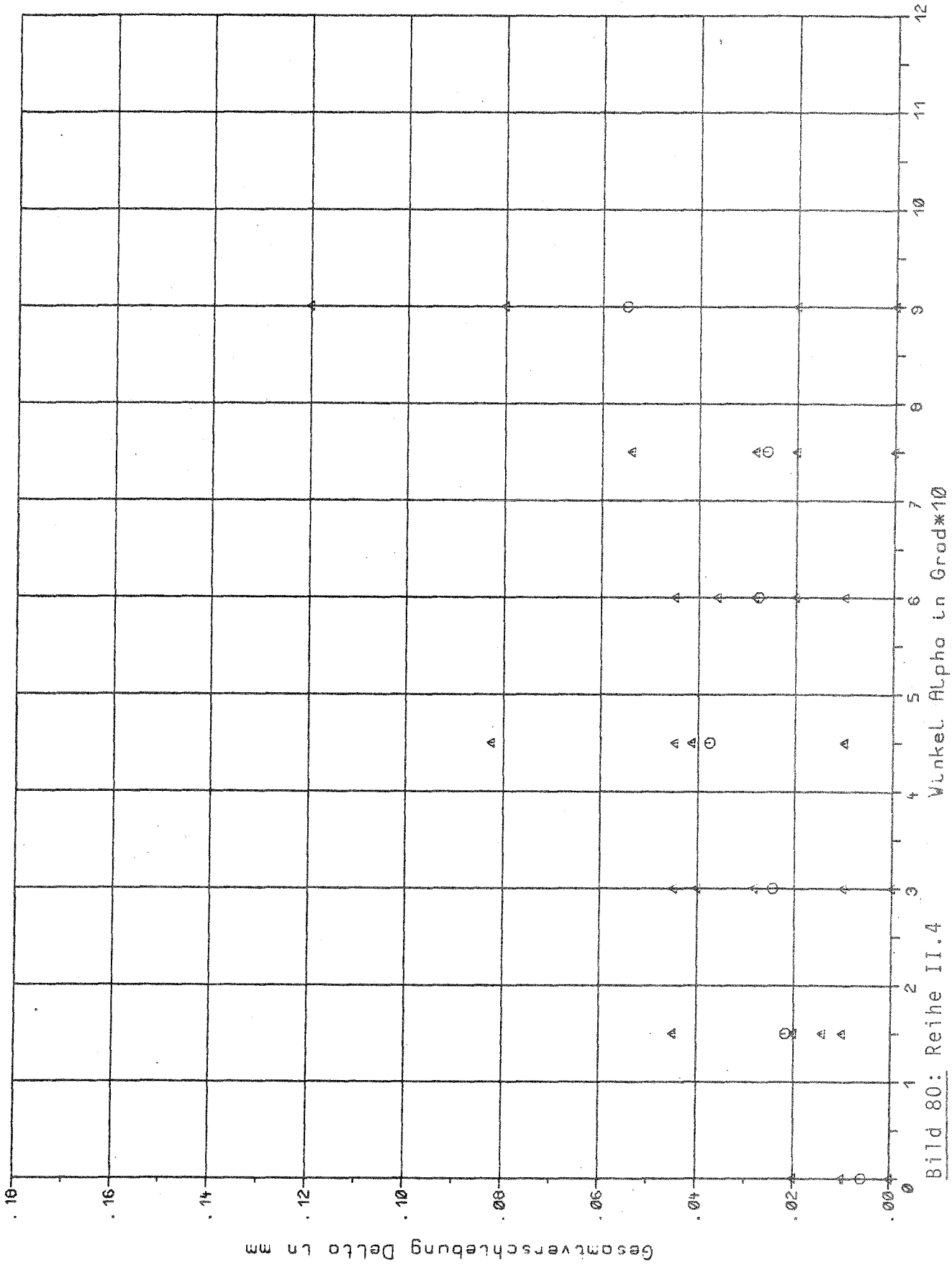


Bild 80: Reihe II.4

