

**MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK**  
**GARCHING BEI MÜNCHEN**

Ein rauscharmer ladungsempfindlicher  
Vorverstärker für Oberflächen-Sperr-  
schichtzähler zur Energieanalyse  
leichter Ionen

A low-noise charge sensitive preamplifier  
for surface barrier detectors in energy  
analysis of light ions

Heinz Schmidl

IPP 9/3

Dezember 1971

*Die nachstehende Arbeit wurde im Rahmen des Vertrages zwischen dem  
Max-Planck-Institut für Plasmaphysik und der Europäischen Atomgemeinschaft über die  
Zusammenarbeit auf dem Gebiete der Plasmaphysik durchgeführt.*

Ein rauscharmer ladungsempfindlicher Vorverstärker für Oberflächen-  
Sperrschichtzähler zur Energieanalyse leichter Ionen

A low-noise charge sensitive preamplifier for surface  
barrier detectors in energy analysis of light ions

Heinz Schmidl

Abstract

A preamplifier for silicon surface barrier detectors is described. The FET-input stage is in the form of a printed circuit. It is installed in the vacuum together with the counter and cooled down to 77 K. The resolution, lower limit of detection, zero displacement, and linearity were measured for  $H^+$  and  $He^+$ . The best resolution for  $H^+$  is at 1,5 keV fwhm, while the lower limit of detection is at 6 keV. The values for  $He^+$  are slightly higher.

Zusammenfassung

Ein Vorverstärker für Silizium-Oberflächensperrschichtzähler wird beschrieben. Die FET-Vorstufe ist als gedruckte Schaltung ausgeführt. Sie wird zusammen mit dem Zähler im Vakuum montiert und auf 77 K gekühlt. Die Auflösung, untere Nachweisgrenze, Nullpunktverschiebung und Linearität wurden für  $H^+$  und  $He^+$  gemessen. Die beste Auflösung für  $H^+$  liegt bei 1,5 keV Halbwertsbreite, die untere Nachweisgrenze bei 6 keV. Für  $He^+$  liegen die Werte etwas höher.

## 1. Einleitung

Für den Nachweis von leichten Atomen und Ionen mit Energien oberhalb von einigen keV wird häufig ein Oberflächen-Sperrschichtzähler verwendet. Seit es Feldeffekt-Transistoren gibt, ist auch das Problem der dazu passenden Vorverstärker gut zu lösen. Die untere Nachweisgrenze ist durch das Rauschen des Systems Zähler-Vorverstärker gegeben und läßt sich durch Kühlen des Zählers sowie des Eingangs-FET im Vorverstärker erniedrigen. Es gibt zwar Literatur über den Umgang mit Halbleiterzählern [1] sowie über Nuklearelektronik [2], auch Schaltungen "gekühlter rauscharmer Vorverstärker" mit sehr guter Auflösung [3] sind zahlreich. Jedoch wurde dabei meist die Halbwertsbreite bei sehr hohen Energien gemessen und auf die untere Nachweisgrenze extrapoliert. Außerdem können beim Nachbau der Schaltung die angegebenen Werte nicht immer erreicht werden, weil sie wegen der Hochohmigkeit der Eingangsstufe auch von der Anordnung der Bauteile beeinflußt werden.

Dieser Bericht beschreibt einen Vorverstärker, der durch soliden Aufbau in gedruckter Schaltung leicht nachzubauen und für den Laborbetrieb geeignet ist, dabei jedoch sehr gute Rauscheigenschaften sowie eine niedrige untere Nachweisgrenze aufweist. So konnten damit 6 keV Protonen bei einer Halbwertsbreite von 1,5 keV noch einwandfrei nachgewiesen werden.

## 2. Problemstellung

Der Vorverstärker wurde für folgende Anwendung konzipiert. In einer UHV-Kammer [4] wird ein Target mit  $H^+$  oder  $He^+$  im Energiebereich von 5 - 150 keV beschossen. Die rückgestreuten Atome und Ionen sollen von einem Silizium-Oberflächen-Sperrschichtzähler gezählt und ihre Energie analysiert werden. Dabei wird hohe Auflösung und eine möglichst niedrige, kleinste nachweisbare Energie gefordert. Erschwerend kommt hinzu, daß der Zähler bewegt werden muß (auf einer Kreisbahn von 30 cm Durchmesser um  $180^\circ$ ). Das ergibt zwangsläufig eine etwa 40 cm lange Leitung vom Zähler zur Vakuumdurchführung (Fig. 1). Um hier nicht durch die große Kapazität der Leitung zwischen Zähler und Vorverstärker die geforderte Auflösung unmöglich zu machen, muß die Vorstufe des Vorverstärkers möglichst nahe beim Zähler im Vakuum montiert werden. Das erleichtert auch die gemeinsame Kühlung von Zähler und FET der Vorstufe.

## 3. Wahl der Schaltung des Vorverstärkers

Als erstes wurde versucht das Problem durch einen käuflichen Vorverstärker zu lösen. Es gibt solche, bei denen die Bauteile der Vorstufe einzeln mitgeliefert werden und zusammen mit dem Zähler montiert werden können, dabei ist aber der lose Aufbau der Einzelteile nicht befriedigend. Außerdem ist meistens am Ausgang der Vorstufe das Signal noch so hochohmig, daß ein Transport über längere Leitungen ohne Beeinträchtigung der Information nicht möglich ist.

Daher wurde ein eigener Aufbau entwickelt. Bei der Auswahl der Schaltung erfüllte die von U. Tamm [5] beschriebene, die auf eine Konzeption von Smith und Cline [6] zurückgeht, alle gestellten Forderungen. Sie besitzt sehr gute Rauscheigenschaften (500 eV bei 0 pF und gekühlten FETs für Lithium-gedriftete Zähler). Außerdem macht ein zusätzlicher FET, als "Source-Folger" das Signal am Ausgang der Vorstufe niederohmig.

#### 4. Der elektrische Aufbau

Die Tamm'sche Schaltung wurde etwas geändert und an Oberflächen-Sperrschichtzähler angepaßt. Fig. 2 zeigt die geänderte Schaltung.

##### a) Gekühlte Vorstufe

Da die wichtigsten Bausteine der Vorstufe die FET's sind, wurde auf sie besonders geachtet. Es wurden die gleichen Typen, 2N3823 bzw. 2N3822 verwendet wie in [5]. Von letzteren erhält man bei Texas Instruments ausgemessene Exemplare, die unter der Bezeichnung TJ 1003 geführt werden. Leider wird die Selektion (kleine Eingangskapazität, kleiner Gate-Strom, und hohe Verstärkung) nur bei Zimmertemperatur vorgenommen. Da die Eingangs-FET den größten Rauschbeitrag liefern und sich ihre Daten beim Kühlen ändern, lohnt es sich, noch einmal bei Flüssigluft - Temperatur hinsichtlich der oben genannten Kriterien zu selektieren.

Die Möglichkeit mehrere Eingangs-FETs parallel zu schalten wurde auf zwei Stück beschränkt. Zähler mit sehr großer Kapazität kommen für die geforderte Auflösung sowieso nicht in Frage. Als Gate- und Bias-Widerstand wird eine rauscharme Type (z.B. Pyrofilm HR 600 oder ähnliche) verwendet. Wegen der Einschmelzung in Glas eignet sie sich hervorragend für die Verwendung im Vakuum. Es hat sich gezeigt, daß es günstig ist, wenn der Bias-Widerstand und der Sperrwiderstand des Zählers in der gleichen Größenordnung liegen. Dann ist die am Zähler anliegende Vorspannung wegen der Spannungsteilung an beiden Widerständen niedriger als die eingestellte Spannung. Dafür werden die vom Zähler abgegebenen Pulse nicht durch einen niederohmigen Widerstand unnötig belastet.

##### b) Der ladungsempfindliche Teil

Um zu vermeiden, daß der hochohmige Ausgang des Eingangs-FET über ein Kabel geführt wird, mußte die Drossel D1 in die Vorstufe verlegt werden. Dabei war zu beachten, daß sich beim Kühlen des FET nicht nur die Steilheit, sondern auch der Drainstrom erhöht. So wurde für die angegebenen FET's ein mittlerer Drainstrom von 8 mA (bei  $U_{DS}=20$  V und  $U_G=0$  V) bei Zimmertemperatur ermittelt. Dieser Wert erhöhte sich beim Kühlen auf Flüssigluft - Temperatur auf etwa 15-18 mA. Nun ist eine Drossel von 100 mH bei 20 mA Strom nur noch als Schalenkern ausführbar. Sie eignet sich aber nicht für den Einbau ins Vakuum und ist außerdem sehr groß. Daher wurde zusätzlich die Möglichkeit geschaffen, den Drainstrom der Eingangs-FETs durch eine negative Gate-Vorspannung zu erniedrigen. Sie wird am  $P_3$  eingestellt, über  $R_{22}$  und  $C_{17}$  entkoppelt (in Fig. 2 gestrichelt gezeichnet) und über  $R_2$  dem Gate zugeleitet. Man kann nun für den gekühlten FET einen Drainstrom von 2 mA einstellen, ohne die Steilheit wesentlich zu verschlechtern. Jetzt kann eine geschirmte, vergossene Drossel von 100 mH und 3 mA Strom (z.B. Nytronics Type SWD) verwendet werden, die kaum größer ist als ein 1/2-Watt-Widerstand.

Zur Verbindung Vorstufe-ladungsempfindlicher Teil wird ein 7 poliges Kabel verwendet, wovon 4 Leitungen einzeln abgeschirmt sind. Da sich dieses Kabel im Vakuum befindet, wurde Teflonisolation verwendet.

Die Verstärkung des kompletten Vorverstärkers ist wegen der kapazitiven Gegenkopplung etwa 1. Da aber für 10 keV Protonen eine Impulshöhe von etwa 500  $\mu$ V zu erwarten ist, muß man noch etwa 2000-fach nachverstärken, um den für einen Vielkanalanalysator notwendigen Pegel zu erreichen. Wegen der benötigten Pulsformung ist ein Aktiv-Filter Verstärker hierfür besonders geeignet. Da der Ausgang des Vorverstärkers auf 50  $\Omega$  ausgelegt ist, muß der Hauptverstärker nicht unbedingt neben dem Vorverstärker sein.

## 5. Der mechanische Aufbau

Weil die Anordnung der Bauteile der Vorstufe nicht ganz unkritisch ist, wurde auch sie als gedruckte Schaltung ausgeführt. Als Basismaterial für die Platine wurde eine Teflon-Gewebe-Platte verwendet. Das stellt einen guten Kompromiss zwischen Vakuumfreundlichkeit (Teflon) und mechanischer Stabilität (Gewebe) dar. Es ist auch sehr empfehlenswert, die Platine vor dem Löten zu vergolden. Alle FET wurden in ein kleines Kupferstück mechanisch eingepresst. Dieses läßt sich ohne weiteres mit der Zählerkühlung verbinden. Figur 3 zeigt den mechanischen Aufbau der Vorstufe, Figur 4 den Einbau im Meßflansch. Da der Zähler möglichst auf Flüssigluft-Temperatur gekühlt werden soll, werden auch die FETs auf die gleiche Temperatur gebracht.

Wegen der Hochohmigkeit der Eingangsstufe muß die Platine unbedingt abgeschirmt werden, sonst wird jede kleine Störung aufgefangen und mitverstärkt. Als Vakuumdurchführung bewährte sich eine 7-polige Glaseinschmelzung, auf die an beiden Enden ein 7-poliger Röhrensockel paßt. Man kann dann einfach die Kabel der Vorstufe an einen Keramik-Röhrensockel anschweißen und auf der Vakuumseite aufstecken. Der zweite Röhrensockel ist im Gehäuse des ladungsempfindlichen Teils eingebaut. Figur 5a zeigt den Bestückungsplan der Vorstufe; 5b den Bestückungsplan des ladungsempfindlichen Teils; 5c die Platinen dafür.

