

Interner Bericht
DESY F1-72/6
Oktober 1972

DESY Bibliothek
7.10.72

Die Magnetfeldmessung am Streamerkammermagneten

von
Helmut Dau

Zusammenfassung:

In dieser Arbeit wird die Messung des Magneteten beschrieben, in den die DESY - Streamerkammer eingebaut ist. Auf Fehlerquellen wird hingewiesen und die Fehler werden abgeschätzt . Im Anhang werden technische Details der Datennahme und Verarbeitung beschrieben.

Der Magnet

In Abb. 1 ist der Magnet in seinen äußeren Abmessungen dargestellt. Er besteht aus zwei Spulen, die bei 5300 A ein Magnetfeld von etwa 18 kG erzeugen. Die Spulen werden von den zwei Hälften des rechteckigen Eisenjoches getragen, das für die Rückführung des magnetischen Flusses sorgt. Die rechteckigen Öffnungen in den Stirnflächen des Joches lassen sich mit einschraubbaren Eisensteinen variieren. Im Experiment tritt durch diese Öffnungen der Strahl hindurch (in Abb. 1 auf der X-Achse). Vor die eine seitliche ovale Öffnung wird die Kameraplatte geschraubt, durch die andere hindurch führen die Versorgungsleitungen für das Target (in Abb. 1 auf der Z-Achse). Der Raum, in dem der Gradient der Hauptkomponente $< 200 \text{ G/cm}$ ist, beträgt $108 \times 64 \times 60 \text{ cm}^3$. Das empfindliche Volumen der Streamerkammer nutzt von diesem Raum $100 \times 60 \times 48 \text{ cm}^3$ aus.

Die Messung

Im Magneten wurden drei Meßbereiche so ausgewählt, daß in ihnen das Feld entlang des Strahls (X-Achse) gemessen wurde.

1. der Bereich der Streamerkammer: ein Gebiet etwa symmetrisch um den Magnetmittelpunkt von der in Abb. 4 dargestellten Form mit den Schrittweiten $\Delta x = \Delta y = 6 \text{ cm}$, $\Delta z = 5 \text{ cm}$.
2. der Bereich des Magnetausganges (Abb. 5) mit den Schrittweiten $\Delta x = 5 \text{ cm}$, $\Delta y = \Delta z = 12 \text{ cm}$.
3. der Bereich des Magneteinganges (Abb. 6) mit den Schrittweiten $\Delta x = 10 \text{ cm}$, $\Delta y = 12 \text{ cm}$, $\Delta z = 6 \text{ cm}$.

Zum Messen der magnetischen Feldstärke wurde eine Dreikomponentenhallsonde benutzt. Diese Sonde besteht aus drei einzelnen Hallsonden, die zueinander rechtwinklig in Keramikmasse eingebettet sind. Diese Dreikomponentensonde wurde über eine Dreipunktverstellung in einer

Meßstange verschraubt. Die Meßstange wurde durch Schablonen (Abb.1a) bis zu einer vorgewählten Tiefe in das Magnetfeld eingeschoben und dadurch der Ort der Hallsonden festgelegt. Zwei Winkel der Sonde werden durch die Wahl des Loches in der Schablone bestimmt. Der dritte Winkel der räumlichen Lage wurde bestimmt, indem eine Wasserwaage an einen Würfel angelegt wurde, der an einem Stangenende angeschraubt war.

Die Meßgenauigkeit

A) Der Ort der Meßsonde

- 1.) relativ, zwischen je zwei Meßpunkten
- 2.) absolut, zwischen Meßpunkt und Magnet
- 3.) der Winkel zwischen Sonde und Magnet

B) Die Hallspannung

- 1.) die Ausdehnung der Hallproben
- 2.) der Nullwinkel
- 3.) die Komponentenzerlegung
- 4.) die Temperaturabhängigkeit

A) Bei der Bestimmung des Ortes der Meßsonde

1. In jedem der drei Meßbereiche werden die Abstände zwischen je zwei Meßpunkten so genau eingehalten, daß bei dem höchsten vorkommenden Gradienten (400 G) der Fehler unter 10 G bleibt (entsprechend 0.25 mm), wie die Meßreihen zeigen.
2. Der Ort der Sonde im Koordinatensystem des Magneten hat einen Fehler von 5 mm in jeder Richtung, bedingt durch die Fehler bei der Anbringung der Schablonen, sowie bei der Justierung der Hallsonde in der Meßstange. Etwa um diesen Betrag mußten die Meßbereiche verschoben werden, um die durch die Form des Magneten gegebenen Symmetriebedingungen zu erfüllen.
3. Die Einstellung eines Winkels der Sonde mit der Wasserwaage (wie oben beschrieben), verursacht eine Abweichung von 2 mrad zwischen dem Koordinatensystem

des Magneten und dem der Sonde.

B) Der Einfluß der Hallprobe auf die Genauigkeit

1. die Ausdehnung der Hallproben

Die drei Hallproben haben eine Ausdehnung von je $4 \times 4 \text{ mm}^2$. Durch sie wird in einem inhomogenen Feld ein Wert

$$B = \frac{\int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} B(x,y) dx dy}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}$$

gemessen, wobei x_1, y_1 und x_2, y_2 Anfangs- bzw. Endpunkte der Sonde sind. Sei x_0, y_0 die Sondenmitte, so gilt für diese Sonde ($x_2 - x_1 = 4 \text{ mm} = y_2 - y_1$) für den Wert B in einem inhomogenen Feld

$$B = B(x_0, y_0) + \frac{2}{300} \left[\frac{\partial^2 B(x_0, y_0)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 B(x_0, y_0)}{\partial y^2} \right]$$

unter Vernachlässigung höherer Ableitungen. Bei einem maximalen Wert von 10 G/cm^2 für $\frac{\partial^2 B}{\partial x^2}$, $\frac{\partial^2 B}{\partial y^2}$ ist $|B - B(x_0, y_0)|$ maximal 0.2 G .

2. die Bestimmung des Nullwinkels ¹⁾

Die Winkeljustierung der Sonde (d.h. das Ausrichten des Koordinatensystems der Sonde auf das des Magneten) wurde durch Sondenumschlag vorgenommen, weil bei diesem Verfahren der Feldverlauf nicht bekannt zu sein braucht. Wie aus Abb. 7 ersichtlich, sollte die Hallspannung bei Sondenumschlag genau dann dem Betrage nach gleich bleiben und nur ihr Vorzeichen wechseln, wenn $\phi = 0^\circ$. Jedoch tritt auch bei $B=0$ an der Sonde eine Spannung auf (ohmsche Nullkomponente der Hallspannung, Abb. 8). Sie liegt für einen Steuerstrom von 100 mA bei 0.2 mV .

Der Winkel der Hallsonde zum Magnetfeld, für den die Hallspannung gleich ihrer ohmschen Nullkomponente wird (Nullwinkel ϕ_0), ist von der Feldstärke abhängig. Ein typischer Verlauf des Nullwinkels in Abhängigkeit von der Feldstärke ist in Abb. 9 dargestellt. An der Stelle im Magneten, wo die Winkeljustierung vorgenommen wurde, war die Feldstärke etwa 18 kG ,

sodaß durch den Sondenumschlag die Nullwinkel einen Fehler von je 2 mrad bekamen, das entspricht in dieser Meßanordnung einem Fehler in der Hallspannung U_H von 1.2 mV. Die Sonden wurden so justiert, daß die Werte für $|U_H(0^\circ) - U_H(180^\circ)|$ bei 1.1 mV, 1.6 mV und 1.1 mV für die drei Sonden lagen.

3. Fehler bei der Komponentenzerlegung des Feldes

Es wird erwartet, daß, falls das Feld die Hallsonde im Winkel ϕ durchschneidet, für die Hallspannung gilt: $U_H = \text{const.} \cdot B \cdot \sin \phi$. Für Winkel $< 40^\circ$ tritt jedoch ein feldstärkeabhängiger Fehler von U_H auf. In Abb. 10 ist der Fehler als Funktion des Winkels dargestellt. Im Kammerbereich liegen die Winkel, unter denen die Feldlinien die Sonden schneiden, die die NebenkompONENTEN messen, zwischen 0° und 10° . Hieraus resultiert ein Fehler von etwa 5% für die NebenkompONENTEN.

4. die Temperaturabhängigkeit 2)

Die Temperaturkonstante des Halbleitermaterials der Hallsonde liegt im Bereich unter 100°C bei $0.03\ \%/^\circ\text{C}$. Durch eine Kompensationsschaltung für die X- und Z-Sonde ist der Koeffizient für diese beiden Sonden $< 10^{-4}/^\circ\text{C}$. Bei einem angenommenen Δt von 6°C über die Meßdauer liegt der Fehler bei 0.1% für die Y-Sonde und bei 0.03% für die X- und Z-Sonden.

Tabelle der Fehler der Feldstärkewerte

Grund	absolut			relativ			im Bereich
	B _x	B _y	B _z	B _x	B _y	B _z	
Position .5 cm	10 G	15 G	35 G				-25<X<25cm
Winkel 2 mrad	35 G	35 G	<1 G				
Komp.Zerl.				5%	5%	<1%	
gesamt	36 G	38 G	35 G	5%	5%	<1%	
Position	15 G	15 G	40 G				-50<X<-25cm 25<X<50cm
gesamt	38 G	38 G	40 G	5%	5%	<1%	
Position	25 G	25 G	100 G				-200<X<-50cm 50<X<200cm
Winkel	10 G	10 G	5 G				
Komp.Zerl.				1%	1%	1%	
gesamt	27 G	27 G	100 G	1%	1%	1%	

Der Fehler auf Grund der "Position" errechnet sich aus dem Fehler von 5 mm für den Ort und dem Gradienten der Feldkomponente in dem betreffenden Bereich.

Der Fehler in den Feldwerten, den die 2 mrad Fehler im Winkel verursachen, entsteht durch Messen eines Anteils derjenigen Feldkomponenten, die die betreffende Sonde nicht messen soll. Er hängt also von der Größe der beiden nicht zu messenden Komponenten in dem betreffenden Bereich ab.

Für die Komponentenzzerlegung läßt sich nur ein relativer Fehler angeben, der davon abhängt, unter welchem Winkel das Feld die Sonden in dem betreffenden Bereich

schneidet.

Feld-Unterprogramme zur Verwendung in Programmen zur Spurrekonstruktion

An die Daten aus dem Meßbereich, der den Bereich der Streamerkammer (Abb.4) umfaßt, wurden nach der Methode der kleinsten Quadrate Polynome angepaßt, die die Maxwell'schen Gleichungen erfüllen. Von den 2067 Meßpunkten wurden die in dem Bereich der Streamerkammer liegenden 1749 für das Anpassungsverfahren mit 25 Parametern herangezogen. ³⁾ Für diese 1749 Punkte ergeben sich folgende mittleren Differenzen zu den gemessenen Punkten:

$$\Delta B_x = 33 \text{ G} , \Delta B_y = 58 \text{ G} \quad \text{und} \quad \Delta B_z = 39 \text{ G} .$$

Für alle 2067 Punkte ergeben sich folgende Differenzen:

$$\Delta B_x = 47 \text{ G} , \Delta B_y = 71 \text{ G} \quad \text{und} \quad \Delta B_z = 95 \text{ G} .$$

Da diese Differenzen groß erschienen, wurde ein zweites Programm geschrieben, das linear interpoliert unter optimaler Wahl der vier Meßpunkte, die zur Interpolation herangezogen werden. Das bedeutet, daß man an jedem Meßpunkt von diesem Unterprogramm den gemessenen Wert erhält. Für den inneren Bereich, für den das Anpassungsverfahren durchgeführt wurde, wurde das Interpolationsprogramm mit dem Polynomprogramm verglichen, um ein Maß für die Güte des Interpolationsprogrammes zu erhalten. Dazu wurden die Punkte in X, Y und Z so gewählt, daß sie immer genau zwischen zwei Meßpunkten lagen. Die mittleren Differenzen ergaben sich zu:

$$\Delta B_x = 26 \text{ G} , \Delta B_y = 41 \text{ G} \quad \text{und} \quad \Delta B_z = 28 \text{ G} .$$

Die bei diesem Verfahren ermittelten Fehler sind kleiner als die, die das Polynomprogramm ohnehin schon macht, sodaß sich für das Interpolationsverfahren nur aussagen läßt, daß es an den ungünstigsten Punkten besser ist als die oben angeführten Werte.

In das Feld-Unterprogramm, das mit der Interpolation arbeitet, sind die Messungen aus den beiden anderen

Bereichen des Magneten angefügt.

Ein Aufruf des Feldunterprogrammes dauert etwa 1.3 msec (Polynomverfahren) bzw. 0.4 msec (Interpolationsverfahren).

Anhang :

Die Meßdatennahme, ihre Verarbeitung und ihre Bereitstellung

Die Hallspannungen wurden von einem Digital-Voltmeter gemessen und von einem Kleinrechner PDP 8 eingelesen, nachdem von einem Fernschreiber der Einlesebefehl gegeben war. Die eingelesenen Werte wurden auf DEC - Bändern gespeichert und konnten von einem PDP - Programm auf dem Monitor in Histogrammform dargestellt werden, um Unstetigkeiten durch falsche Meßwertnahme sofort nach Beendigung der Meßreihe beheben zu können. Nach Ende der Datennahme wurden alle Werte nach dem bei DESY üblichen Verfahren auf Magnetbänder der IBM - Rechenanlage übertragen. Die Nummern der Koordinaten, die während der Messung von dem PDP - Programm generiert wurden, wurden in Koordinatenwerte (in cm) und die Hallspannungen unter Verwendung einer Tabelle von Eichwerten in Feldstärkewerte (in Gauß) umgerechnet. Die Feldkarte wurde auf einer Magnetplatte gespeichert, wobei zu jedem Punkt in der Feldkarte sechs Werte gehörten: X-Y-Z-Koordinate, X-Y-Z-Komponente des Feldes. Unter Verwendung dieses Datensatzes, wurde an die Daten das oben erwähnte Polynom angepaßt. Zum Zwecke der Interpolation wurden die Datensätze komprimiert, indem die Koordinatenwerte entfernt wurden und die Komponenten als Festkommazahlen in einem 16-Bit-Halbwort gespeichert wurden. Um einen einfachen Aufruf des Interpolationsprogrammes zu ermöglichen, wurde dem Programm der Datensatz als benannter COMMON - Block zugänglich gemacht. Dies ist nicht über einen DATA - Befehl noch über ein BLOCK DATA Unterprogramm möglich, da das Fortran Übersetzungsprogramm lediglich 4096 Bytes (=maximales Displacement im System IBM /360) = 2048 Werte über DATA Befehle zu speichern vermag. Es wurde eine Assembler CONTROL SECTION desselben Namens wie der COMMON Block erzeugt, die sämtliche Werte als Konstan-

ten enthält.

Der Kartenstapel, der die CONTROL SECTION enthält wurde von folgendem Fortran Programm geschrieben:

```
      INTEGER*2 I(2067),DUMMY(3)
      Einlesen der Werte, Umformen und in den Vektor "I"
      bringen
      WRITE(7,1)
      WRITE(7,2)I,DUMMY
      WRITE(7,3)
      STOP
1  FORMAT('10X,'ICTL 1,80'/'Name CSECT'/' DS OH')
2  FORMAT(' DC X''',18Z4,''')
3  FORMAT(' END')
      END
//GO.FTO7FOO1 DD SYSOUT=B
```

Da auf jede Assembler Karte von dem Programm 18 Werte geschrieben werden, muß der auszudruckende Vektor eine Länge haben, die durch 18 teilbar ist. Im obigen Programm ist zu diesem Zweck DUMMY(3) angefügt.

Der so erhaltene Kartenstapel enthält in komprimierter Form (6 Punkte pro Karte) die Feldmeßwerte. Das Assembler Programm wird zusammen mit dem Interpolationsprogramm unter einem Mitgliedsnamen in eine Programmbibliothek gebracht, sodaß bei Aufruf des Interpolationsprogrammes dieses und der dazugehörige Datensatz zur Verfügung stehen. Ein anderes Programm vermag, wenn man ihm die betreffenden COMMON Blöcke zugänglich macht, zu den Feldwerten die entsprechenden Koordinaten zu errechnen, sodaß auf diese Weise der Originaldatensatz wiederhergestellt werden kann.

Die Interpolation

Zur Interpolation wird die Formel

$$f(\xi) \approx f(x_1) + \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} (\xi - x_1) \quad \text{benutzt.}$$

Der Fehler, der dabei gemacht wird, ist an dem Punkt ξ

$$F = f(x_1) + \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} (\xi - x_1) - f(x_1) - \frac{d}{dx} f(x_1) (\xi - x_1) - \frac{d^2}{dx^2} f(x_1) (\xi - x_1)^2 \dots$$

Dieser Ausdruck wird 0 für I.) $\xi = x_1$

II.) für alle $x_1 < \xi < x_2$, falls $f^{(n)} = 0$ für alle $n=2,3,\dots$

und

III.) $\xi = x_2$, denn

$$F = f(x_1) + \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} (x_2 - x_1) - f(x_1) - \frac{d}{dx} f(x_1) (x_2 - x_1) - \frac{d^2}{dx^2} f(x_1) (x_2 - x_1)^2 \dots$$

$$= f(x_2) - f(x_2) = 0$$

Im mehrdimensionalen Fall gilt III.) nicht mehr, z.B.

zweidimensional ($(\xi, \zeta) = (x_2, y_2)$) :

$$F = f(x_1, y_1) + \frac{f(x_2, y_1) - f(x_1, y_1)}{x_2 - x_1} (x_2 - x_1) + \frac{f(x_1, y_2) - f(x_1, y_1)}{y_2 - y_1} (y_2 - y_1) - f(x_2, y_2) =$$

$$= f(x_2, y_1) + f(x_1, y_2) - f(x_1, y_1) - f(x_2, y_2) \quad , \quad \text{was nicht notwendig } = 0 \text{ ist.}$$

Aus diesem Grunde ist es notwendig, die Punkte (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_1, z_1) , (x_1, y_2, z_1) und (x_1, y_1, z_2) nicht nur so zu wählen, daß für den Punkt (ξ, ζ, η) gilt $x_1 < \xi < x_2$, $y_1 < \zeta < y_2$, $z_1 < \eta < z_2$, sondern darüberhinaus ist die Bedingung zu erfüllen:

$$|\xi - x_1| < \left| \frac{x_2 - x_1}{2} \right|, \quad |\zeta - y_1| < \left| \frac{y_2 - y_1}{2} \right| \quad \text{und} \quad |\eta - z_1| < \left| \frac{z_2 - z_1}{2} \right|,$$

d.h. von den acht Nachbarpunkten im Raumgitter ist als (x_1, y_1, z_1) der am nächsten bei (ξ, ζ, η) liegende Punkt zu wählen.

