

BAU EINES ULTRASCHALL - RADARGERÄTES mit zweidimensionaler Echodarstellung auf einem Computerbildschirm

Beitrag zum Wettbewerb "JUGEND FORSCHT" 1983
=====

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung

1. Einleitung
2. Prinzipielle Wirkungsweise
des Ultraschall-Radargerätes
3. Hardware
 - 3.1. Ultraschallsender
 - 3.2. Ultraschallempfänger
 - 3.3. Drehmechanik
 - 3.4. I/O-Interface
4. Software
 - 4.1. Programmübersicht
 - 4.2. Darstellung der Echos auf dem Bildschirm
5. Richtcharakteristik
 - 5.1. Mehrschwingerprinzip
 - 5.2. gerechnete Richtcharakteristik
 - 5.3. gemessene Richtcharakteristik
 - 5.4. Eckenproblem
 - 5.5. Auswirkungen der Richtcharakteristik
auf das Radarbild
6. Literatur und Hilfen
7. Anhang

von Heiko Purnhagen, Bremen, Elsassers Str. 64
(geb. 2.4.69) Schüler der Klasse 8 c am
Gymnasium Hamburger Straße, Bremen

BAU EINES ULTRASCHALL-RADARGERÄTES mit zweidimensionaler Echodarstellung auf einem Computerbildschirm

Kurzfassung

In meiner Arbeit beschreibe ich den Aufbau und die Funktionsweise meines Ultraschall-Radargerätes und der dazugehörigen Programme. Im Prinzip funktioniert meine Ultraschallanlage wie übliche Radaranlagen, nur mit dem Unterschied, daß ich statt der sonst verwendeten elektromagnetischen Wellen Ultraschallwellen benutze.

Mein Radargerät arbeitet mit einer Frequenz von 40 kHz und besitzt eine Reichweite von etwa 5 m. Gedreht wird die Radaranlage mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 2 Umdrehungen pro Minute. Bei jeder Umdrehung werden 120 Sektoren bearbeitet. Dieses entspricht einer Winkelauflösung von 3° .

Die Darstellung der Radarbilder erfolgt auf dem Bildschirm eines Computers. Dieser Computer verfügt über eine Grafikauflösung von 256 x 512 Punkten. Meine Programme für die Darstellung der Radarbilder habe ich in 8085-Assembler-Sprache geschrieben.

Die in meiner Radaranlage verwendeten Schwinger werden normalerweise in Ultraschallfernsteuerungen für Fernsehapparate o.ä. verwendet. Da solche Schwinger eine breite Richtcharakteristik haben, d. h. die Ultraschallwellen ziemlich ungerichtet aussenden, mußte ich einigen Aufwand treiben, um eine halbwegs schmale Richtcharakteristik zu erhalten.

1. Einleitung

Ich habe es mir als eine reizvolle Aufgabe vorgestellt, eine Radaranlage mit relativ geringen Mitteln aufzubauen. Den letzten Anstoß zu dieser Arbeit habe ich beim Besuch eines technischen Museums in den Sommerferien 1982 erhalten.

Das übliche Prinzip mit elektromagnetischen Wellen konnte für mich nicht in Frage kommen. Stattdessen habe ich Schallwellen (Ultraschall) verwendet, da der Bau einer Radaranlage so mit wenig Materialaufwand zu realisieren ist. Für die Darstellung der Echos habe ich den Computer meines Vaters, der über eine gute Grafik-Möglichkeit verfügt, benutzt.

2. Prinzipielle Wirkungsweise des Ultraschall-Radargerätes

Das Grundprinzip, nach dem mein Ultraschall-Radargerät arbeitet, wird bei allen Radargeräten benutzt. Ich sende mit meinem Radargerät kurze Schallwellen-Signale aus. Diese werden von den Gegenständen, auf die diese Schallwellen treffen, reflektiert. Die Stärke der Reflektion ist abhängig von der Entfernung und der Beschaffenheit der reflektierenden Gegenstände. Die zurückgeworfenen Schallwellen (Echos) treffen nach einer bestimmten Zeit, die abhängig ist von der Entfernung des Echogebers zur Radaranlage, wieder bei der Radaranlage ein. Aus dieser Laufzeit kann man nun sehr einfach die Entfernung des Echogebers berechnen. Diese Laufzeit ist für einen gegebenen Abstand zwischen Radargerät und Echogeber von der Schallgeschwindigkeit in dem dazwischenliegenden Medium abhängig. Bei Luft beträgt sie ungefähr 330 m pro sec., im Wasser ist sie ungefähr fünfmal so hoch und in Metallen noch höher. Dieser Zusammenhang in Formeln gefaßt lautet:

$$t = \frac{2 \cdot s}{v} \quad s = \frac{t \cdot v}{2}$$

t = Echolaufzeit in sec

s = Entfernung des Echogebers in m

v = Schallgeschwindigkeit im dazwischenliegenden Medium in m/sec

Hieraus kann man für die maximale Reichweite meiner Radaranlage von 5 m und einer Schallgeschwindigkeit in Luft von 330 m/sec eine maximale Echolaufzeit von ungefähr 30 ms errechnen. Pro cm sind es $60,5 \mu\text{sec}$.

Die empfangenen Echos werden auf dem Bildschirm wie bei richtigen Radargeräten in der jeweiligen Richtung und Entfernung dargestellt. Das auf dem Bildschirm entstehende Bild erscheint also wie aus der Vogelperspektive gesehen. Hierzu wird der "Kopf" der Radaranlage langsam gedreht, allerdings viel langsamer als bei richtigen Radaranlagen.

3. Hardware

Die Hardware besteht aus vier Teilen. Diese sind
der Ultraschallsender, der Ultraschallempfänger,
die Drehmechanik und das I/O-Interface.

3.1. Ultraschallsender

Der Ultraschallsender strahlt periodisch für eine bestimmte Zeit einen Ton mit der Frequenz von etwa 40 kHz ab. Die Senderschaltung erhält vom Computer ein Taktsignal, das ein Monoflop für die Zeit der Sendepulsdauer (ungefähr 0,5 ms, veränderbar) umschaltet. Das Ausgangssignal des Monoflops läßt über einen Logikschalter für eben diese Zeit die Sendefrequenz an den Endverstärker. Dieser wiederum steuert direkt die 5 Sendeschwinger an. Die Sendefrequenz wird ununterbrochen in einem Rechteckgenerator erzeugt. Das Taktsignal vom Computer wird auch an den Ultraschallempfänger weitergegeben.

3.2. Ultraschallempfänger

Die Schaltung für den Ultraschallempfänger hat den Zweck, die empfangenen Echos zu verstärken und zu digitalisieren, damit sie der Computer versteht. Zuerst werden die empfangenen Echos von den 5 Empfangsschwingern über einen Summier-Vorverstärker mit der Verstärkung 1 : 100 verstärkt. Dieses Signal gelangt dann an einen Regelverstärker mit einer Verstärkung von 1 : 3 bis 1 : 30. Dessen Verstärkung wird automatisch in Abhängigkeit von der Entfernung des Echogebers (zeitabhängig) geändert, so daß die starken Echos aus dem Nahbereich (bis ca. 1 m) nicht so stark verstärkt werden wie entferntere schwache Echos (mehr als 2 m entfernt). Diese Schaltung unterdrückt auch den

direkten Schall des Senders. Die Verstärkung des Regelverstärkers wird über eine Spannung verändert. Diese Spannung wird mit einem Kondensator erzeugt, der über 2 Widerstände und 2 Dioden entladen wird. Der Kondensator wird bei jedem Sendevorgang vom Taktsignal des Computers über einen Monoflop wieder aufgeladen.

Die Ausgangssignale des Regelverstärkers gehen nun auf einen Verstärker mit einstellbarer Verstärkung (1 : 1,5 bis 1 : 30). Wenn man die Verstärkung dieses Verstärkers ändert, so ergibt dies eine Änderung der Empfindlichkeit. Das Ausgangssignal dieses Verstärkers wird nun in einer einfachen Schaltung gleichgerichtet und digitalisiert. Es geht dann über einen Ausgangsverstärker (1 CMOS-Gatter) an den Computer.

3.3. Drehmechanik

Die aus Fischer-Technik aufgebaute Drehmechanik hat die Aufgabe, die Sende- und Empfangsschwinger, die mit der dazugehörigen Schaltung mechanisch verbunden sind, zu drehen und die jeweilige Position dieses "Kopfes" an den Computer zu melden. Angetrieben wird diese Mechanik von einem normalen Gleichstrommotor (6 V), der nach einer Übersetzung von 10 : 1 eine Nockenscheibe dreht, die eine Lichtschranke unterbricht (3° SYNCHRO). Darauf folgt noch einmal ein Getriebe mit der Übersetzung 120 : 1. Über dieses Getriebe wird dann der "Kopf" der Radaranlage gedreht. Bei jeder Umdrehung dieses "Kopfes" wird eine andere Lichtschranke einmal kurzzeitig unterbrochen (360° SYNCHRO). Die beiden Lichtschranken bestehen aus jeweils einer Glühbirne (200 mA/6V) und 2 Fotowiderständen.

3.4. I/O-Interface

Das I/O-Interface besteht aus einem Eingabetor (8 Bit) und einem Ausgabeter (4 Bit). Die Schaltung für diese beiden Tore besteht aus 3 TTL-IC's. Diese Schaltung habe ich nicht selber entwickelt, sondern nur nachgebaut. Sie ist daher auch nicht im Schaltplan eingezeichnet.

Das Bit 2^0 des Ausgabeteres ist der Takt für den Ultraschallsender. Das Bit 2^1 dieses Tores steuert über 2 TTL-NAND's und einen Darlington-Transistor den Motor an.

Die digitalisierten empfangenen Signale vom Ultraschallempfänger und die 3^0 und 360^0 SYNCHRO gehen direkt an das Eingabeter (Bit 2^0 bis 2^2). Sie werden nur jeweils über einen $10\text{ k}\Omega$ -Widerstand an + 5 V (Computerversorgungsspannung) gezogen. Diese Widerstände ergeben mit den jeweiligen Fotowiderständen der 3^0 und 360^0 SYNCHRO einen Spannungsteiler. Das TTL-IC des Eingangstores wirkt in diesem Fall als Schwellwertschalter. Die Glühbirnen für die Lichtschranken werden über einen gemeinsamen Widerstand von $15\Omega/3\text{ W}$ an 12 V betrieben. Diese 12 V dienen auch als Versorgungsspannung für den Ultraschallsender und -empfänger. Der Motor der Drehmechanik hingegen hat eine eigene Versorgungsspannung. Diese beiden Spannungen kommen von zwei stabilisierten Netzgeräten 1 bis 30 V/1,5 A. Da die Ein- und Ausgabeter nur eine Betriebsspannung von 5 V (Computerversorgungsspannung) haben, der Ultraschallsender und -empfänger aber eine Spannung von 12 V, habe ich vor den Schleifringen des "Kopfes" noch ein Miniinterface als Übergangsschaltung eingefügt.

Am I/O-Interface befinden sich auch 4 Bedienungselemente. Dieses sind der Maßstabsschalter (3 Stellungen), der an den Bits 2^5 und 2^6 des Eingabetores angeschlossen ist, und einen Schalter sowie zwei Taster (Stehen/Ende/Hardcopy), die über einen Umcodierer (2 TTL-NAND's) an die Bits 2^3 und 2^4 des Eingabetores angeschlossen sind.

4. Software

Die Software hat die Aufgabe, die empfangenen Echos auf dem Computerbildschirm darzustellen. Das Radarbild auf dem Bildschirm ist - wie bei richtigen Radargeräten - aus der Vogelperspektive gesehen. Hierzu benutze ich den Computer meines Vaters, der eine Grafikauflösung von 256×512 Punkten hat. Meine Programme habe ich in 8085-Assemblersprache geschrieben.

4.1. Programmübersicht

Das Programm für die Darstellung der Echos auf dem Bildschirm besteht aus einer Vielzahl von Unterprogrammen, auf die ich aus Platzgründen mit Ausnahme eines Unterprogramms nicht genauer eingehen kann.

Wenn das Programm gestartet wird, wird zuerst eine Initialisierung des Bildschirms und ggf. des Druckers vorgenommen. Dann wird der Text "1 RING = 100 CM" auf den Bildschirm gegeben. Nun geht das Programm in eine Schleife, die es für jede volle Umdrehung einmal durchläuft. In dieser Schleife wird zuerst eine Synchronisation auf 360° durchgeführt. Dieses geschieht mit der in 3.3. beschriebenen 360° -Lichtschanke. Wenn diese Synchronisation erfolgt ist, wird der Maßstabsschalter der I/O-Schaltung (siehe 3.4.) abgefragt und die der Stellung entsprechende CM/Ringangabe auf dem Bildschirm sichtbar (25/50/100). Nun geht das Programm in eine zweite Schleife, die für jeden Sektor (3°) durchlaufen wird. In dieser Schleife wird zuerst ein Sendesignal ausgegeben, und dann werden die empfangenen Echos in den Speicher geschrieben. Hierzu wird 256-mal in konstanten, maßstabsabhängigen Zeitabständen das digitalisierte Ausgangssignal des Empfangsverstärkers abgefragt und weggespeichert.

Danach werden in den Speicher, in dem die Echos für diesen Sektor weggespeichert sind, 5 Maßstabsringe eingefügt. Dies geschieht folgendermaßen: Wenn kein Echo auf dem Bildschirm ist, soll der Ring hell erscheinen, wenn jedoch ein Echo auf dem Bildschirm angezeigt wird, soll der Ring dunkel im hellgeschriebenen Echo erscheinen. Nach diesen Vorbereitungen werden die Echos auf dem Bildschirm angezeigt (genauere Beschreibung in 4.2.). Jetzt wartet das Programm auf das Synchronisationssignal der 3° -Lichtschanke (siehe 3.3.). Daraufhin wird abgefragt, ob ein vollständiges Bild auf dem Computerbildschirm angezeigt wurde, d. h. ob 120 Sektoren dargestellt wurden. Wenn dieses nicht der Fall ist, wird wieder ein Sendesignal ausgegeben usw.. Dieses ist also die innere Schleife. Wenn dies aber der Fall ist, wird wieder eine 360° -Synchronisation durchgeführt. Dieses ist die äußere Schleife.

Zusätzlich werden einmal je Sektor die Bedienungselemente (siehe 3.4.) abgefragt. Wenn die Taste "Hardcopy" an der I/O-Schaltung gedrückt ist, wird ein Unterprogramm "Hardcopy" aufgerufen. Dieses Programm ist ein Monitor-Unterprogramm zur Ausgabe des Bildschirminhaltes auf einem Drucker. Wenn der Schalter "Stehen" eingeschaltet ist, wird der Drehmotor ausgeschaltet. Ist die Taste "Ende" gedrückt, wird das Programm beendet (Rücksprung zum Monitorprogramm).

4.2. Darstellung der Echos auf dem Bildschirm

Das Unterprogramm zur Darstellung der Echos auf dem Bildschirm hat die Aufgabe, die empfangenen Signale, die in einer 256 Bit langen Tabelle weggespeichert wurden, auf dem Bildschirm darzustellen. Diese Signale müssen in einem 3° -breiten Sektor auf dem Bildschirm angezeigt werden, dessen Lage sich in 3° -Schritten verändert. Der Computer-Bildschirm hat eine Auflösung von 256×512 Punkten. Er wird von einem Grafikcontroller (GDP EF 366) angesteuert. Die Umrechnung in diese Koordinaten geschieht folgendermaßen:

Ich berechne mir die beiden Eckpunkte des Sektors, die auf dem größtmöglichen Radius liegen. Diese Berechnung erfolgt über ein festes Assembler-Unterprogramm zur Koordinaten-Transformation von Polarkoordinaten in kartesische Koordinaten (KOTRAN). Die X- und Y-Werte dieser beiden Punkte werden nun durch 256 geteilt. Diese ΔX - und ΔY -Werte werden nun weggespeichert. Jetzt werden 4 Zähler initialisiert, indem sie mit den X- und Y-Werten des Mittelpunktes des Radarbildes geladen werden. Die Koordinaten dieser beiden Punkte werden nun 256-mal um die dazugehörigen weggespeicherten ΔX - und ΔY -Werte verändert, so daß ich am Ende wieder die Koordinaten der Eckpunkte des Sektors habe. Bei jedem dieser 256 Schritte wird dann eine Linie zwischen diesen beiden Punkten, die auf den Außenseiten des zu schreibenden Sektors liegen, gezeichnet und gelöscht. Gezeichnet wird sie, wenn in der Tabelle für die jeweilige Entfernung ein Echo abgespeichert war; gelöscht wird sie, wenn kein Echo in der Tabelle abgespeichert war. Ist der Sektor vollständig gezeichnet, wird das Unterprogramm beendet. Diese Darstellungsweise hat zur Folge, daß fast alle in der Kreisfläche enthaltenen Bildpunkte benutzt werden (zeichnerische Erläuterung siehe Anhang A 22).