Es wurde auch versucht, die Vorstufe in ein kleines Gehäuse zu packen. An die FET-Kühlung wurde ein Kupferrohr angelötet, das links und rechts aus dem Gehäuse ragt. Die gesamte Vorstufe wurde mit einem Kunstharz (Scotchcast 241) vergossen. Jetzt kann der Vorverstärker auch an Luft gekühlt betrieben werden, indem man flüssige Luft durch das Kupferrohr strömen läßt. Dadurch eignet sich der Vorverstärker auch für solche Fälle, bei denen z.B. wegen des Vakuums oder aus Platzmangel nur der Zähler in der Apparatur eingebaut werden kann. Das Rauschen dieser Anordnung ist wegen der Kapazität der Leitung Zähler-Vorstufe etwas schlechter als in der vorher beschriebenen. Die Entwicklung dieser vergossenen Vorstufe ist jedoch noch nicht ganz abgeschlossen.

Eine kompakte, nicht kühlbare Version des Vorverstärkers wurde auch aufgebaut. In Figur 6a ist der Aufbau, in 6b der Bestückungsplan und in 6c die Stückliste abgebildet.

## 6. Die Spannungsversorgung des Vorverstärkers

Weil der Hauptverstärker und Testpulsgenerator als Einschub für AEC NIM Norm ausgeführt sind, wurde für die Spannungsversorgung ebenfalls diese Norm gewählt. Die Schaltung dafür kann Fig. 7, die Platine sowie Bestückungsplan Fig. 8a - c entnommen werden. Da hier die Gleichspannungen für den Vorverstärker schon vorhanden sind, werden sie nur noch verdrosselt und dem Vorverstärker zugeführt. Die Detektorvorspannung wurde, da die meisten Oberflächen-Sperrschichtzähler mit etwa 100 V Vorspannung betrieben werden, auf 200 V ausgelegt. Sie wird an einem Helipot vorgewählt und bei Bedarf nur noch ein- bzw. ausgeschaltet. Um durch einen plötzlichen Spannungsanstieg oder -abfall den Zähler (bzw. Eingangs-FET) nicht zu zerstören, sind noch 3 RC Glieder dazwischen geschaltet. Das ergibt eine Zeitkonstante von etwa 15 sec. Die benötigten 200 V für die Vorspannung werden in einem Chopper erzeugt, gleichgerichtet und über Zenerdioden stabilisiert. Eine externe Vorspannung kann über eine Buchse eingespeist werden.

Für die Verbindung Vorverstärker-Spannungsversorgung wird ein spezielles Kabel verwendet. Es enthält in einem Schirm drei 50 Kabel, sowie 4 normale Litzen. Dadurch werden mehrere Einzelleitungen mit dem dazugehörigen Steckergewirr vermieden. Für den Anschluß des Testpulsgenerators sowie des Hauptverstärkers ist am Einschub je 1 BNC-Buchse vorgesehen. Fig. 9 zeigt den Spannungseinschub mit einer vergossenen Vorstufe und einem ladungsempfindlichen Teil.

## 7. Eichspektren

Folgende vier Kriterien wurden durch Eichspektren überprüft:

- a) Halbwertsbreite
- b) Linearität
- c) Nullpunktverschiebung
- d) untere Nachweisgrenze

Zur Aufnahme der Eichspektren wurde der Zähler mit dem direkten Strahl des Beschleunigers bei einem Strom von  $<10^{-15}$  A beschossen. Der dazu verwendete Zähler ist ein Oberflächen-Sperrschichtzähler der Firma Ortec Type SB/A-020-007-300 Chrom mit einer Zählerfläche von  $7 \text{ mm}^2$ . Er wurde mit einer Vorspannung von 100 V bei einem Sperrstrom von etwa  $8 \times 10^{-9}$  A betrieben. Zähler sowie die FET's der Vorstufe waren dabei auf 77 K gekühlt. Der Hauptverstärker arbeitet mit Aktiv-Pulsformung  $\tau = 1,6 \mu\text{s}$  und voller Verstärkung (2000 fach) für die Spektren bis 40 keV. Für die Spektren bis 150 keV wurde die Verstärkung entsprechend verringert. Am Vielkanalanalysator wurden die Spektren bis 150 keV auf 200 Kanälen bei einem Konversionsgrad von 250 Kanälen/10 Volt aufgenommen, das Spektrum bis 40 keV bzw. das Testpuls-Spektrum auf 400 Kanälen bei 500 Kanälen/10 Volt Konversion. Die verwendeten Geräte zeigt Fig. 10, Fig. 11 zeigt ein  $\text{H}^+$ -Spektrum von 10-150 keV, Fig. 12 ein  $\text{He}^+$ -Spektrum von 20-150 keV. Hier kann die Zunahme der Halbwertsbreite mit steigender Teilchenenergie gut gezeigt werden. In der über den Peaks dargestellten Linearitätskurve läßt sich die Beziehung zwischen Energie und Kanalzahl ablesen. Die größere Halbwertsbreite bei  $\text{He}^+$  wird im wesentlichen durch Kernstöße im Zähler verursacht.

Die Halbwertsbreite sowie die untere Nachweisgrenze läßt sich hier wegen der geringen Kanalzahl pro Peak nicht exakt bestimmen. Dazu wurde das in Fig. 13 dargestellte  $\text{H}^+$ -Spektrum von 6 bis 40 keV mit 400 Kanälen aufgezeichnet. Mit genau gleicher Einstellung wurde auch ein Testpuls-Spektrum (Fig. 14) aufgenommen. Hier entspricht die größte Testpuls Amplitude 40 keV  $\text{H}^+$ . Die beiden anderen Peaks wurden durch Abschwächen der Testpulsamplitude um den Faktor 0,5 bzw. 0,2 erreicht. Der Detektor war dazu mit Vorspannung angeschlossen. Hier läßt sich die Linearität, fehlende 0-Punkt-Verschiebung und konstante Halbwertsbreite der gesamten Elektronik gut ablesen.

## 8. Ergebnisse

### a) Halbwertsbreite

Die kleinste Halbwertsbreite beträgt 1,5 keV (für  $\text{H}^+$ ) und nimmt mit steigender Teilchenenergie zu. Sie setzt sich aus 3 Anteilen zusammen:

1. Rauschen des Vorverstärkers
2. Energieunschärfe des Ionenstrahls
3. Energieunschärfe des Zählers

Unter der Annahme quadratischer Addition erhält man eine Energieunschärfe von Strahl und Zähler von

$$U_{R2+3} = \sqrt{U_R^2 - U_{R1}^2} = \sqrt{1,5^2 - 0,7^2} = 1,32 \text{ keV}$$

$$U_R = \text{Rauschbeitrag von } 1+2+3 = 1,5 \text{ keV}$$

$$U_{R1} = \text{Rauschbeitrag von } 1 = 0,7 \text{ keV}$$

Wie man sieht, wird durch eine Verringerung von  $U_{R1}$  keine wesentliche Verbesserung der Gesamtauflösung erreicht.

b) Linearität

Die Linearität liegt beim Testpuls sowie bei  $H^+$  und  $He^+$  innerhalb der Meßgenauigkeit.

c) Nullpunktverschiebung

Da beim Testpulsspektrum keine Nullpunktverschiebung zu beobachten ist, muß die bei  $H^+$  und  $He^+$  beobachtete im Zähler entstehen. Sie dürfte durch den Energieverlust in der Kontakt- und Totschicht des Zählers, sowie durch Energieverlust durch Kernstöße entstehen. Die Verschiebung beträgt etwa 1,8 keV (bei  $H^+$ ).

d) Untere Nachweisgrenze

Sie liegt bei  $H^+$  bei 6 keV. Sie wird durch Halbwertsbreite und Nullpunktverschiebung bestimmt.

9. Schlußfolgerung

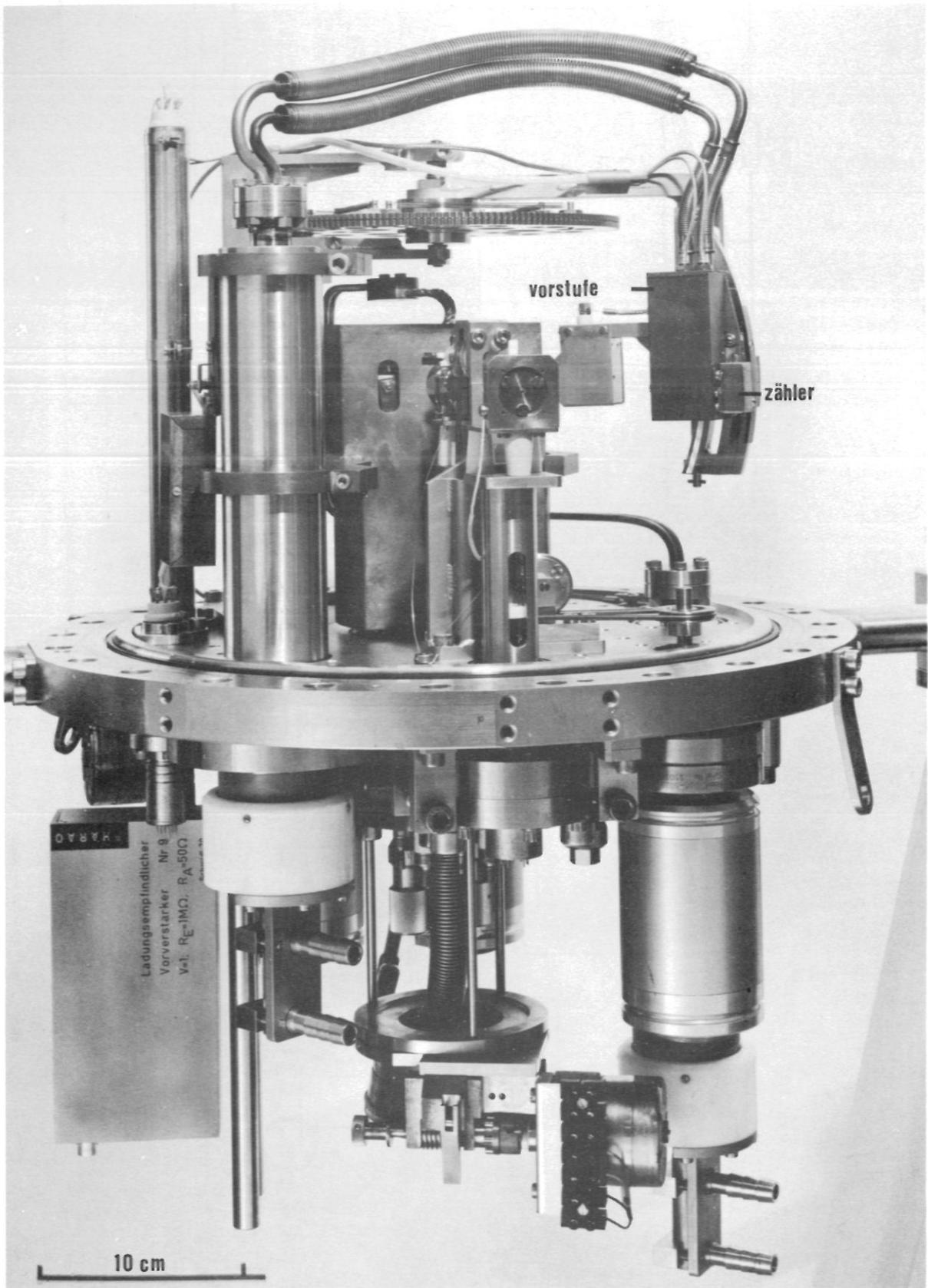
Es konnte gezeigt werden, daß durch eine geeignete Schaltung des Vorverstärkers und stabilen Aufbaus der Vorstufe, sowie durch Kühlen der FETs und des Zählers 6 keV - Protonen bei 1,5 keV Halbwertsbreite einwandfrei nachzuweisen sind. Wie auch gezeigt wurde, sind die Auflösung, sowie die untere Nachweisgrenze hauptsächlich durch die Energieunschärfe des Ionenstrahls und durch Energieverluste im Zähler bestimmt. Es erscheint daher nicht mehr möglich, die Energieauflösung durch Verbesserung der Elektronik wesentlich zu erhöhen.

---

Dem inzwischen verstorbenen Herrn Priv.-Doz. Dr. E.W. Blauth bin ich für die Anregung zu dieser Arbeit und seine ständige Unterstützung besonders dankbar. Den Herren Dr. R. Behrisch und Dr. B.M.U. Scherzer danke ich für die Mitarbeit und viele Diskussionen.