Um die Programmlogik, die die Punktwahl durchführt, an den Rändern der gemessenen Bereiche nicht unnötig zu komplizieren, wurde der Kammermeßbereich durch Extrapolation zu einem Quader erweitert, wodurch sich Punktwahl und Punktfindung im Vektor der Meßwerte wesentlich vereinfachten.

Liste des Programmabschnittes, der die Interpolation
für den erweiterten Kammerbereich durchführt

Erläuterungen:

Die Meßwerte befinden sich im Vektor IKA, der über den COMMON Block FKA auf die notwendige Größe gebracht und gefüllt wird. Die Variablen I, IA, J, JA, K, KA dienen dazu, den Platz im Vektor IKA zu ermitteln, auf dem sich die gesuchten Werte befinden, sowie die Koordinaten der dazugehörigen Punkte auszurechnen. Die Variablen des Vektors E(24) haben f. Bedeutung: E(1)= x_1 , E(2)= y_1 , E(3)= z_1 , E(4)= $B_x(x_1, y_1, z_1)$, E(5)= $B_y(x_1, y_1, z_1)$, E(6)= $B_z(x_1, y_1, z_1)$, E(7)= x_2 , E(10)= $B_x(x_2, y_1, z_1)$, E(11)= $B_y(x_2, y_1, z_1)$, E(12)= $B_z(x_2, y_1, z_1)$, E(14)= y_2 , E(16)= $B_x(x_1, y_2, z_1)$, E(17)= $B_y(\dots)$, E(18)= $B_z(\dots)$, E(21)= z_2 , E(22)= $B_x(x, y, z)$, E(23)=... , E(24)=... Die logische Variable LD im COMMON Block namens REGCON ist genau dann .TRUE., wenn das Programm für einen Punkt aufgerufen wurde, der außerhalb des gemessenen Bereiches lag. Im COMMON Block namens INTCON werden die Größen zur Verfügung gestellt, die nötig sind, um den Gang der Interpolation zu kontrollieren.

```
SUBROUTINE STFELD(XX,H)
LOGICAL LOGA,LA,LB,LC,LD,LE
INTEGER*2 INDEX,IKA(1),IEA(1),IBA(1),JBY(25)
COMMON/FKA/IKA/FEIN/IBA/FEIA/IEA/REGCON/LC/INTCON/E,XY
DIMENSION XX(3),H(3),XY(3),E(24),F(3,3)
LD=.FALSE.
200 LOGA=.TRUE.
LA=.FALSE.
LB=.FALSE.
LC=.FALSE.
IF(AMOD(ABS(XX(1)-.1),6.)<.0001)LA=.TRUE.
IF(AMOD(ABS(XX(2)+1.2),6.)<.0001)LB=.TRUE.
IF(AMOD(ABS(XX(3)-.7),6.)<.0001)LC=.TRUE.
I=(XX(1)+50.9)/6.
IA=AMOD(XX(1)+50.9,6.)/3.
IF(LA)IA=0
IF(I)301,301,302
```

```
301  I=C
      IA=1
      GOTO 303
302  IF( I-16)303,304,304
304  I=16
      IA=C
303  J=( XX( 2)+34.2)/6.
      JA=AMOD( XX( 2)+34.2,6.)/3.
      IF(LB)JA=0
      IF(J)305,305,306
305  J=C
      JA=1
      GOTO 307
306  IF(J-10)307,308,308
308  J=1C
      JA=C
307  K=( XX( 3)+36.8)/5.
      KA=AMOD( XX( 3)+36.8,5.)/2.5
      IF(LC)KA=0
      IF(K)309,309,310
309  K=C
      KA=1
      GOTO 311
310  IF(K-12)311,312,312
312  K=12
      KA=C
311  E( 1)=I*6-47.9
      E( 2)=J*6-31.2
      E( 3)=K*5-34.3
      E( 7)=I*6+IA*12-53.9
      E( 14)=J*6+JA*12-37.2
      E( 21)=K*5+KA*10-39.3
      M1=K*3+J*39+I*429
      M2=K*3+J*39+( I-1+IA*2)*429
      M3=K*3+( J-1+JA*2)*39+I*429
      M4=( K-1+KA*2)*3+J*39+I*429
      DO 321 M=1,3
      E( 3+M)=IKA(M+M1)
      E( 9+M)=IKA(M+M2)
      E( 15+M)=IKA(M+M2)
321  E( 21+M)=IKA(M+M4)
3700 DO 315 M=1,3
      XY(M)=( XX(M)-E(M))/(E( 7*M)-E(M))
      IF(ABS(XY(M)).GT.1.5)LD=.TRUE.
315  CONTINUE
      DO 316 M=1,3
316  H(M)=E( 3+M)+
      +(E( 9+M)-E( 3+M))*XY(1)+
      +(E( 15+M)-E( 3+M))*XY(2)+
      +(E( 21+M)-E( 3+M))*XY(3)
9999 RETURN
      END
```

Danksagung

Herr Holm und Herr Theiß fertigten die Meßvorrichtung an. Herr Heynen schrieb das PDP Programm und baute die Elektronik zur Datennahme. Herr Notz besorgte den Transport der Daten von der PDP- zur IBM-Anlage. Herr Dr.Wolf führte die erste Verarbeitung der Meßdaten durch und wandte das Anpassungsprogramm an.

Für die ständige Beratung sei Herrn Dr.Wolf gedankt, für die Hilfe bei der Lösung von Programmierproblemen Herrn Notz.

Liste der Abbildungen:

- Abb.1 Schematische Darstellung des Magneten und des bei der
Messung verwendeten Koordinatensystems
- Abb.1a Die Schablone
- Abb.2 Der magnetisch nutzbare Raum
- Abb.3 Die Dreikomponentenhallsonde
- Abb.4 Der Meßbereich der Streamerkammer
- Abb.5 Der Meßbereich des Magnetausganges
- Abb.6 Der Meßbereich des Magneteinganges
- Abb.7 Zur Winkeljustierung der Sonde durch Umschlag
- Abb.8 Zur ohmschen Nullkomponente
- Abb.9 Verlauf des Nullwinkels als Funktion der Feldstärke
(typ.)
- Abb.10 Die relative Abweichung der Feldstärke bei Sondendre-
hung gegenüber dem sinusförmigen Verlauf

Abb. 1

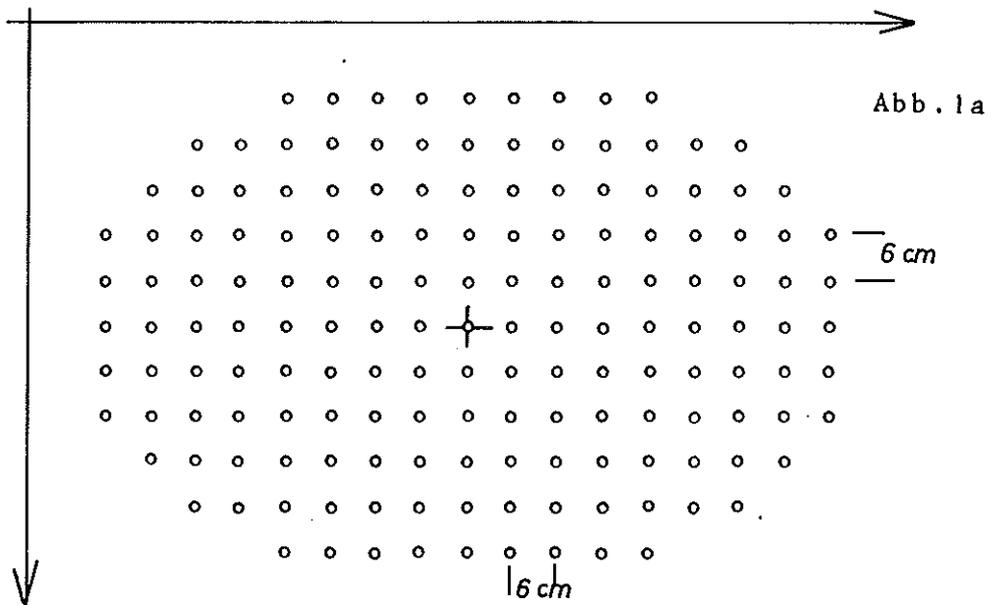
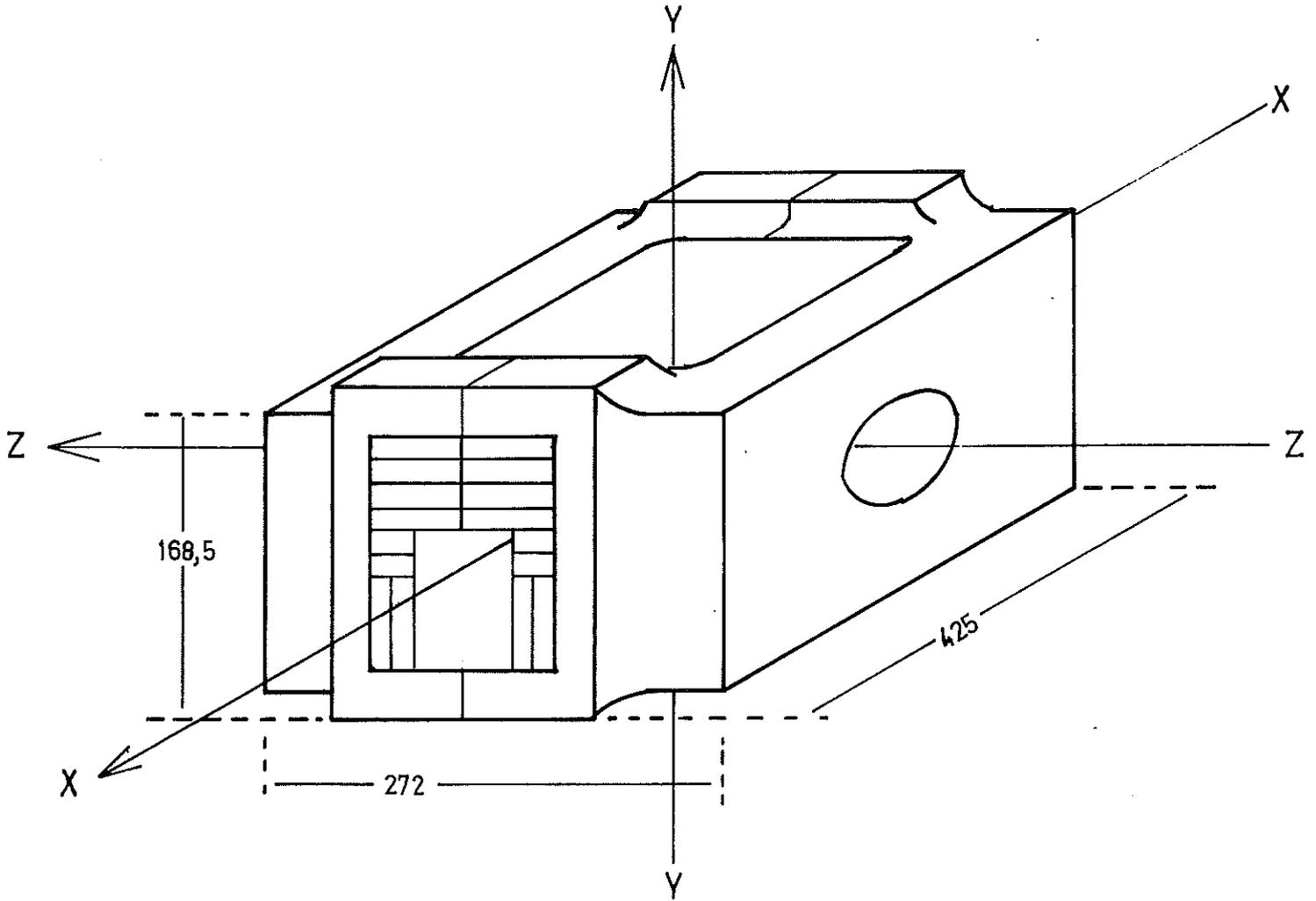


Abb. 1 Schematische Darstellung des Magneten und des bei der Messung verwendeten Koordinatensystems

Abb. 1a Das Bohrschema der Schablone

Abb. 2

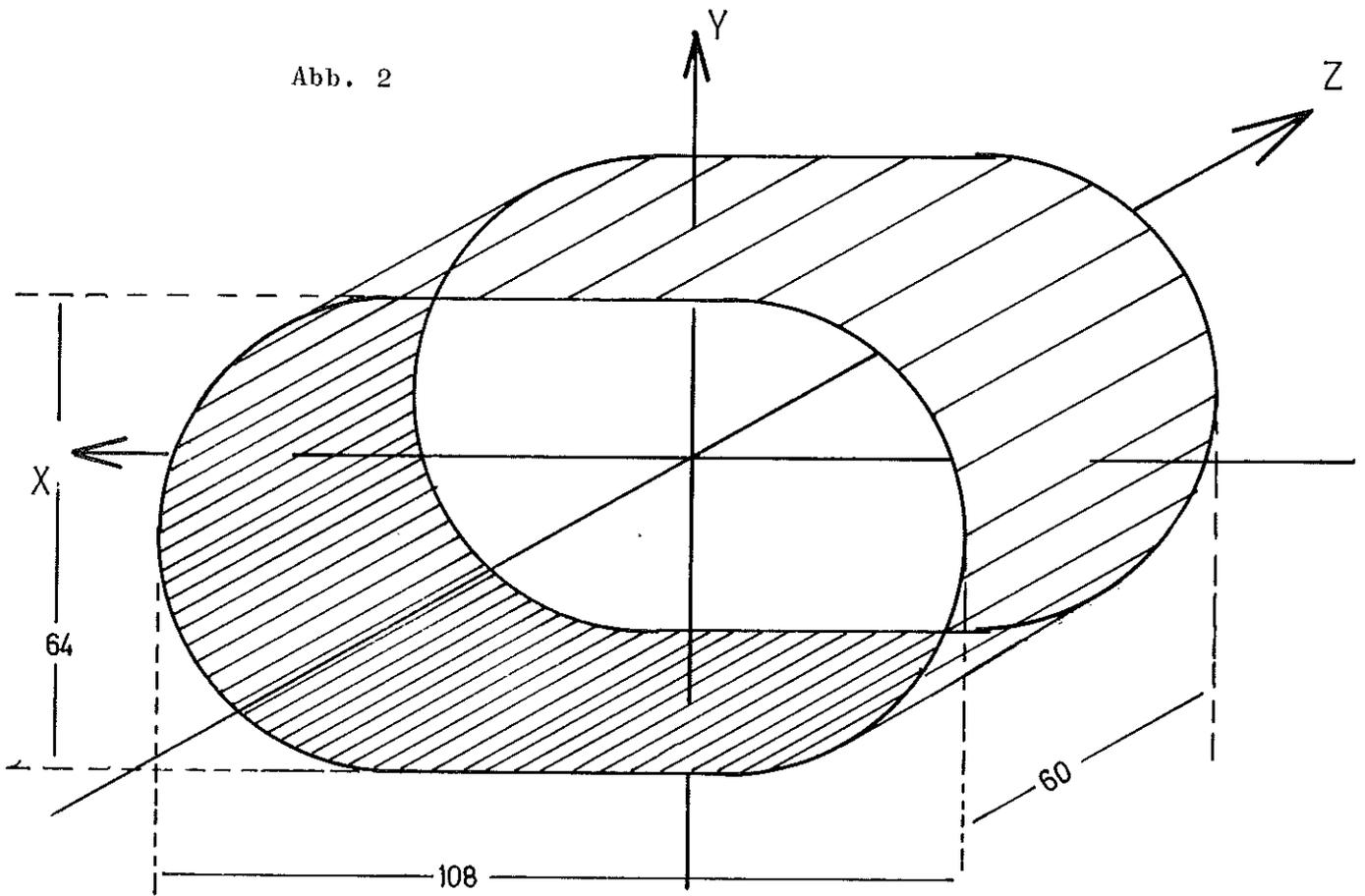


Abb. 3

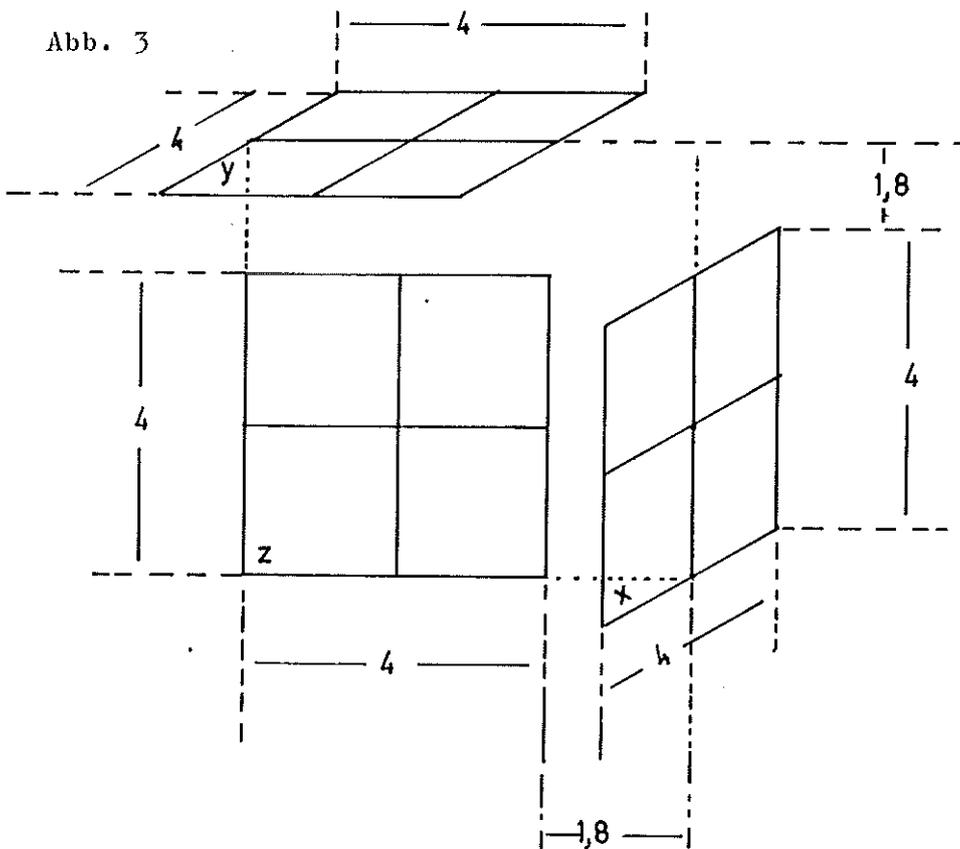


Abb.2 Der magnetisch nutzbare Raum (Maße in cm)

Abb.3 Die Dreikomponentenhallsonde (Maße in mm)

