



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

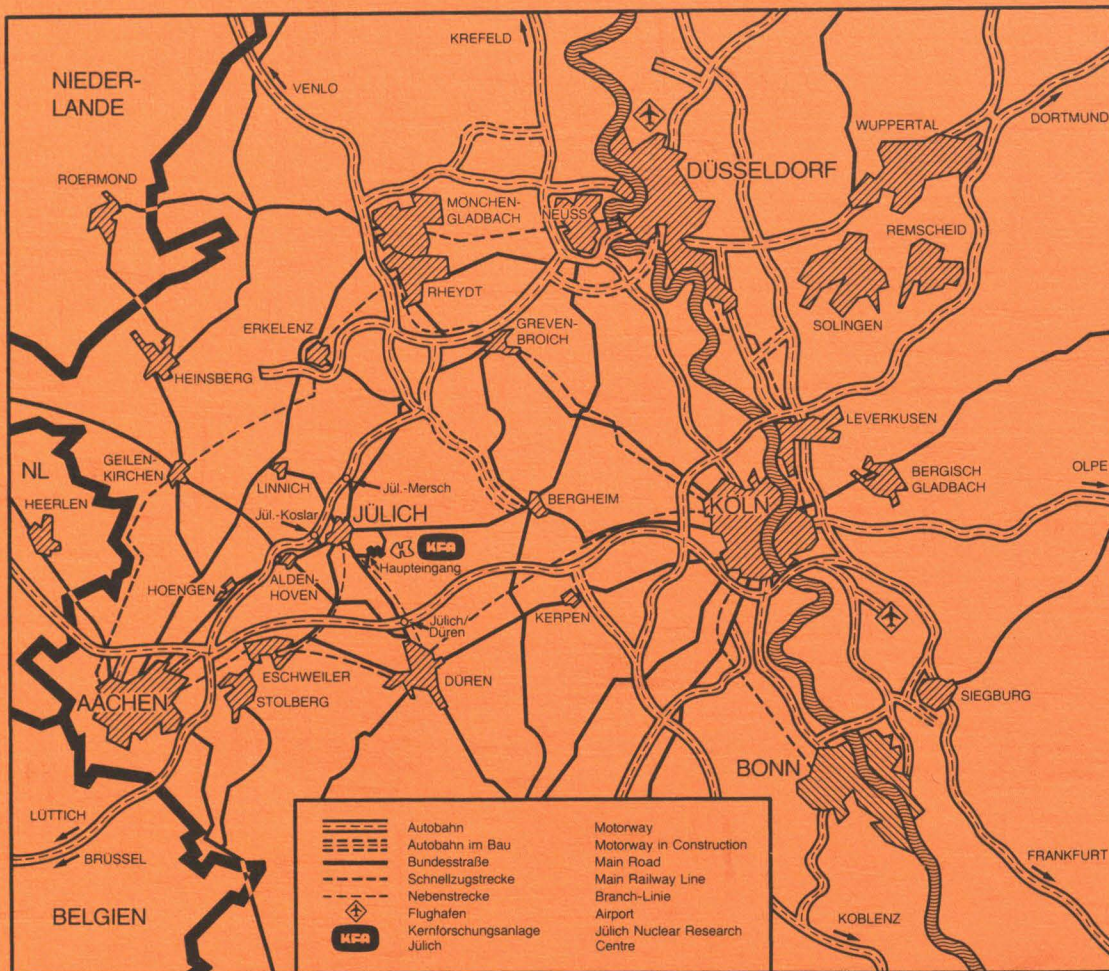
Zentralabteilung Allgemeine Technologie
Association EURATOM-KFA

**Konstruktion und Bau der beweglichen
Limiter zur Plasmabegrenzung im
Kernfusionsexperiment TEXTOR**

von

D. A. Butzek und K. Derichs

Jül - Spez - 228
November 1983
ISSN 0343-7639



Als Manuskript gedruckt

Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 228

Zentralabteilung Allgemeine Technologie Association EURATOM - KFA Jül – Spez – 228

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)

Telefon: 024 61 / 610 · Telex: 833 556-0 kf d

**Konstruktion und Bau der beweglichen
Limiter zur Plasmabegrenzung im
Kernfusionsexperiment TEXTOR**

von

D. A. Butzek und K. Derichs

Abstract

The nuclear fusion experiment TEXTOR (Tokamak Experiment for Technology Oriented Research) has been constructed for investigation of plasma-wall-interaction. The plasma is generated inside a torus-shaped vacuum vessel.