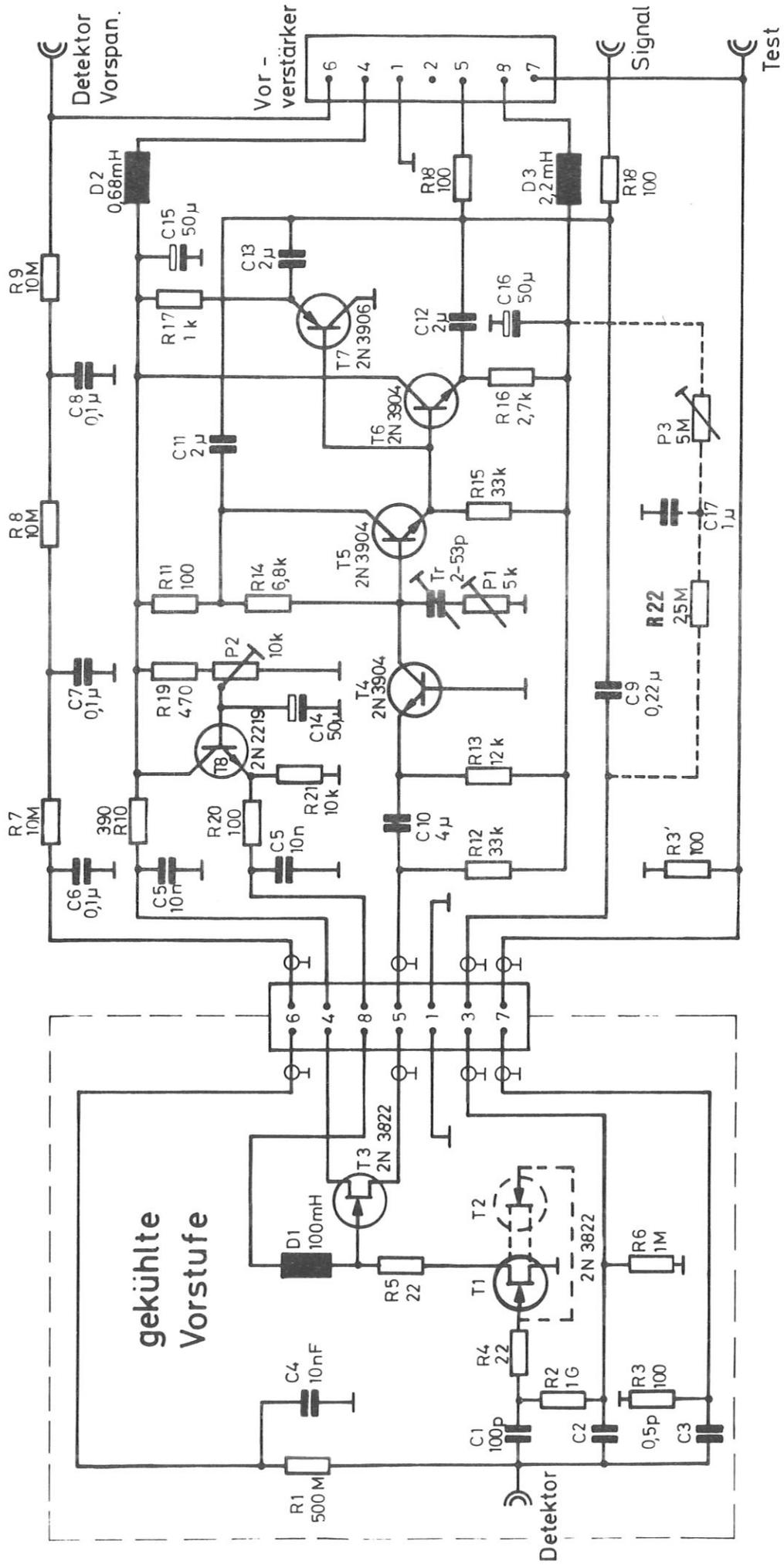
L I T E R A T U R

- [ 1 ] H. Bücker: Theorie und Praxis der Halbleiterdetektoren für Kernstrahlung (Springer-Verlag, Berlin 1971)
- [ 2 ] Weinzierl/Drosig.: Nuklearelektronik (Springer-Verlag, Wien 1970)
- [ 3 ] z.B.  
T.V. Blalock: A low-noise charge-sensitive preamplifier with a field-effect transistor in the input stage  
IEEE Trans. Nucl. Sci. NS 11, 365 (1964)
- E. Elad: A preamplifier with 0,7 keV resolution for semiconductor radiation detectors  
Nucl. Instr. and Methods 37, 327 (1965)
- E. Elad and Nakamura: Low-energy spektra Measured with 0,7 keV resolution  
Nucl. Instr. and Methods 42, 315 (1966)
- J.R. Harris and W.B. Shuler: 500-Volt resolution with a Si-detektor using a cooled FET preamplifier  
Nucl. Instr. and Methods 51, 341 (1967)
- J.A. Ray and C.F. Barnett: Detektion of low energy heavy particles with silicon barrier detectors  
IEEE Trans. Nucl. Sci. N 5 - 16, 82 (1969)
- [ 4 ] R. Behrisch: Ein kleiner Beschleuniger für leichte Ionen mit UHV in der Targetkammer, Vak. techn. 10, 250 (1967)
- [ 5 ] U. Tamm: Rauschen eines gekühlten ladungsempfindlichen Vorverstärkers mit parallel geschalteten FET, KFK, 509 (1967)
- [ 6 ] K.F. Smith and J.E. Chine: Low-noise charge - sensitive preamplifier for semiconductor detectors using parallel field-effect-transistors.  
IEEE Trans. Nucl. Sci. NS 13, 468 (1966)



Figur 1 Meßflansch

# Ladungsempfindlicher FET - Vorverstärker



Figur 2 Ladungsempfindlicher FET-Vorverstärker

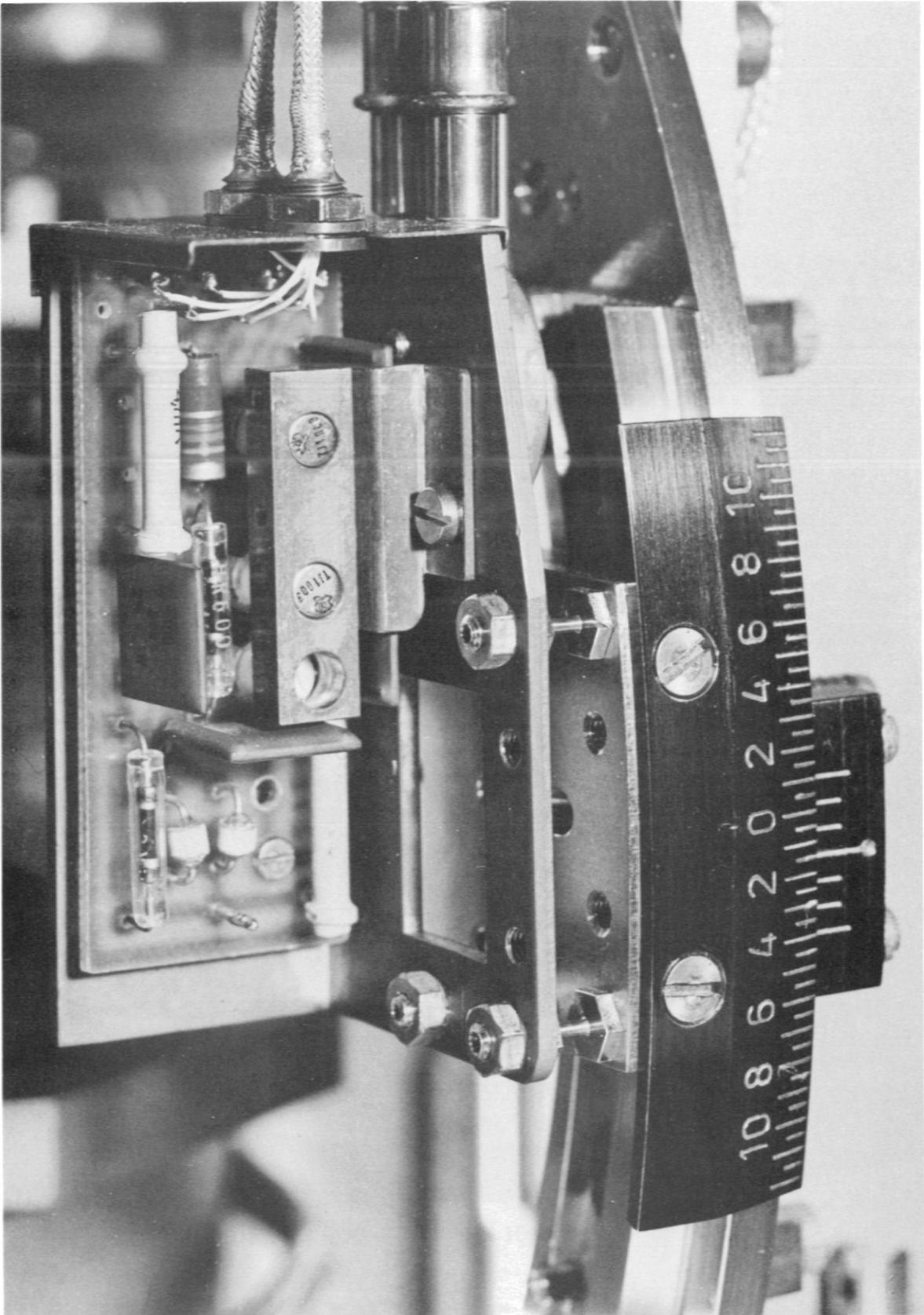
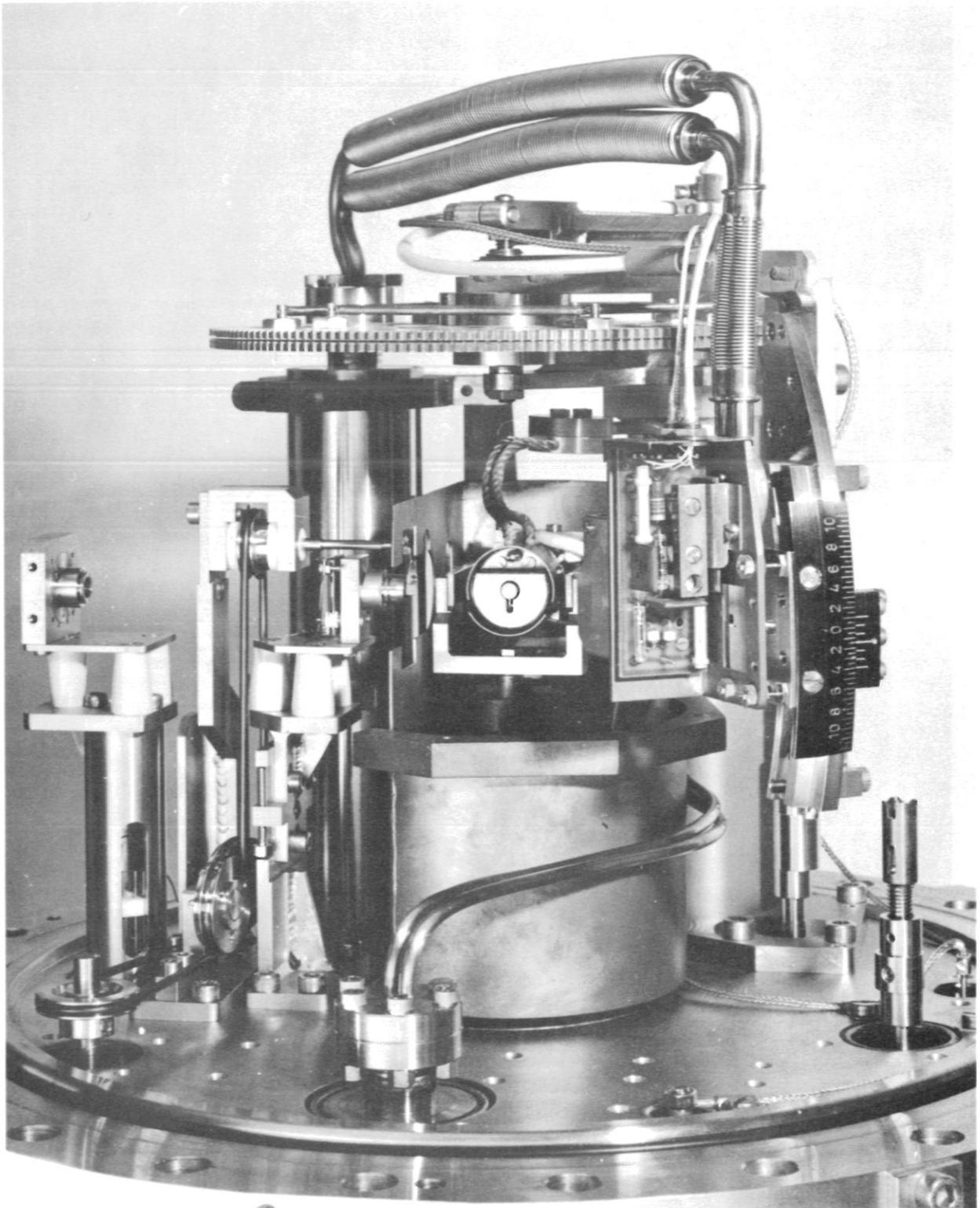
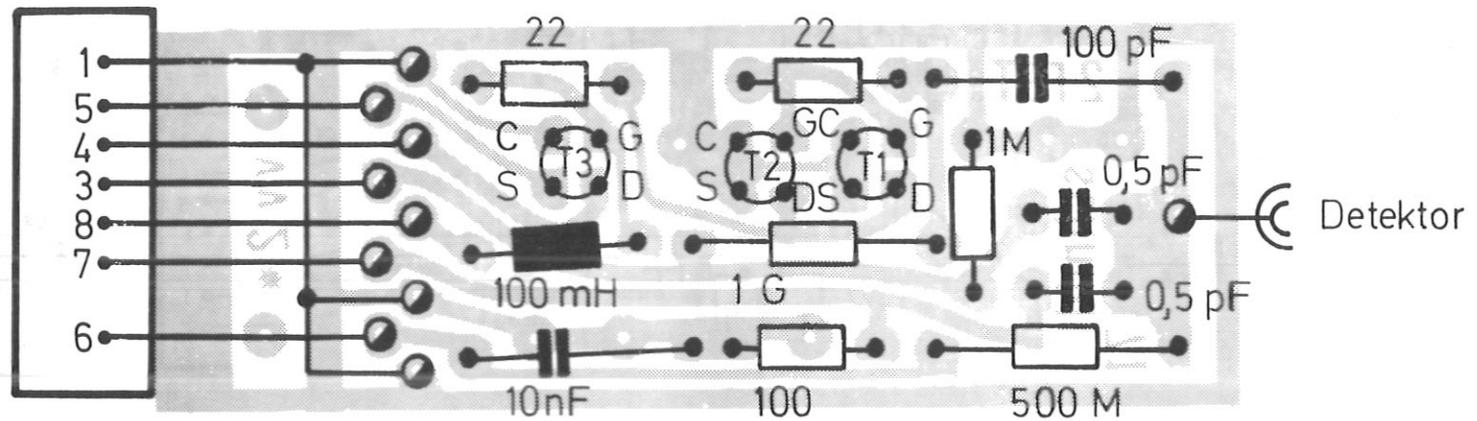