Abb. 4

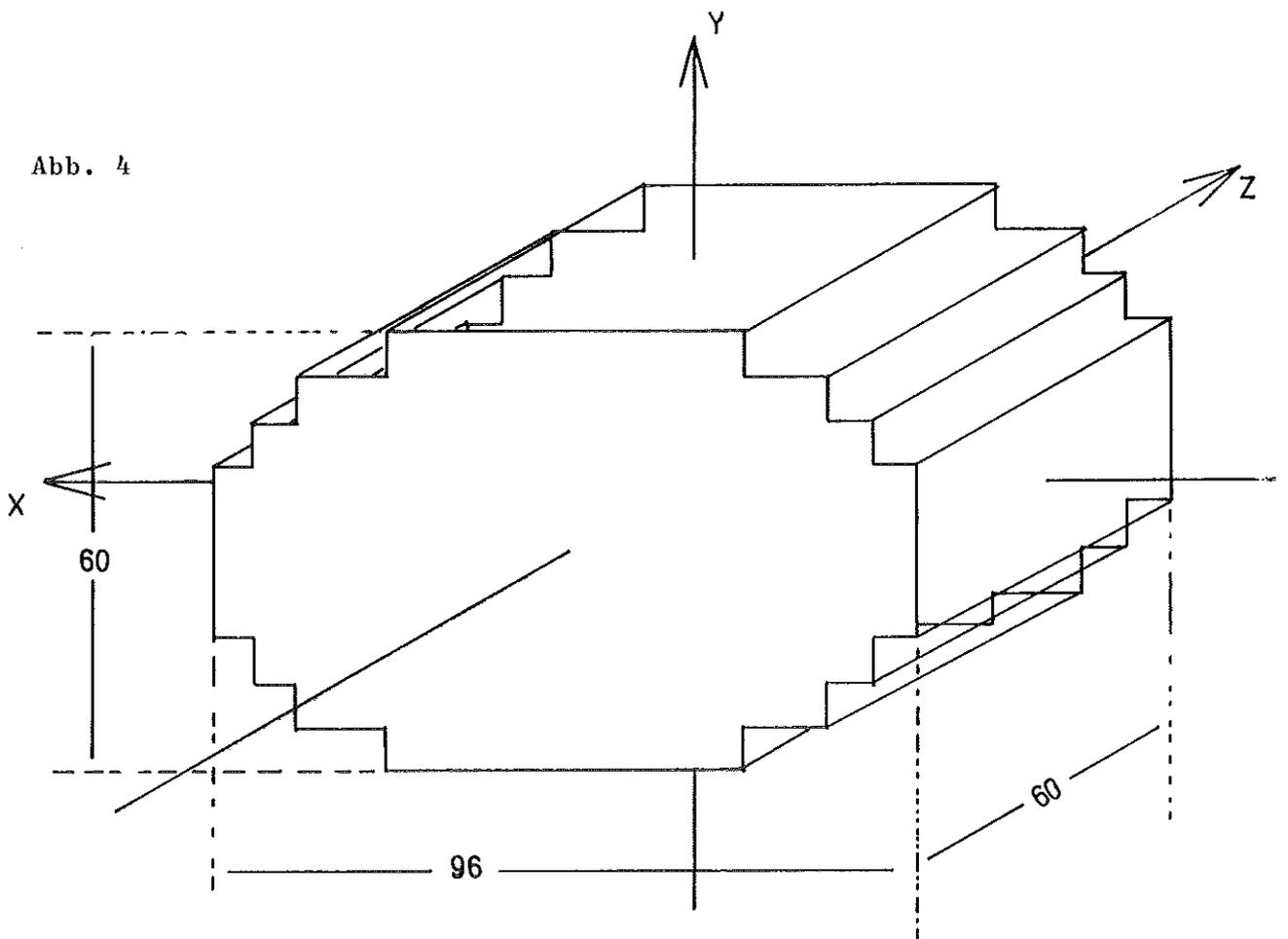


Abb. 5

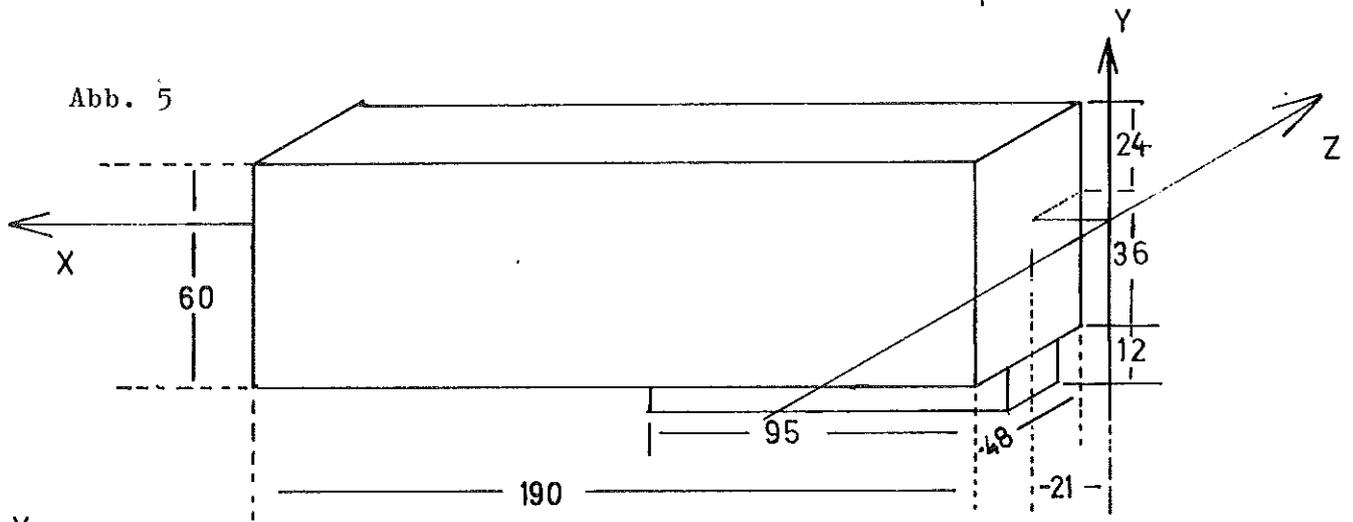


Abb. 6

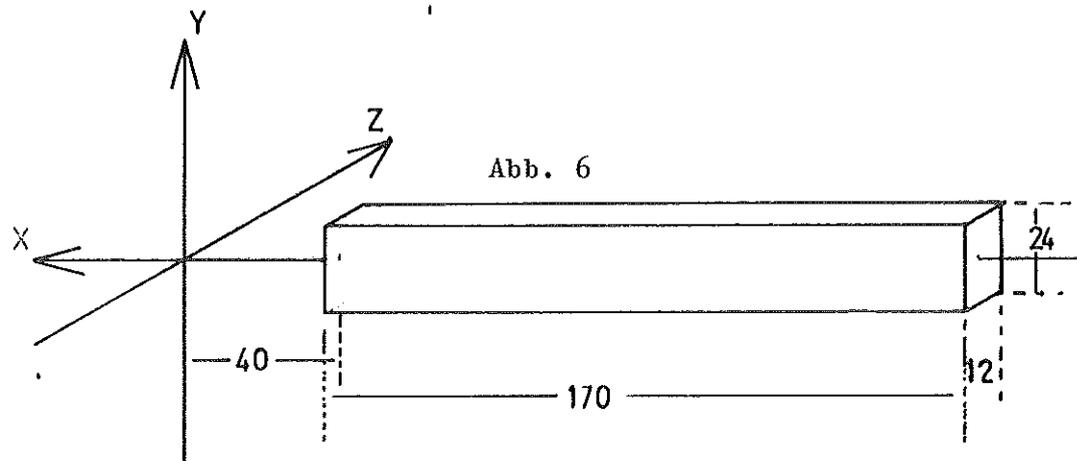
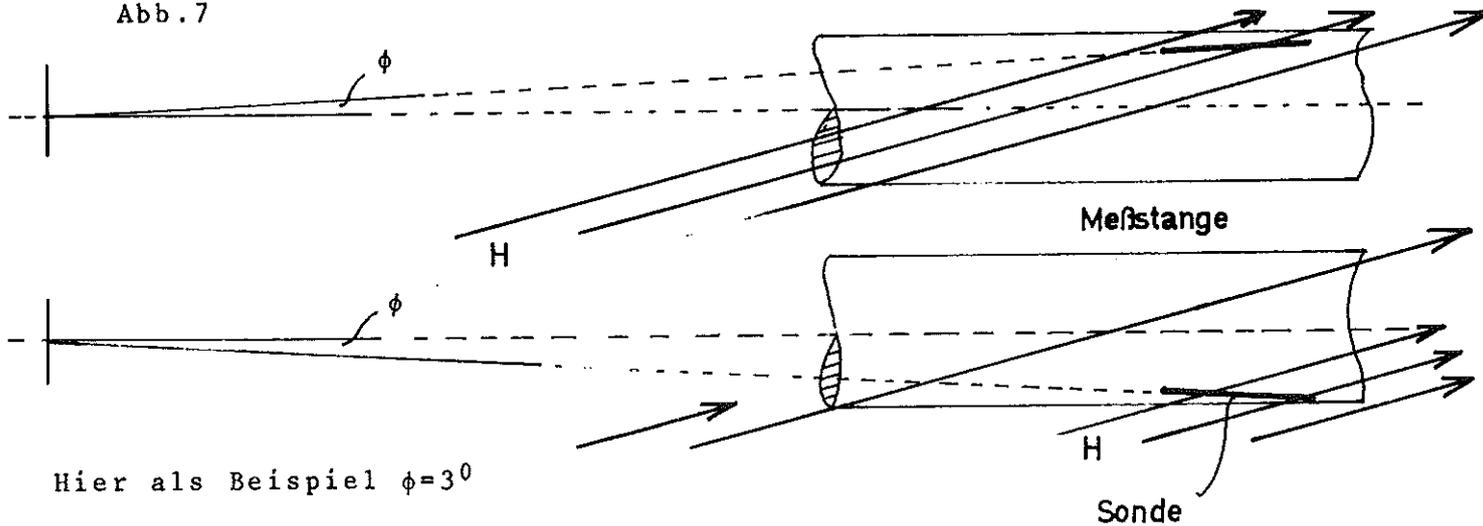


Abb. 4 Der Meßbereich der Streamerkammer

Abb. 5 Der Meßbereich des Magnetausganges

Abb. 6 Der Meßbereich des Magneteinganges (alle Maße in cm)

Abb. 7



Hier als Beispiel $\phi=30^\circ$

Abb. 8

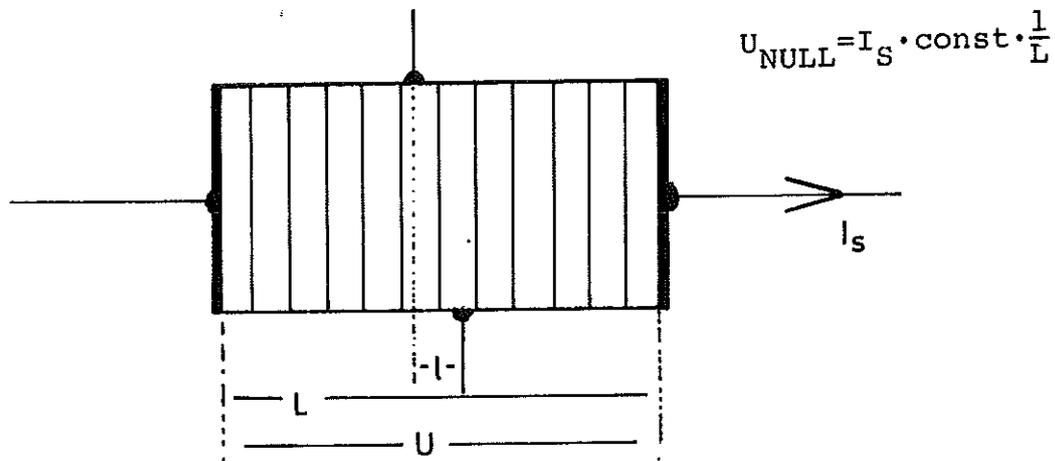


Abb. 7 Die Winkeljustierung durch Sondenumschlag
Abb. 8 Die Entstehung der ohmschen Nullkomponente