In addition to the magnetic fields mechanical limiters are provided to hold the plasma in position.

The limiter scheme of textor consists of main limiters and reference limiters (measuring limiters). Main and reference limiters are mounted in different cross sections of the torus.

The main limiters are movable during the plasma discharge while the reference limiters are kept fixed. They are adjustable.

Thus, by moving the main limiters, the reference limiters can be exposed to different thermal loads during the discharge.

Exposing the reference limiters to the plasma, first results have been obtained concerning the scrape off layer: thickness, fluxes of hydrogen and chromium through this layer e.g. /1/, /2/. The limiter scheme, the final design and construction of the limiters and the first phase of operation are described in this report.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Das Textor-Limiterkonzept	2
3. Anforderungen an die Limiter	3
4. Konstruktion und Bau der Limiter	5
4.1 Spezielle Konstruktionsmerkmale der horizontalen Limiter	9
4.2 Spezielle Konstruktionsmerkmale der vertikalen Limiter	10
5. Betriebserfahrungen und Zusammenfassung	11
6. Literaturverzeichnis und Quellennachweis	12
7. Verzeichnis der Abbildungen	14

1. Einleitung

Die Kernfusionsanlage TEXTOR (Tokamak Experiment for Technology Oriented Research) wurde im Rahmen des europäischen Kernfusionsprogrammes zur Erforschung der Plasma-Wand-Wechselwirkungen thermonuklearer Plasmen errichtet.

Diese nach dem Tokamak-Prinzip arbeitende Anlage besteht im wesentlichen aus einem torusförmigen Vakuumgefäß, das von einem System verschiedener Magnetfeldspulen umgeben ist. Aufbau und wissenschaftliche Zielsetzung solcher Anlagen und insbesondere der TEXTOR-Anlage sind ausführlich in /4/ beschrieben.

Der im Inneren des Vakuumgefäßes /5/ befindliche, torusförmige Plasmaschlauch mit einem großen Radius $R_0 = 1750$ mm und einem kleinen Radius $a = 500$ mm (vgl. Fig.1 und 2) kann jedoch nicht vollständig durch die Magnetfelder in der gewünschten Lage gehalten werden. Mechanische Begrenzer, die Limiter, führen das Plasma und verhindern einen Kontakt des Plasmas mit der umgebenden Wand, dem Liner. Die genaue Funktion der Limiter in einem Tokamak ist noch unbekannt. Möglicherweise sind sie notwendige Komponenten zur Erzeugung eines stabilen Hochtemperaturplasmas in einem Tokamak.

Der Liner (vgl. Fig.1 u.2) und insbesondere die mit dem Plasma in Kontakt stehenden Limiterflächen sind bevorzugte Forschungsobjekte des Experimentes TEXTOR und deshalb austauschbar. Während der bis zu drei Sekunden Plasmabrenndauer /3/ sind die dem Plasma ausgesetzten Oberflächen der Limitersteine hohen thermischen Belastungen ausgesetzt. Das Textor-Limiterkonzept /5/, bestehend aus verstellbaren Referenzlimitern (Meßlimitern) und (auch während der Plasmabrenndauer) beweglichen Hauptlimitern, bietet die Möglichkeit einer gezielten thermischen Belastung der unterschiedlichen Limiter. Die Konstruktion des Vakuumgefäßes erlaubt eine gute Beobachtungsmöglichkeit der Plasmareaktionen an den Limitern. Limiterkonzept, Konstruktion, Bau und erste Betriebserfahrungen der beweglichen Limiter beschreibt dieser Bericht.