Fig. 3: Kühlbare Vorstufe



Figur 4 Meßflansch Vakuumseite (Vorstufe ohne Zähler und Abschirmung)



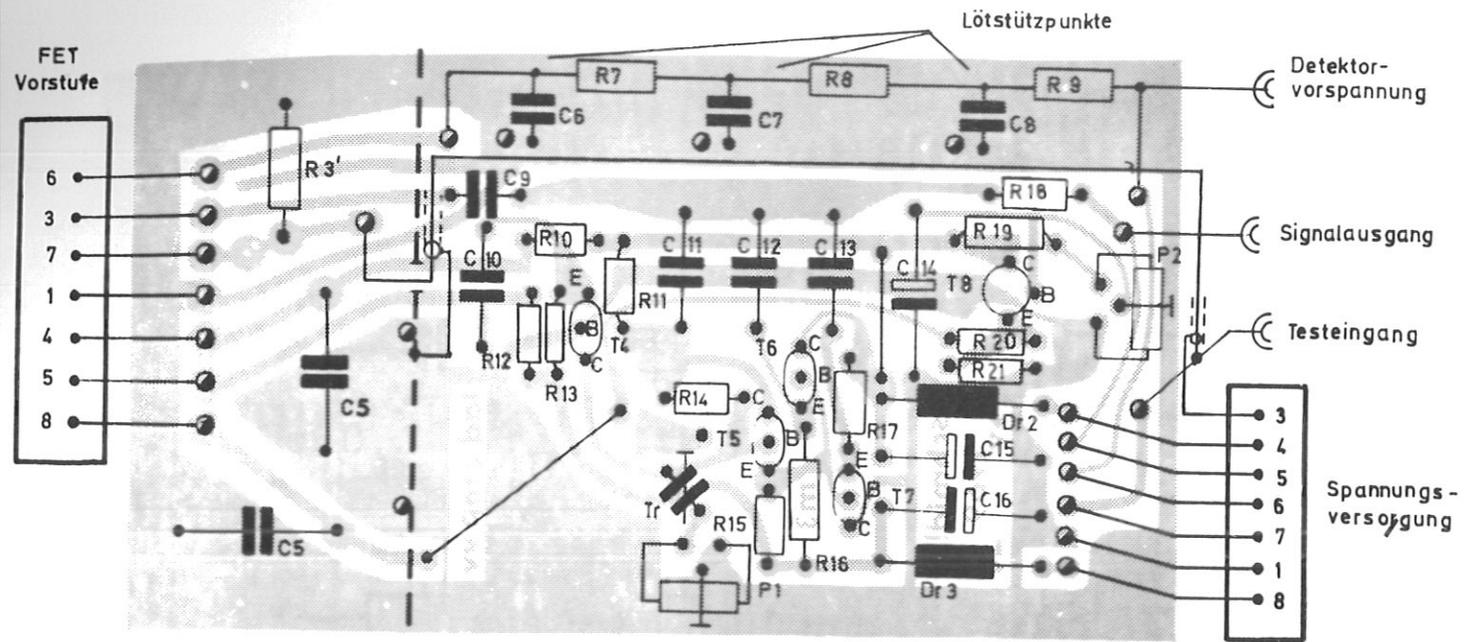
Maßstab 2:1

1 Stück Teflon-Gewebe-Platine 25x73 m/m

3 Stück FET TJ 1003

R <sub>1</sub>	500 MΩ		5%	Pyrofilm HR 600
R <sub>2</sub>	1 GΩ		5%	" "
R <sub>3</sub>	100 Ω	1 Watt	2%	Metallschicht
R <sub>4</sub>	22 Ω	0,25 Watt	1%	"
R <sub>5</sub>	22 Ω	0,25 Watt	1%	"
R <sub>6</sub>	1 MΩ	0,5 Watt	5%	"
C <sub>1</sub>	100 pF	400 V	10%	Keramisch
C <sub>2</sub>	0,5 pF	400 V	5%	"
C <sub>3</sub>	0,5 pF	400 V	5%	"
C <sub>4</sub>	10 nF	400 V	10%	"
D <sub>1</sub>	100 mH	3 mA		Nytronics SWD

Fig. 5a: Bestückungsplan "gekühlte Vorstufe"



1 Stück Epoxy-Platine 74 x 140 mm  
 3 " Trans. T 4;5,6, 2N3904  
 1 " " T 7 2N3906  
 1 " " T 8 2N2219  
 1 " Drossel D 2 0,68mH  
 1 " " D 3 2,2 mH

#### Kondensatoren:

C 5 10nF 400V keramisch  
 C 5' 10nF " "  
 C 6 0,1µF " LCC  
 C 7 0,1µF " "  
 C 8 0,1µF " "  
 C 9 0,22µF 63V MkS  
 C 10 2µF " "  
 C 11 2µF " "  
 C 12 2µF " "  
 C 13 2µF " "  
 C 14 50µF 35V Tantal  
 C 15 50µF " "  
 C 16 50µF " "  
 C 17 2µF 63V MkS  
 Tr 2-50pF 250V Trimmer

#### Widerstände

R 3' 100Ω 1 Watt 2% Metallschicht  
 R 7 10MΩ 0,5 " 5% Kohleschicht  
 R 8 10MΩ 0,5 " 5% "  
 R 9 10MΩ 0,5 " 5% "  
 R10 390Ω 0,25" 2% Metallschicht  
 R11 100Ω 0,25" 2% "  
 R12 33k 0,25" 2% "  
 R13 12k 0,25" 2% "  
 R14 6,8kΩ 0,25" 2% "  
 R15 33kΩ 0,25" 2% "  
 R16 2,7kΩ 0,5 " 2% "  
 R17 1kΩ 0,25" 2% "  
 R18 100Ω 0,25" 2% "  
 R19 470Ω 0,25" 2% "  
 R20 100Ω 0,25" 2% "  
 R21 10Ω 0,25" 2% "  
 R22 2,5MΩ 0,25" 2% "

#### Einstellregler:

P 1 5kΩ 0,5 Watt Metallfilm  
 P 2 10kΩ 0,5 " "  
 P 3 5MΩ 0,5 " "

Fig. 5b: Bestückungsplan "ladungsempfindlicher Teil"

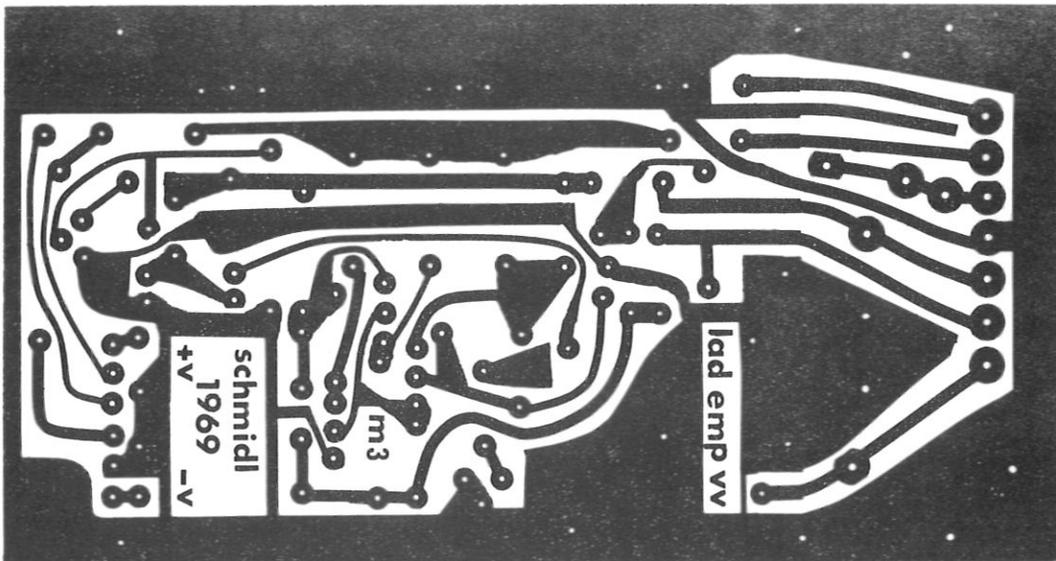
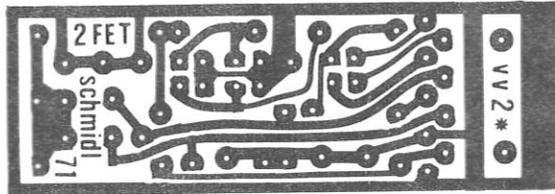