5. Richtcharakteristik

Um ein möglichst gutes Radarbild zu erhalten, müssen die Schwinger eine sehr gute Richtcharakteristik haben, d. h. sie dürfen ihre Signale nur in einem sehr schmalen Sektor senden und empfangen.

Für meine Zwecke benötige ich eine Richtcharakteristik, die einen schmalen Sektor von ungefähr $3 - 6^{\circ}$ abdeckt. Dieses ergibt sich aus meiner Schrittweite von 3° , da die Schrittweite immer kleiner sein muß als die Breite eines Sektors.

Die 40 kHz-Ultraschall-Schwinger, die ich für mein Radargerät benutze, werden normalerweise in Ultraschall-Fernsteuerungen verwendet und haben eine sehr schlechte Richtcharakteristik, z.B. bei halber Amplitude (-6dB) eine Sektorbreite von $\pm 25^\circ$. Um die Richtcharakteristik zu verbessern, gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder bündele ich die Schallwellen mit einem Hohlspiegel, oder ich benutze das Mehrschwingerprinzip. Da ein Hohlspiegel für eine Wellenlänge von ungefähr 0,8 cm relativ groß werden müßte, habe ich mich für das Mehrschwingerprinzip entschieden.

5.1. Mehrschwingerprinzip

Das Mehrschwingerprinzip beruht darauf, daß sich 2 Wellen gegenseitig auslöschen können, und zwar geschieht dieses, wenn die Wellen eine Phasenverschiebung von 180° haben. Wenn sie dagegen eine Phasenverschiebung von 0° haben, verdoppeln sie sich. Die Größe der Phasenverschiebung und die damit gegebenenfalls verbundene Auslöschung hängt vom Betrachtungswinkel der Schwinger sowie vom Abstand der Schwinger zueinander und von der Wellenlänge ab. Dieses Verhalten kann man berechnen (siehe Anhang A 13). Dabei erhält man dann für den einfachsten Fall, daß nur 2 Schwinger benutzt werden, folgende Formel für die Phasenverschiebung:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi \cdot d \cdot \sin\alpha}{\lambda}$$

$\Delta\varphi$ = Phasenverschiebung
 α = Betrachtungswinkel
 d = Abstand der Schwinger
 λ = Wellenlänge

Aus dieser Phasenverschiebung kann man jetzt mit einem Additionstheorem für zwei Sinusschwingungen die resultierende Amplitude errechnen.

5.2. gerechnete Richtcharakteristik

Für meine Zwecke ist die Richtcharakteristik mit zwei Schwingern nicht gut genug. So benötige ich also mehrere Schwinger, z.B. 5 Stück. Mit den Formeln aus 5.1. kann man für 5 Sinusschwingungen die jeweilige Phasenverschiebung zwischen den einzelnen Schwingungen berechnen. Die Formel für die Addition dieser 5 Sinusschwingungen habe ich von meinem Vater erhalten.

Für diese Formeln habe ich nun ein BASIC-Programm geschrieben, das mir die genaue Richtcharakteristik für eine bestimmte Frequenz, eine bestimmte Anzahl der Schwinger und einem bestimmten Abstand zwischen den einzelnen Schwingern in Polarkoordinaten auf dem Bildschirm zeichnet. Diese Richtcharakteristik kann ich mir ausdrucken lassen. In dem Programm besteht die Möglichkeit, entweder die Charakteristik einer bestimmten Schwingerkombination auszurechnen, oder zusätzlich noch die Eigencharakteristik der einzelnen Schwinger zu berücksichtigen. Mit Hilfe dieses Programms kann ich mir nun Richtcharakteristiken für die Sender-Schwinger-Gruppe und die Empfänger-Schwinger-Gruppe ausdrucken. Da die Möglichkeit besteht, die Sendeschwinger mit unterschiedlichen Abständen nebeneinander zu reihen wie die Empfangsschwinger, habe ich nun nach einer günstigen Kombination gesucht, bei der die Nebenmaxima des Senders in die Minima des Empfängers gelegt werden und umgekehrt. Dieses ergibt eine insgesamt gute Gesamtrichtcharakteristik (Sender und Empfänger) mit größten Nebenmaxima von kleiner - 25 dB bei $\pm 20^\circ$.

5.3. gemessene Richtcharakteristik

Um zu kontrollieren, ob die gerechneten Richtcharakteristiken auch mit der Realität übereinstimmen, habe ich versucht, die jeweilige Gruppencharakteristik des Senders und des Empfängers zu messen. Dies war nicht sehr einfach, da man für solche Messungen entweder einen sehr großen Raum oder einen möglichst schalltoten Raum benötigt. Daher habe ich eine Reihe von Messungen der Sender-Schwinger-Gruppe und der Empfänger-Schwinger-Gruppe durchgeführt. Die sich ergebenden Meßergebnisse stimmten aber nicht genau mit den errechneten Werten überein.

Außerdem habe ich versucht, noch einmal die gesamte Richtcharakteristik für Sende- und Empfangsschwinger zu messen, da dies die Richtcharakteristik ist, die sich auf das Radarbild auswirkt. Dazu habe ich einen schmalen Echogeber, der gleichmäßig streuend reflektiert (eine Glasflasche 0,7l) frei im Raum senkrecht aufgehängt. Die Stärke des reflektierenden Echos habe ich dann für verschiedene Stellungen des "Kopfes" gemessen. Die Ergebnisse ähnelten dann auch in gewisser Weise den errechneten Werten (Nebenmaxima von - 15 dB bei etwa $\pm 20^\circ$). (siehe auch Anhang A 12)

5.4. Eckenproblem

Das Problem, daß meine Radaranlage Ecken, an denen ebene Wände ungefähr rechtwinklig zusammenstoßen, nicht richtig darstellt, fiel mir beim Ausprobieren der fertigen Anlage in meinem Zimmer auf. Die Ecken werden auf dem Bildschirm als rund dargestellt. Der Grund dafür ist, daß die Schallwellen an den Ecken zweimal reflektiert werden, so daß sie wieder genau auf die Radaranlage treffen, auch wenn die Schallwellen nicht exakt in die Ecke gerichtet sind (siehe Anhang A 20).

5.5. Auswirkungen der Richtcharakteristik auf das Radarbild

Die Richtcharakteristik behandle ich so genau, weil diese sich erheblich auf das Radarbild auswirkt. Hauptsächlich geschieht dies dadurch, daß meine Schwingerkombination trotz aller Mühe größere Nebenmaxima aufweist. Diese befinden sich ungefähr bei $\pm 20^\circ$ mit einer Stärke von ungefähr - 15 dB zum Hauptmaximum. Daraus folgt nun, daß bei einem schmalen Echogeber (z.B. frei im Raum hängende Glasflasche) auf dem Bildschirm nicht nur das Hauptecho der Flasche sondern jeweils auch $\pm 20^\circ$ seitlich ein weiteres kleineres Nebenecho auf dem Bildschirm erscheint. Diese Echos der Nebenmaxima kann man dadurch unterbinden, daß man die Empfindlichkeit der Radaranlage verringert. (siehe Anhang A 19). Dies geschieht durch Verringerung der Empfangsverstärkung (siehe 3.2.). Das Verringern der Empfindlichkeit hat jedoch zur Folge, daß nicht sehr gut reflektierende Echogeber, z.B. Menschen, nicht mehr einwandfrei dargestellt werden. Auch das Eckenproblem (siehe 5.4.) wirkt sich sehr stark auf das Radarbild aus. So werden auf dem Radarbild z.B. Zimmerecken als kleine Kreisbögen dargestellt. Hierbei spielen auch die Nebenmaxima eine sehr große Rolle, da z.B. eine Zimmerecke relativ gut reflektiert im Gegensatz zu anderen Gegenständen. Diese Tatsache kann ich mit den mir zur Verfügung stehenden Mitteln nicht verhindern.

6. Literatur und Hilfen

6.1. benutzte Literatur

- 1.) Motorola CMOS-Datenbuch
The european cmos selection, 1979
- 2.) National Semiconductor
Datenblatt LM 3900
- 3.) Datenblatt Ultraschallwandler MA 40 L1 R/L1 S
-Völkner Electronic-

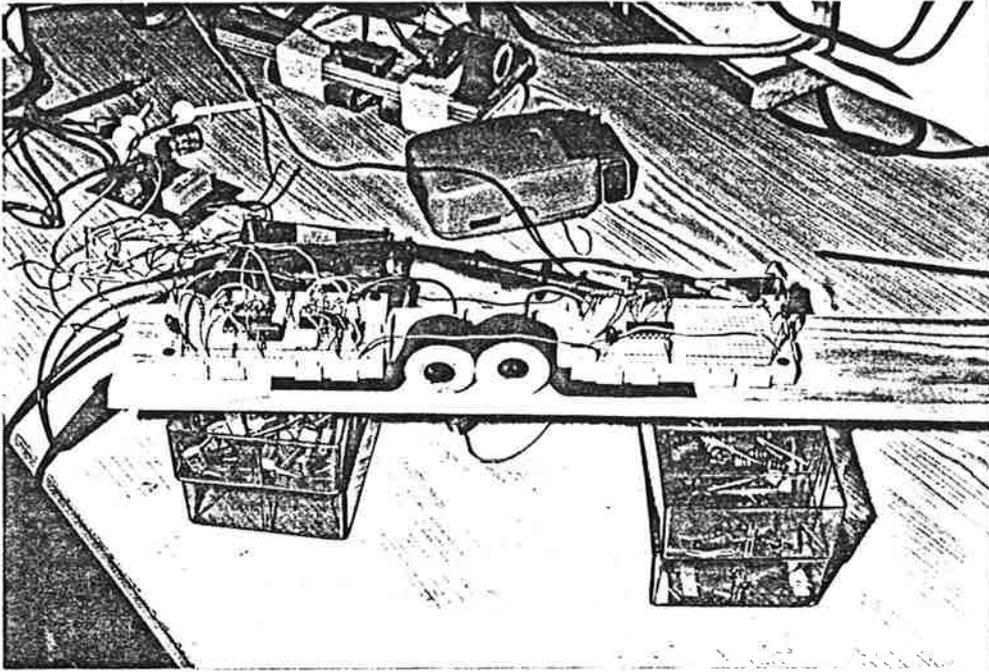
6.2. Hilfen

beratend: mein Vater Heinz Purnhagen
Netzteile: Erstattung der Kosten anlässlich des
Wettbewerb "Jugend Forscht 1981"
durch den Senator für Bildung, Bremen

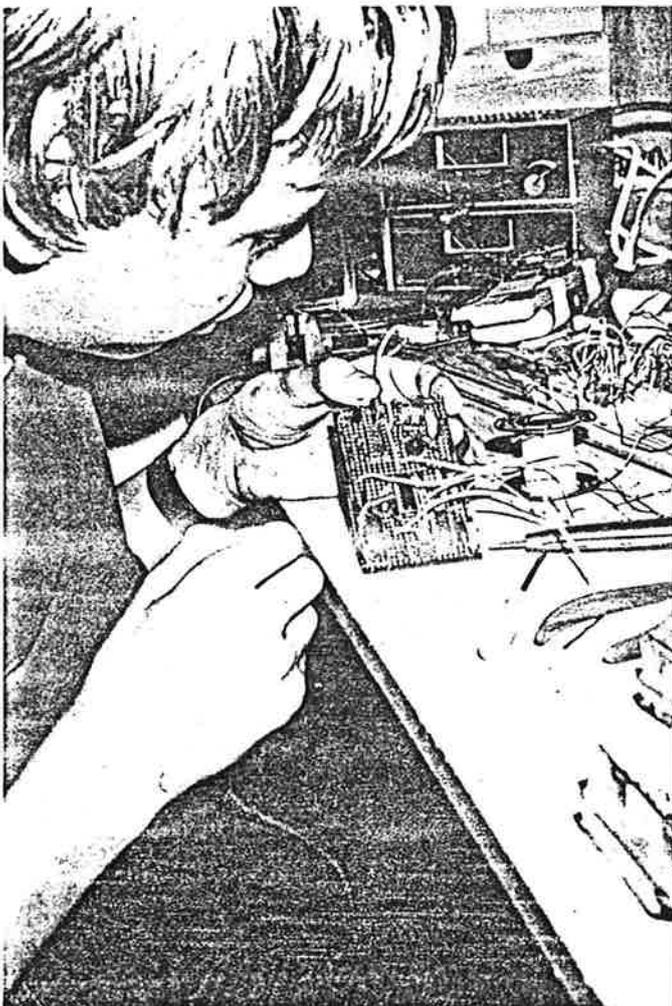
7. A n h a n g

bestehend aus:

- | | | |
|--------|---|-----------------|
| 7.1. | Fotos | Seite A 1 - A 3 |
| 7.2. | Schaltungsunterlagen | Seite A 4 - A 8 |
| 7.3. | Datenblatt Schwinger | Seite A 9 |
| 7.4. | Richtcharakteristik | |
| 7.4.1. | Richtcharakteristikdiagramme | Seite A10 - A12 |
| 7.4.2. | Berechnung der Richtcharakteristik, Formel und BASIC-programm | Seite A13 - A16 |
| 7.5. | Radarbilder | Seite A17 - A20 |
| 7.6. | Assembler-Programm Radargerät | |
| 7.6.1. | Programmablaufplan | Seite A21 |
| 7.6.2. | Prinzip der Echodarstellung | Seite A22 |
| 7.6.3. | Listing des Assembler-Programms | Seite A23 - A31 |



erste Versuche
mit 1 Sendeschwinger und 1 Empfangsschwinger

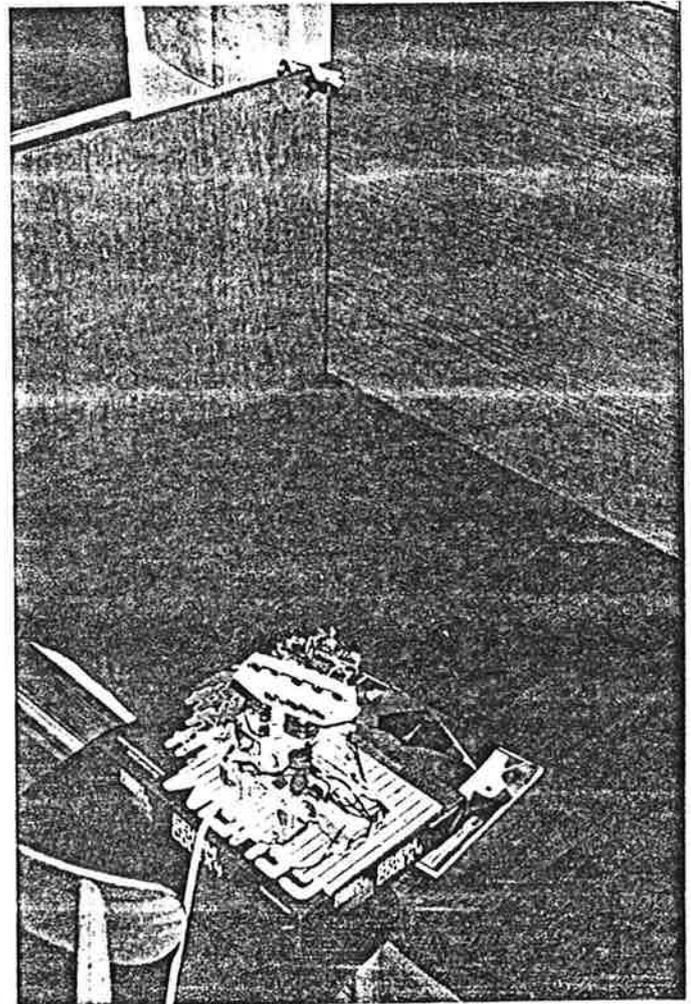
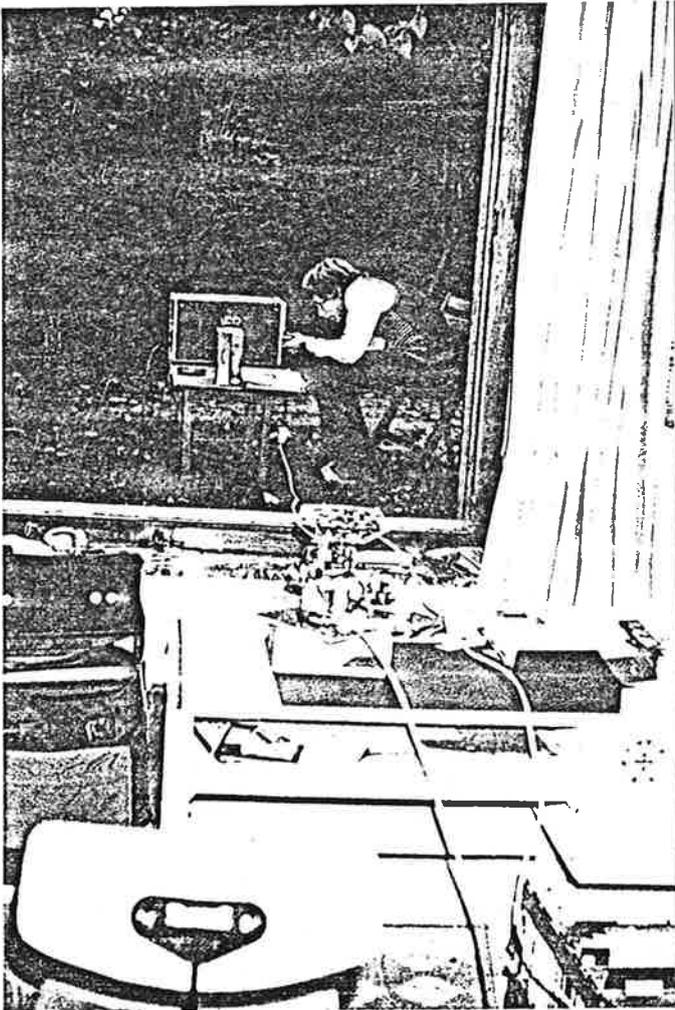