2. Das Textor-Limiterkonzept

Die zum Studium der Plasma-Wand-Wechselwirkung gewünschte Variationsmöglichkeit der thermischen Belastung der plasmabeaufschlagten Limiteroberflächen wird durch folgende Anordnung der Limiter erreicht (vgl. Fig.1):

- Referenzlimiter (Meßlimiter) im Gefäßquerschnitt 12/13 zwischen den Hauptfeldspulen Nr.12 und Nr.13 (während der ersten Betriebsphase)
- Hauptlimiter im Gefäßquerschnitt 8/9 zwischen den Hauptfeldspulen Nr. 8 und Nr.9.

Die Anordnung der Hauptlimiter im Vakuumgefäß-Querschnitt zeigt Fig.2. Die Anordnung der Referenzlimiter ist prinzipiell gleich, lediglich die geometrische Form der Referenzlimiterköpfe und -steine weicht von der des Hauptlimiters ab.

Mittels einer Bewegung des horizontalen und der beiden vertikalen Limiter (vgl. Fig.2) läßt sich der Plasmaradius a beeinflussen.

Die beweglichen Referenzlimiter im Gefäßquerschnitt 12/13 werden auf eine bestimmte Position eingestellt, die sich während der Plasmabrenndauer nicht ändert.

Durch eine entsprechend geänderte Position oder eine Bewegung der Hauptlimiter (auch während der Plasmabrenndauer) im Gefäßquerschnitt 8/9 läßt sich der Plasmaradius a so ändern, daß eine unterschiedliche starke Reaktion des Plasmas mit den Referenzlimitern von unterschiedlicher Zeitdauer erzeugt werden kann.

Zwecks besserer Anpassung an das jeweilige Versuchsprogramm bietet die Konstruktion des Vakuumgefäßes innerhalb gewisser Grenzen die Möglichkeit, die Limiter in anderen Positionen einzusetzen. In einer späteren Betriebsphase (ab Mai 1983) wurde der obere Referenzlimiter aus dem Gefäßquerschnitt 12/13 ausgebaut und als unterer Referenzlimiter im Gefäßquerschnitt 10/11 betrieben.

3. Anforderungen an die Limiter

Aufgrund des gewählten Limiterkonzeptes und der typischen Betriebsart von Tokamak-Anlagen muß die Limiterkonstruktion einer Reihe von Anforderungen genügen. Die wichtigsten, dieser zum Teil nicht einfach zu realisierenden Anforderungen sind nachfolgend aufgeführt.

a) Einhaltung der UHV-Bedingungen, d.h. Vermeidung schlecht evakuierbarer Totvolumen, Einhaltung bestimmter Oberflächenqualitäten und -Reinheiten (auch während der Montage) und Heliumleckdichtigkeit mit einer Leckrate von $< 10^{-8}$ mbar·l/s bei jeder Limitereinheit.

b) Temperaturbelastung

Die Limitereinheiten sind mit dem bis zu 350°C aufheizbaren Vakuumgefäß /6/ verschraubt, Limiterkopf und Limitersteine können ohne Plasmakontakt infolge ihrer Nachbarschaft zum Liner (bis 600 °C aufheizbar) und der ebenfalls gewünschten Beheizung des Limiterkopfes Temperaturen von ca. 500 °C annehmen.

Während der Plasmabrenndauer kann an den Limitersteinen die Temperatur noch erheblich ansteigen, z.B. bis zur Verdampfung des Werkstoffes.

c) Kühlung des Limiterkopfes

Die gesamte Energie im Plasma wurde zu ca. $4 \cdot 10^6$ J pro Entladung abgeschätzt /7/. Im ungünstigsten Fall wird diese Energie in einem Limiter (Kopf u. Steine) deponiert und muß in der fünf Minuten dauernden Pause zwischen zwei Entladungen abgeführt werden. Rechnet man ca. 3 kW als Abstrahlung in die Umgebung, so bleiben ca. 10 kW, die vom Limiterkopf ständig abgeführt werden müssen. Eine entsprechende Kühlstruktur, die die Wärme vom Limiterkopf abführt, sollte so konzipiert werden, daß sowohl Gas (z.B. Helium bei hohem Druck), als auch Wasser als Kühlmedium eingesetzt werden kann.