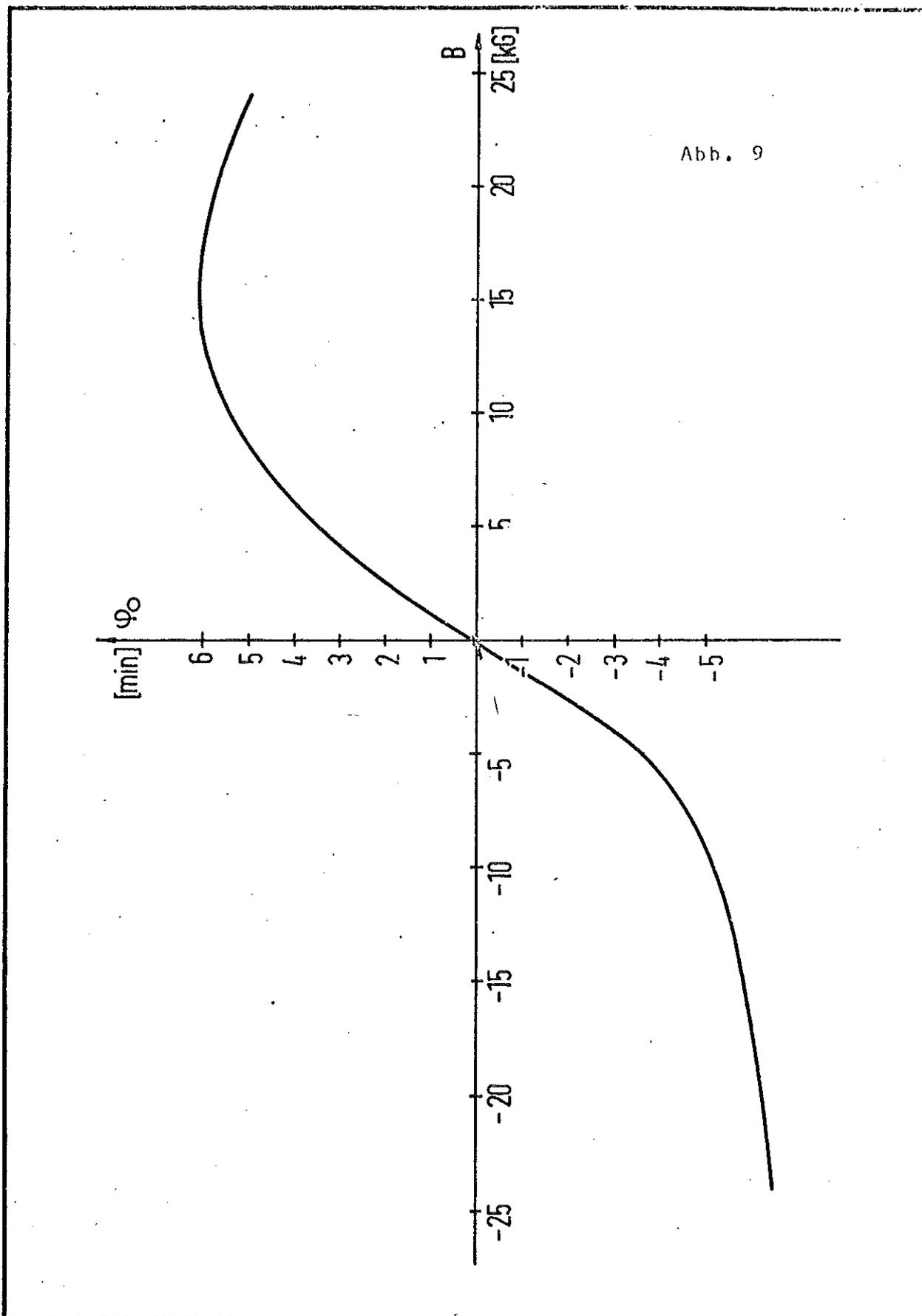


Abb. 9

Abb.9 Der Nullwinkel als Funktion der Feldstärke

Abb. 10

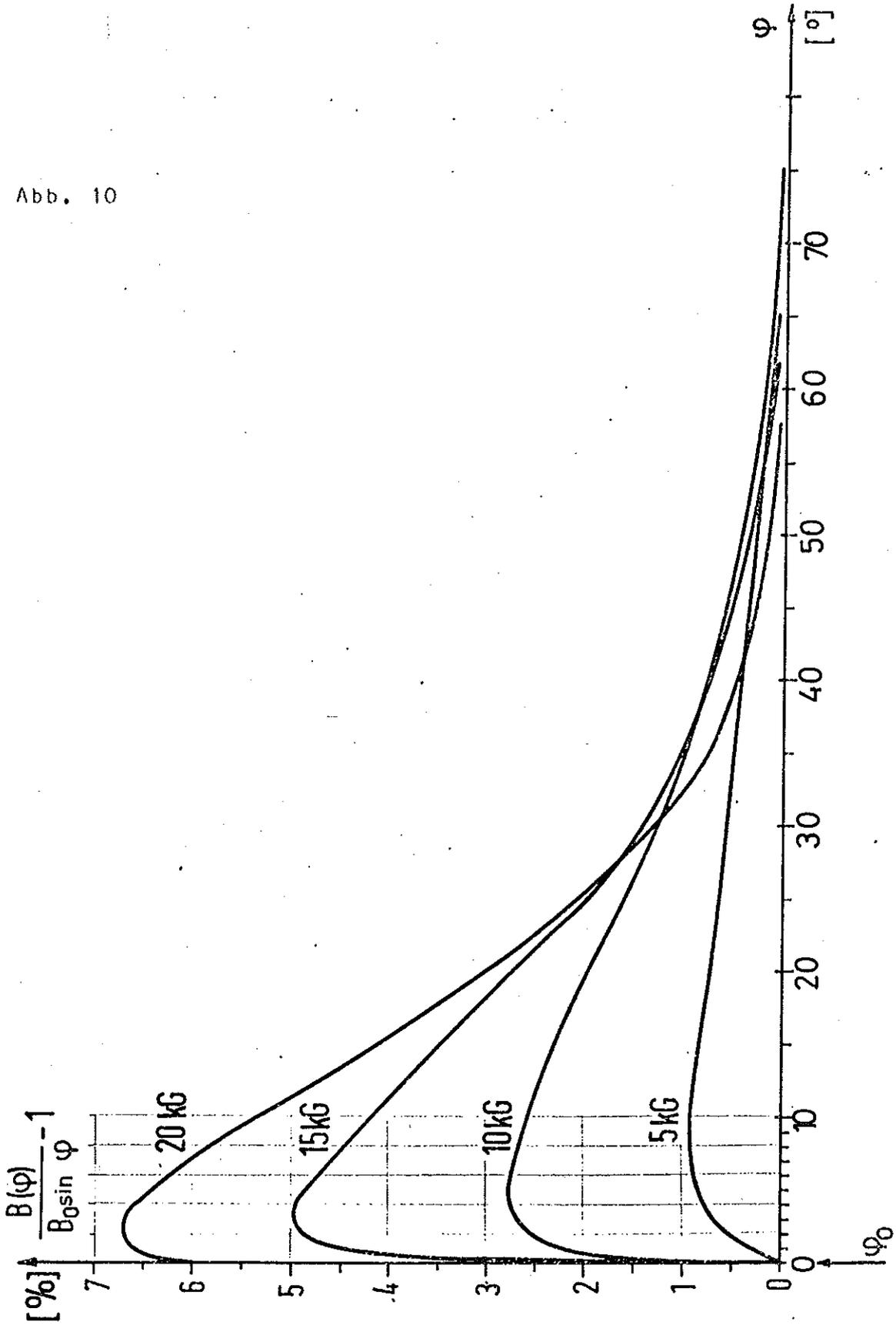
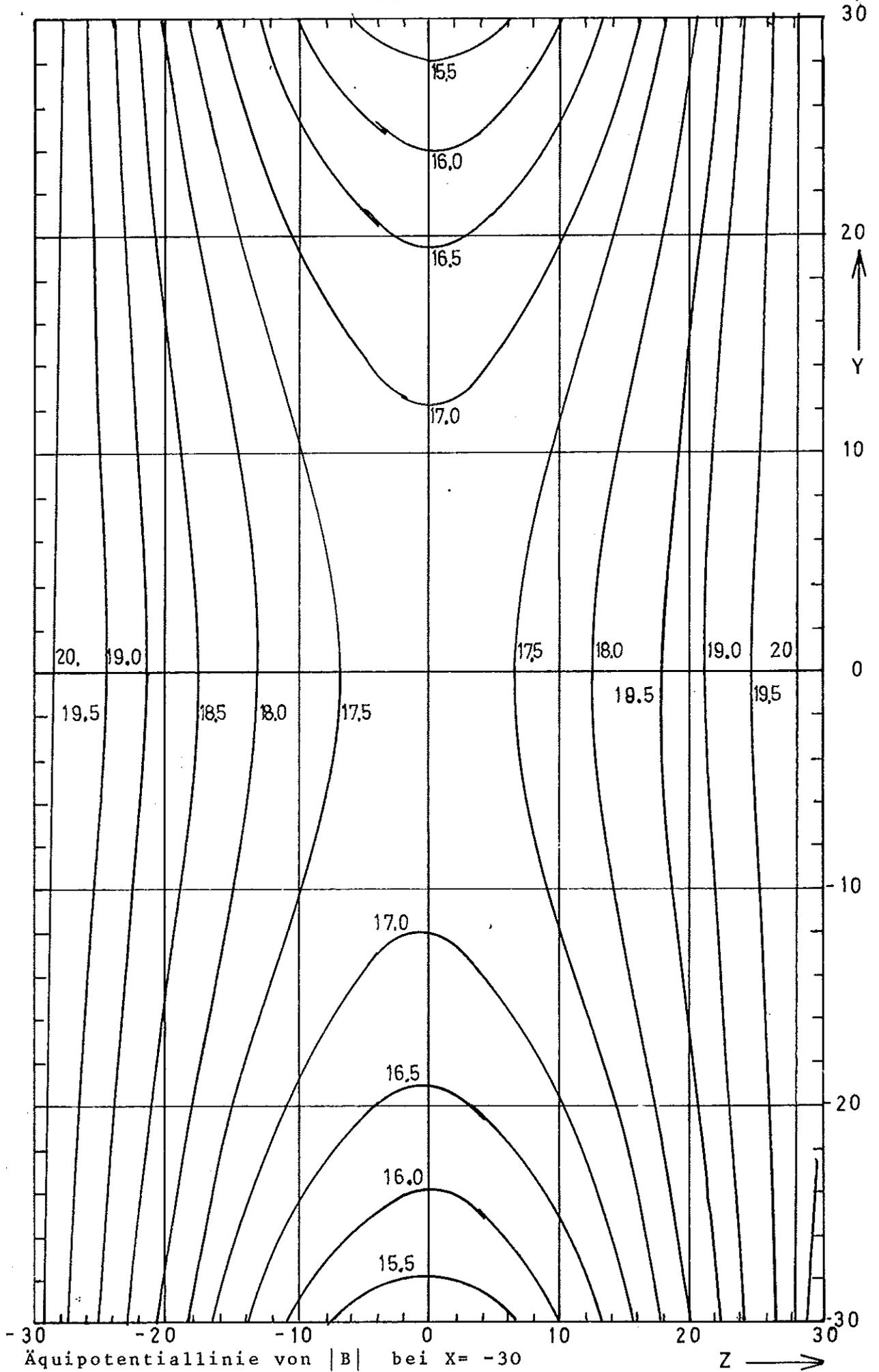
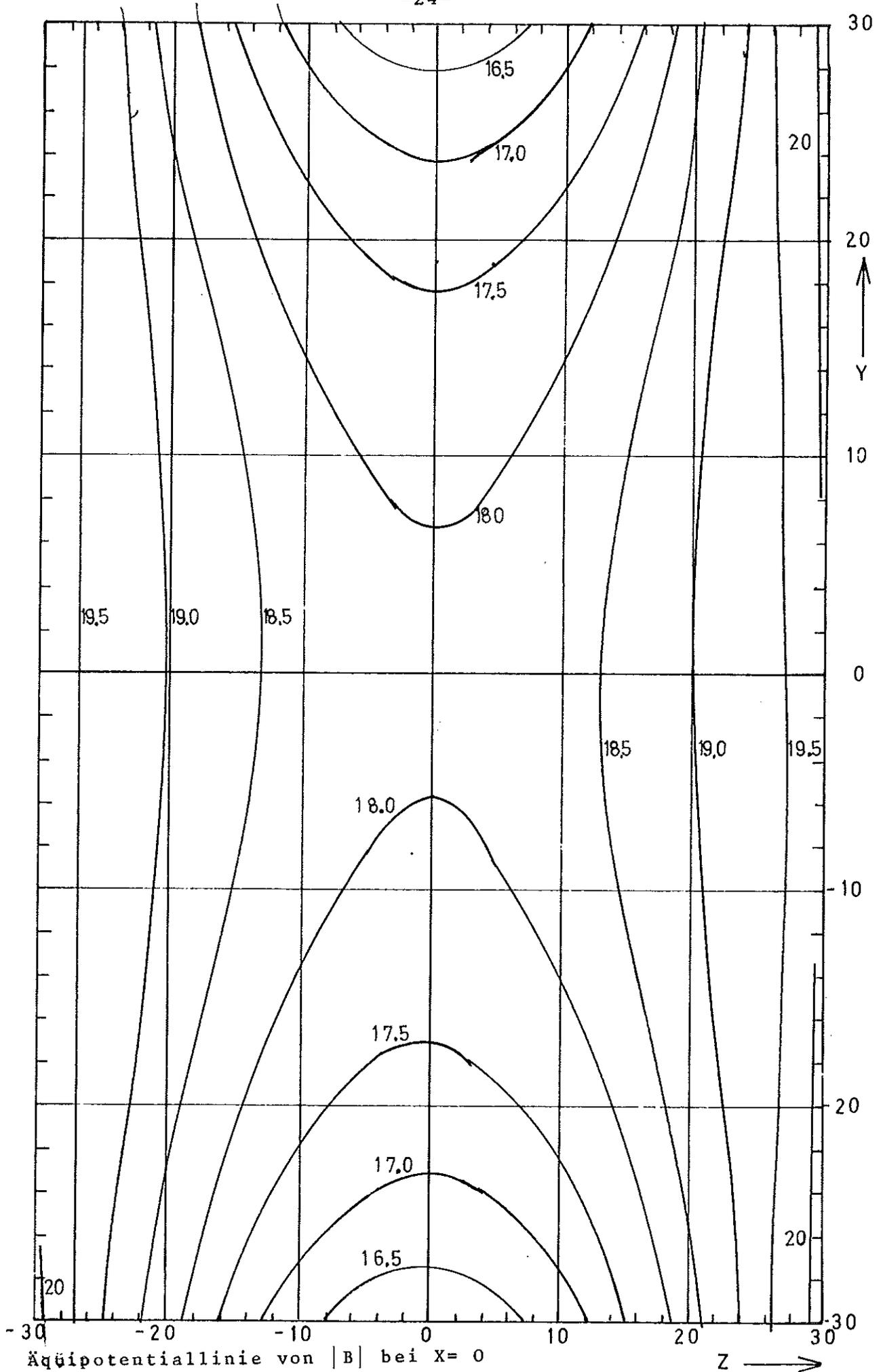
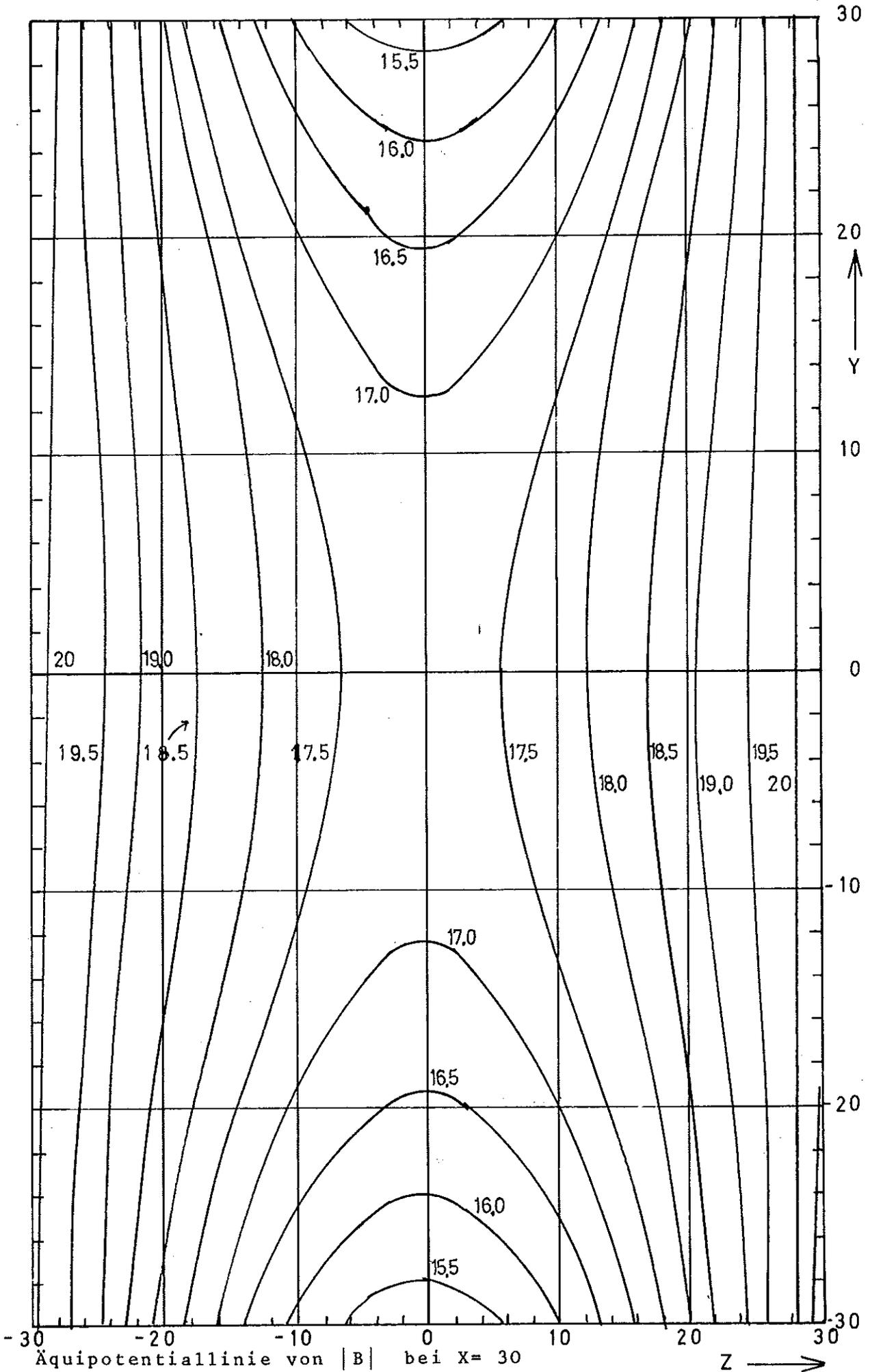
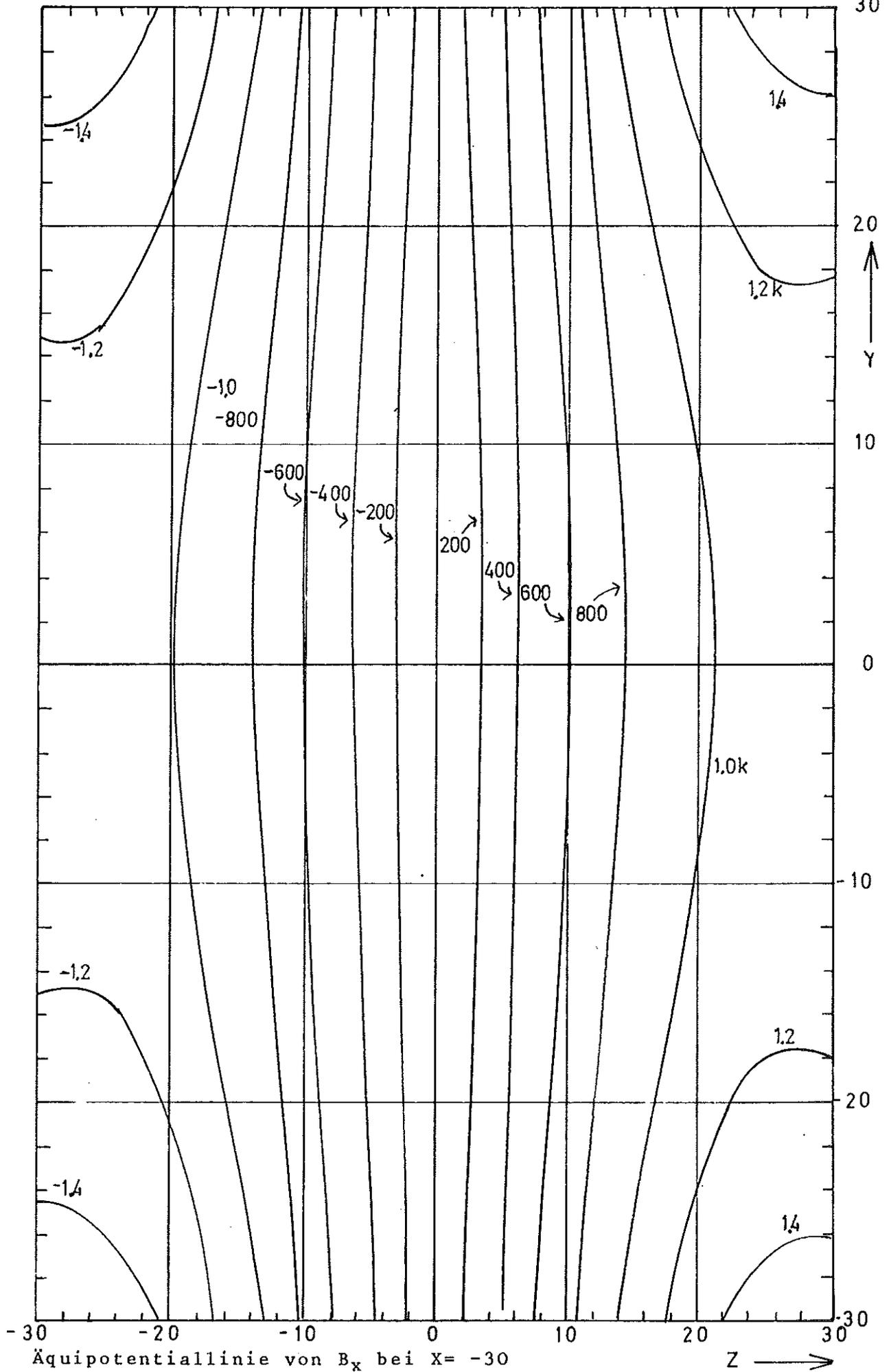


Abb. 10 Relative Abweichung der gemessenen Feldstärke in Abhängigkeit vom Schnittwinkel von der sinusförmigen Verteilung.