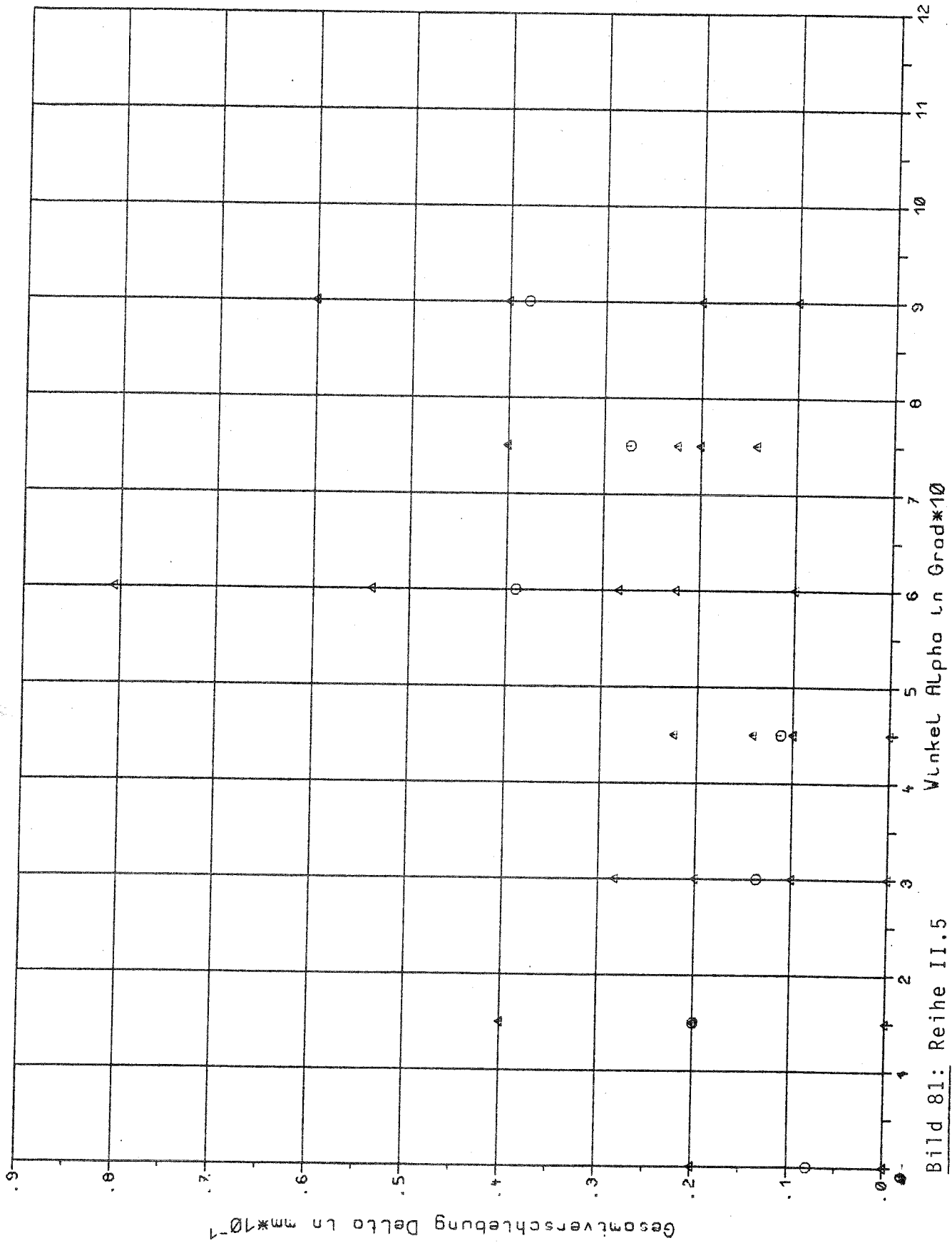


Bild 81: Reihe II.5