d) Auswechselbarkeit der Limitersteine

Die Limitersteine sollten leicht auswechselbar sein, d.h. entsprechende Verbindungselemente müssen eine sichere Verbindung zwischen Limitersteinen und Limiterkopf gewährleisten und sich nach Einwirkung hoher Temperaturen und Vakuum wieder lösen lassen.

e) Limiterverstellung und -Positionierung

Ein Verstellweg an jedem Limiter von 100 mm wurde gefordert. Für die in den Limitereinheiten benötigten Metallfaltbälge wurden folgenden Lastspielzahlen zugrundegelegt:

Hauptlimiter:	50.000 Lastspiele bei 100 mm Verstellweg u. 400 °C Berechnungstemperatur
Referenzlimiter:	2.500 Lastspiele bei 100 mm Verstellweg und 400 °C Berechnungstemperatur

Das Vakuumgefäß ist derart gelagert, daß sich bei einer Erwärmung des Gefäßes die untere horizontale Flanschebene und der Radius $R_0 = 1750$ mm nahezu nicht bewegen.

Bei einer Temperaturerhöhung des Gefäßes auf 350 °C wandert die horizontale Mittelebene des Gefäßes um ca. 5 mm und die obere horizontale Flanschebene (Zwischenflansch des oberen vertikalen Limiters) ca. 10 mm nach oben, während der Pumpstutzen ca. 5 mm seitlich auswandert (vgl. Fig.2). Diese Dehnungen des Gefäßes durften jedoch keinen Einfluß auf die Position des Limiterkopfes gegenüber dem Plasma haben.

f) Der Limiterkopf muß gegenüber dem Vakuumgefäß elektrisch isoliert sein. Als Spannungsfestigkeit waren 1,5 kV gefordert.

g) Magnetfeldbeeinflussung

Zur Vermeidung von Magnetfeldbeeinflussungen dürfen in der Nähe des Plasmas nur nichtmagnetisierbare Werkstoffe mit einer relativen Permeabilität $\mu_{rel} \leq 1,01$ eingesetzt werden.

4. Konstruktion und Bau der Limiter

Das bereits erwähnte TEXTOR-Limiterkonzept führte zu 6 Limiter-einheiten, drei Hauptlimitereinheiten im Gefäßquerschnitt 8/9 und drei Referenzlimitereinheiten im Gefäßquerschnitt 12/13 (vgl. Fig.1 u.2).

In jedem Gefäßquerschnitt existieren ein horizontaler Limiter und zwei, untereinander baugleiche, vertikale Limiter (oben und unten).

Die Konstruktion der horizontalen Hauptlimiter zeigt Fig.3, die der vertikalen Hauptlimiter zeigt Fig.4.

Die Referenzlimitereinheiten sind mit Ausnahme der Limiterköpfe und -Steine baugleich mit den Hauptlimitereinheiten. Der Unterschied zwischen Hauptlimiterkopf und Referenzlimiterkopf (worauf später noch eingegangen wird) ist aus Fig.5 und Fig.6 ersichtlich.

Unter Anwendung der Vorteile des Baukastenprinzips wurde versucht, möglichst viele baugleiche Teile (gleiche Positionsnummern in Fig.3 und Fig.4) bei den unterschiedlichen Limiterarten einzusetzen.

Jede Limitereinheit ist nach dem gleichen Konstruktionsprinzip aufgebaut, das im wesentlichen auf folgenden Bauteilen basiert (vgl. Fig.3 und 4).

Limiterkopf (Pos.12 bei horizontalem Limiter bzw. Pos.2 bei vertikalem Limiter) mit den daran befestigten Limitersteinen (Pos.1).

Limiterstange (Pos.13 bzw. Pos.4), die an den Limiterkopf angeschweißt ist.