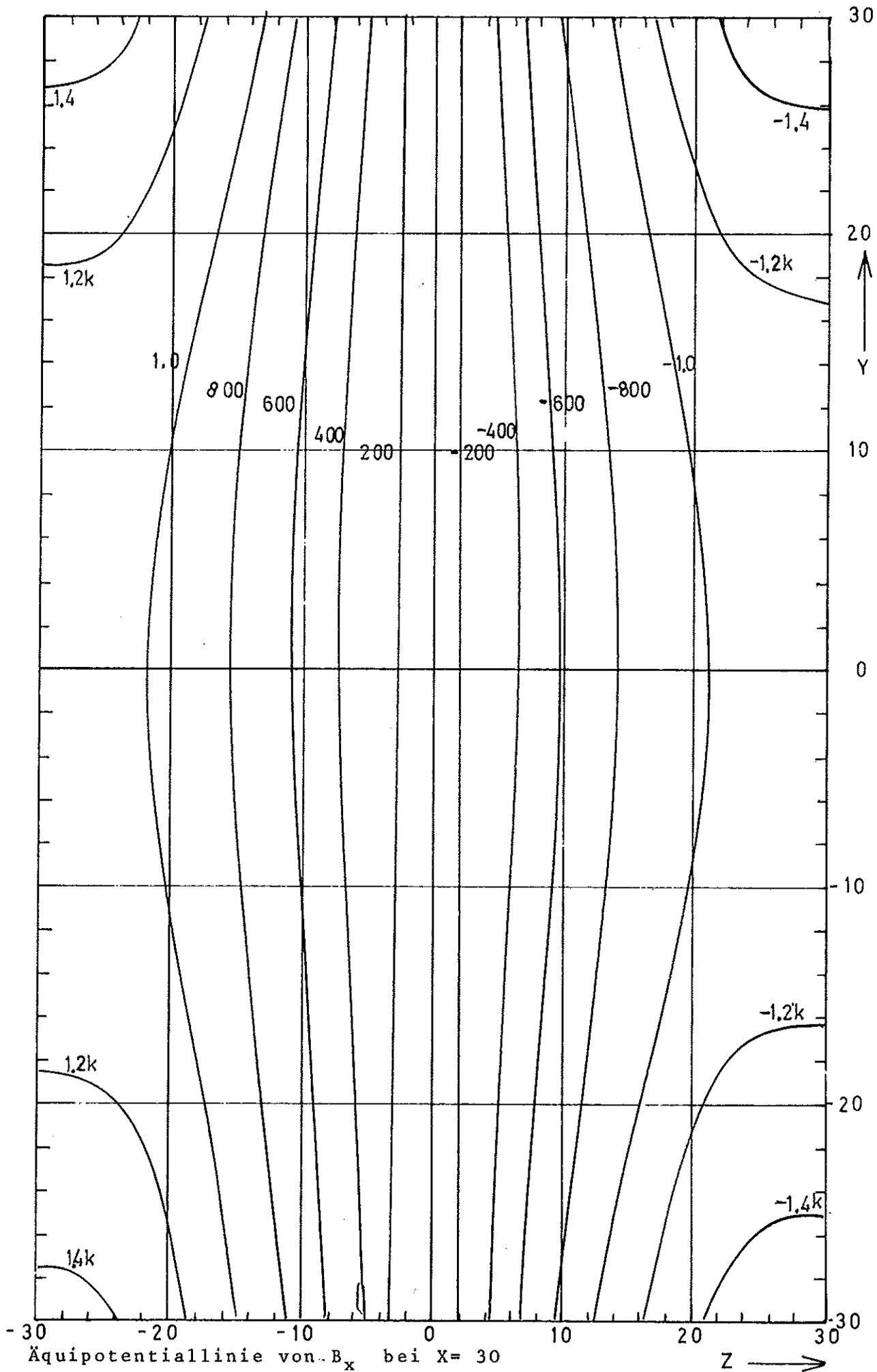


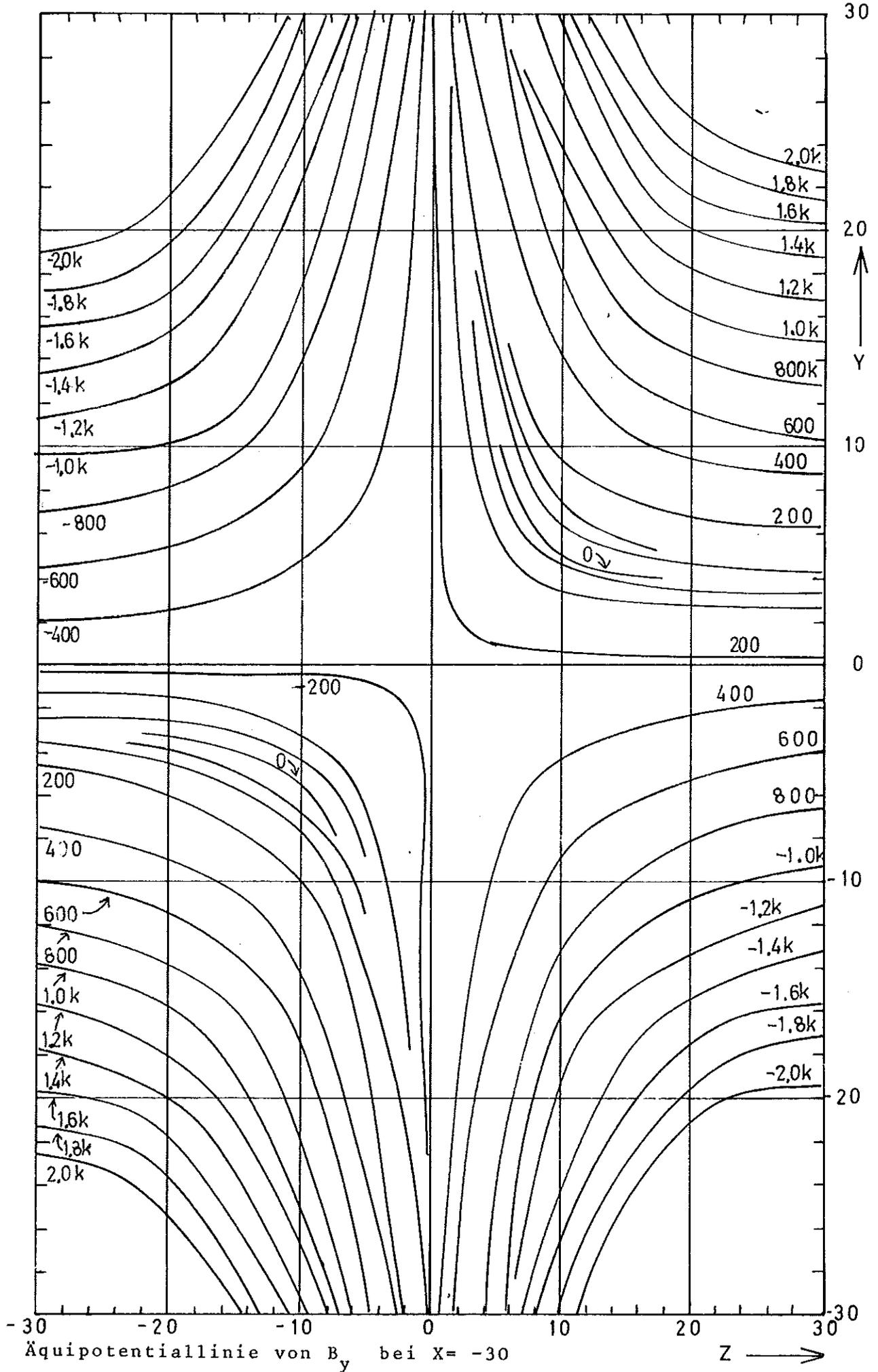


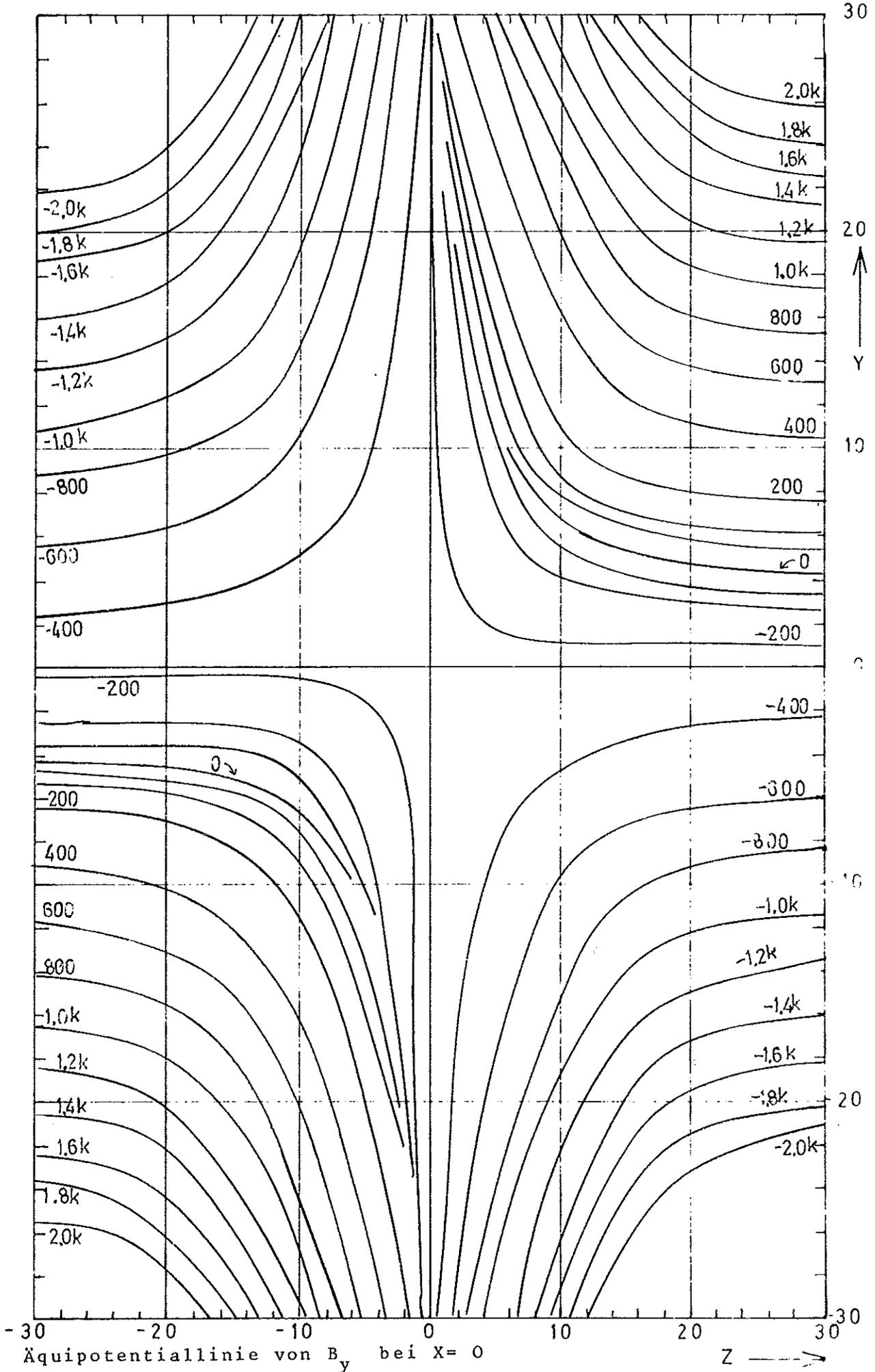




Äquipotentiallinie von B_x bei $X = -30$

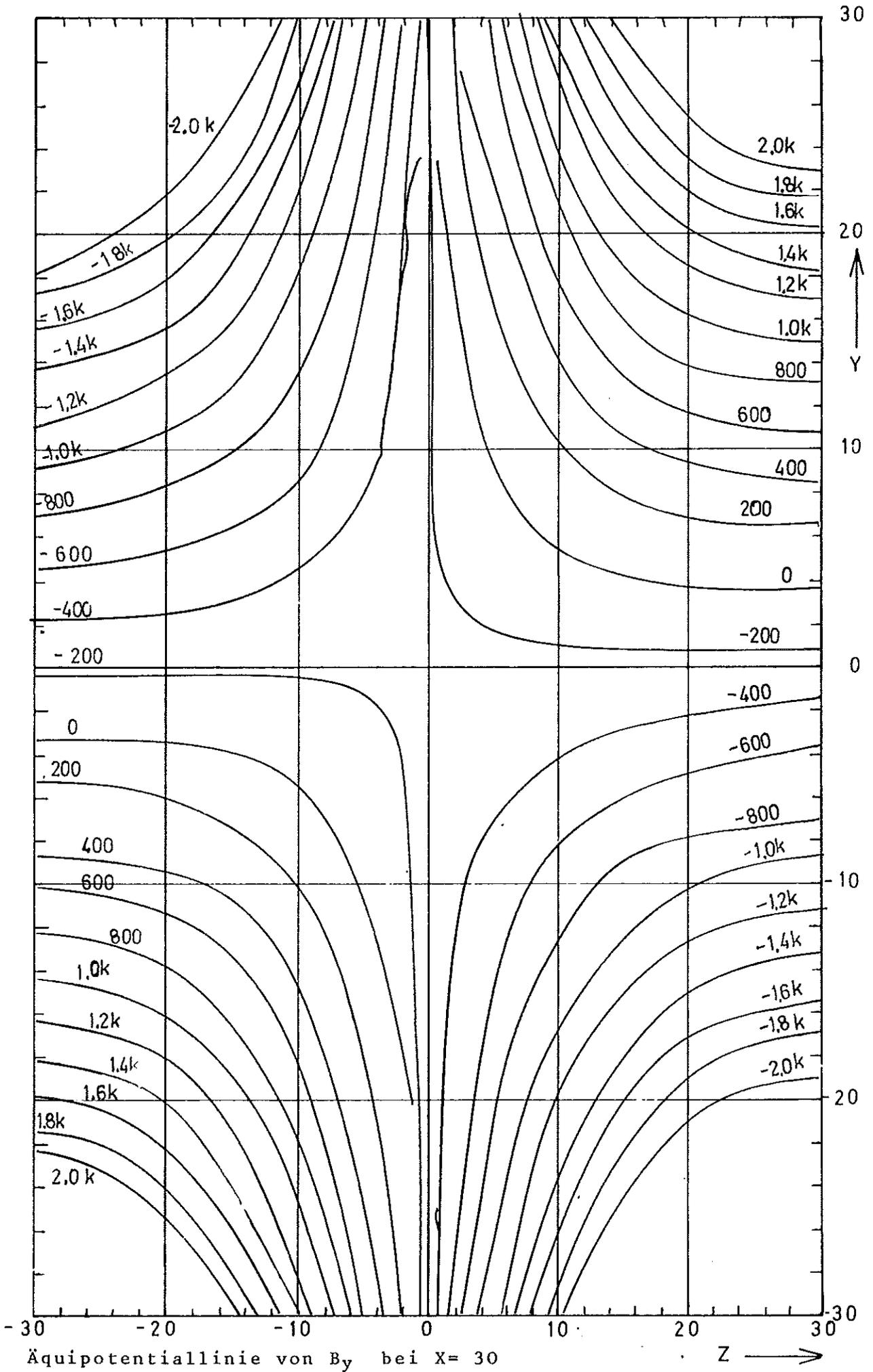






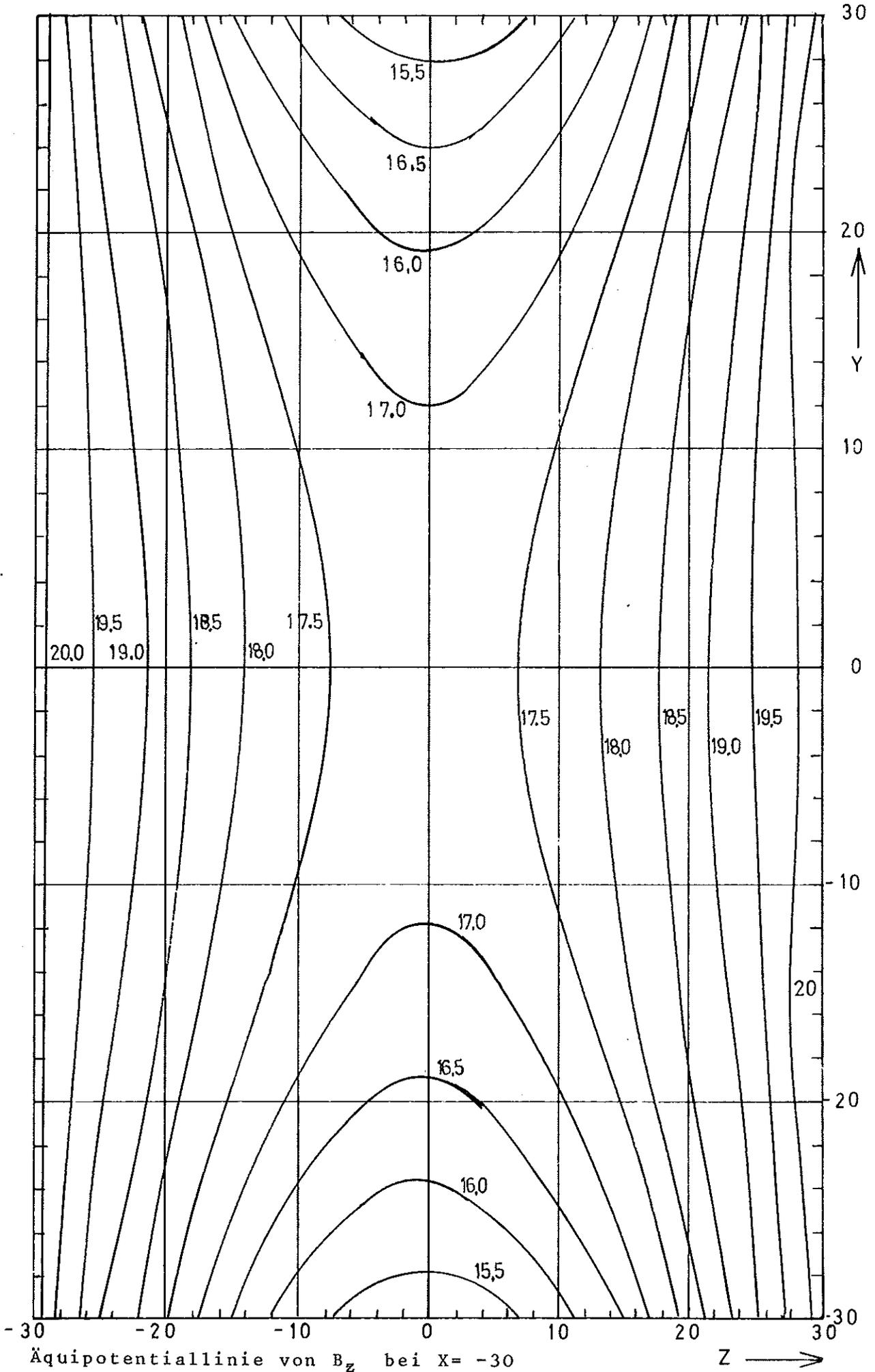
Äquipotentiallinie von B_y bei $X=0$

Z →



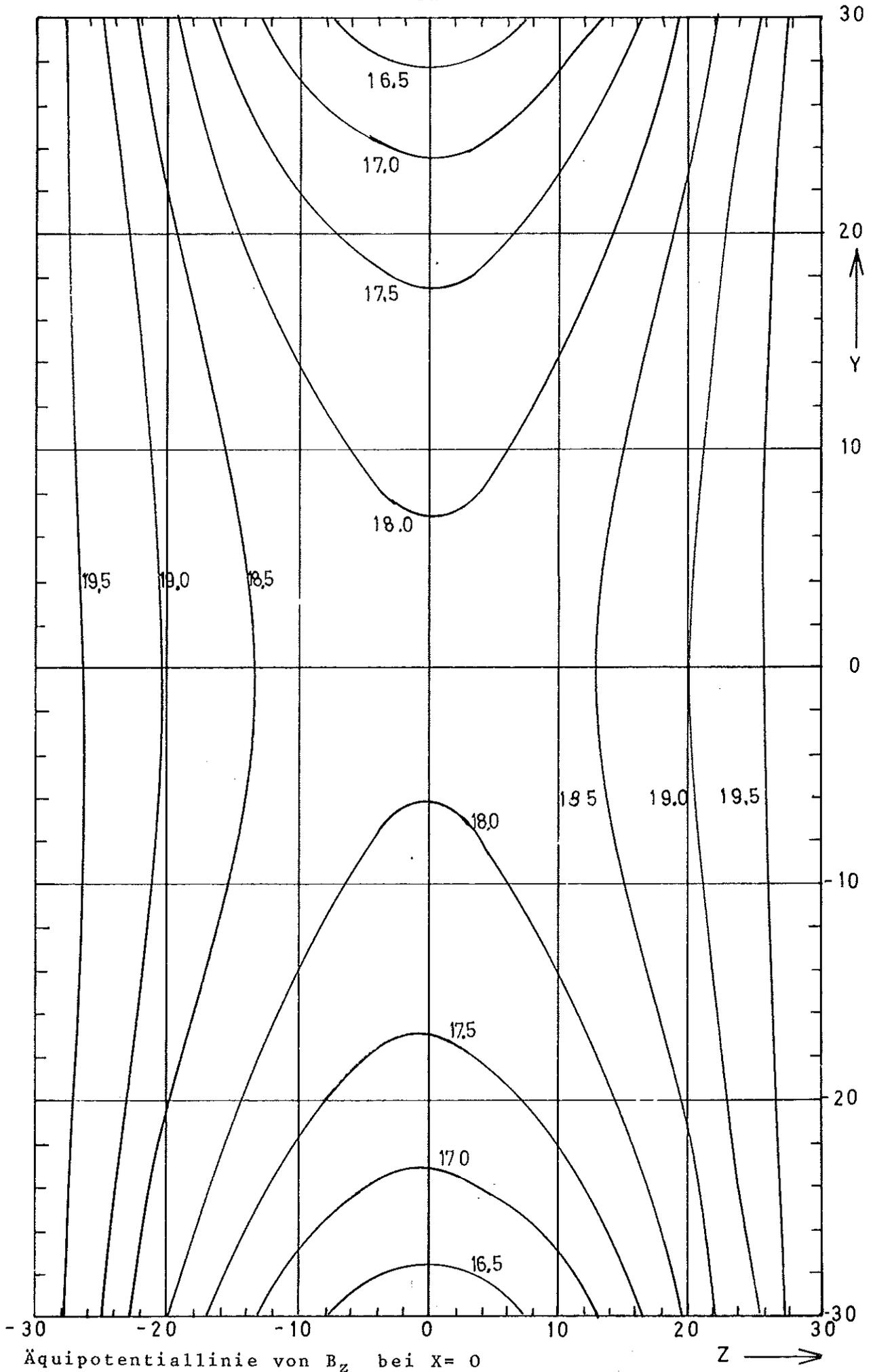
Äquipotentiallinie von B_y bei $X=30$