Fig. 5c: Platinen für Vorstufe und ladungsempfindlichen Teil

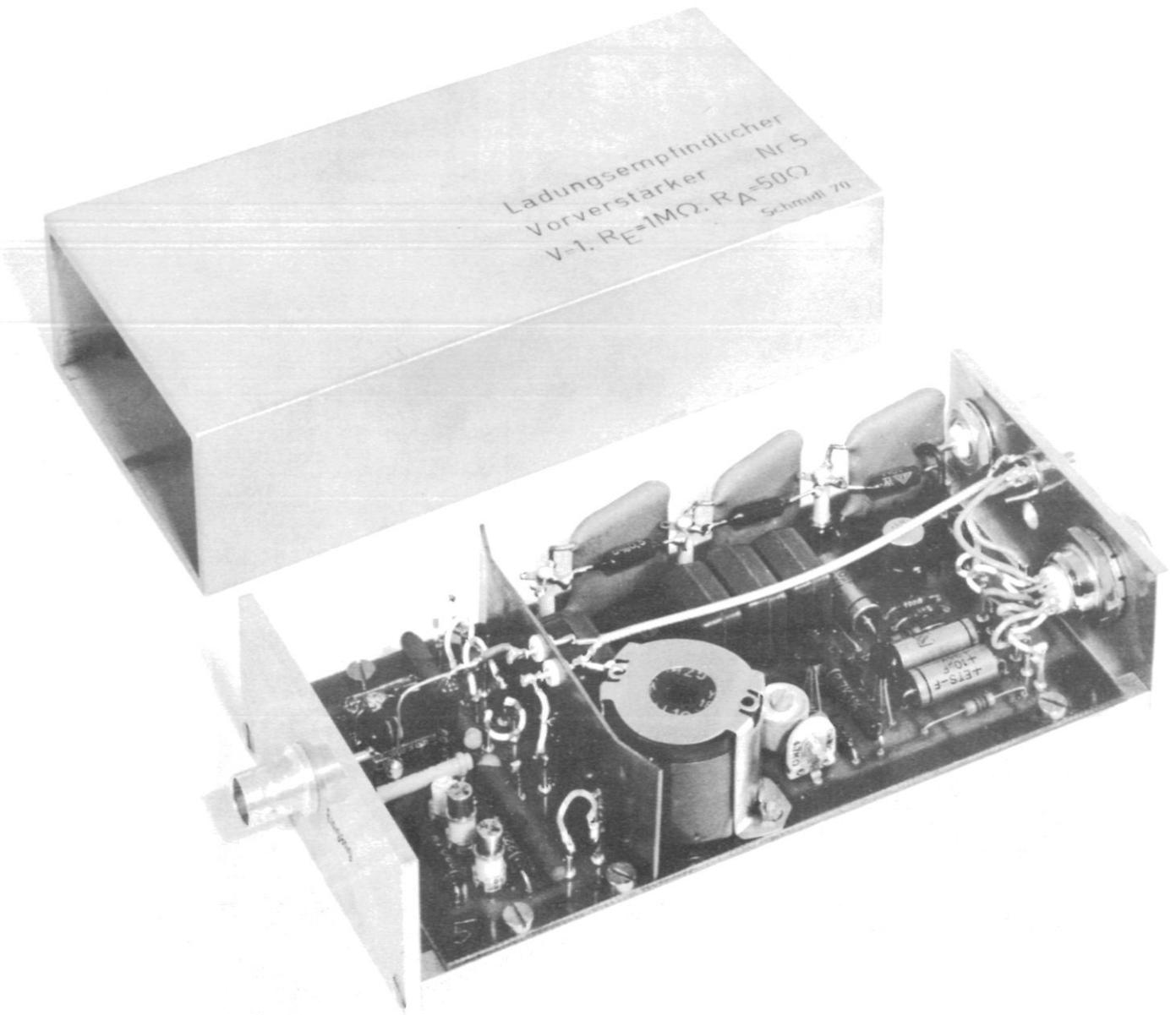


Fig. 6a: Nichtkühlbarer ladungsempfindlicher Vorverstärker

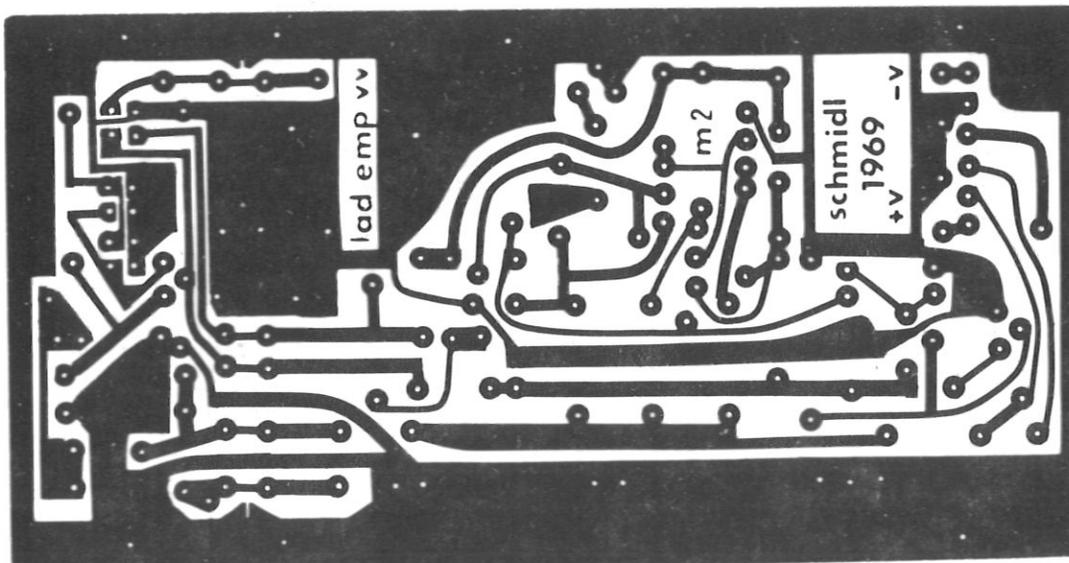
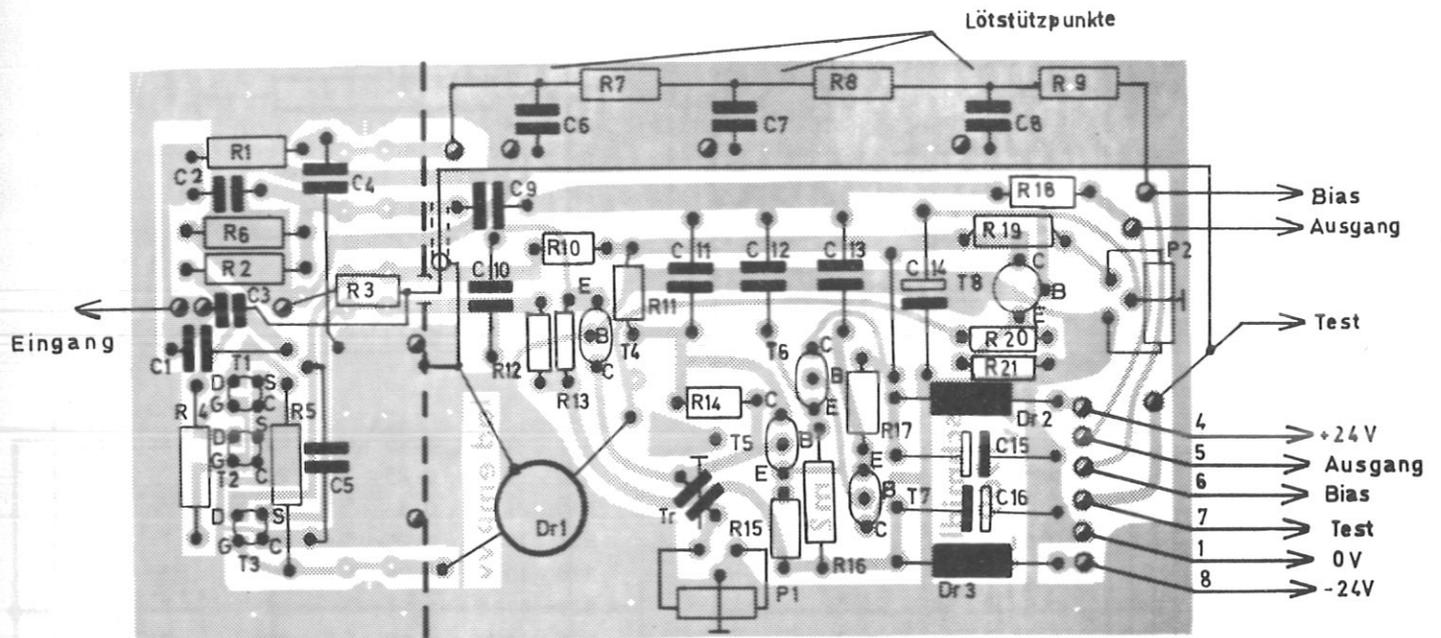


Fig. 6b: Bestückungsplan und Platine nicht kühlbarer Vorverstärker

Stückliste für Vorverstärker

1	Stück	Gehäuse	40x80x150		
1	"	Platine	74x140		
1	"	Buchsen für Spannungsversorgung		LEMOSA RA 2 M8	
2	"	" für Eingang + Bias		BNC UG 1094 V	
2	"	" für Ausgang + Testpuls		SUBMINAX P/N -27-800	
3	"	Transistor	T1 + T2 + T3	TJ 1003	
3	"	"	T4 + T5 + T6	2N 3904	
1	"	"	T7	2N 3906	
1	"	"	T8	2N 22 19	
1	"	Drossel	D1 100mH 3mA	Nytronixs Type SWD	
1	"	"	D2 680µH 50mA	" " "	
1	"	"	D2 680µH 50mA	" " "	
1	"	"	D3 2,2mH 27mA	" " "	

Widerstände

R1	500MΩ	HR 600	5%	Pyrofilm	R14	6,8kΩ	0,25 Watt	2%	Metallschicht
R2	1GΩ	HR 600	5%	"	R15	33kΩ	0,25 "	2%	"
R3	100Ω	1	Watt	2% Metallschicht	R16	2,7kΩ	0,5 "	2%	"
R4	22Ω	0,5	"	1% "	R17	1kΩ	0,25 "	2%	"
R5	22Ω	0,5	"	1% "	R18	100Ω	0,25 "	2%	"
R6	1MΩ	0,5	"	5% "	R19	470Ω	0,25 "	2%	"
R7	10MΩ	0,25	"	2% "	R20	100Ω	0,25 "	2%	"
R8	10MΩ	0,25	"	2% "	R21	10kΩ	0,25 "	2%	"
R9	10MΩ	0,25	"	2% "	R22	2,5MΩ	0,25 "	2%	"
R10	390Ω	0,25	"	2% "					
R11	100Ω	0,25	"	2% "					
R12	33k	0,25	"	2% "					
R13	12k	0,25	"	2% "					

Einstellregler

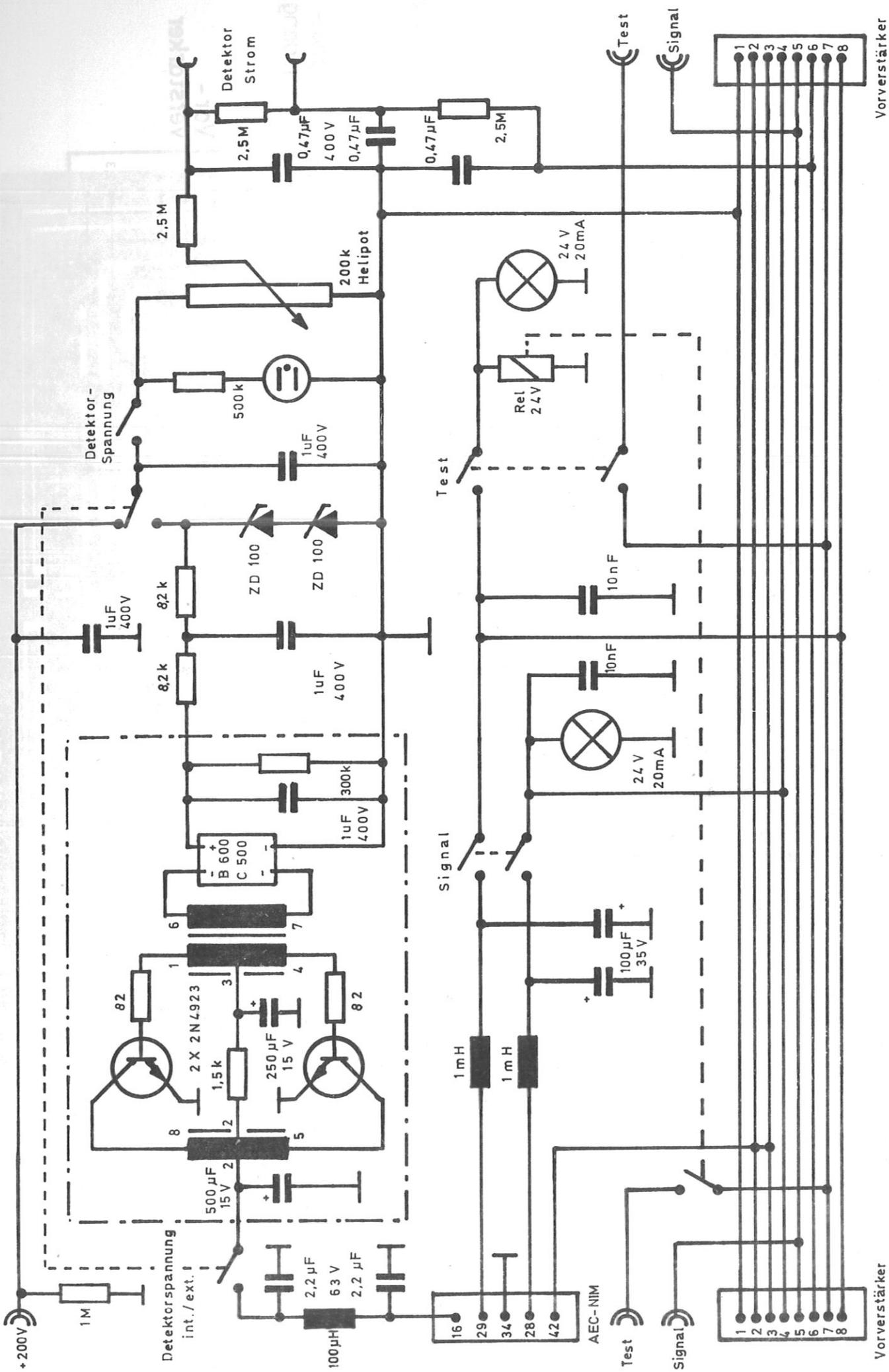
P1	5kΩ	0,5 Watt	Metallfilm
P2	10kΩ	0,5 "	"
P3	5MΩ	0,5 "	"