Prismenartige, austauschbare Lagerschalen, in denen die Limiterstange mit einem Hub von 100 mm gleitet (Pos.44 bei horizontalem Limiter bzw. Pos.66 und 67 bei vertikalem Limiter). Eine der beiden Lagerstellen arbeitet im Vakuumraum, wobei keine Schmiermittel eingesetzt werden durften.

Lagerböcke (Pos.45 und 49 bzw. Pos.63 und 65), die elektrisch isoliert mit Pumpenkreuzstück oder Gefäß-

bauteilen verschraubt sind (Pos. 37, 38 und 39). Die elektrische Isolation wird durch Zylinderhülsen (Pos.38) aus Al_2O_3 gewährleistet.

Metallbälge (Pos.24), bestehend aus mehreren serienmäßigen Teilbälgen /9/, die die Bewegung der Limiterstange gegenüber den vakuumhaltenden Deckeln (Pos.48 bzw. 62) gestatten.

Vakuumdichte, bis 500°C temperaturbeständige, aus Al_2O_3 bestehende, Metallkeramiken (Pos.21),/10/, die mit den Bälgen verschweißt sind, sorgen für die elektrische Isolierung zwischen Limiterstange und den Bauteilen, die auf Vakuumgefäß-Potential liegen.

Das Gabelstück (Pos.30) und der Bolzen (Pos.31) dient zum Anschluß der Verstelleinheit (z.B. Hydraulikzylinder Pos.32), auf die hier nicht näher eingegangen werden soll.

Zur Einhaltung der UHV-Bedingungen wurden die vakuumseitigen Oberflächen mit einer max. Rauhtiefe $R_{\text{max}} \leq 10 \mu\text{m}$ nach DIN 4768 hergestellt, Schweißverbindungen weitgehend als spaltfreie Bördelnähte oder als durchgeschweißte Nähte ausgeführt, alle vakuumseitigen Oberflächen vor der Montage gründlich gereinigt. Während die Fertigung der einzelnen Bauteile bei einer Industriefirma /11/durchgeführt wurde, erfolgte die Endmontage unter weitestgehender Einhaltung von Reinraumbedingungen in der KFA. Der ausschließliche Einsatz von Metalldichtungen (vgl. /8/) gestattet das Ausheizen bei höheren Temperaturen. Die hinsichtlich ihres Dichtigkeitsverhaltens nicht unkritischen Metallkeramiken (Pos.21) wurden vor der Montage ca. 5 Temperaturzyklen (20° bis 350°C) ausgesetzt und anschließend auf Dichtigkeit geprüft.

Entsprechend dem Montagefortschritt wurden alle Schweißungen und Lötungen durch Dichtigkeitstests begleitet.

Die letzte Schweißnaht in der Montagefolge, die zur Dichtigkeit der gesamten Limitereinheit führt (z.B. zwischen Pos.22 und 62 in Fig.4) wurde konstruktiv so gestaltet, daß eine Reparaturschweißung möglich ist.

Die hohen thermischen Belastungen ausgesetzten Limitersteine und -Köpfe wurden mit NiCrNi-Thermoelementen /12/ versehen, die in Bohrungen und Nuten liegen (Fig.5 und 6). Ebenfalls in Nuten liegen die Heizleiter /13/, die den Limiterkopf beheizen. Fig.8 zeigt die Verlegung der Heizleiter und Meßfühler am Kopf eines vertikalen Referenzlimiters. Zum Schutz der Heizleiter und Meßfühler vor Plasmaberührung erhielten die Limiterköpfe eine Blechverkleidung, die auf Fig.9 an den Hauptlimiterköpfen zu erkennen ist. Vom Kopf aus werden Meßfühler und Heizleiter um das vakuumseitige Lager geführt, mit Schellen an der Limiterstange befestigt und bei Position 25 (Fig.3 u.4) aus dem Vakuumraum herausgeführt. Die Abdichtung erfolgt dort mittels Lötung.