$Z \rightarrow$



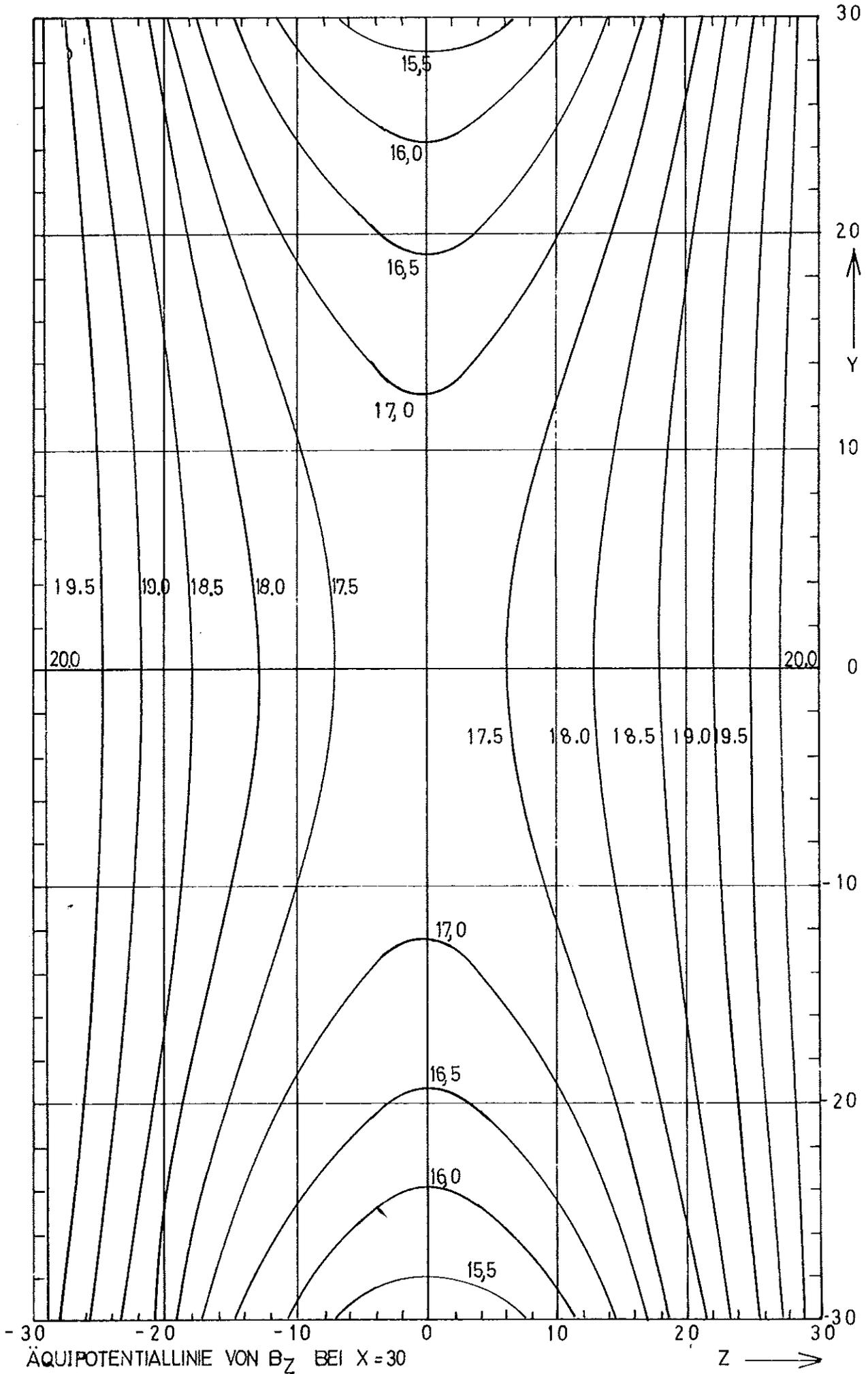
Äquipotentiallinie von B_z bei $X = -30$

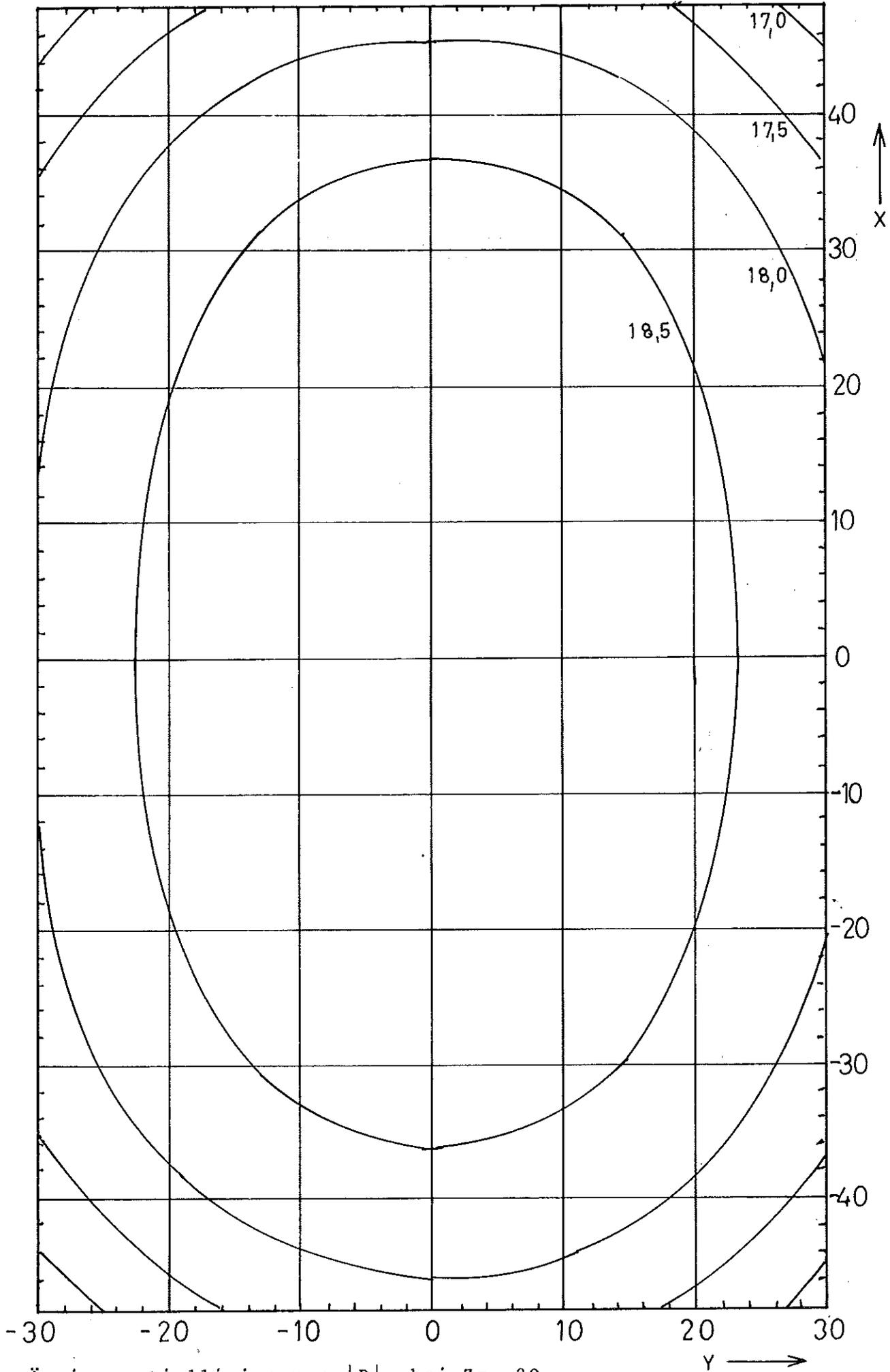
$Z \rightarrow$



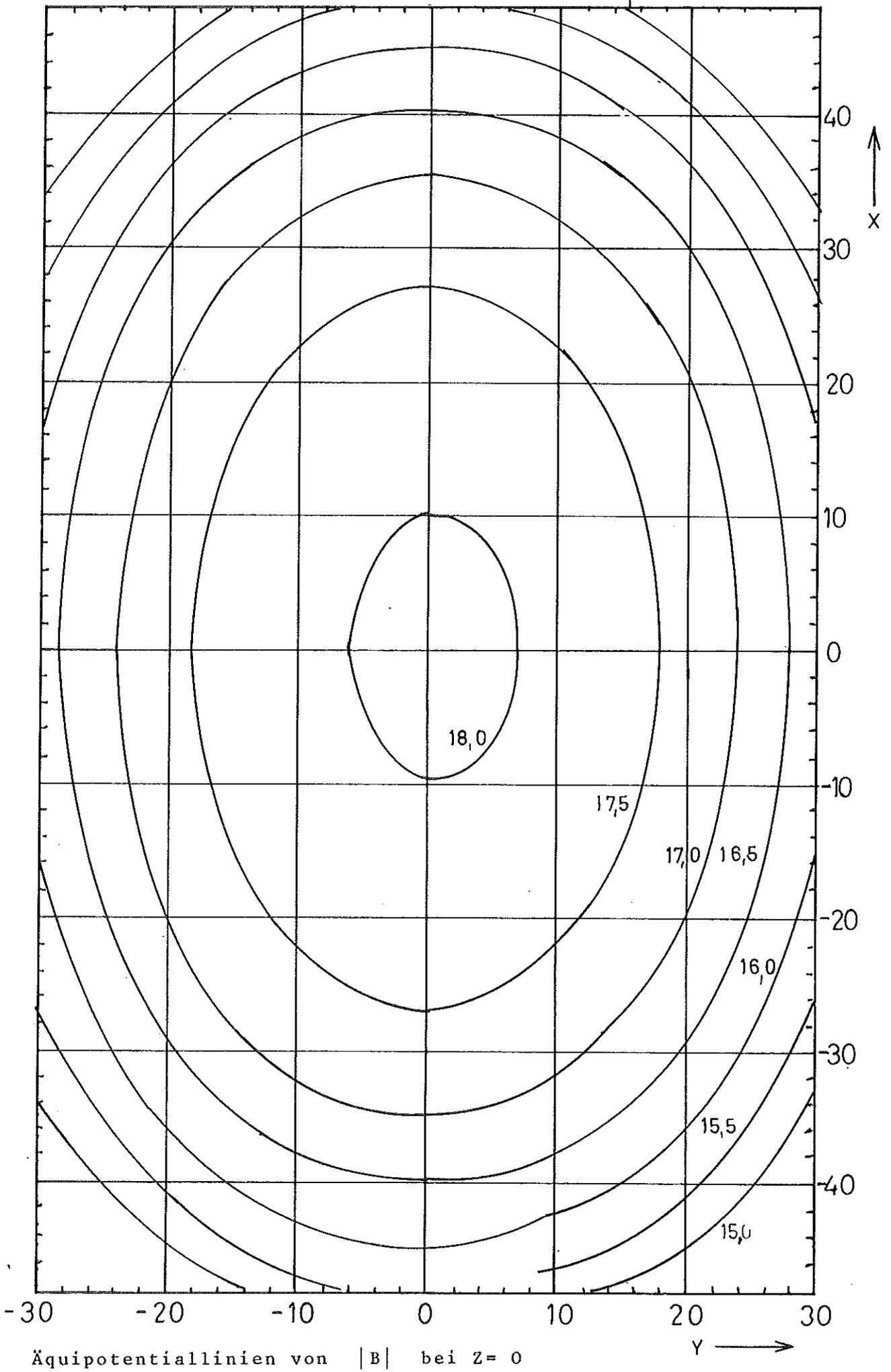
Äquipotentiallinie von B_z bei $X=0$

$Z \longrightarrow$

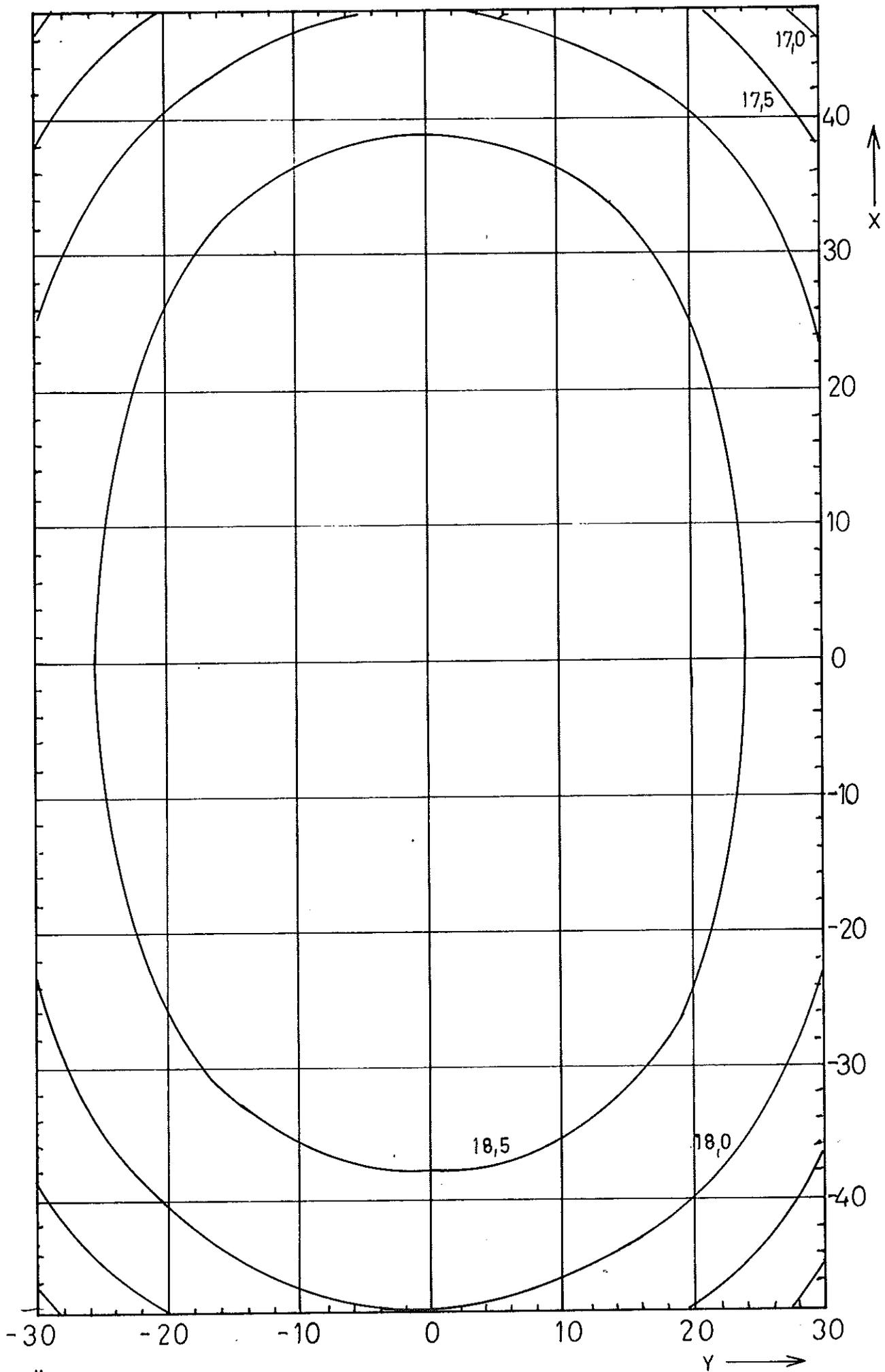




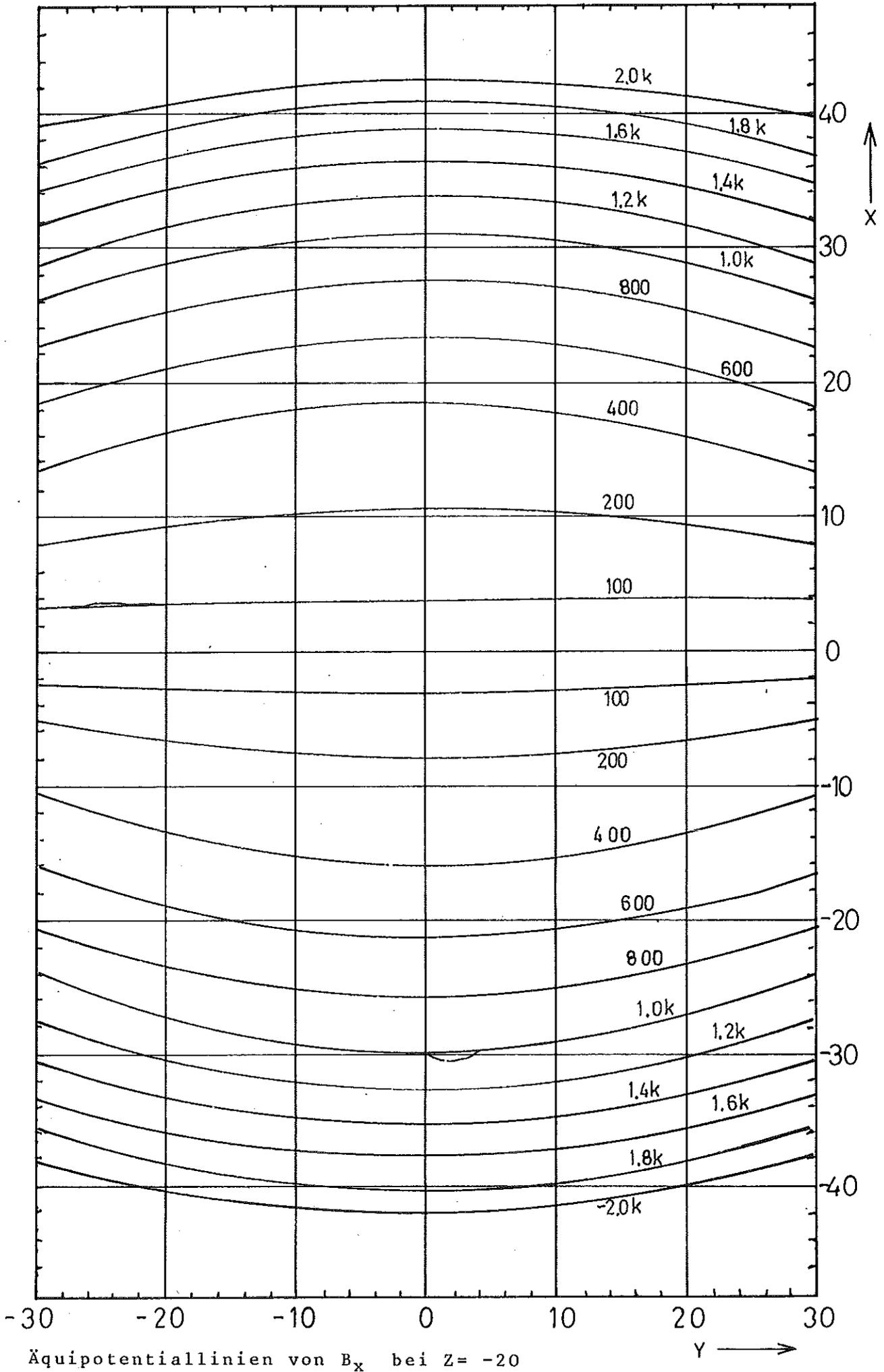
Äquipotentiallinien von $|B|$ bei $Z = -20$