Kondensatoren

C1	100pF	400V	Keramisch	C10	2µF	63V	MkS
C2	0,5pF	"	"	C11	2µF	"	"
C3	0,5pF	"	"	C12	2µF	"	"
C4	10nF	"	"	C13	2µF	"	"
C5	10nF	"	"	C14	50µF	35V	Tantal
C6	0,1µF	"	LCC	C15	50µF	"	"
C7	0,1µF	"	"	C16	50µF	"	"
C8	0,1µF	"	"	C17	2µF	63V	MkS
C9	0,22µF	63V	MkS	T1	2-50pF	250V	Trimmer

1 Schirmblech, 3 keramische Stützen, Lötstifte, 3 Stück 4-pol. Transistorsockel

Fig. 6c: Stückliste nicht kühlbarer Vorverstärker



Figur 7 Spannungsversorgung

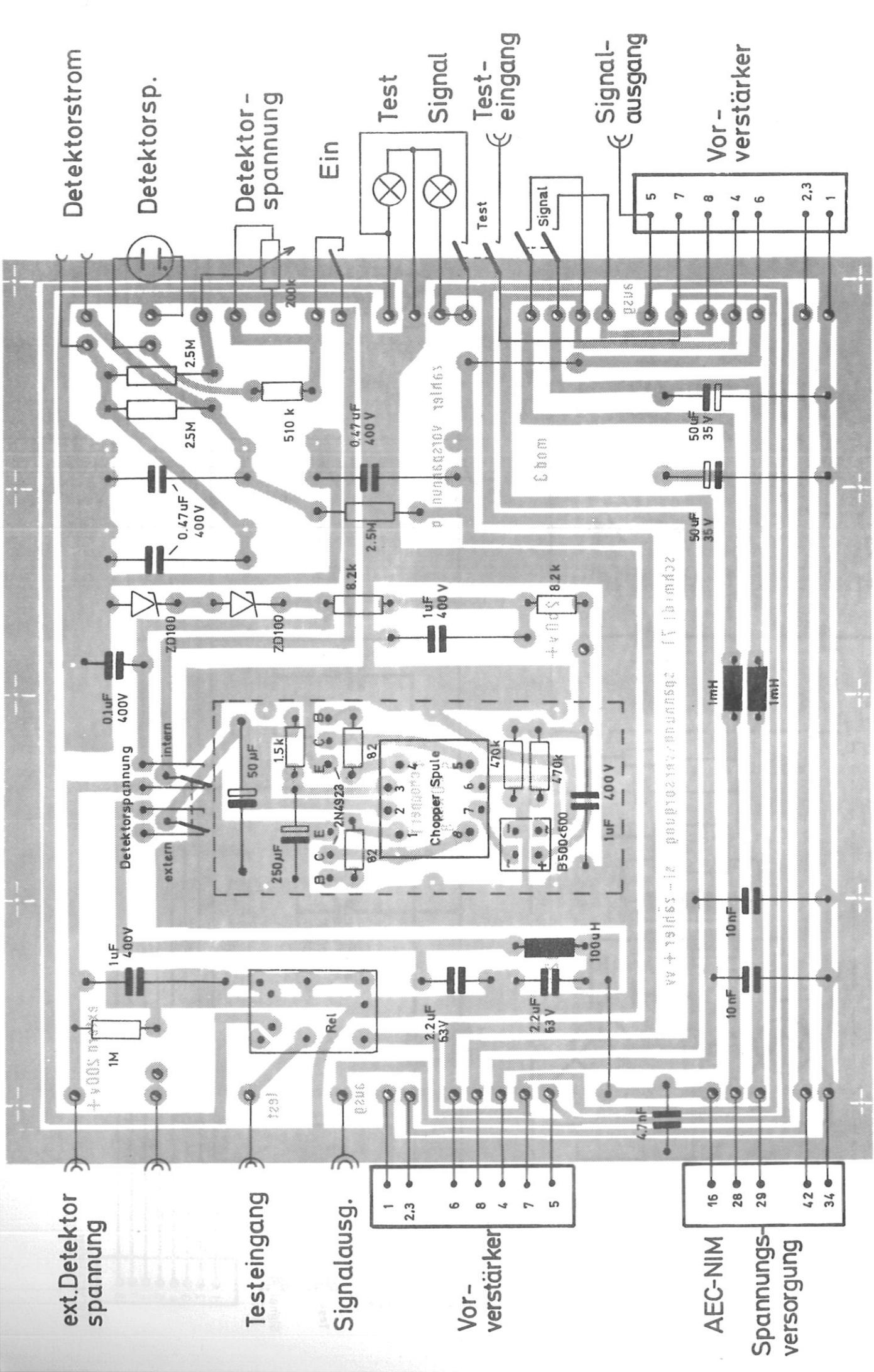


Fig. 8a: Bestückungsplan Spannungsversorgung

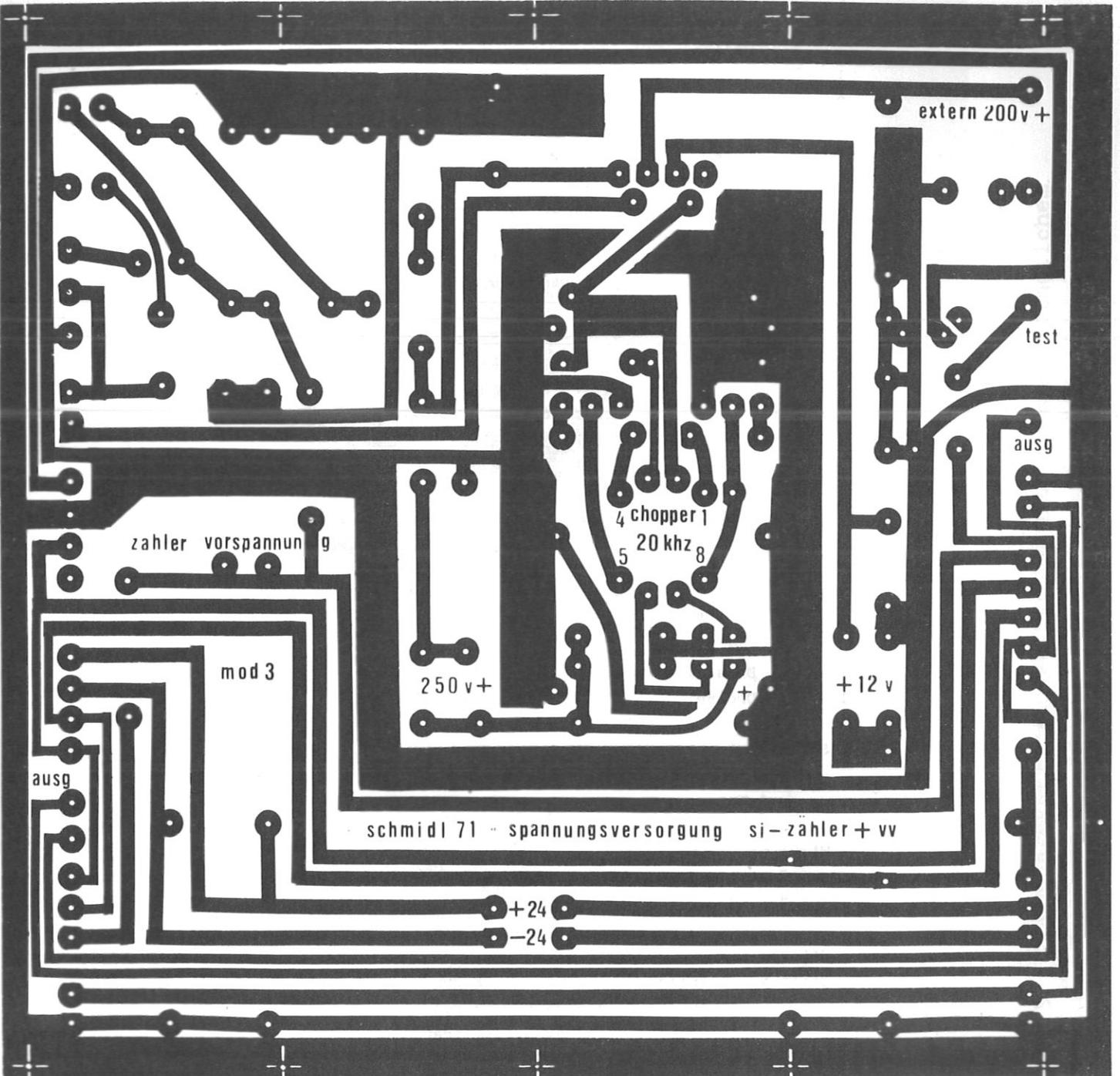


Fig. 8b: Platine für Spannungsversorgung

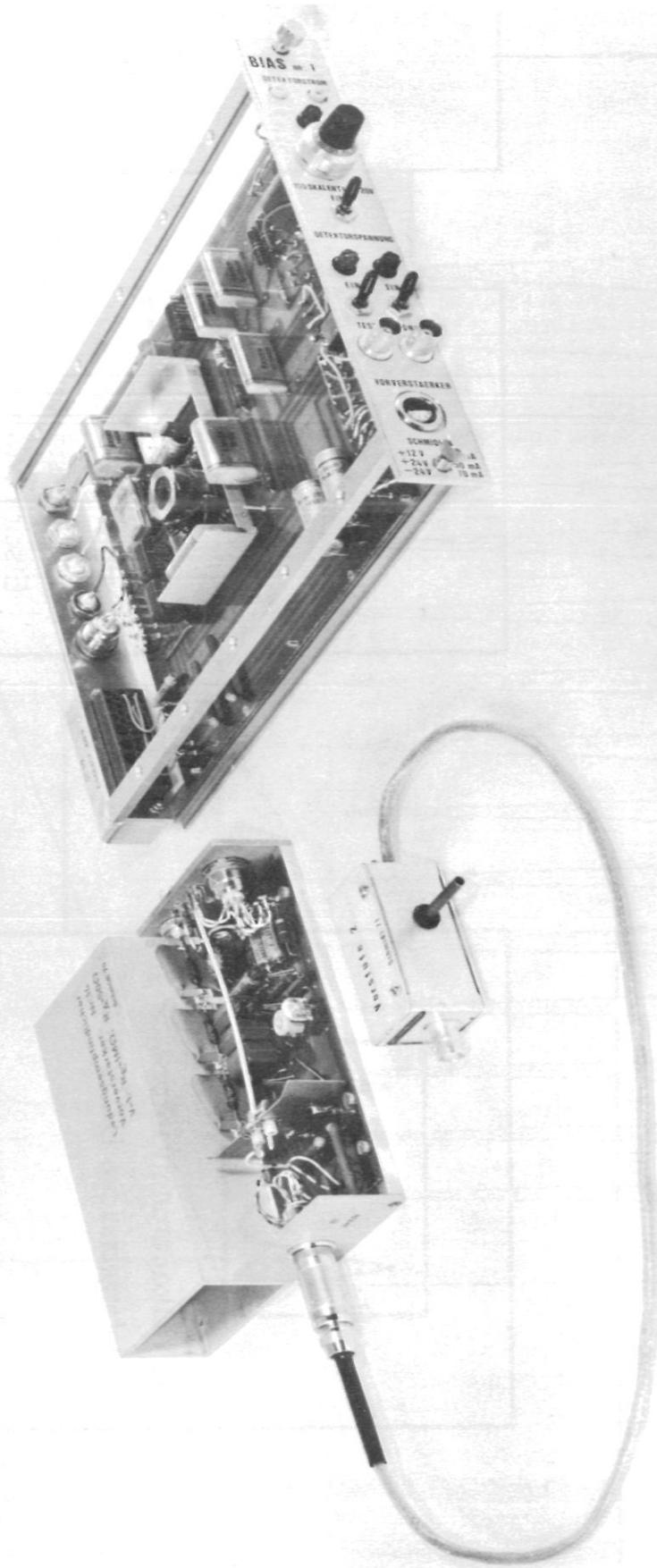
1 Stück	AEC Kasette	1/12 breit	mit Stecker			
1 "	Platine	188 x 198	m/m			
2 "	Buchsen	8 pol	Lemos RA 2 M8			
6 "	Buchsen	BNC UG	1094 U			
3 "	Einbauschalter	2 pol	aus			
2 "	Lampenfassung	mit Lampe	24V 20mA			
1 "	Lampenfassung	mit Glimmlampe	110V			
1 "	Helipot	200K (Bourns)	3501S-1-204 mit Antrieb			
1 "	Gehäuse	für Chopper	24x50x94			
2 "	Buchsen	2	m/m			
1 "	Relais	24V 30mA	Siemens V 23012 A0103 A001			
1 "	Schalter	für Platine	Secme 1 pol um			
1 "	Brückengleichrichter	B500	C600			
2 "	Transistoren	2N 4923				
2 "	Zenerdioden	ZD 100				
3 "	Kondensator	1µF	400V Mkh			
3 "	"	0,47µF	400V Mkh			
1 "	"	0,1µF	400V Mks			