Zur Abführung der Wärme ist jeder Limiterkopf mit Kühlrippen und Kühlkanälen versehen (Fig.5 u.6). Das Kühlmedium strömt in dem in der Limiterstange liegenden Innenrohr zum Kopf und im Zwischenraum, der durch Innenrohr und Limiterstange gebildet wird, wieder zurück. Den Anschluß an den Kühlkreislauf ermöglichen Dilo-Hochdruckverschraubungen (Pos.28 in Fig.3 u.4).

Die Befestigung der Hauptlimitersteine zeigt Fig.5. In die aus Inconel 600 (Werkst.Nr. 2.4816) gefertigten Haltebolzen sind Dehnbolzen aus hochwarmfestem Edelstahl (Werkst.Nr. 1.4980 - ausgehärtet) eingeschraubt. Muttern (Werkst.Nr. 1.4986) ziehen die Limitersteine (Inconel 600 beim Erstbetrieb) gegen den Limiterkopf. Die Muttern sind allseitig (d.h. auch im Gewinde) mit einer ca. 5 µm dicken Titannitridschicht (TiN) versehen, die im CVD-Verfahren (chemical vapor deposition) aufgedampft wurde /14/. Diese TiN-Schicht verhindert ein Festfressen oder Verschweißen der Mutter.

Wegen der speziellen Geometrie der Referenzlimitersteine konnte nicht die gleiche Befestigungsart wie beim Hauptlimiter gewählt werden (siehe Fig.6). Befestigungsschrauben verbinden den Limiterstein (Inconel 600 beim Erstbetrieb) mit einem Adapterstück, welches mittels Gewinde M50x1 in den Referenzlimiterkopf eingeschraubt wird. Befestigungsschrauben (Werk-

stoffnr. 1.4986) und Adapterstück (Werkstoffnr. 1.4311) sind allseitig mit TiN-Beschichtung versehen und wiederverwendbar.

Alle in Plasmanähe eingesetzten Werkstoffe durften nicht magnetisierbar sein ($\mu_{rel} \leq 1,01$). Die Werkstoffe, die zur Verwendung kamen, zeigt die folgende Tabelle:

Werkstoff-Nr. oder Bezeichnung	Bauteile
2.4816 (Inconel 600)	Limitersteine (bei Erstbetrieb) Haltebolzen der Hauptlimitersteine (vgl. Fig.5)
1.4980 - ausgehärtet /15/	Hochbeanspruchte Bolzen (Befestig. der Hauptlimitersteine)
1.4986 - warm-kalt-verfestigt /15/	geringer beanspruchte Bolzen und Muttern
1.4311 /16/	Limiterköpfe
1.4435	Limiterstangen
1.4436	Innenrohre der Limiterstangen
SG-X2CrNiMnMoN 1915 /16/ (1.4455)	Schweißzusatz für alle Schutzgasschweißungen

Für Bauteile, die weiter als ca. 20 cm vom Plasmarand entfernt angeordnet waren, konnte üblicher Edelstahl, Werkst.Nr. 1.4541 eingesetzt werden ($\mu_{rel} \approx 1,1 - 1,5$).

4.1 Spezielle Konstruktionsmerkmale der horizontalen Limiter (siehe Fig.3)

Die Unterbringung des horizontalen Limiters im Pumpstutzen des Vakuumgefäßes bietet neben den Nachteilen des komplizierteren Aufbaues und der schwierigeren Montage im Pumpenkreuzstück auch Vorteile.

Die Pumpstutzen sind für eine Reihe von Diagnostiken (Plasma-meßverfahren) nicht besonders geeignet, d.h. andere Beobachtungsöffnungen des Gefäßes werden nicht durch den horizontalen Limiter blockiert.