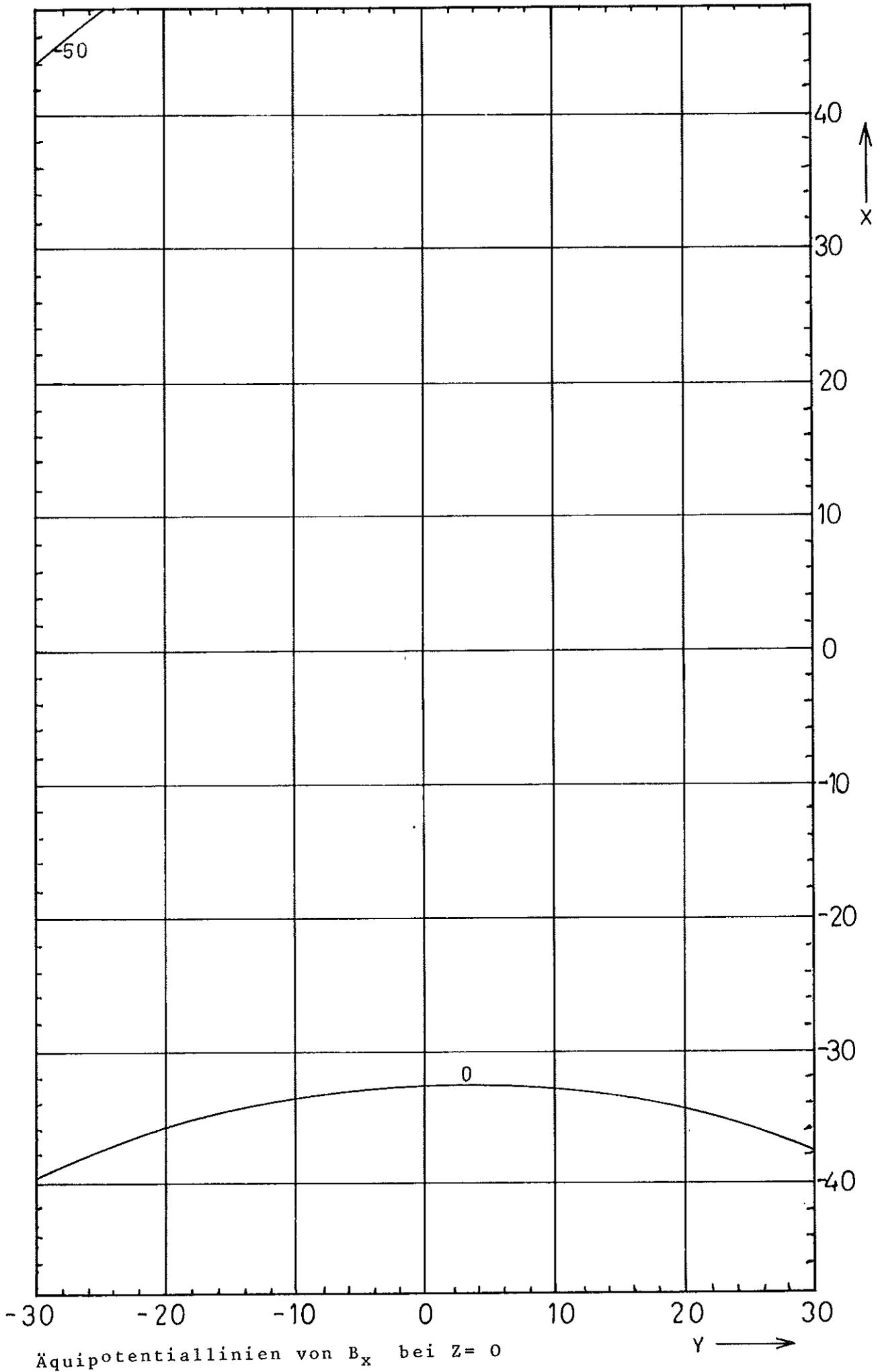
Äquipotentiallinien von $|B|$ bei $z=0$

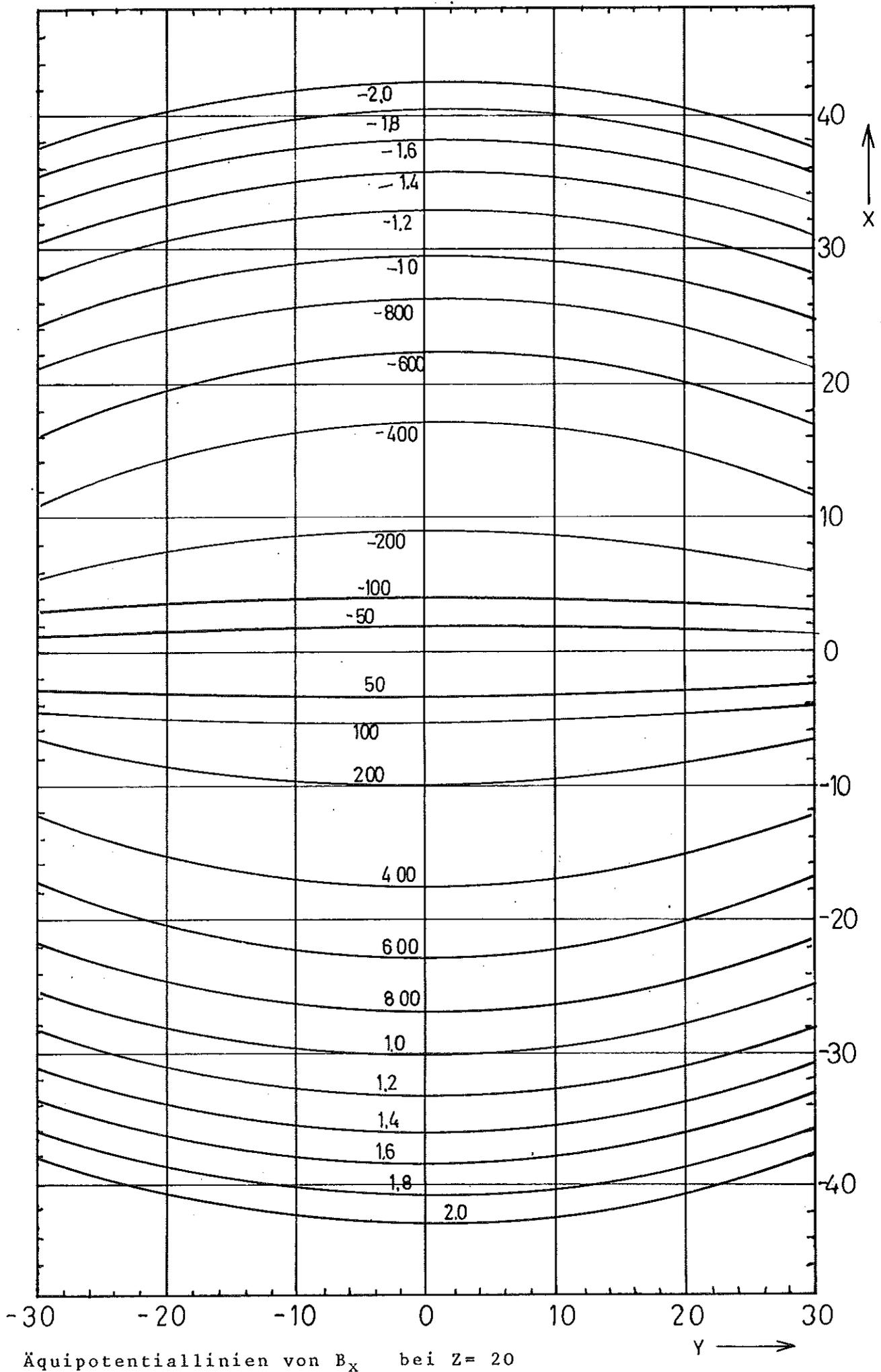


Äquipotentiallinien von $|B|$ bei $Z = 20$

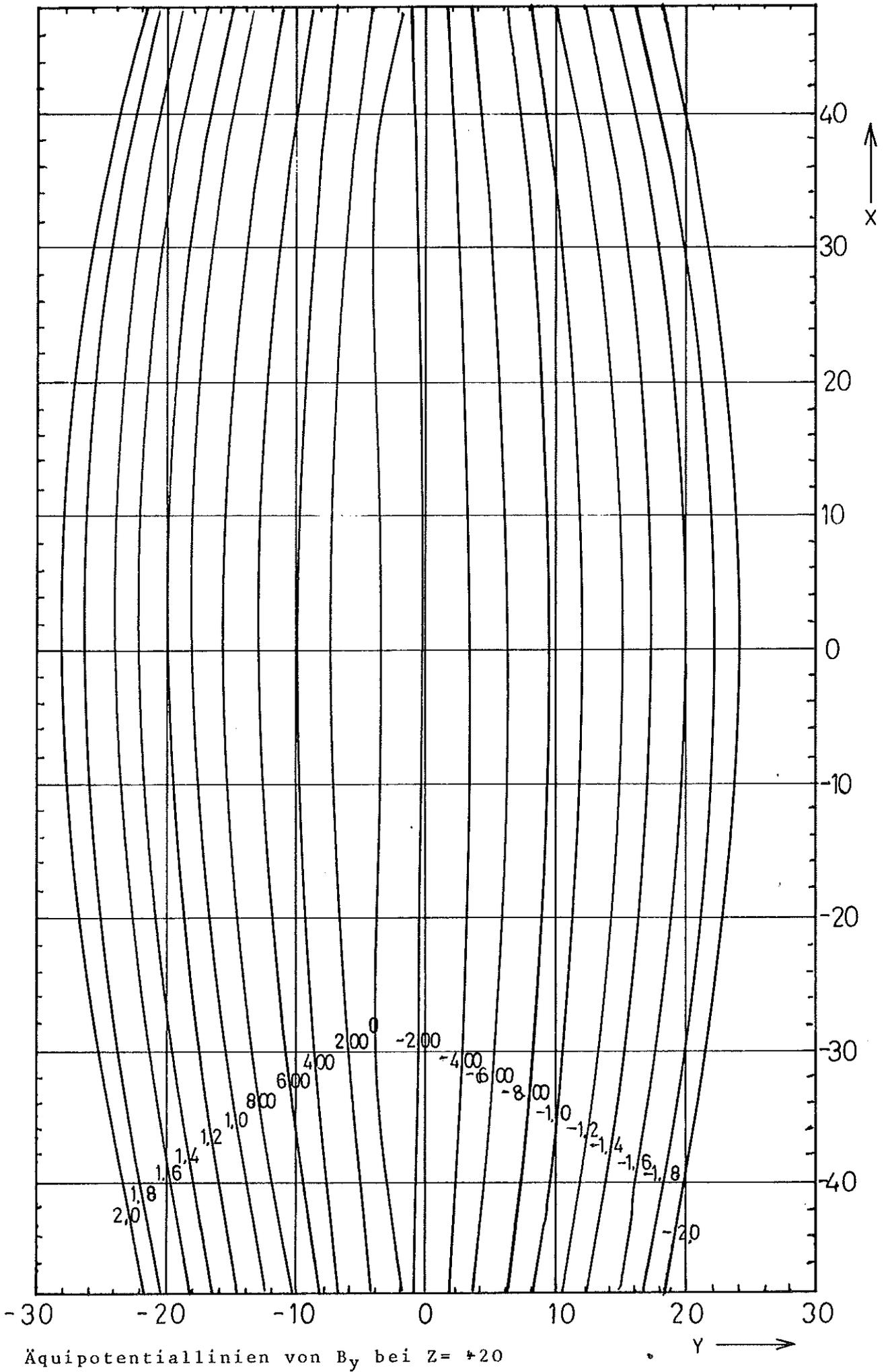


Äquipotentiallinien von B_x bei $z = -20$

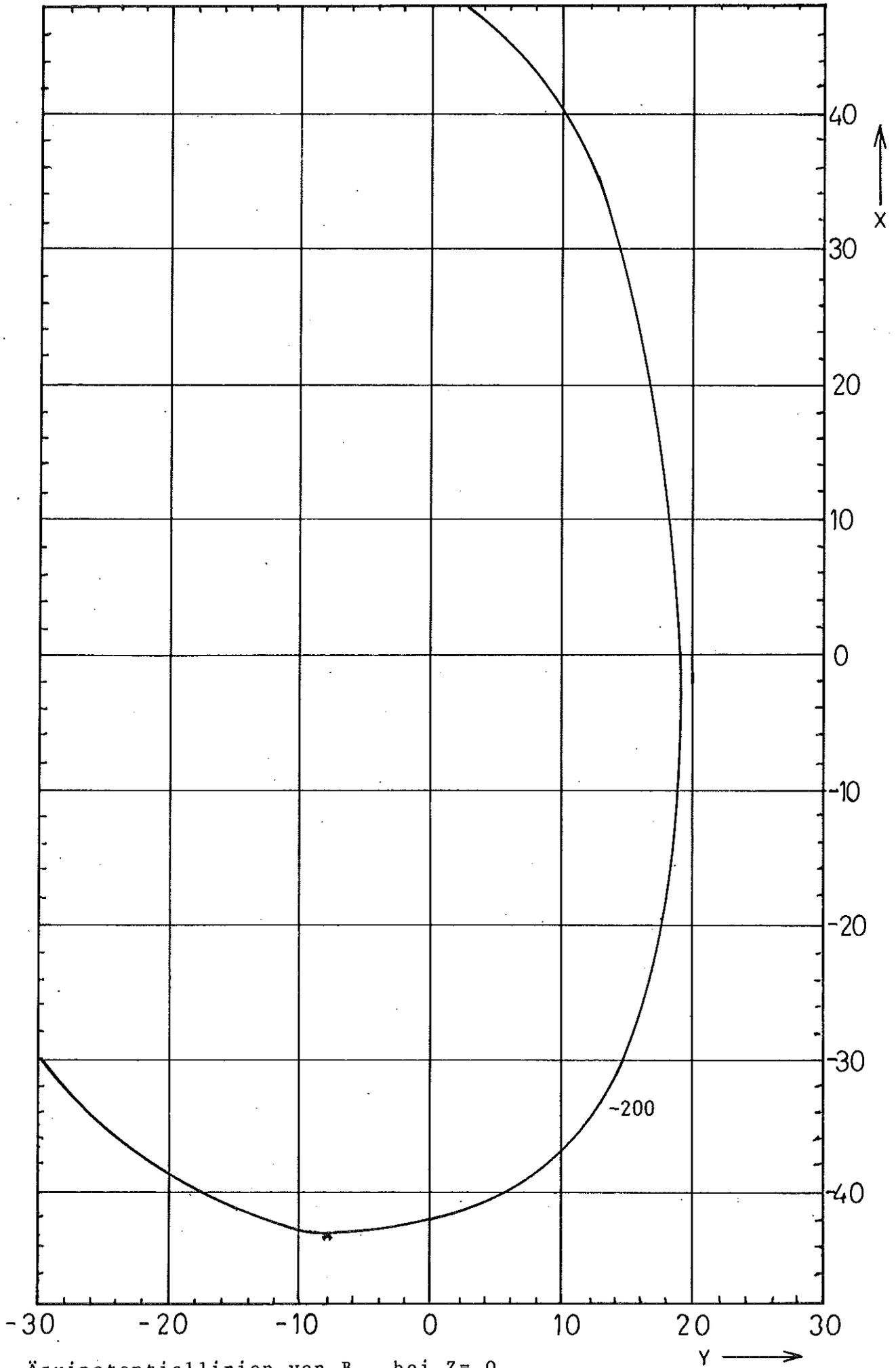




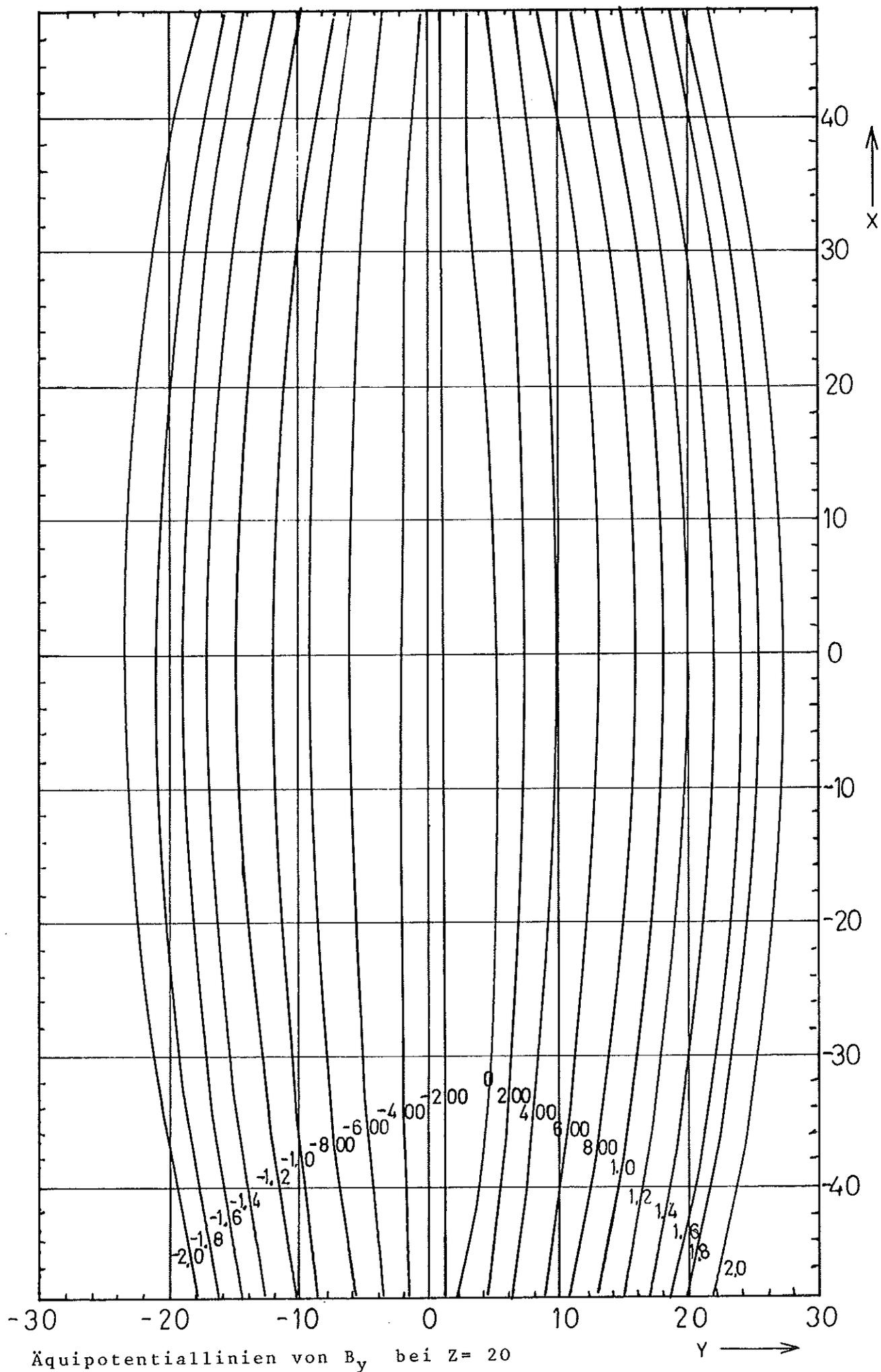
Äquipotentiallinien von B_x bei $z=20$



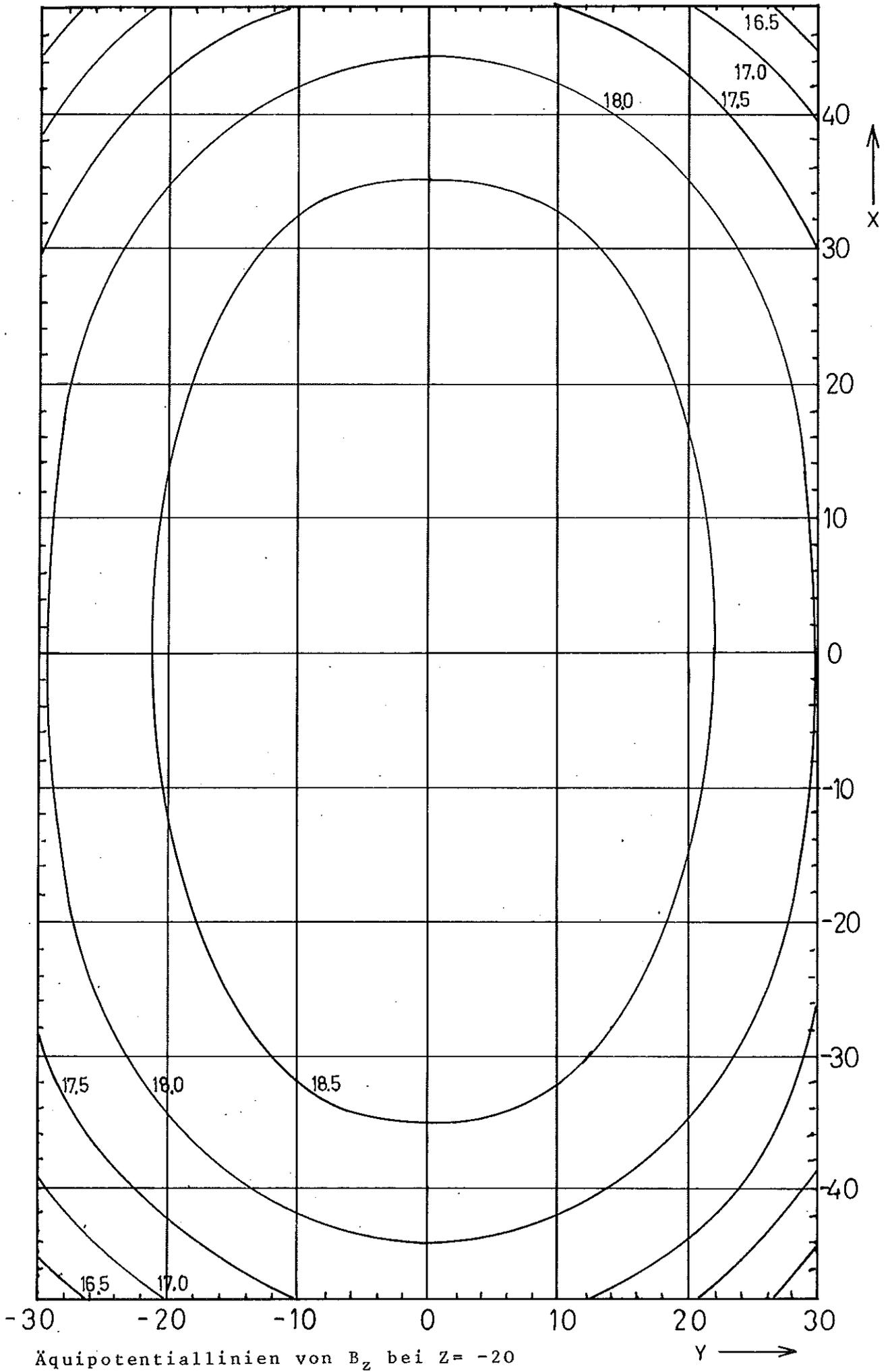