Löten der Platine
für den Radarkopf

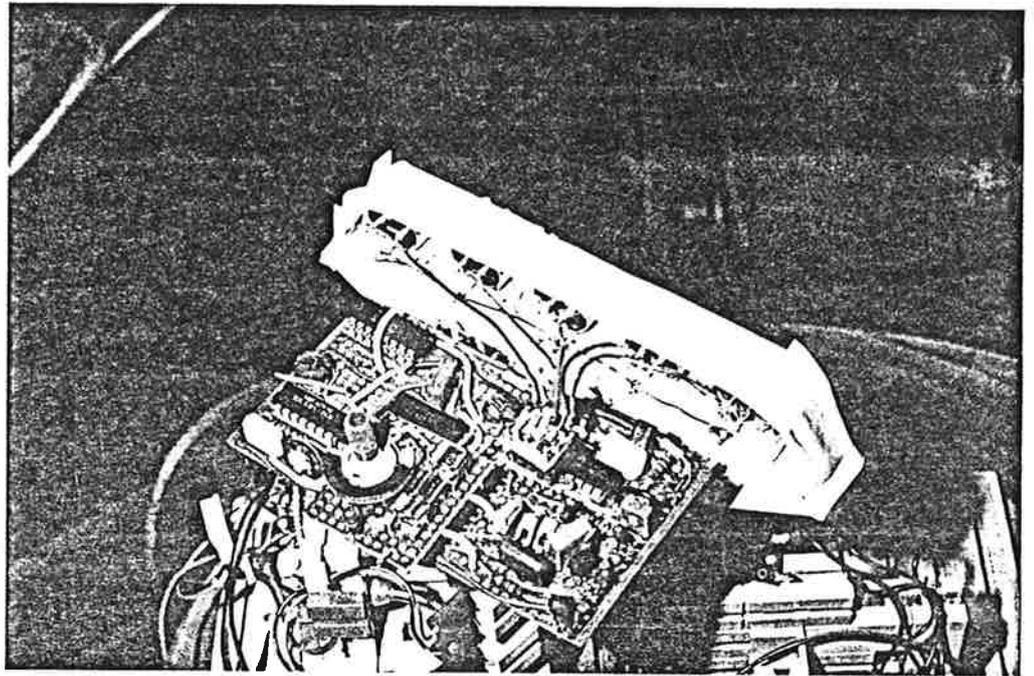


mit Glasflasche

Richtcharakteristik
im Freien

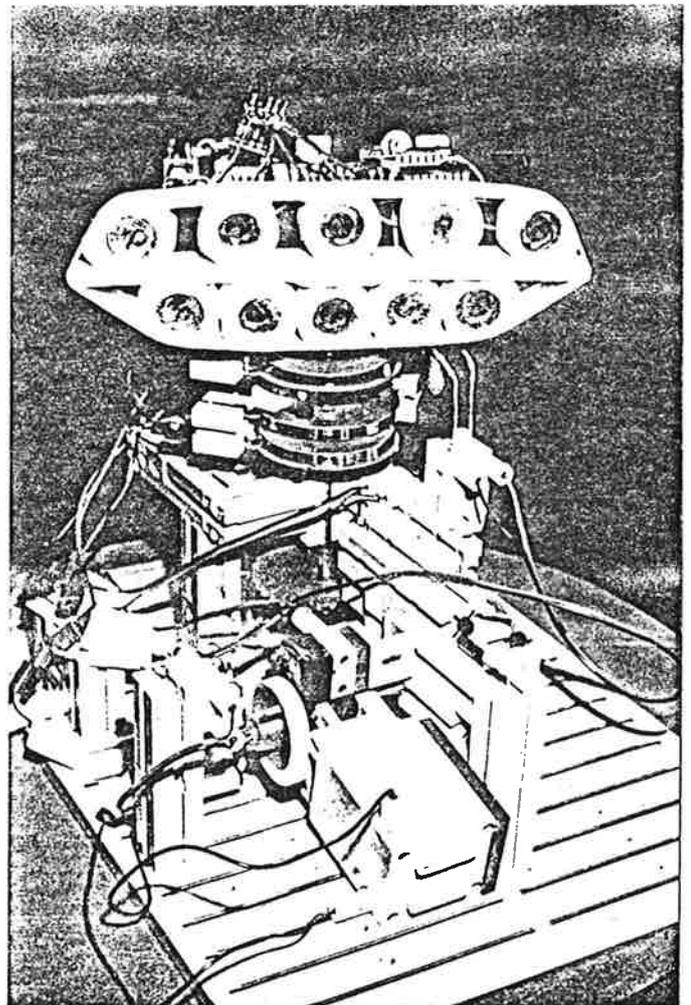
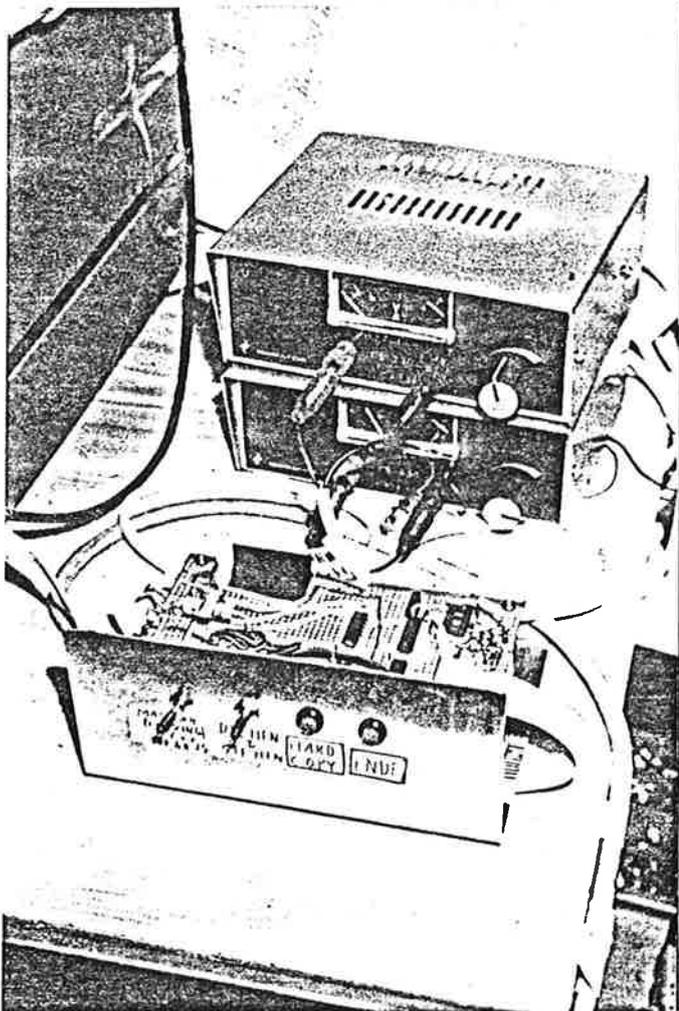


Eckenproblem



"Kopf"

I/O-Interface



das fertige Radargerät

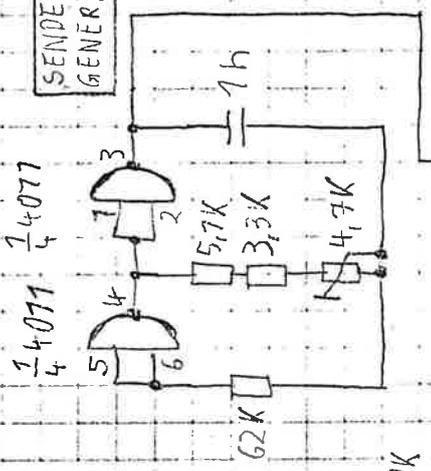
12V0 12V

SICHERUNG
250mA

75V 10W

1/4 14011

SENDEFREQUENZ-
GENERATOR 40KHz



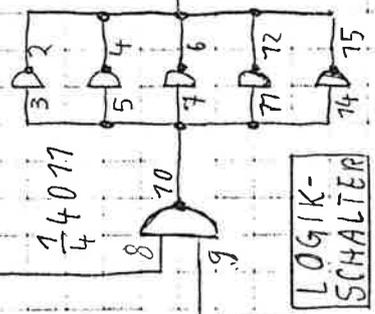
TAKT

-A4-

SENDESCHWINGER

50M440L75

1/4 14011



LOGIK-
SCHALTER

END-
VERSTÄRKER

SENDEIMPULS-
DAUER ≈ 0.5ms

1/4 14528



ULTRASCHALLSENDER

MINI-
INTERFACE
TEIL 1

SCHLEIF-
RINGE
TEIL 2

ZUM
VO INTERFACE

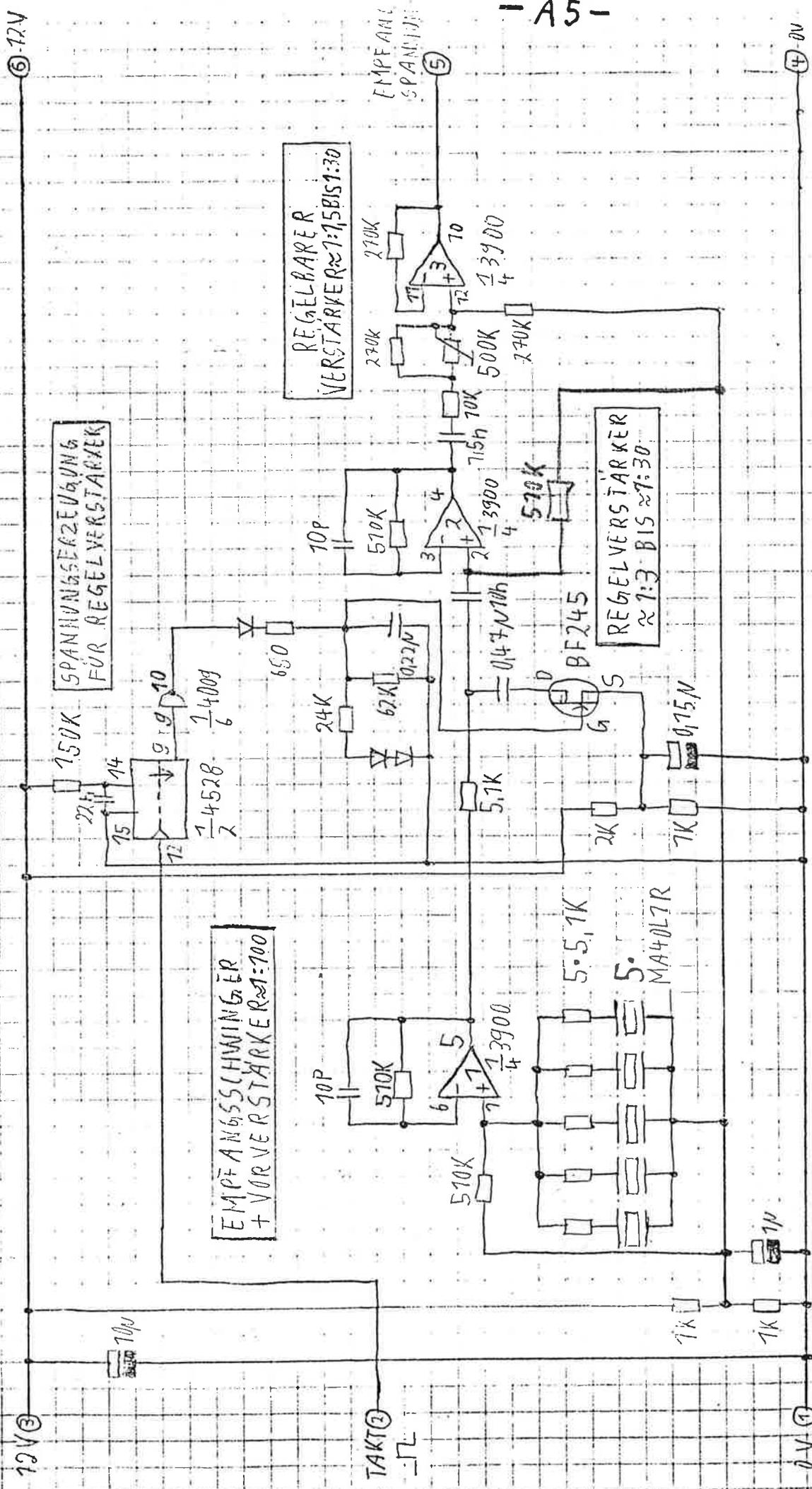
TAKT
SENDER

20K BC237

0V0

ZUM
EMPFÄNGER
TEIL 1

Reika Furukawa 4.7.1983



SPANUNGSERZEUGUNG FÜR REGELVERSTÄRKER

EMPEFANGSSCHWINGER + VORVERSTÄRKER $\approx 1:100$

REGELBARER VERSTÄRKER $\approx 1:15$ BIS $1:30$

REGELVERSTÄRKER $\approx 1:3$ BIS $\approx 1:30$

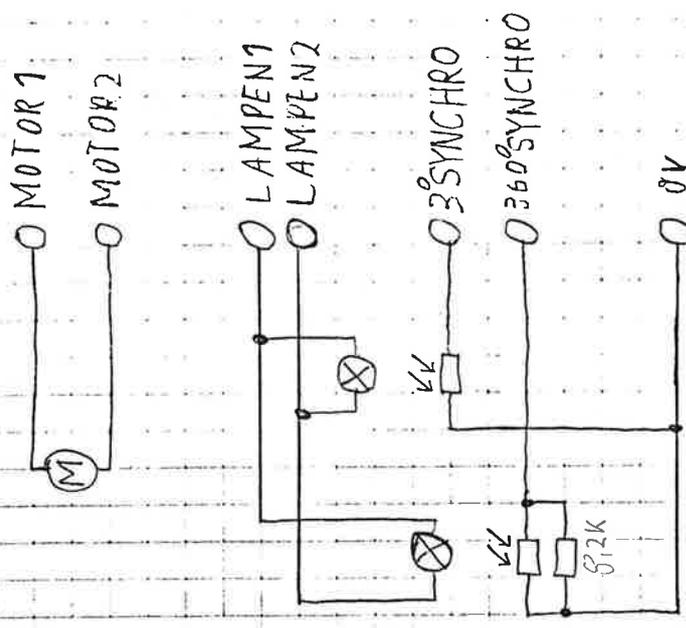
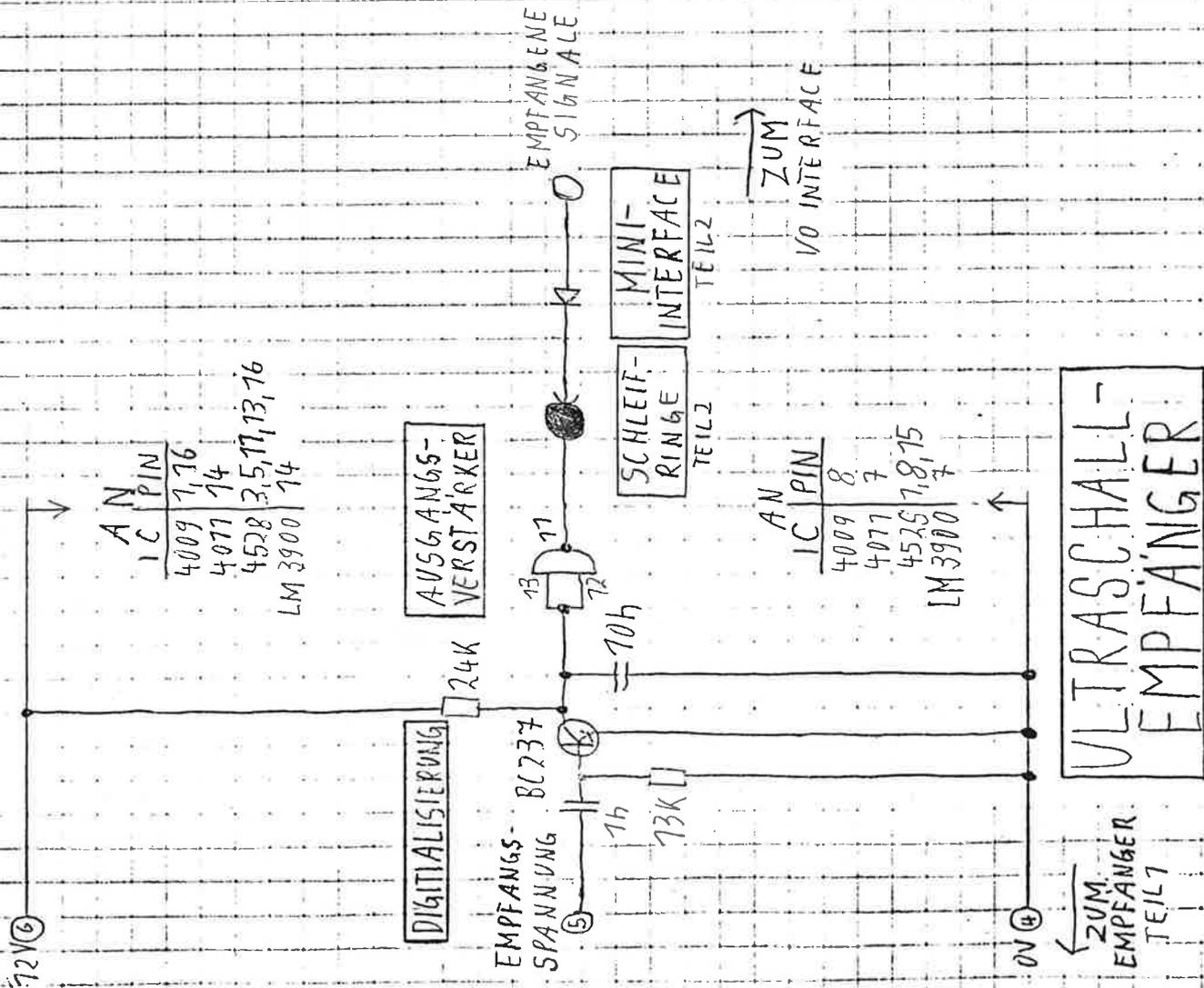
ULTRASCHALLEMPFÄNGER