Die Lagerböcke (Pos.45 und 49) sind mit dem Pumpenkreuzstück (Pos.46) verbunden. (Das Pumpenkreuzstück ist auf dem Pumpengestell fixiert). Zur Vermeidung großer Durchbiegung der Limiterstange wurde das vakuumseitige Lager möglichst dicht am Limiterkopf angeordnet. Infolge der Anbringung der Lager am Pumpenkreuzstück verändert der horizontale Limiterkopf seine geometrische Position während des Aufheizvorganges des Gefäßes nicht. Die Relativbewegung zwischen Gefäßpumpstutzen und Pumpenkreuzstück (ca. 5 mm Achsenversatz und 5 mm Abstandsänderung der beiden Flanschebenen bei 350 °C Gefäßtemperatur) nimmt ein Metallfaltenbalg (Pos.47) auf / 9/. Die Verstelleinheit (z.B. Pos.32 beim Hauptlimiter) konnte am Tragarm (Pos.52) angebracht werden, der ebenfalls am Pumpenkreuzstück angeschraubt wurde. Die Anordnung der Balgeinheit (Pos.24) innerhalb des Pumpenkreuzstückes erfolgte aus Platzgründen. Das Druckhalterrohr (Pos.50), das an den Deckel (Pos.48) angeschraubt wurde (unter Verwendung der Metalldichtung Pos.55), sorgte dafür, daß die Balgeinheit nur mit Außendruck beaufschlagt werden kann. Bei einer Beaufschlagung der relativ langen Balgeinheit mit Innendruck wäre die erforderliche Lastwechselzahl nicht eingehalten worden und außerdem die Gefahr des Balg-Ausknickens gegeben. Fig.7 zeigt den horizontalen Limiter während der Montage im Pumpenkreuzstück. (Das Anschweißen des Limiterkopfes ist hier noch nicht erfolgt).

4.2 Spezielle Konstruktionsmerkmale der vertikalen Limiter (siehe Fig.4)

Da, wie bereits erwähnt, der Radius $R_0 = 1750$ mm (vgl. Fig.1) während der Aufheizung des Gefäßes nahezu konstant bleibt, konnten die vertikalen Limiter direkt mit dem Vakuumgefäß verbunden werden. Die Verstelleinheit (z.B. Pos.32), die limiterseitig mit dem Gabelstück (Pos.30) angelenkt ist, wurde an ihrem anderen Befestigungspunkt (Pos.33) mit Hilfe eines Befestigungsrahmens am horizontalen Trafojoch (vgl.Fig.1) angebracht. Aufgrund dieser Befestigung der Verstelleinheit gibt es keinen Einfluß der thermischen Dehnungen auf die Position des Limiterkopfes. Fig.9 zeigt die zum Einbau vorbereiteten vertikalen Hauptlimiter mit Verstelleinheiten /17/ und Befestigungsrahmen.

Die Verschraubung des vakuumseitigen Lagerbockes (Pos.63) mit dem Deckel (Pos.62) in einem vorgegebenen Abstand vom Limiterkopf führte zur Verwendung des Zwischenstückes (Pos.61) zwischen Gefäßflansch und Limitereinheit. An den Deckel (Pos.62) ist die Stütze (Pos.64) angeschraubt, die den atmosphärenseitigen Lagerbock (Pos.65) trägt.

Wegen der beengten Platzverhältnisse, die durch die horizontalen Trafojoche bei den vertikalen Referenzlimitern vorgegeben waren, mußten die Stützen (Pos.64), die Balgeinheiten (Pos.24) und die Limiterstangen (Pos.4) jeweils um 203 mm (entsprechend dem Maß eines Teilbalges der Pos.24) gekürzt werden.

5. Betriebserfahrungen und Zusammenfassung

Nach einer Betriebsdauer der TEXTOR-Anlage von ca. 1 Jahr haben die Limitereinheiten ihre Funktionstüchtigkeit trotz ihres Prototypcharakters und der mangelnden Zeit zur Erprobung im wesentlichen bewiesen.

Die TiN-Beschichtung der Lagerschalen führte beim horizontalen Hauptlimiter zu Freßspuren an der Limiterstange. Die Schadensursachen sind nicht restlos geklärt, könnten aber in der relativ hohen Flächenpressung und Relativgeschwindigkeit zu suchen sein. Durch den Einbau von keramischen Körpern (Al_2O_3) konnte diese Schwierigkeit beseitigt werden, wobei sich die Auswechselbarkeit der Lagerschalen als vorteilhaft erwies.