Äquipotentiallinien von B_y bei $Z = +20$



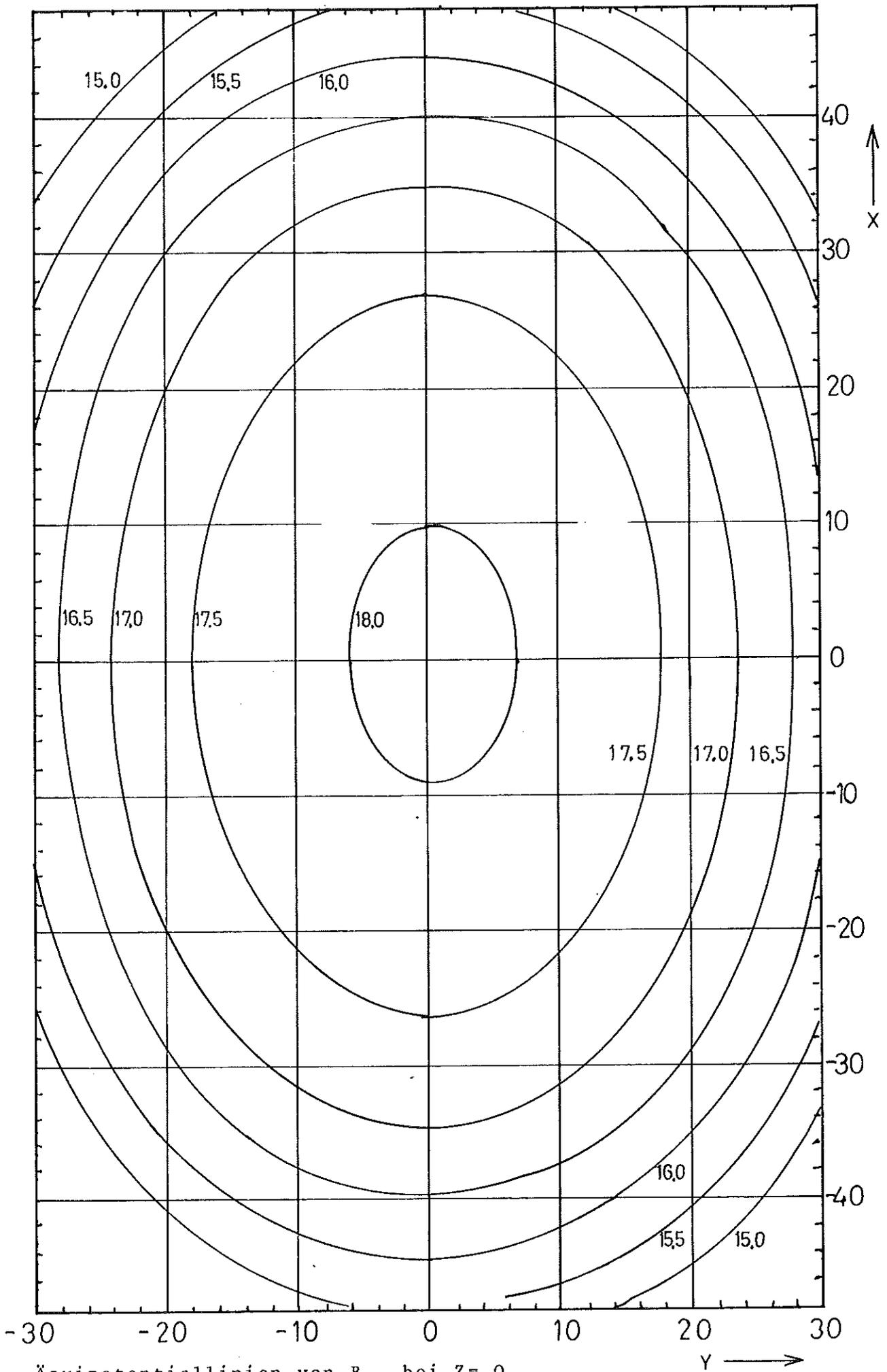
Äquipotentiallinien von B_y bei $z=0$



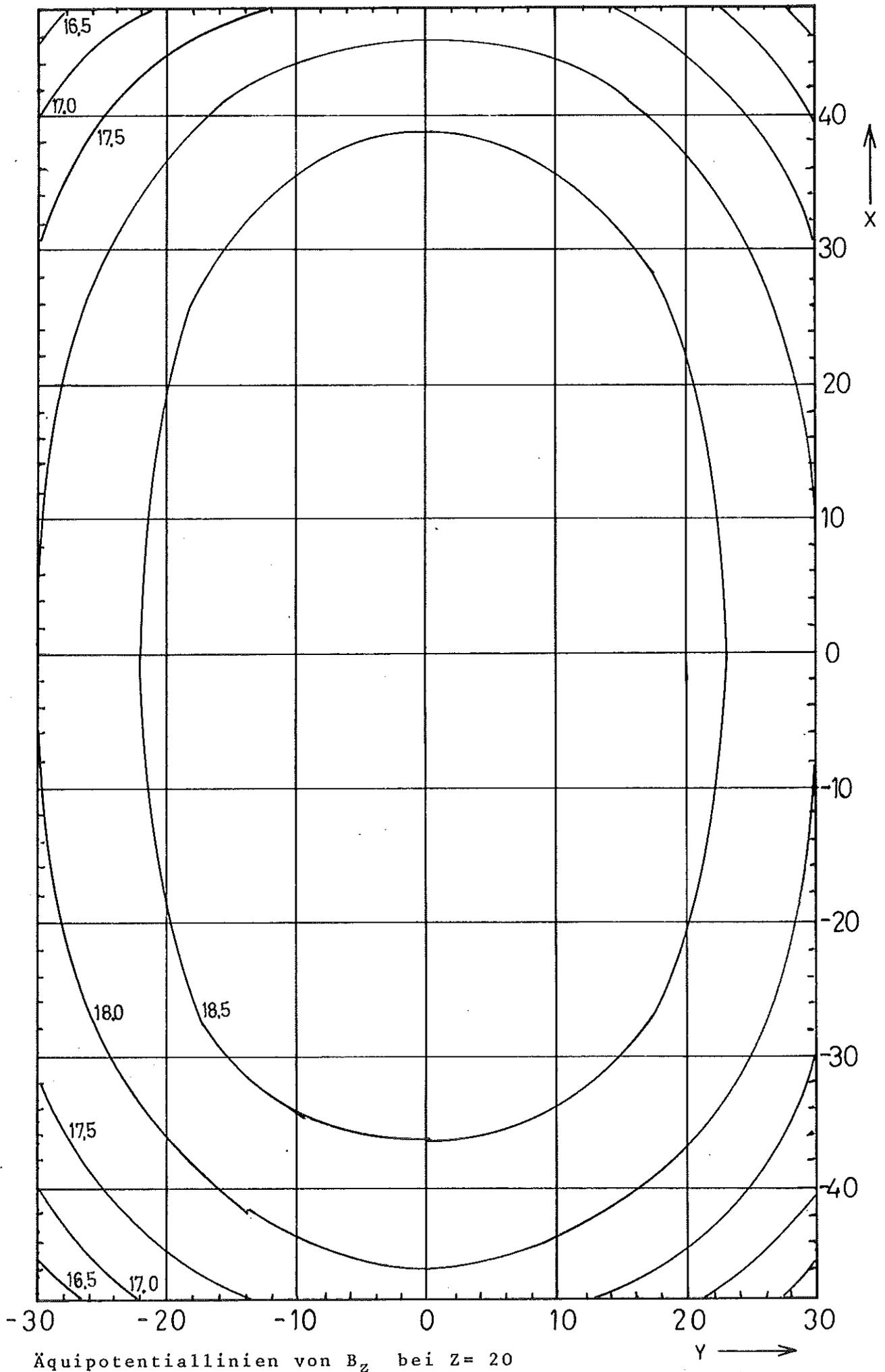
Äquipotentiallinien von B_y bei $z=20$



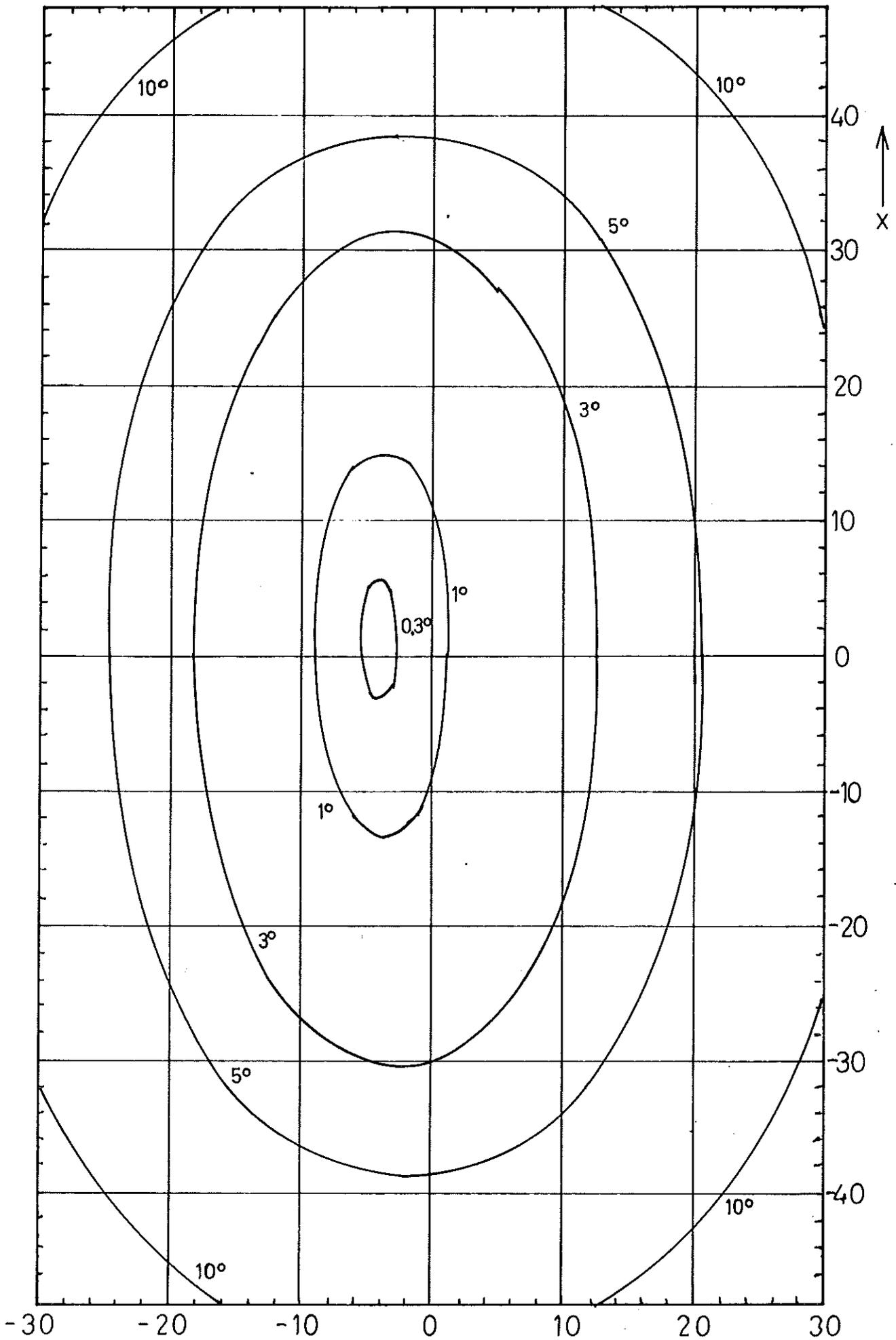
Äquipotentiallinien von B_z bei $Z = -20$



Äquipotentiallinien von B_z bei $Z=0$



Äquipotentiallinien von B_z bei $Z=20$



Linien gleicher Winkelabweichung von der Z-Richtung \longrightarrow
bei $Z = -20$