ZUM SENDE

ZUM EMPFÄNGER TEIL 2

TEIL 1

Reifeprüfung 9.7.79 B3



DREHMECHANIK

→ ZUM VO INTERFACE

Rechts Seite 3.7.1983

TOR-BELEGUNG I/O-INTERFACE

Eingabetor 84 H

DB	Belegung																
2 ⁰	empfangene Signale 1 $\hat{=}$ größer als Schwellwert																
2 ¹	Synchro 3 ⁰																
2 ²	Synchro 360 ⁰																
2 ³	<table> <tr> <td>0</td> <td>nichts</td> <td>0</td> <td>Hard-</td> <td>1</td> <td>Ende</td> <td>1</td> <td>Stehen</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td></td> <td>1</td> <td>copy</td> <td>0</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> </tr> </table>	0	nichts	0	Hard-	1	Ende	1	Stehen	0		1	copy	0		1	
0		nichts	0	Hard-	1	Ende	1	Stehen									
0		1	copy	0		1											
2 ⁴																	
2 ⁵	<table> <tr> <td>0</td> <td>nichts</td> <td>0</td> <td>25 cm/Ring</td> <td>1</td> <td>100 cm/Ring</td> <td>1</td> <td>50 cm/Ring</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td>0</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> </tr> </table>	0	nichts	0	25 cm/Ring	1	100 cm/Ring	1	50 cm/Ring	0		1		0		1	
0		nichts	0	25 cm/Ring	1	100 cm/Ring	1	50 cm/Ring									
0		1		0		1											
2 ⁶																	
2 ⁷	-----																

Ausgabeter 85 H

DB	Belegung
2 ⁰	Taktsender aktiv $\overline{\downarrow}$
2 ¹	Motor 1 = EIN
2 ²	-----
2 ³	-----

Ultraschallwandler MA 40 L1 R
MA 40 L1 S

1. Allgemeines

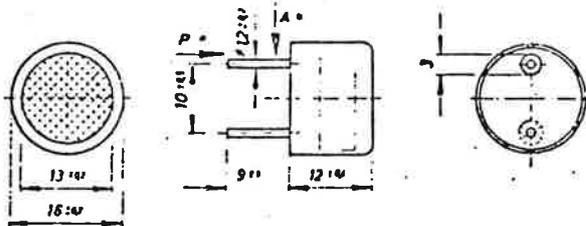
Der Ultraschallwandler MA 40 L1R wird als Mikrophon zum Empfang von Ultraschallwellen eingesetzt. Der Ultraschallwandler MA 40 L1S dient als Sender zur Erzeugung von Ultraschallwellen. Diese Kombination eignet sich besonders gut für Fernsteuersysteme.

2. Elektrische Eigenschaften (25°C)

- | | | | |
|--|---|--|------------------------------|
| | | MA 40 L1R | MA 40 L1S |
| 2.1 Mittenfrequenz | : | $f_0 = 40 \pm 1 \text{ kHz}$ | $f_0 = 41 \pm 1 \text{ kHz}$ |
| (Die Mittenfrequenz f_0 ist definiert durch die Mittenfrequenz der Bandbreite bei $-70 \text{ dB/V}/\mu\text{bar}$) | | | |
| 2.2 Empfindlichkeit bei f_0 | : | $G \geq -67 \text{ dB/V}/\mu\text{bar}$ | |
| 2.3 Bandbreite bei $-73 \text{ dB/V}/\mu\text{bar}$ | : | $B \geq 4 \text{ kHz}$ | |
| 2.4 Temperaturverhalten | : | Im Temperaturbereich $-20 \dots +60^\circ\text{C}$ ändert sich f_0 nicht mehr als 3 kHz und die Empfindlichkeit bei f_0 sinkt nicht mehr als 10 dB ab. | |
| 2.5 Betriebswechselspannung | : | $U_{B\sim} \leq 20 \text{ V}_{\text{eff}}$ | |
| Es wird empfohlen, die Ultraschallwandler gleichspannungsfrei zu betreiben. | | | |

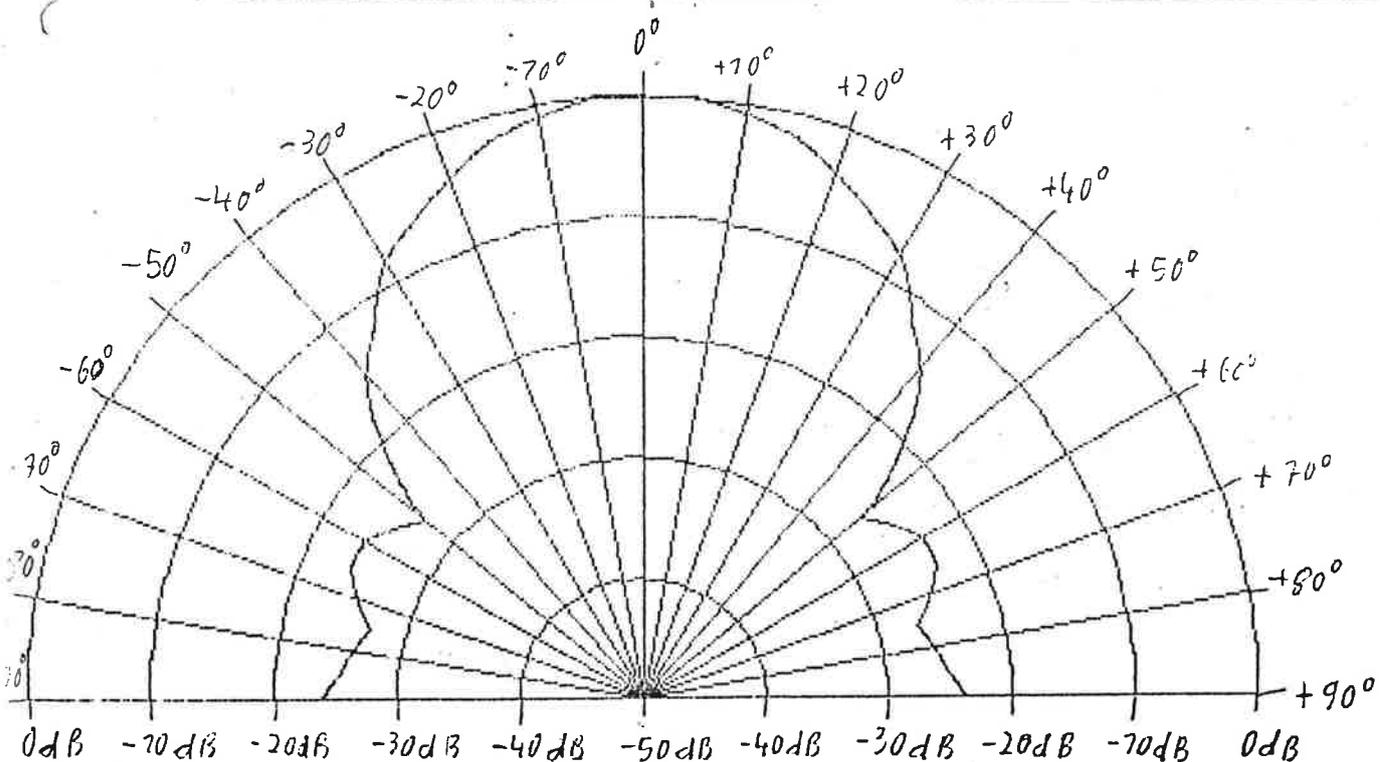
3. Mechanische Abmessungen und Eigenschaften

3.1 MA 40 L1R und MA 40 L1S



Es ist zweckmäßig, das Gehäuse in Schaumgummi zu lagern!

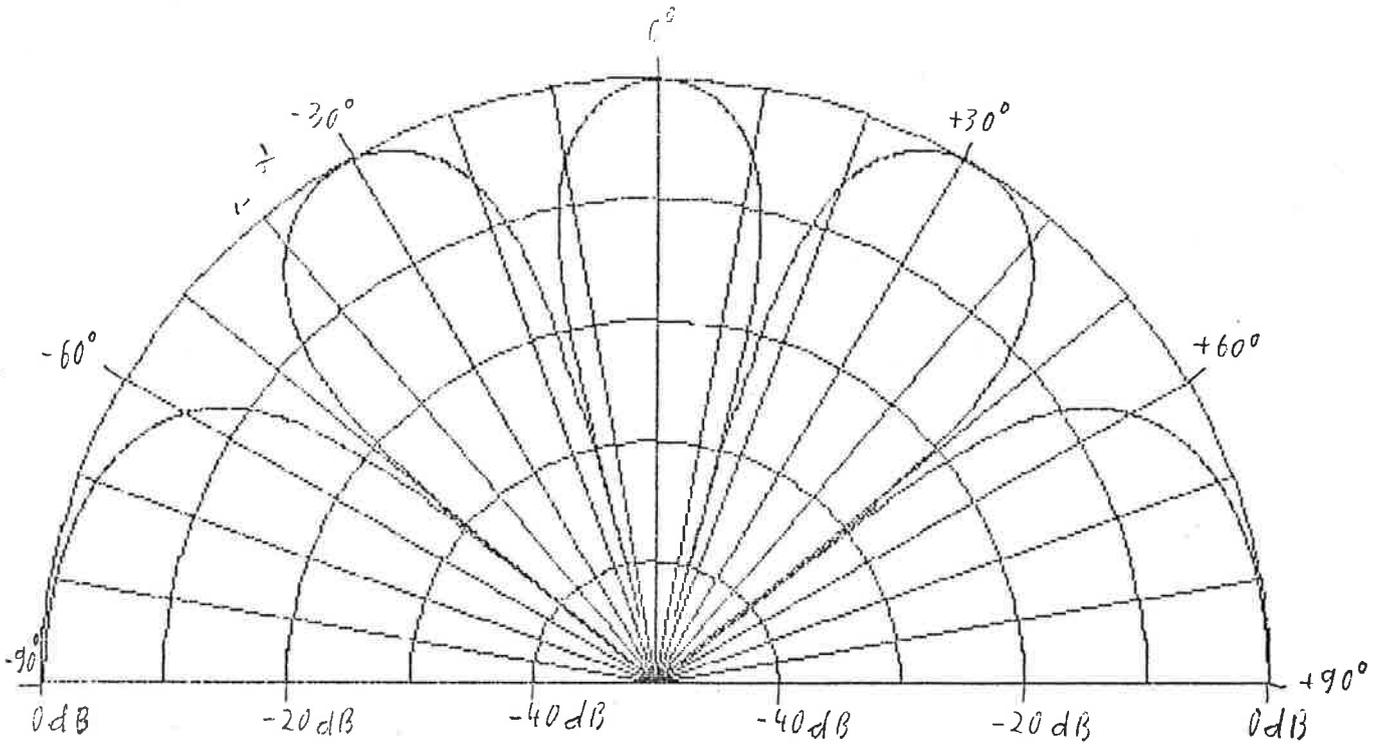
Richtcharakteristik:



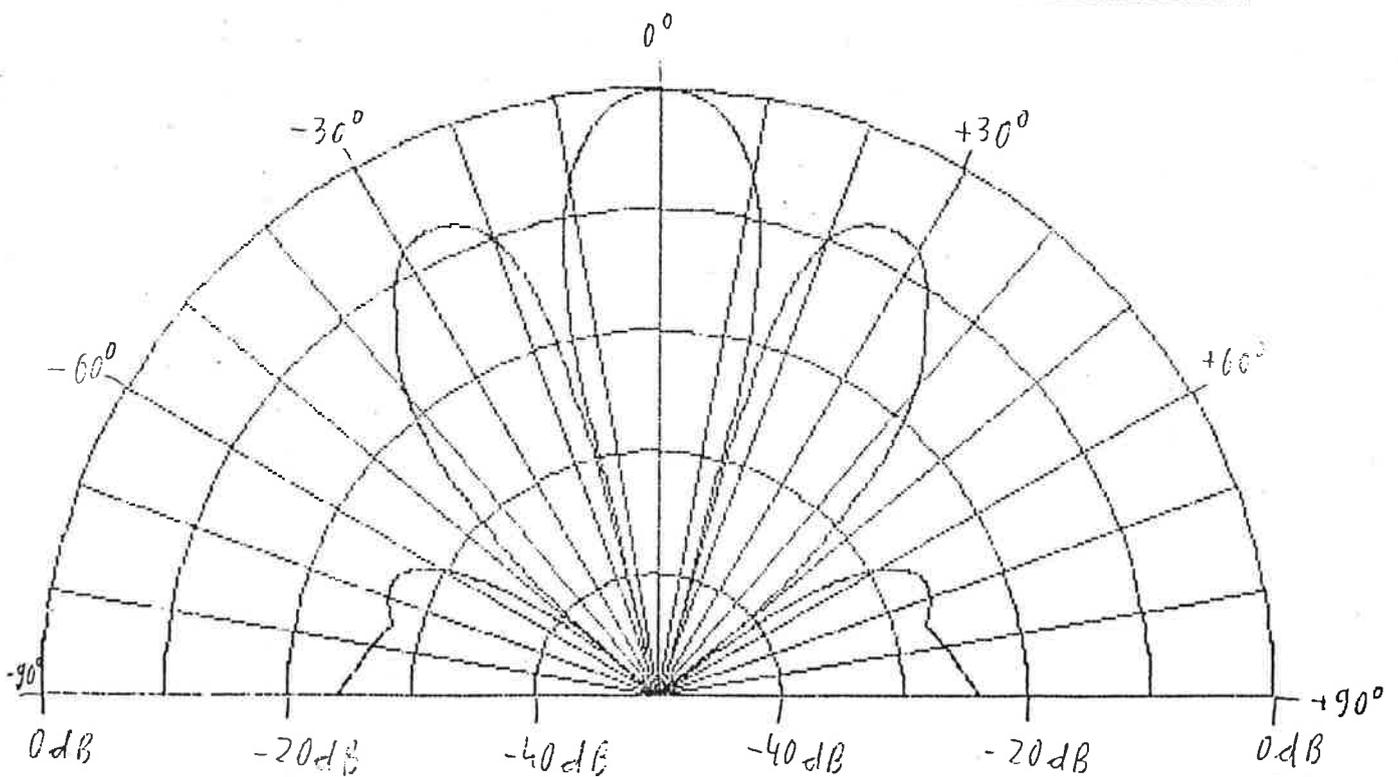
Richtcharakteristik 2 Schwinger

Abstand 1,6 cm

ohne Berücksichtigung der Eigencharakteristik:



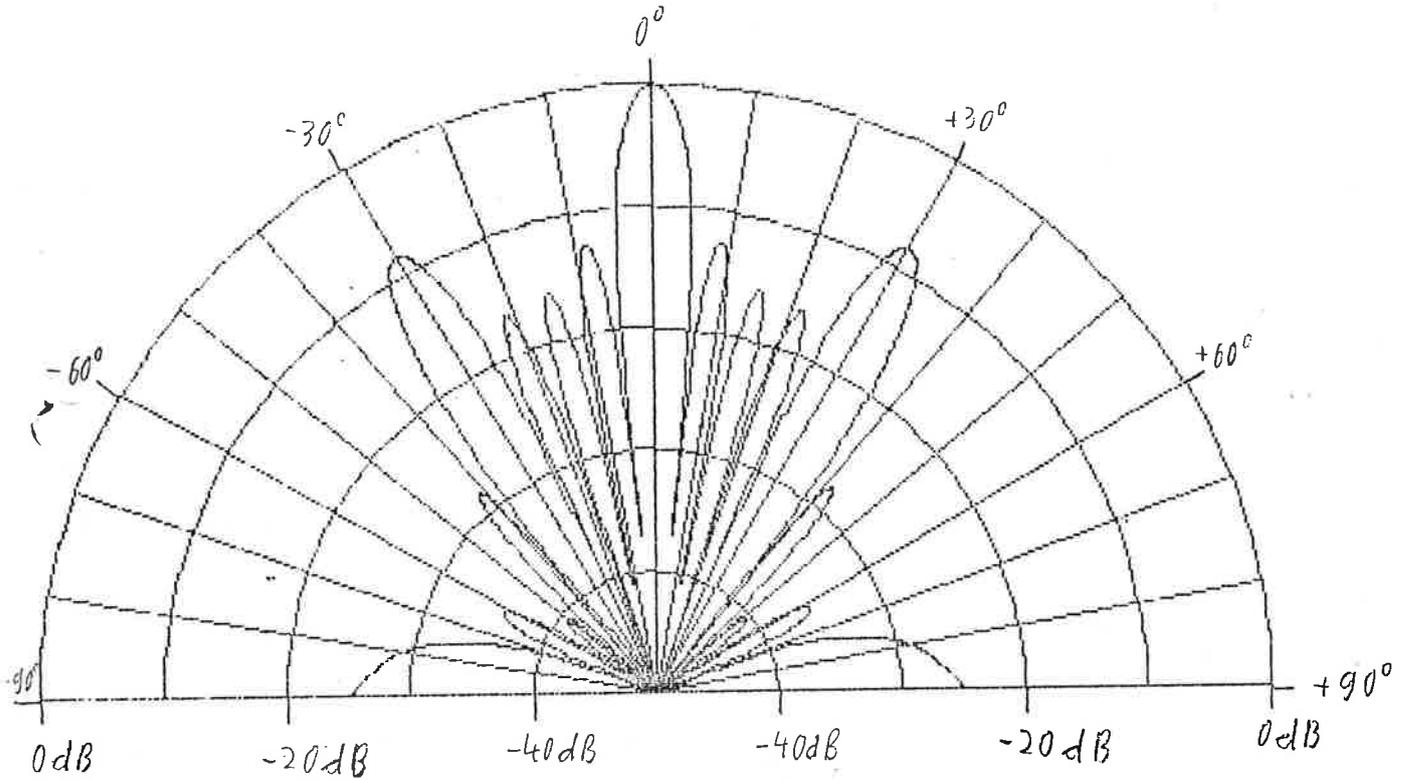
mit Berücksichtigung der Eigencharakteristik:



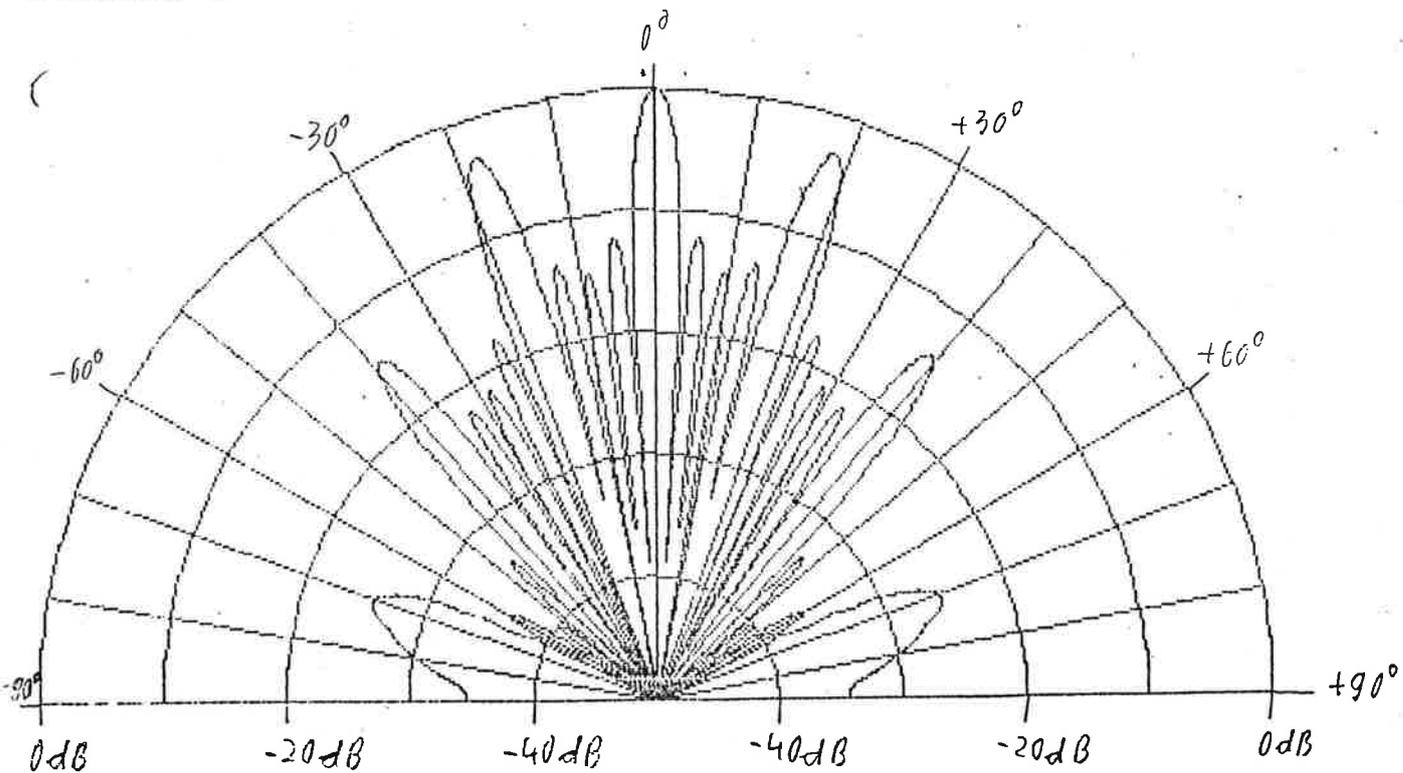
Richtcharakteristik 5 Schwinger

mit Berücksichtigung der Eigencharakteristik

Sender: Schwingerabstand 1,6 cm



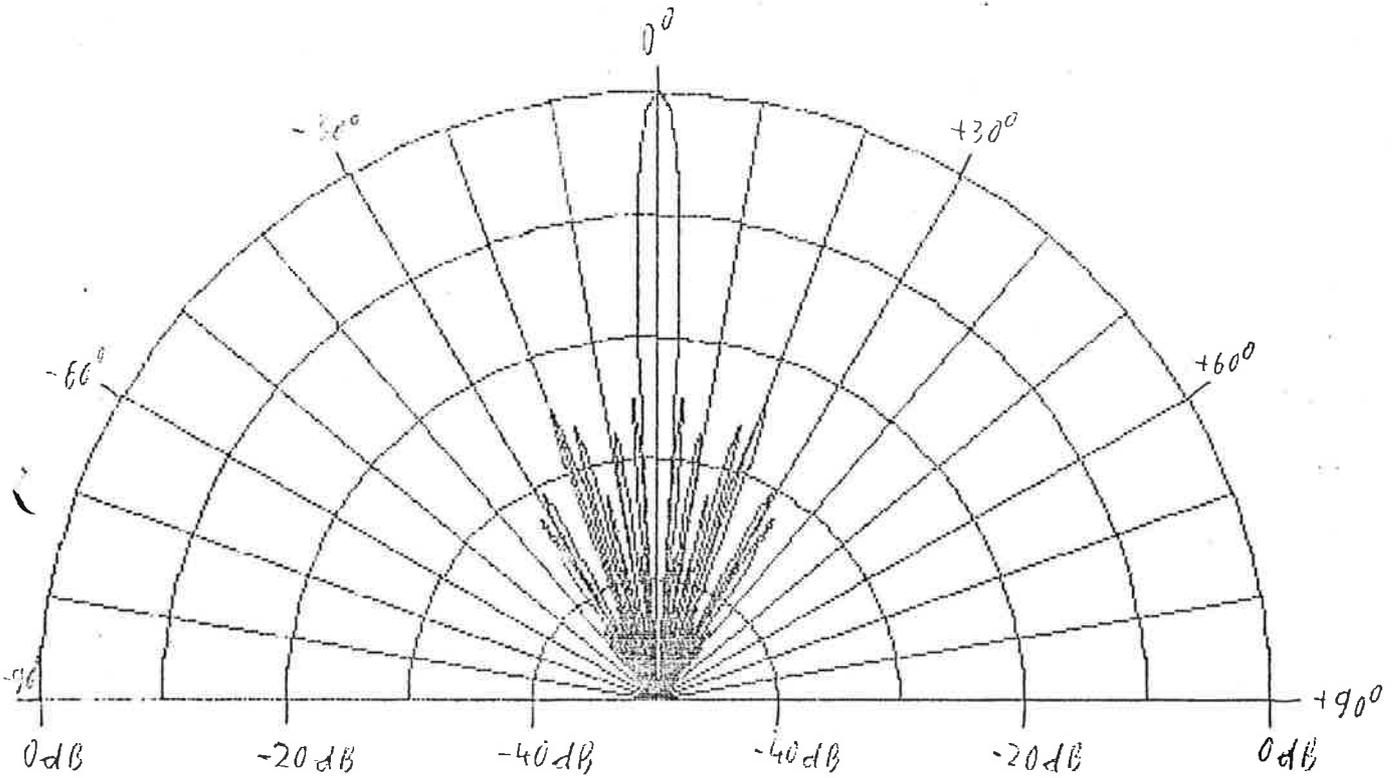
Empfänger: Schwingerabstand 2,6 cm



Gesamtrichtcharakteristik

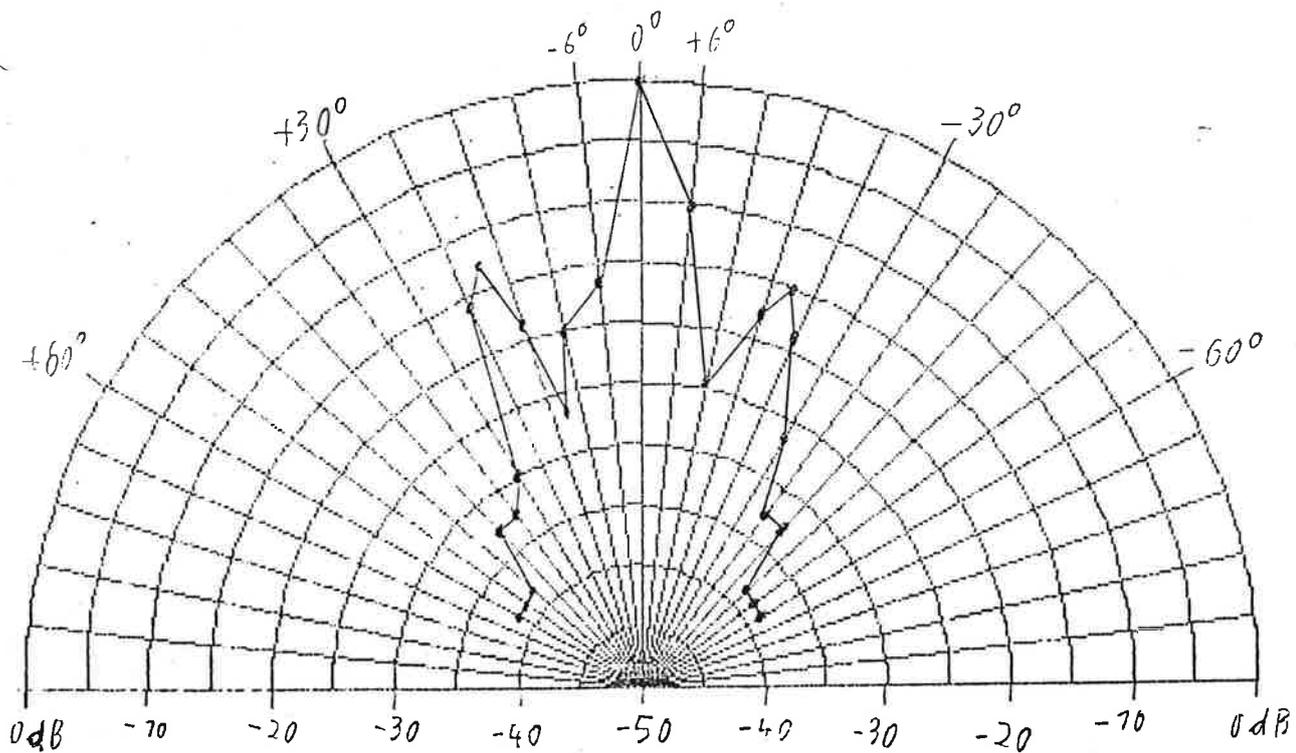
5 Sendeschwinger mit 1,6 cm Abstand
5 Empfangsschwinger mit 2,6 cm Abstand

gerechnete Gesamtrichtcharakteristik:

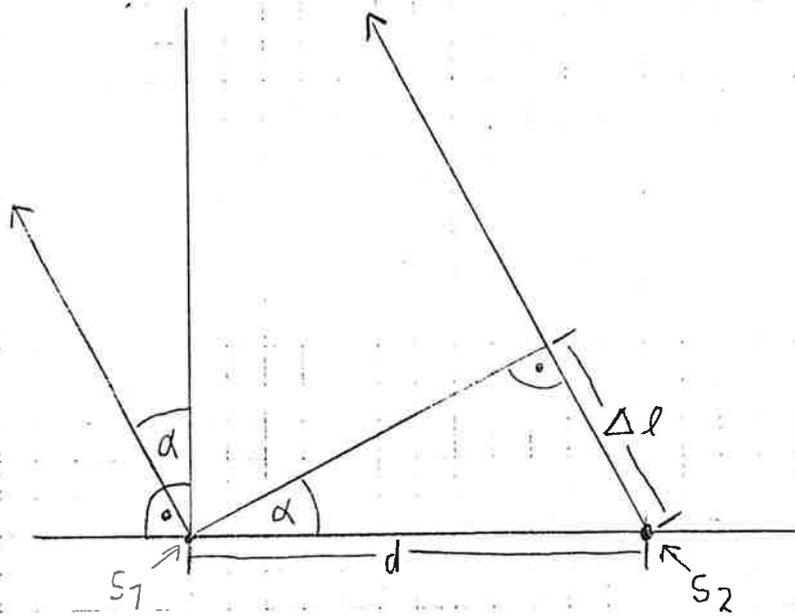


gemessene Gesamtrichtcharakteristik:

Messung mit leerer 0,7 l-Glasflasche, Durchmesser 7 cm
in 1 m Entfernung



Formel zur Berechnung der Phasenverschiebung



S₁, S₂: SCHWINGER

alpha : BETRACHTUNGS-
WINKEL

d : ABSTAND DER
SCHWINGER

$$\sin \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}} = \frac{\Delta l}{d} \quad || \cdot d$$

$$d \cdot \sin \alpha = \Delta l$$

$$\frac{\Delta \varphi}{\Delta l} = \frac{2\pi}{\lambda} \quad || \cdot \Delta l$$

Delta phi : PHASEN-
VERSCHIEBUNG
lambda : WELLENLÄNGE

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi \cdot \Delta l}{\lambda}$$

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi \cdot d \cdot \sin \alpha}{\lambda}$$

BASIC-Programm zur Berechnung der Richtcharakteristik

Hauptprogramm:

```
15 DIM T(450)
16 DIM ER(450)
17 GOSUB 500
18 INPUT "ENDE";A#
19 IF A#="J" THEN END
20 INPUT "FREQUENZ (KHZ)";F : F=F*1000
30 INPUT "ABSTAND DER SENDER (CM)";D : D=D/100
32 INPUT "ANZAHL DER SENDER";N
35 LD=330/F
60 INPUT "0=BILDSCHIRM 1=DRUCKER";A1
61 YY=155
62 IF A1=1 THEN HL=USR(163) : YY=230
45 PRINT CHR$(12)
   Y1=YY : Y2=YY
58 X1=255 : X2=255
69 GOSUB 2000
70 FOR I=0 TO 90 STEP 0.2
75 I1=INT((I*5)+0.5)
80 BM=I/57.2958
90 DL=D*XSIN(BM)
100 DB=DL/LD*6.28318
110 GOSUB 800
115 SS=ABS(SS)
120 PP=SS*100
125 PP=PP/100*XT(I1)
127 T(I1)=PP
130 GOSUB 1500
140 NEXT I
143 IF A1=1 THEN HL=USR(166) : GOTO 150
145 GET AA# : IF AA#="" THEN 145
150 GOTO 18
```