1 "	"	4,7nF	400V Keram			
2 "	"	10nF	400V Keram			
1 "	"	0,1µF	63V Mks			
2 "	"	2,2µF	63V Mks			
2 "	"	100µF	35V Elko			
1 "	"	250µF	35V Elko			
1 "	"	500µF	35V Elko			
2 "	Widerstand	100Ω	0,25 Watt	2%	Metallfilm	
1 "	"	1,5k	0,33	"	10%	Kohleschicht
2 "	"	8,2k	0,33	"	10%	"
3 "	"	470k	0,33	"	10%	"
1 "	"	1M	0,33	"	10%	"
3 "	"	2,5M	0,5	"	10%	"
2 "	Drossel	1mH	Nytronics	SWD	1000	
1 "	Drossel	100µH	Nytronics	SWD	100	
1 Stück	Spule	für Chopper	Schalenkern 23ø x 17 (26ø x 16)			
		AL 160 (mit Luftspalt)	8 pol Sockel, dazu Spulenkörper			
		1 Kammer ; N <sub>3</sub>	gegen N <sub>2</sub> +N <sub>1</sub> 300V isolieren			

Wicklung 1 = 6	Windungen	0,2 CUL	Bifilar = N <sub>1</sub> +N <sub>1</sub> '
" 2 = 32	"	0,3 CUL	Bifilar = N <sub>2</sub> +N <sub>2</sub> '
" 3 = 700	"	0,15 CUL	normal = N <sub>3</sub>

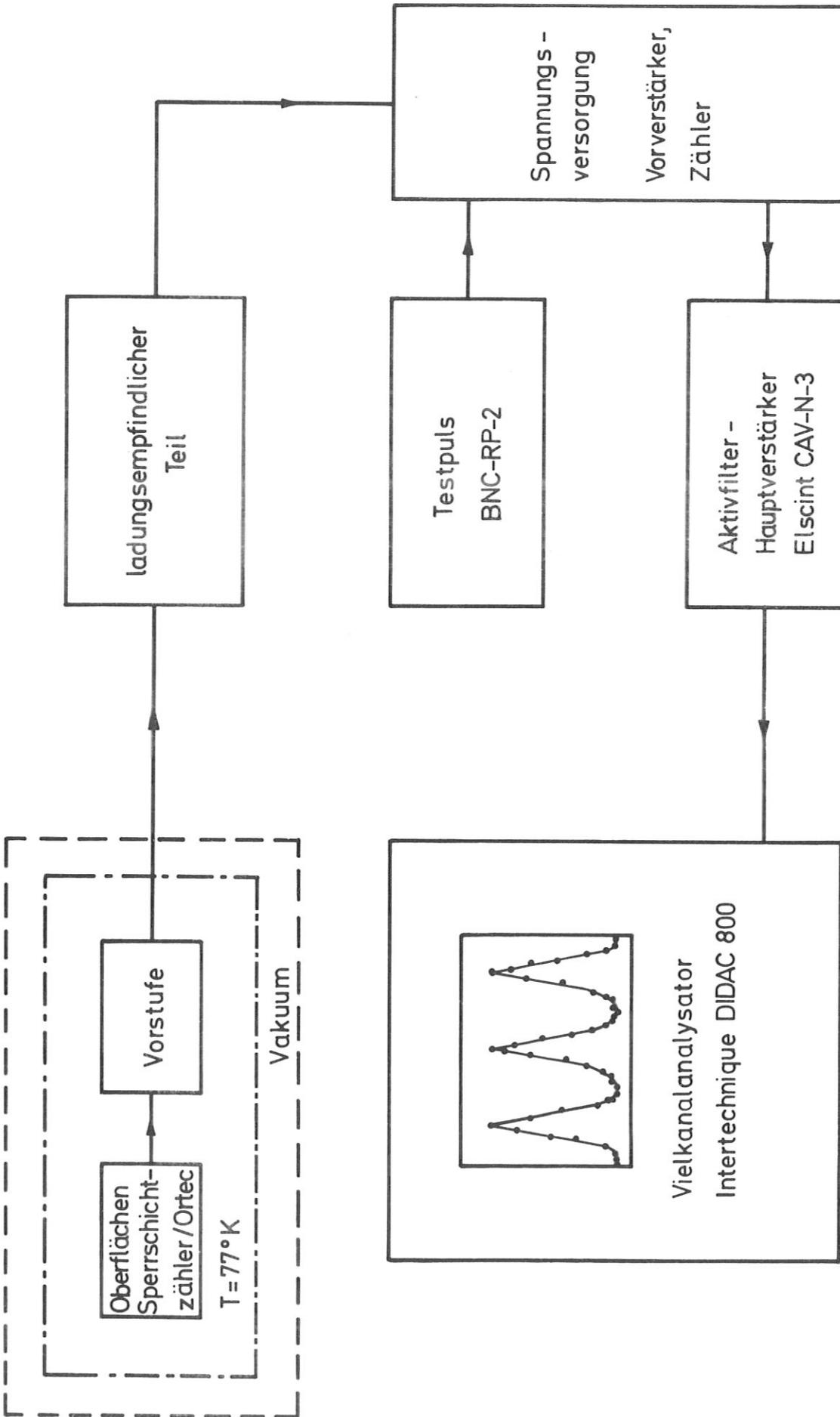
Stiftbelegung:

Stift No 1	Anfang N <sub>1</sub>	= grün
" 2	Anfang N <sub>2</sub> + Ende N <sub>2</sub> '	= rot
" 3	Ende N <sub>1</sub> + Anfang B <sub>1</sub> '	= orange
" 4	Ende N <sub>1</sub> '	= gelb
" 5	Anfang N <sub>2</sub> '	= Blau
" 6	Anfang N <sub>3</sub>	= farblos
" 7	Ende N <sub>3</sub>	= farblos
" 8	Ende N <sub>2</sub>	= schwarz

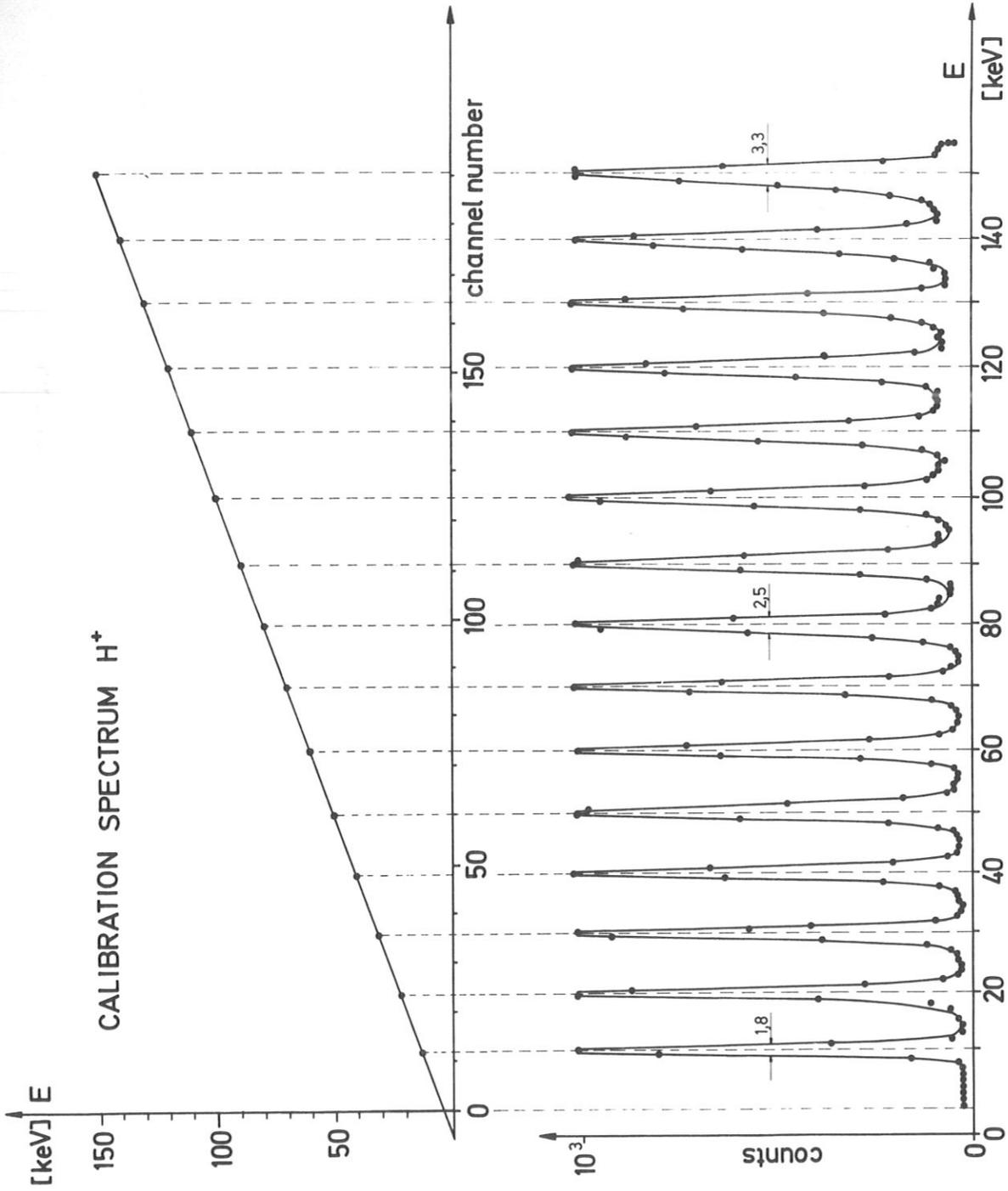
Fig. 8c: Stückliste für Spannungsversorgung