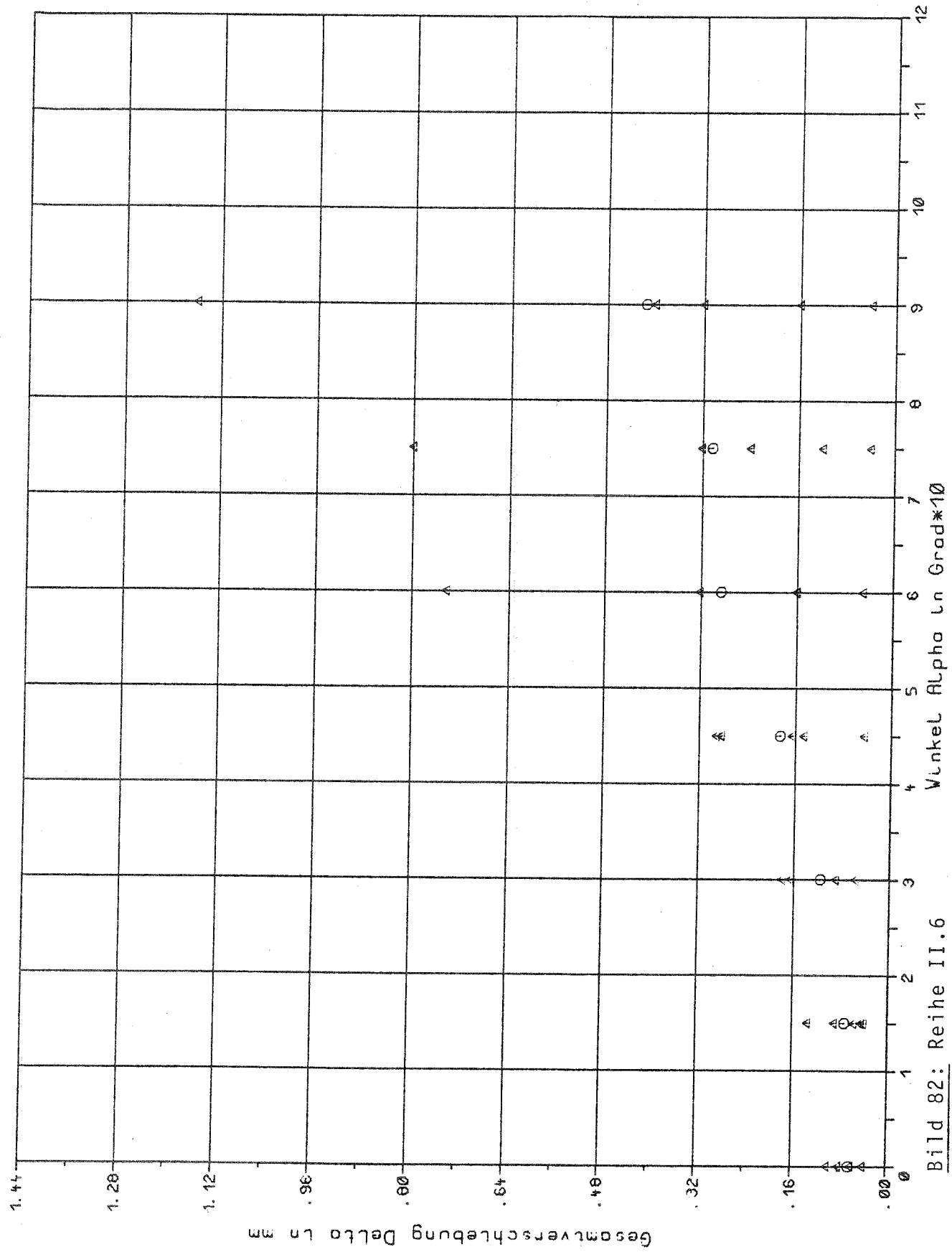


Bild 82: Reihe II.6