Programm zur Berücksichtigung der Eigencharakteristik:

```
500 INPUT "1=MIT RICHTCHAR. 2=OHNE RICHTCHAR. ";A
510 IF A=1 THEN 600
520 FOR I=0 TO 450
530 ER(I)=100
540 NEXT I
550 GOTO 710
600 DATA 100,100,90,80,63,50,40,25,18,10,4.5,5.5,6.5,6.5,5.5,4.5,5,5.5,6.5
605 READ N
610 FOR I=0 TO 425 STEP 25
620 A=N
630 READ N
640 D=A-N
650 D=D/25
660 FOR S=1 TO I+25
670 ER(S)=A
680 A=A-D
690 NEXT S
700 NEXT I
710 FOR I=0 TO 450
720 T(I)=100
730 NEXT I
740 RETURN
```

Programm zur Addition der Sinusschwingungen:

```
800 CO=0 : SI=0
810 FOR NN=0 TO N-1
820 CO=CO+COS(NN*DB)
830 SI=SI+SIN(NN*DB)
840 NEXT NN
850 DP=ATN(SI/CO)
860 SS=CO/COS(DP)
870 SS=SS/N
875 SS=SS/100*ER(1*5)
880 RETURN
```

Programm zur polaren Darstellung der Richtcharakteristik:

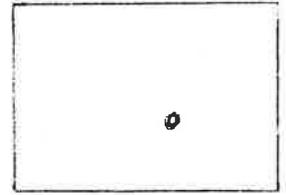
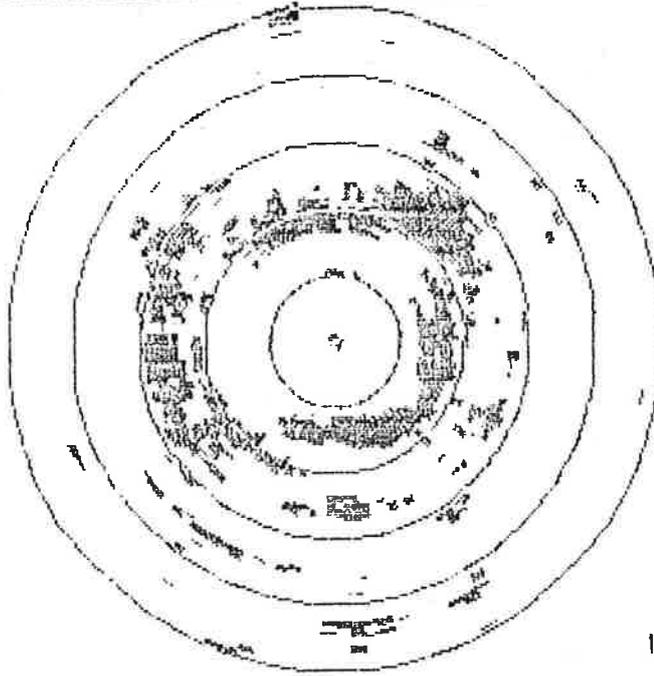
```
1500 REM PUNKTZEICHNEN
1503 PP=100+2*(0.43429*20*LOG(PP/100))
1507 IF PP<0 THEN PP=0
1510 DX=SIN(BM)*255/100*PP
1520 DY=COS(BM)*YY/100*PP
1530 Y=DY : X=256+DX
1535 YN=Y1 : XN=X1
1540 GOSUB 3000
1545 Y1=Y : X1=X
1550 Y=DY : X=256-DX
1555 YN=Y2 : XN=X2
1560 GOSUB 3000
1565 Y2=Y : X2=X
1567 RETURN
```

Plotprogramm für den Bildschirm:

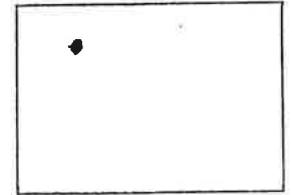
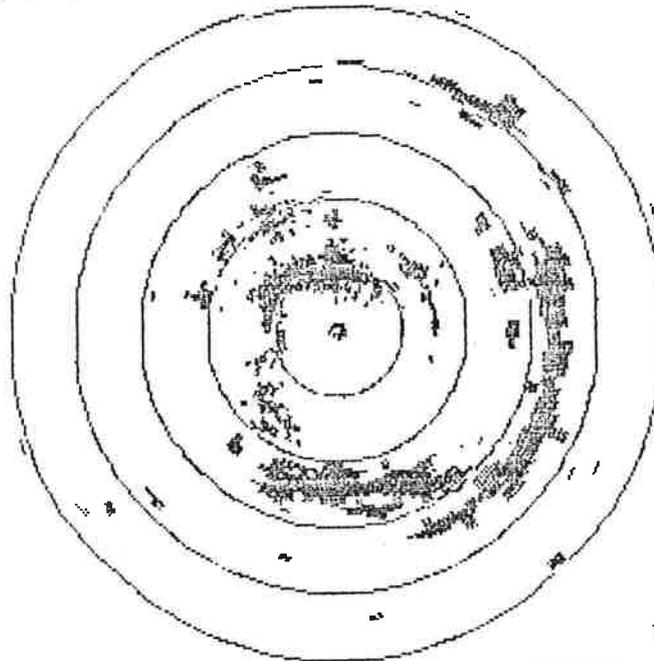
```
3000 REM PLOT
3010 OUT 104,INT(X/256)
3020 OUT 105,INT(X-INT(X/256)*256)
3030 OUT 106,0
3040 OUT 107,INT(Y)
3050 XD=XN-X
3060 YD=YN-Y
3070 OUT 101,ABS(XD)
3080 OUT 103,ABS(YD)
3090 XR=0 : YR=0
3100 IF XD<0 THEN XR=1
3110 IF YD<-0 THEN YR=1
3120 OUT 96,17+XR*2+YR*4
3130 RETURN
```

Programm zum Zeichnen der Polarkoordinaten

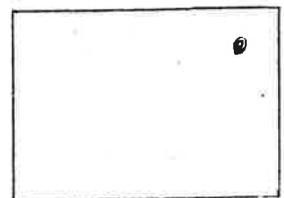
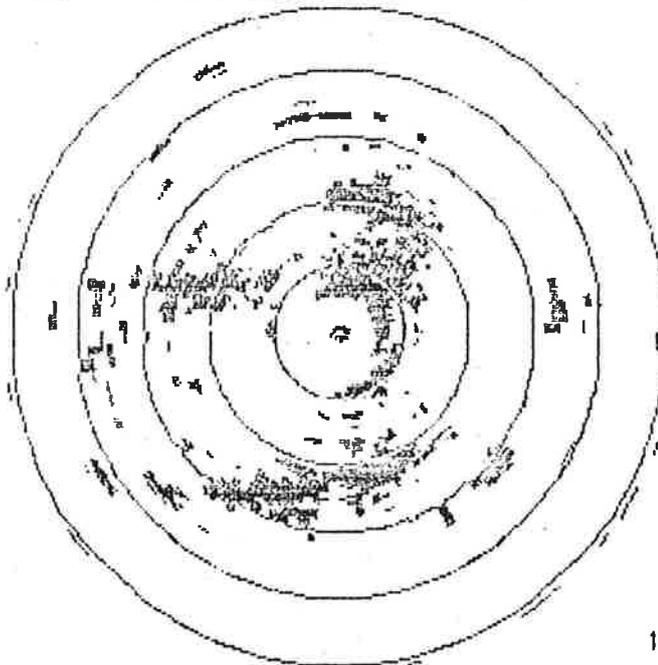
```
2000 FOR RX=255 TO 0 STEP -255/5
2010 RY=RX/255*YY
2015 Y=0 : X=255+RX
2020 FOR I=0 TO 36
2025 BM=I*3.14159/36
2030 XN=COS(BM)*RX+255
2040 YN=SIN(BM)*RY
2050 GOSUB 3000
2060 X=XN : Y=YN
2070 NEXT I
2080 NEXT RX
2090 FOR I=0 TO 18
2095 BM=I*3.14159/18
2100 X=255 : Y=0
2110 XN=COS(BM)*255+255
2120 YN=SIN(BM)*YY
2130 GOSUB 3000
2140 NEXT I
2150 RETURN
```