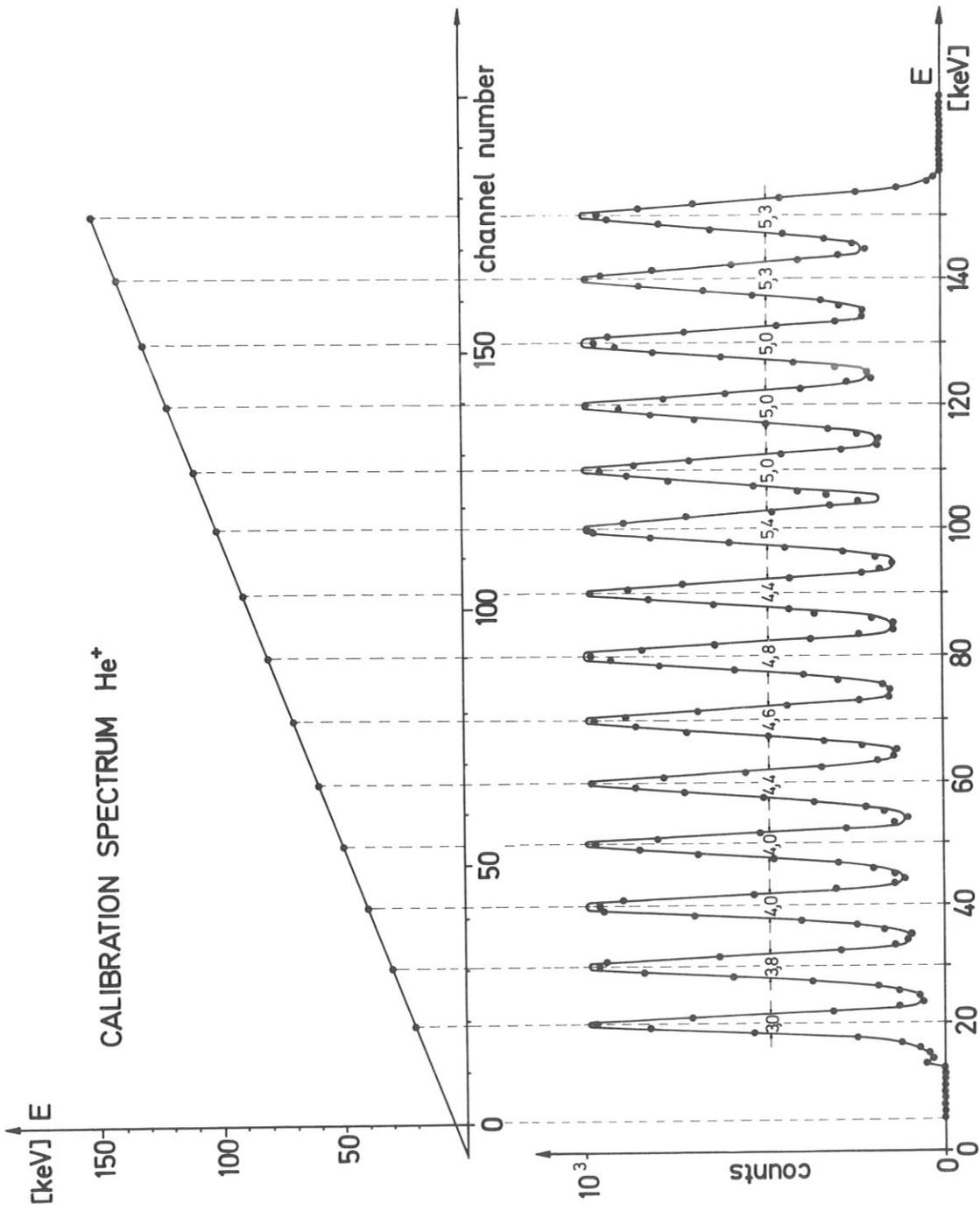
Figur 9 Spannungsvorgungseinschub mit ladungsempfindlichem Teil und vergossener Vorstufe



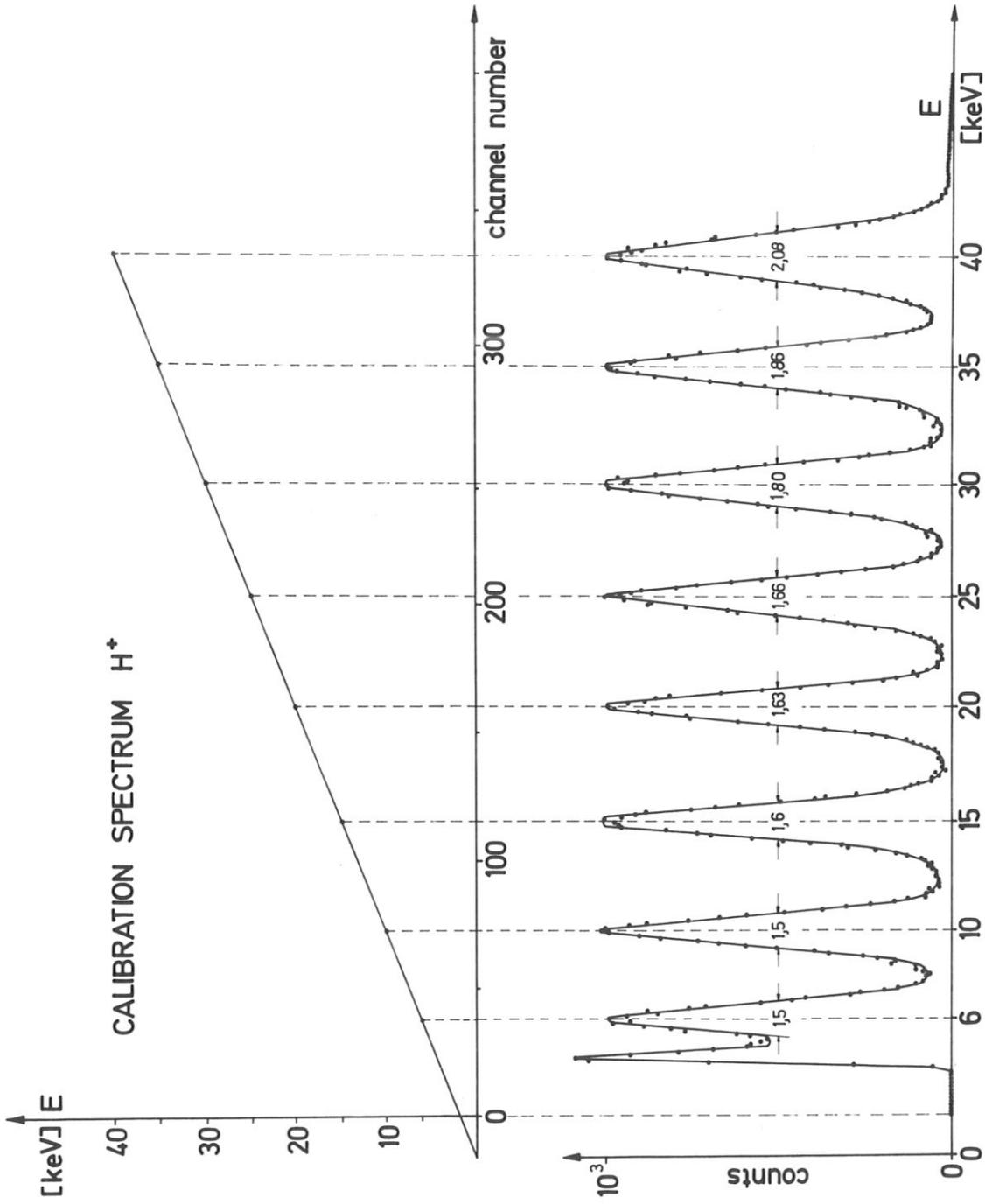
Figur 10 Meßanordnung



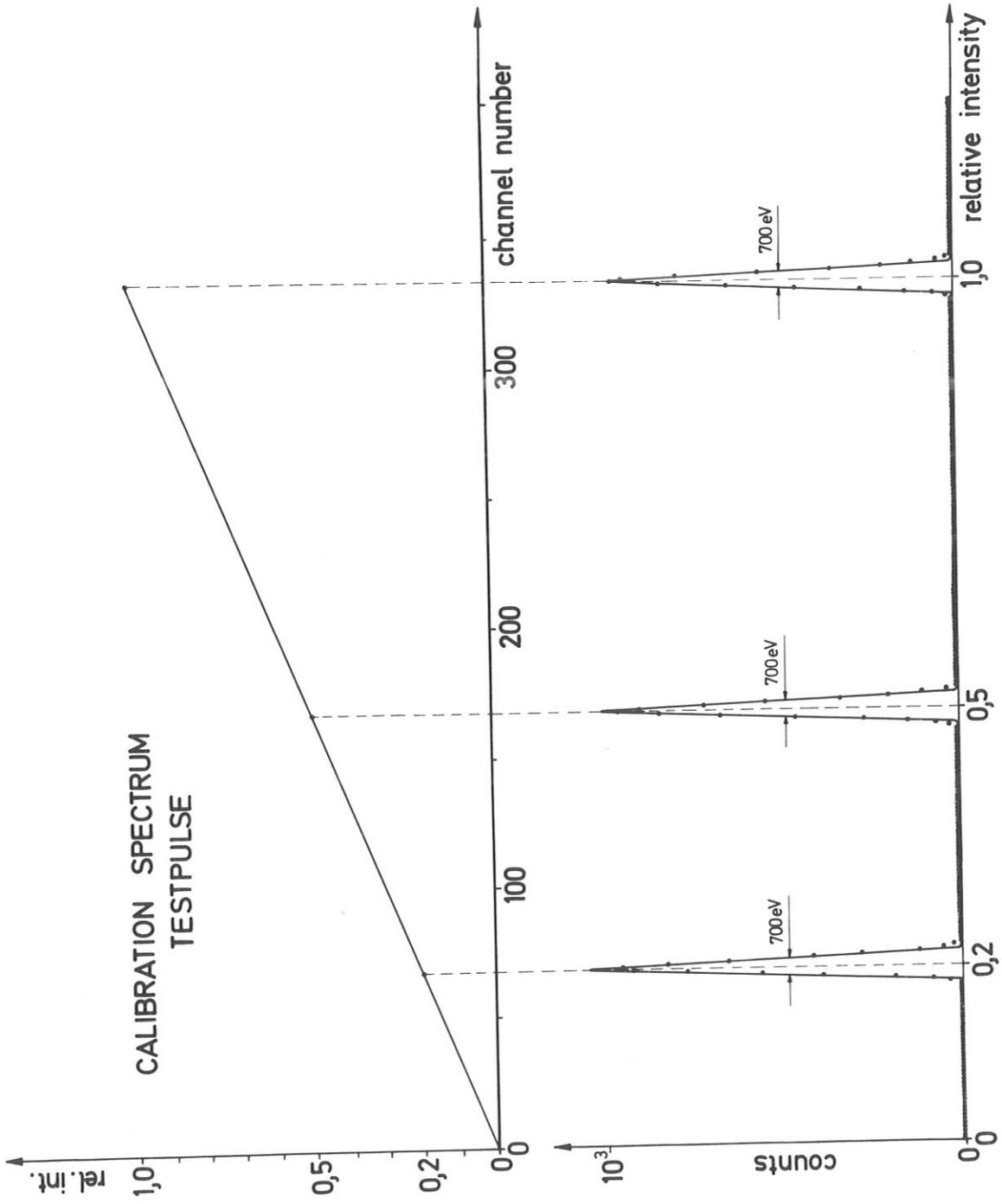
Figur 11  $H^+$  Eichspektrum mit Linearitätskurve



Figur 12  $\text{He}^+$  Eichspektrum mit Linearitätskurve



Figur 13  $H^+$  Eichspektrum mit Linearitätskurve



Figur 14 Testpulsspektrum mit Linearitätskurve

This IPP report is intended for internal use.

IPP reports express the views of the authors at the time of writing and do not necessarily reflect the opinions of the Max-Planck-Institut für Plasmaphysik or the final opinion of the authors on the subject.

Neither the Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, nor the Euratom Commission, nor any person acting on behalf of either of these:

1. Gives any guarantee as to the accuracy and completeness of the information contained in this report, or that the use of any information, apparatus, method or process disclosed therein may not constitute an infringement of privately owned rights; or
2. Assumes any liability for damage resulting from the use of any information, apparatus, method or process disclosed in this report.