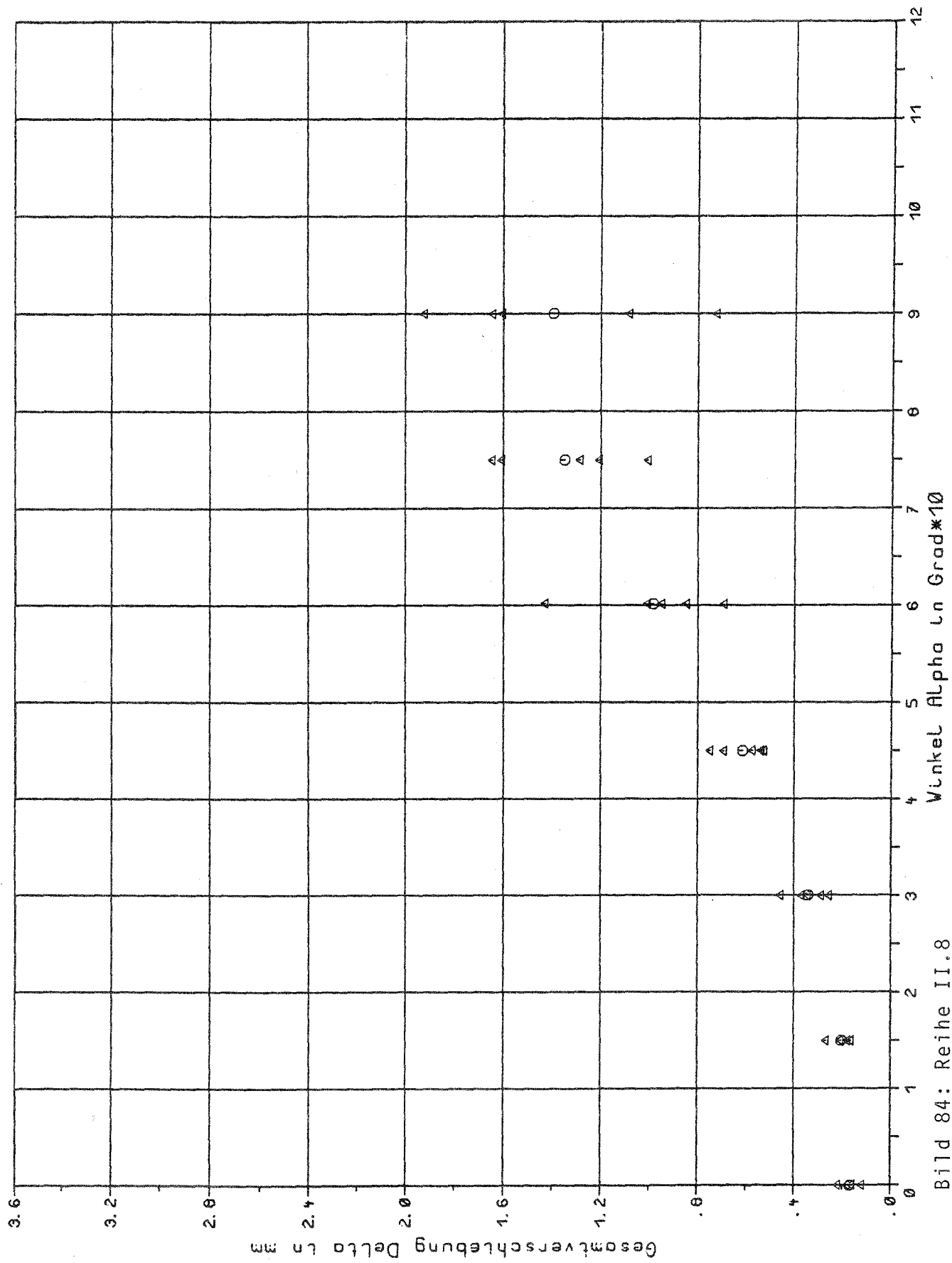


Bild 84: Reihe II.8