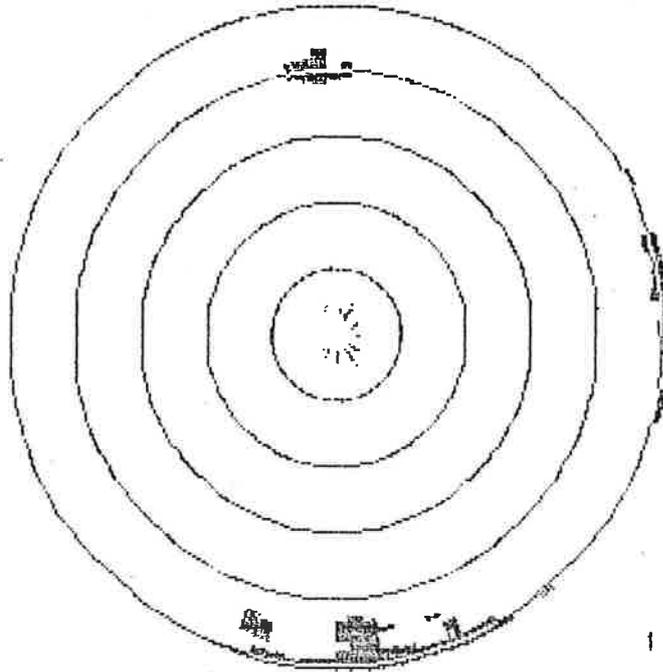
1 RING = 100 CM



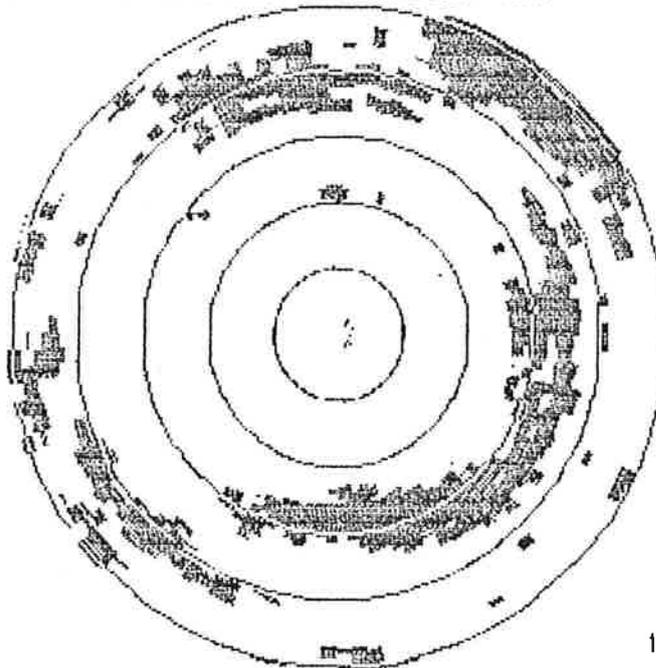
1 RING = 100 CM



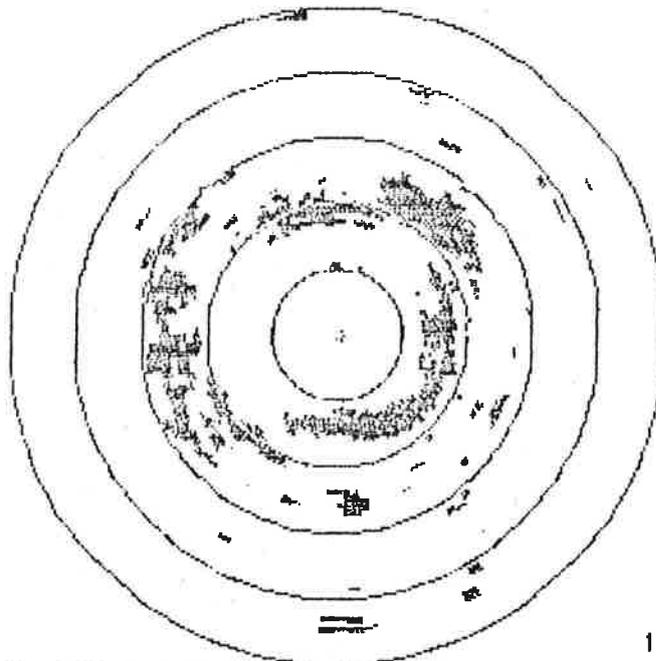
1 RING = 100 CM



1 RING = 25 CM



1 RING = 50 CM

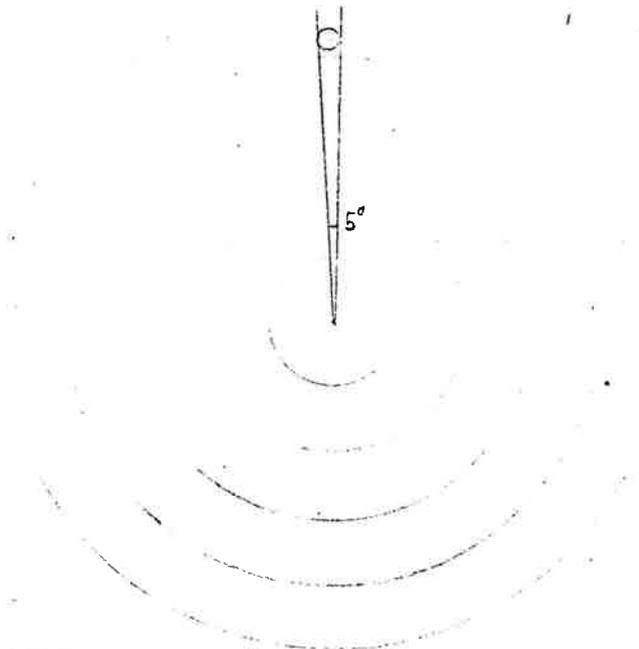


1 RING = 100 CM

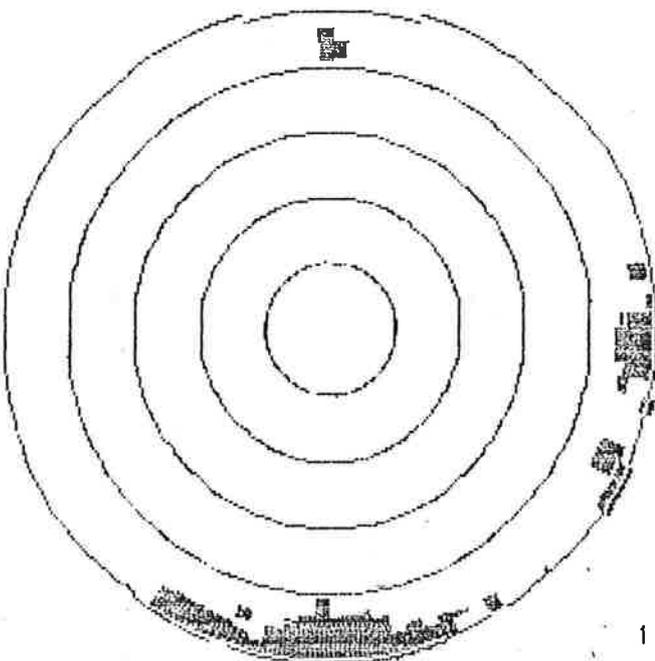
Echos einer leeren Glasflasche

maßstabsgetreuer
Versuchsaufbau

Flasche: 0,7 Sprudelflasche
Durchmesser 7 cm
Entfernung 1,10 m

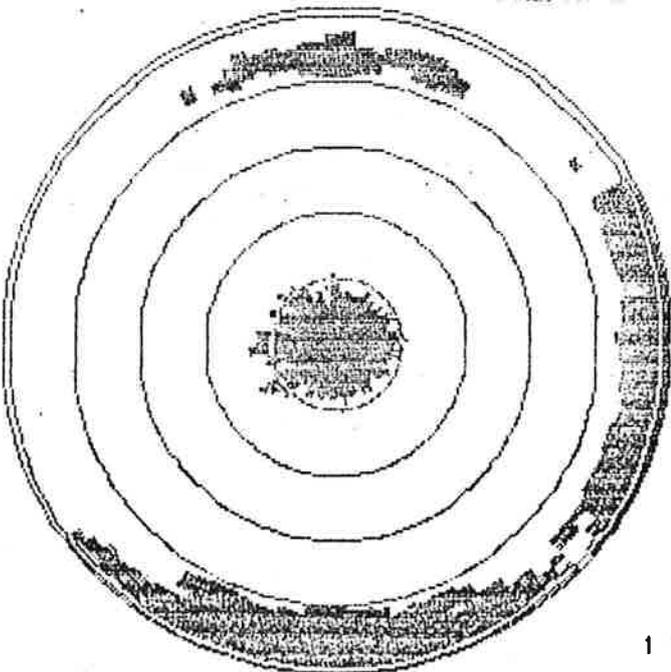


1 RING = 25 CM



geringe
Empfindlichkeit

1 RING = 25 CM

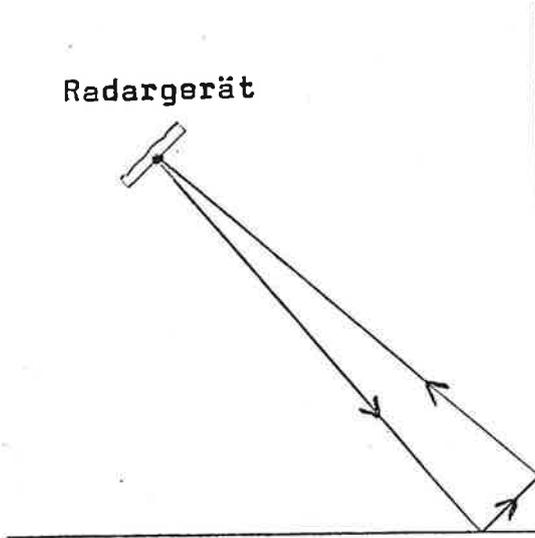


hohe
Empfindlichkeit

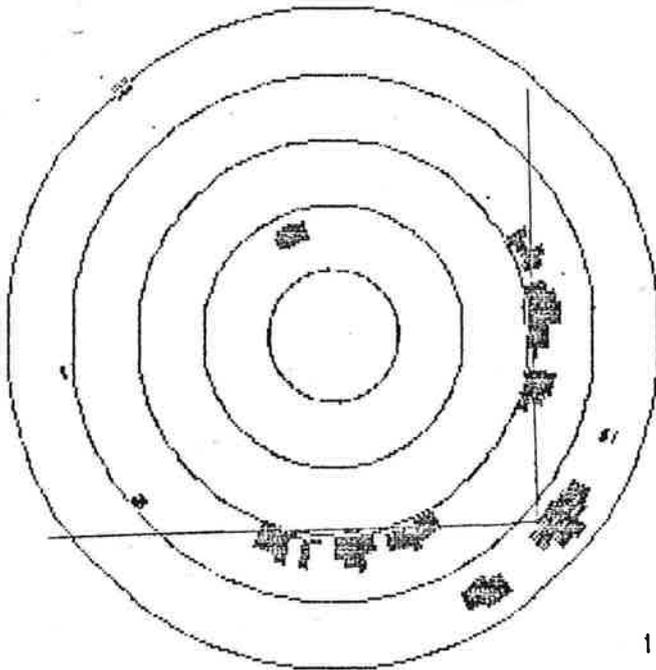
1 RING = 25 CM

Eckenproblem

Radargerät

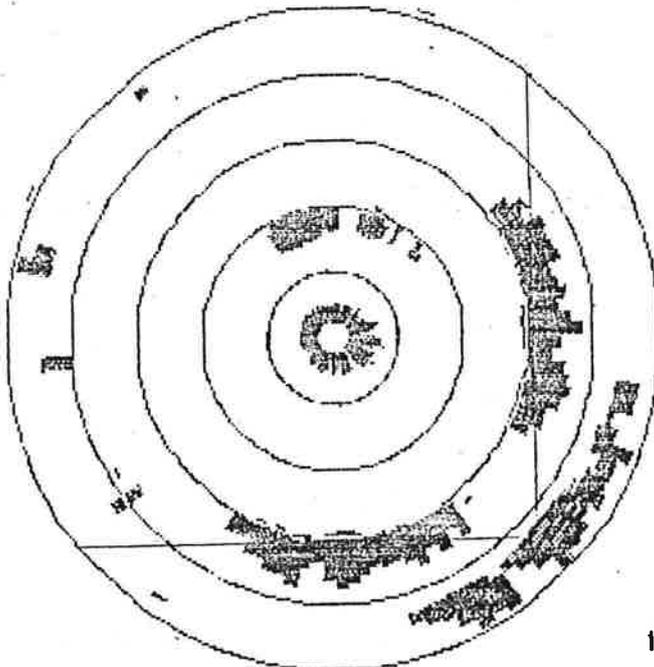


Reflektion
in Ecken



1 RING = 25 CM

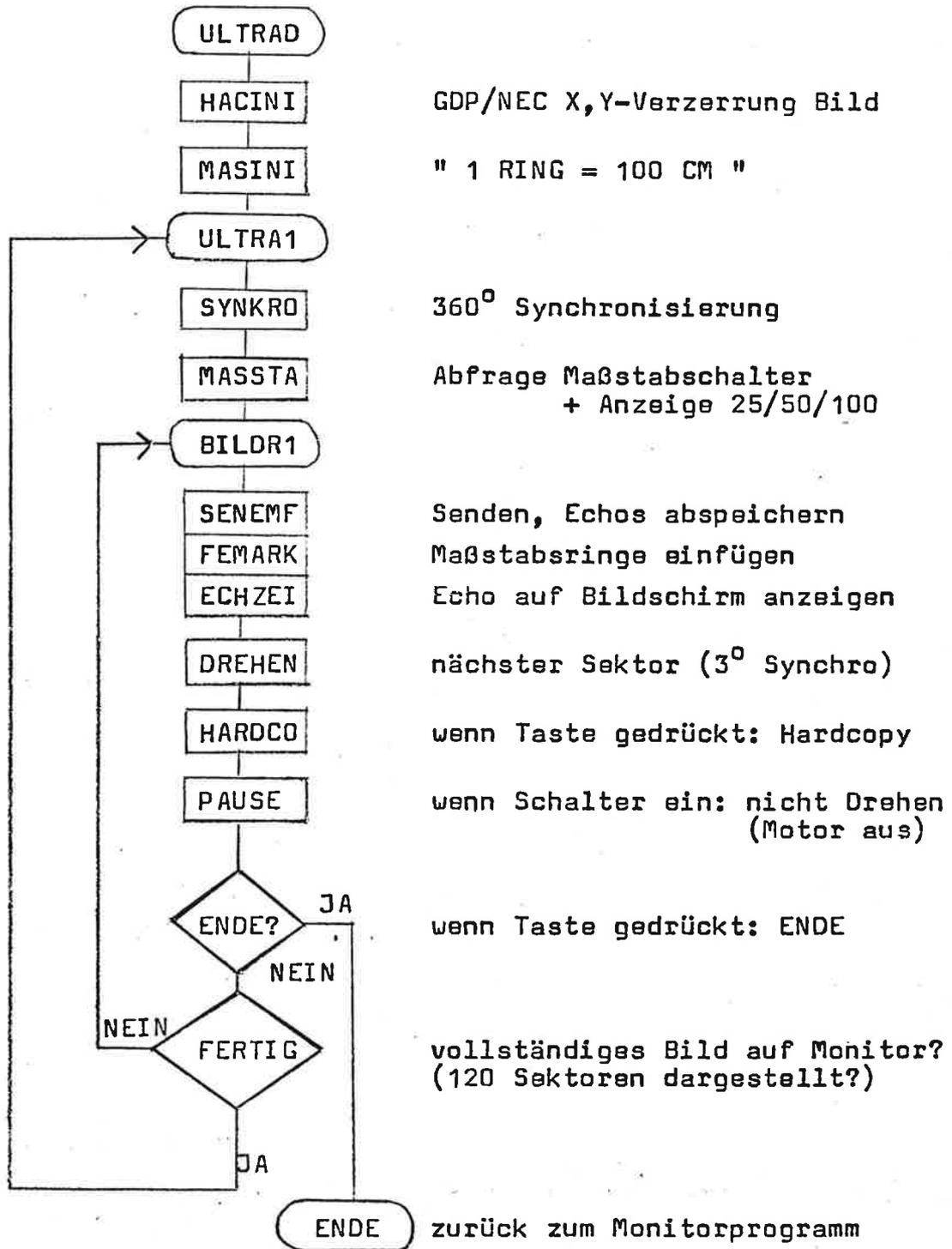
geringe
Empfindlichkeit



1 RING = 25 CM

hohe
Empfindlichkeit

Programmablaufplan Radargerät

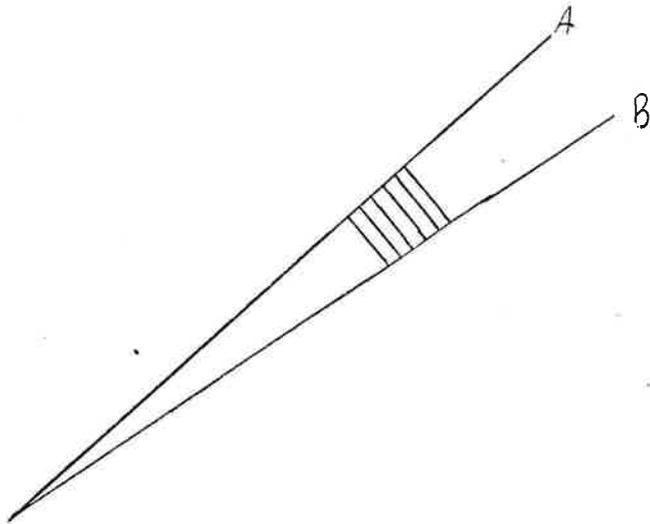


— 1122 —

Darstellung der Echos innerhalb eines Sektors

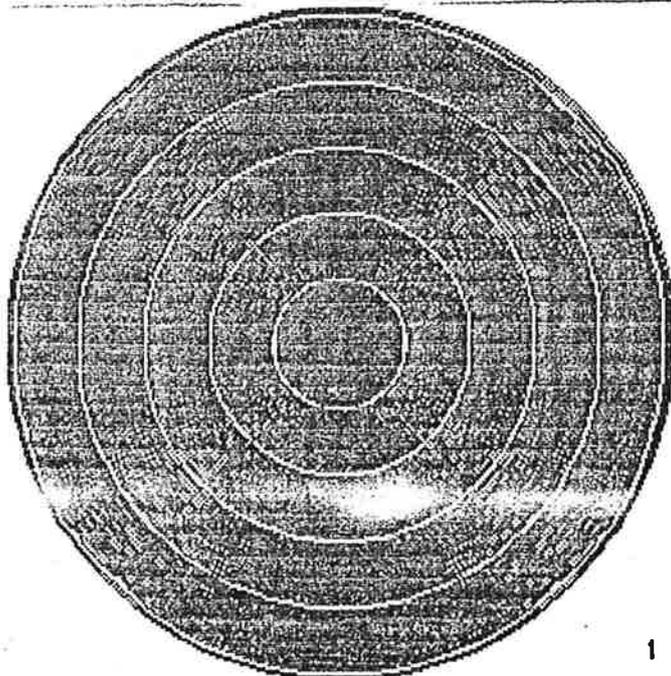
Prinzip:

A, B: Endpunkte
des Sektors



Testergebnis:

Testbild unter der Voraussetzung, daß überall Echos vorhanden sind.



1 RING = 100 CM

067	485D	CD	8948	BILDRA:	CALL	SYNKRO
068	4860	CD	9648		CALL	MASSTA
069	4863	CD	FF48	BILDR1:	CALL	SENEMF
070	4866	CD	5D49		CALL	FEMARK
071	4869	CD	8649		CALL	ECHZEI
072	486C	CD	804A		CALL	DREHEN
073	486F	CD	AC4A		CALL	HARDCO
074	4872	CD	954A		CALL	PAUSE
075	4875	CD	BF4A		CALL	ENDE?
076	4878	CA	8248		JZ	BILDR2
077	487B	CD	8F4A		CALL	FERTIG
078	487E	C2	6348		JNZ	BILDR1
079	4881	C9			RET	
080						
081	4882	3E	00			
082	4884	D3	85	BILDR2:	MVI	A,0
083	4886	C3	0000		OUT	85H
084					JMP	ENDE
085						
086						
087	4889	DB	84			
088	488B	E6	04	SYNKRO:	IN	84H
089	488D	CA	8948		ANI	04H
090	4890	3E	00		JZ	SYNKRO
091	4892	32	00EE		MVI	A,0
092	4895	C9			STA	WINKEL
093					RET	
094						
095						
096	4896	DB	84			
097	4898	E6	20	MASSTA:	IN	84H
098	489A	CA	ED48		ANI	20H
099	489D	DB	84		JZ	MAS25U
100	489F	E6	40		IN	84H
101	48A1	CA	F948		ANI	40H
102	48A4	C3	F348		JZ	MA100U
103					JMP	MAS50U
104	48A7	3E	11			
105	48A9	D3	63	MASSTE:	MVI	A,11H
106	48AB	3E	02		OUT	CSIZE
107	48AD	CD	C64A		MVI	A,DOWN
108	48B0	3E	01		CALL	AUSGA
109	48B2	CD	C64A		MVI	A,ERASE
110	48B5	CD	DC48		CALL	AUSGA
111	48B8	3E	0A		CALL	MASSTP
112	48BA	CD	C64A		MVI	A,BL058
113	48BD	3E	0A		CALL	AUSGA
114	48BF	CD	C64A		MVI	A,BL058
115	48C2	3E	0A		CALL	AUSGA
116	48C4	CD	C64A		MVI	A,BL058
117	48C7	3E	00		CALL	AUSGA
118	48C9	CD	C64A		MVI	A,PEN
119	48CC	CD	DC48		CALL	AUSGA
120	48CF	0E	03		CALL	MASSTP
121	48D1	7E		MASST1:	MVI	C,03H
122	48D2	CD	C64A		MOV	A,M
123	48D5	23			CALL	AUSGA
124	48D6	0D			INX	H
125	48D7	C2	D148		DCR	C
126	48DA	C9			JNZ	MASST1
127	48DB	C9			RET	
128					RET	
129	48DC	3E	00			
130	48DE	D3	6A	MASSTP:	MVI	A,00H
131	48E0	3E	08		OUT	MSBY
132	48E2	D3	6B		MVI	A,08H
					OUT	LSBY

```

133 48E4 3E 01      MVI A,01H
134 48E6 D3 68      OUT MSBX
135 48E8 3E B6      MVI A,0B6H
136 48EA D3 69      OUT LSBX
137 48EC C9         RET
138                ;
139                ;
140 48ED 21 514B     MAS25U: LXI H,MASTAB
141 48F0 C3 A748     JMP MASSTE
142                ;
143 48F3 21 544B     MAS50U: LXI H,MASTAB+3
144 48F6 C3 A748     JMP MASSTE
145                ;
146 48F9 21 574B     MA100U: LXI H,MASTAB+6
147 48FC C3 A748     JMP MASSTE
148                ;
149                ;+++++++
150                ;
151 48FF CD 0949     SENEMF: CALL SENDEN
152 4902 CD 2F49     CALL EMVERZ
153 4905 CD 4649     CALL EMPFAN
154 4908 C9         RET
155                ;
156                ;
157 4909 3E 00      SENDEN: MVI A,00H
158 490B D3 85      OUT 85H
159 490D CD 2849     CALL SEVERZ
160 4910 DB 84      IN 84H
161 4912 E6 18      ANI 18H
162 4914 FE 18      CPI 18H
163 4916 CA 2349     JZ SENDE1
164 4919 3E 03      MVI A,03H
165 491B D3 85      SENDE2: OUT 85H
166 491D 3E 00      MVI A,0
167 491F 32 01EE     STA ENTFER
168 4922 C9         RET
169                ;
170                ;
171 4923 3E 01      SENDE1: MVI A,01H
172 4925 C3 1B49     JMP SENDE2
173                ;
174                ;
175 4928 16 20      SEVERZ: MVI D,20H
176 492A 15         SEVER1: DCR D
177 492B C2 2A49     JNZ SEVER1
178 492E C9         RET
179                ;
180                ;
181 492F DB 84      EMVERZ: IN 84H
182 4931 47         MOV B,A
183 4932 E6 20      ANI 20H
184 4934 CA 4049     JZ EMVER1
185 4937 78         MOV A,B
186 4938 E6 40      ANI 40H
187 493A CA 4349     JZ EMVER2
188 493D 16 09      MVI D,9
189 493F C9         RET
190                ;
191 4940 16 03      EMVER1: MVI D,3
192 4942 C9         RET
193                ;
194 4943 16 16      EMVER2: MVI D,22
195 4945 C9         RET
196                ;
197                ;
198 4946 21 24EE     EMPFAN: LXI H,TABEMF

```

199	4949	06	00		MVI B,00H
200	494B	DB	84	EMPFA1:	IN 84H
201	494D	E6	01		ANI 01H
202	494F	77			MOV M,A
203	4950	23			INX H
204	4951	4A			MOV C,D
205	4952	0D		EMPFA2:	DCR C
206	4953	C2	5249		JNZ EMPFA2
207	4956	FE	00		CPI 00H ; VERZOEGERUNG
208	4958	05			DCR B
209	4959	C2	4B49		JNZ EMPFA1
210	495C	C9			RET
211					;
212					;+++++
213					;
214	495D	21	56EE	FEMARK:	LXI H,TABEMF+50
215	4960	CD	7C49		CALL FEMAR1
216	4963	21	88EE		LXI H,TABEMF+100
217	4966	CD	7C49		CALL FEMAR1
218	4969	21	BAEE		LXI H,TABEMF+150
219	496C	CD	7C49		CALL FEMAR1
220	496F	21	ECEE		LXI H,TABEMF+200
221	4972	CD	7C49		CALL FEMAR1
222	4975	21	1EEF		LXI H,TABEMF+250
223	4978	CD	7C49		CALL FEMAR1
224	497B	C9			RET
225					;
226					;
227	497C	7E		FEMAR1:	MOV A,M
228	497D	EE	01		XRI 01H
229	497F	77			MOV M,A
230	4980	23			INX H
231	4981	7E			MOV A,M
232	4982	EE	01		XRI 01H
233	4984	77			MOV M,A
234	4985	C9			RET
235					;
236					;+++++
237					;
238	4986	CD	9649	ECHZEI:	CALL ECHINI
239	4989	CD	144A	ECHZE1:	CALL ECHONE
240	498C	CD	564A		CALL ECHOZE
241	498F	CD	7A4A		CALL ECHOEN
242	4992	C2	8949		JNZ ECHZE1
243	4995	C9			RET
244					;
245					;
246	4996	21	7F00	ECHINI:	LXI H,007FH
247	4999	22	C8EF		SHLD R1
248	499C	11	3000		LXI D,0030H
249	499F	06	00		MVI B,0
250	49A1	3A	00EE		LDA WINKEL
251	49A4	4F			MOV C,A
252	49A5	CD	1568		CALL MULT
253	49A8	22	CAEF		SHLD PHI1
254	49AB	CD	0668		CALL POLKAR
255	49AE	CD	224B		CALL ENTZEX
256	49B1	2A	C0EF		LHLD X1
257	49B4	22	02EE		SHLD DELTX1
258	49B7	2A	C2EF		LHLD Y1
259	49BA	22	05EE		SHLD DELTY1
260	49BD	2A	CAEF		LHLD PHI1
261	49C0	11	3000		LXI D,0030H
262	49C3	19			DAD D
263	49C4	22	CAEF		SHLD PHI1
264	49C7	CD	0668		CALL POLKAR

265	49CA	CD	224B	CALL ENTZEX
266	49CD	2A	C0EF	LHLD X1
267	49D0	22	08EE	SHLD DELTX2
268	49D3	2A	C2EF	LHLD Y1
269	49D6	22	0BEE	SHLD DELTY2
270	49D9	3A	03EE	LDA DELTX1+1
271	49DC	32	04EE	STA DELTX1+2
272	49DF	3A	06EE	LDA DELTY1+1
273	49E2	32	07EE	STA DELTY1+2
274	49E5	3A	09EE	LDA DELTX2+1
275	49E8	32	0AEE	STA DELTX2+2
276	49EB	3A	0CEE	LDA DELTY2+1
277	49EE	32	0DEE	STA DELTY2+2
278	49F1	3E	00	MVI A,0
279	49F3	06	0C	MVI B,0CH
280	49F5	21	0EEE	LXI H,BILOX1
281	49F8	77		ECHIN1: MOV M,A
282	49F9	23		INX H
283	49FA	05		DCR B
284	49FB	C2	F849	JNZ ECHIN1
285	49FE	3E	80	MVI A,80H
286	4A00	32	12EE	STA BILDY1+1
287	4A03	32	18EE	STA BILDY2+1
288	4A06	3E	01	MVI A,01H
289	4A08	32	10EE	STA BILDY1+2
290	4A0B	32	16EE	STA BILDY2+2
291	4A0E	3E	00	MVI A,0
292	4A10	32	01EE	STA ENTFER
293	4A13	C9		RET
294				;
295				;
296	4A14	11	02EE	ECHONE: LXI D,DELTX1
297	4A17	CD	4C4A	CALL ECHON1
298	4A1A	11	05EE	LXI D,DELTY1
299	4A1D	CD	4C4A	CALL ECHON1
300	4A20	11	08EE	LXI D,DELTX2
301	4A23	CD	4C4A	CALL ECHON1
302	4A26	11	0BEE	LXI D,DELTY2
303	4A29	CD	4C4A	CALL ECHON1
304	4A2C	2A	0FEE	LHLD BILDY1+1
305	4A2F	22	1AEE	SHLD XALT
306	4A32	2A	12EE	LHLD BILDY1+1
307	4A35	22	1CEE	SHLD YALT
308	4A38	2A	15EE	LHLD BILDY2+1
309	4A3B	22	1EEE	SHLD XNEU
310	4A3E	2A	18EE	LHLD BILDY2+1
311	4A41	22	20EE	SHLD YNEU
312	4A44	3A	01EE	LDA ENTFER
313	4A47	3C		INR A
314	4A48	32	01EE	STA ENTFER
315	4A4B	C9		RET
316				;
317	4A4C	21	0C00	ECHON1: LXI H,000CH
318	4A4F	19		DAD D
319	4A50	06	03	MVI B,03H
320	4A52	CD	2D68	CALL ADDRAM
321	4A55	C9		RET
322				;
323				;
324	4A56	11	24EE	ECHOZE: LXI D,TABEMF
325	4A59	26	00	MVI H,00H
326	4A5B	3A	01EE	LDA ENTFER
327	4A5E	6F		MOV L,A
328	4A5F	19		DAD D
329	4A60	4E		MOV C,M
330	4A61	3E	02	MVI A,DOWN

```

331 4A63 CD C64A      CALL AUSGA
332 4A66 3E 00      MVI A,PEN
333 4A68 CD C64A      CALL AUSGA
334 4A6B 79          MOV A,C
335 4A6C FE 01      CPI 01H
336 4A6E CA 764A     JZ ECHOZ1
337 4A71 3E 01      MVI A,ERASE
338 4A73 CD C64A      CALL AUSGA
339 4A76 CD D94A     ECHOZ1: CALL PLOT
340 4A79 C9          RET
341                  ;
342                  ;
343 4A7A 3A 01EE     ECHOEN: LDA ENTFER
344 4A7D FE 00      CPI 00H
345 4A7F C9          RET
346                  ;
347                  ;+++++++
348                  ;
349 4A80 DB 84      DREHEN: IN 84H
350 4A82 E6 02      ANI 02H
351 4A84 C2 804A     JNZ DREHEN
352 4A87 3A 00EE     LDA WINKEL
353 4A8A 3C          INR A
354 4A8B 32 00EE     STA WINKEL
355 4A8E C9          RET
356                  ;
357                  ;+++++++
358                  ;
359 4A8F 3A 00EE     FERTIG: LDA WINKEL
360 4A92 FE 78      CPI 78H
361 4A94 C9          RET
362                  ;
363                  ;+++++++
364                  ;
365 4A95 3E 03      PAUSE: MVI A,03H
366 4A97 D3 85      OUT 85H
367 4A99 DB 84      IN 84H
368 4A9B E6 18      ANI 18H
369 4A9D FE 18      CPI 18H
370 4A9F C0          RNZ
371 4AA0 3E 01      MVI A,01H
372 4AA2 D3 85      OUT 85H
373 4AA4 3A 00EE     LDA WINKEL
374 4AA7 3D          DCR A
375 4AA8 32 00EE     STA WINKEL
376 4AAB C9          RET
377                  ;
378                  ;XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
379 4AAC DB 84      HARDCO: IN 84H
380 4AAE E6 18      ANI 18H
381 4AB0 FE 10      CPI 10H
382 4AB2 C0          RNZ
383 4AB3 3E 01      MVI A,01H
384 4AB5 D3 85      OUT 85H
385 4AB7 CD A600     CALL GRADRU
386 4ABA 3E 03      MVI A,03H
387 4ABC D3 85      OUT 85H
388 4ABE C9          RET
389                  ;
390                  ;XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
391                  ;
392 4ABF DB 84      ENDE?: IN 84H
393 4AC1 E6 18      ANI 18H
394 4AC3 FE 08      CPI 08H
395 4AC5 C9          RET
396                  ;

```

397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462

4AC6 47
4AC7 DB 60
4AC9 E6 04
4ACB CA C74A
4ACE 78
4ACF D3 60
4AD1 DB 60
4AD3 E6 04
4AD5 CA D14A
4AD8 C9
4AD9 2A 1AEE
4ADC 7C
4ADD D3 68
4ADF 7D
4AE0 D3 69
4AE2 2A 1CEE
4AE5 7C
4AE6 D3 6A
4AE8 7D
4AE9 D3 6B
4AEB 2A 1AEE
4AEE CD 2468
4AF1 EB
4AF2 2A 1EEE
4AF5 19
4AF6 4C
4AF7 CD 2168
4AFA 7D
4AFB D3 65
4AFD 2A 1CEE
4B00 CD 2468
4B03 EB
4B04 2A 20EE
4B07 19
4B08 44
4B09 CD 2168
4B0C 7D
4B0D D3 67
4B0F 79
4B10 E6 80
4B12 07
4B13 07
4B14 4F
4B15 78
4B16 E6 80
4B18 07
4B19 07
4B1A 07
4B1B B1
4B1C F6 11
4B1E CD C64A
4B21 C9
4B22 2A C0EF
4B25 E5
4B26 CD 2168
4B29 EB
4B2A 2A 22EE
4B2D 44

```
*****
:
:   G D P - UNTERPROGRAMME
:
*****
:
AUSGA:  MOV B,A
AUSGA1: IN STATUS
        ANI 04H
        JZ AUSGA1
        MOV A,B
        OUT CMD
AUSGA2: IN STATUS
        ANI 04H
        JZ AUSGA2
        RET
:
PLOT:  LHLD XALT
        MOV A,H
        OUT MSBX
        MOV A,L
        OUT LSBX
        LHLD YALT
        MOV A,H
        OUT MSBY
        MOV A,L
        OUT LSBY
        LHLD XALT
        CALL KOMPHL
        XCHG
        LHLD XNEU
        DAD D
        MOV C,H
        CALL HLABS
        MOV A,L
        OUT DELTAX
        LHLD YALT
        CALL KOMPHL
        XCHG
        LHLD YNEU
        DAD D
        MOV B,H
        CALL HLABS
        MOV A,L
        OUT DELTAY
        MOV A,C
        ANI 80H
        RLC
        RLC
        MOV C,A
        MOV A,B
        ANI 80H
        RLC
        RLC
        ORA C
        ORI 11H
        CALL AUSGA
        RET
:
ENTZEX: LHLD X1
        PUSH H
        CALL HLABS
        XCHG
        LHLD VERZER
        MOV B,H
```

```

463 4B2E 4D          MOV C,L
464 4B2F CD 1568    CALL MULT
465 4B32 6C          MOV L,H
466 4B33 63          MOV H,E
467 4B34 C1          POP B
468 4B35 78          MOV A,B
469 4B36 E6 80       ANI 80H
470 4B38 CA 3E4B     JZ ENTZE1
471 4B3B CD 2468    CALL KOMPFL
472 4B3E 22 C0EF    ENTZE1: SHLD X1
473 4B41 C9          RET
474                ;
475                ;XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
476                ;
477                ;      SPEICHER UND TABELLEN
478                ;
479 4B42 31205249    MASTEX: DB '1 RING = 100 CM'
480 4B46 4E47203D
481 4B4A 20813030
482 4B4E 20434D
483 4B51 20323520    MASTAB: DB ' 25 50100'
484 4B55 35303130
485 4B59 30
486                ;
487                ;      ORG 0EE00H
488                ;
489 EE00              WINKEL: ORG #+1
490 EE01              ENTFER: ORG #+1
491 EE02              DELTX1: ORG #+3
492 EE03              DELTY1: ORG #+3
493 EE04              DELTX2: ORG #+3
494 EE05              DELTY2: ORG #+3
495 EE06              BILDX1: ORG #+3
496 EE07              BILDY1: ORG #+3
497 EE08              BILDX2: ORG #+3
498 EE09              BILDY2: ORG #+3
499 EE0A              XALT:   ORG #+2
500 EE0B              YALT:   ORG #+2
501 EE0C              XNEU:   ORG #+2
502 EE0D              YNEU:   ORG #+2
503 EE0E              VERZER: ORG #+2
504 EE0F              TABEMF: ORG #+100H
505                ;
506                ;
507                ;XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
508                ;
509                ;      G D P
510                ;
511                ;      G D P - ADRESSEN
512                ;
513 0060              CMD      EQU      60H
514 0061              STATUS  EQU      60H
515 0062              CTRL1   EQU      61H
516 0063              CTRL2   EQU      62H
517 0064              CSIZE   EQU      63H
518 0065              DELTAX  EQU      65H
519 0066              DELTAY  EQU      67H
520 0068              MSBX    EQU      68H
521 0069              LSBX    EQU      69H
522 006A              MSBY    EQU      6AH
523 006B              LSBY    EQU      6BH
524                ;
525                ;      CMD - BEFEHLE
526                ;
527 0000              PEN      EQU      00H
528 0001              ERASE   EQU      01H

```

```

524      0002      DOWN      EQU      02H
525      0003      UP        EQU      03H
526      0004      CLRSCR   EQU      04H
527      0005      RESXY    EQU      05H
528      0006      RESCLR   EQU      06H
529      000A      BLOS8    EQU      0AH
530      000C      SCAN     EQU      0CH
531      ;
532      ;*****
533      ;
534      ;      K O T R A N
535      ;
536      ;      KOTRAN - SPEICHER
537      ;
538      EFC0      X1        EQU      0EFC0H
539      EFC2      Y1        EQU      0EFC2H
540      EFC8      R1        EQU      0EFC8H
541      EFCA      PHI 1     EQU      0EFCAH
542      ;
543      ;      KOTRAN - UNTERPROGRAMME
544      ;
545      6806      POLKAR   EQU      6806H
546      6821      HLABS    EQU      6821H
547      6824      KOMPHL   EQU      6824H
548      6815      MULT     EQU      6815H
549      682D      ADDRAM   EQU      682DH
550      ;
551      ;*****
552      ;
553      ;      M O N I T O R - UNTERPROGRAMME
554      ;
555      ;
556      0000      ENDE     EQU      0000H
557      0058      DLY      EQU      0058H
558      00A3      NECINI   EQU      00A3H
559      00A6      GRADRU   EQU      00A6H
560      ;
561      ;*****
562      ;
563      ;      END

```

```

ADDRAM 682D AUSGA 4AC6 AUSGA1 4AC7 AUSGA2 4AD1
BILDR1 4863 BILDR2 4882 BILDRA 485D BILDX1 EE0E
BILDX2 EE14 BILDY1 EE11 BILDY2 EE17 BLOS8 000A
CLRSCR 0004 CMD 0060 CSIZE 0063 CTRL1 0061
CTRL2 0062 DELTAX 0065 DELTAY 0067 DELTX1 EE02
DELTAX EE08 DELTY1 EE05 DELTY2 EE0B DLY 0058
DOWN 0002 DREHEN 4A80 ECHIN1 49F8 ECHINI 4996
ECHOEN 4A7A ECHON1 4A4C ECHONE 4A14 ECHOZ1 4A76
ECHOZE 4A56 ECHZE1 4989 ECHZEI 4986 EMPFA1 494B
EMPFA2 4952 EMPFAN 4946 EMVER1 4940 EMVER2 4943
EMVERZ 492F ENDE 0000 ENDE? 4ABF ENTFER EE01
ENTZE1 4B3E ENTZEX 4B22 ERASE 0001 FEMAR1 497C
FEMARK 495D FERTIG 4A8F GRADRU 00A6 HACINI 481F
HARDCO 4AAC HLABS 6821 INIT 4809 KOMPHL 6824
LSBX 0069 LSBY 006B MA100U 48F9 MAS25U 48ED
MAS50U 48F3 MASIN1 4853 MASINI 4830 MASST1 48D1
MASSTA 4896 MASSTE 48A7 MASSTP 48DC MASTAB 4B51
MASTEX 4B42 MSBX 0068 MSBY 006A MULT 6815
NECINI 00A3 PAUSE 4A95 PEN 0000 PHI 1 EFCA
PLOT 4AD9 POLKAR 6806 R1 EFC8 RESCLR 0006
RESXY 0005 SCAN 000C SENDE1 4923 SENDE2 491B
SENDEN 4909 SENEMF 48FF SEVER1 492A SEVERZ 4928
STATUS 0060 SYNKRO 4889 TABEMF EE24 ULTRA1 4803
ULTRAD 4800 UP 0003 VERZER EE22 WINKEL EE00
X1 EFC0 XALT EE1A XNEU EE1E Y1 EFC2
YALT EE1C YNEU EE20

```