Bei den Gewinden der Bolzen und Muttern hat sich die TiN-Beschichtung ausgezeichnet bewährt. Alle Schraubverbindungen am Limiter (und auch am Liner, wo Temperaturen bis $650\text{ }^{\circ}C$ auftraten) zeigten keinerlei Freßspuren oder Verschweißungen und ließen sich einwandfrei wieder lösen.

Vereinzelt aufgetretene Schäden an Heizleitern sind mit großer Wahrscheinlichkeit durch Fehlbedienung verursacht worden.

Die eingesetzten Metallkeramiken /10/ und Metallbälge /9/ zeigten sowohl während der Montage als auch in der Betriebsphase keinerlei Schäden.

Eine aktive Kühlung der Limiterköpfe mittels Kühlmedium war nicht notwendig. Die in den Limitersteinen angebrachten Temperaturfühler registrierten nach Plasmabeaufschlagung der Limitersteine einen Temperaturanstieg von einigen Grad Celsius, obwohl, wie auf Fig.10 ersichtlich, die Oberfläche der Limitersteine Schmelzzonen aufwies.

6. Literatur- und Quellenverzeichnis

- /1/ U.Samm
Proceedings of the 11th European Conference on Controlled
Fusion and Plasma Physics, Vol.II, pp.413, 1983
- /2/ A.Pospieszczyk et al.
Proceedings of the 11th European Conference on Controlled
Fusion and Plasma Physics, Vol.II, pp.417, 1983
- /3/ H.Soltwisch
First results with TEXTOR
Proceedings of the 11th European Conference on Controlled
Fusion and Plasma Physics, 1983
- /4/ G.H.Wolf, H.Conrads
Ein Prüfstand für die Fusionsforschung: TEXTOR
Bild der Wissenschaft, Dez. 1981
- /5/ D.A.Butzek, K.Derichs, W.Graf, A.Cosler, K.H.Dippel,
M.Schürer, W.Bieger
Association EURATOM-KFA-Jülich, Germany
Vacuum Vessel and Pumping System of TEXTOR
Proceedings of the 10th Symposium on Fusion Technology,
Padova, Italy, 1978
- /6/ D.A.Butzek, W.Kohlhaas, J.Vieth
Association EURATOM-KFA-Jülich, Germany
Heating and Cooling System for the Vacuum Vessel of
TEXTOR using an Organic Heat Transfer Fluid
Proceedings of the 12th Symposium on Fusion Technology,
Jülich, Germany, Sept. 1982
- /7/ Private Mitteilung
K.H.Dippel, KFA-Jülich, Inst.f.Plasmaphysik
- /8/ D.A.Butzek
Das Dichtigkeitsverhalten silberbeschichteter Metall-
dichtungen im Temperaturbereich 20 - 450 °C
Kernforschungsanlage Jülich, JÜL-1500, April 1978
- /9/ Fa.Witzenmann GmbH, Metallschlauch-Fabrik Pforzheim,
Östliche Karl-Friedrich-Straße 134, D-7530 Pforzheim
- /10/ Fa.Friedrichsfeld GmbH, Postfach 7, D-6800 Mannheim 71
- /11/ Fa.Nukem GmbH, Postfach 110080, D-6450 Hanau 11
- /12/ Fa.Rössel-Meßtechnik, Postfach 320, D-4712 Werne
- /13/ Fa.Philips GmbH Unternehmensbereich für Elektronik und
Industrie, Postfach 310320, D-3500 Kassel
- /14/ Fa.Bernex GmbH, Postfach 33, D-4018 Langenfeld
- /15/ Fa.Grohmann KG, D-4972 Löhne i.Westf.

- /16/ Fa.Krupp
a) Krupp-Hüttenwerke AG, Postfach 1650/60, D-5980 Werdohl
b) Krupp-Stahlwerke, Postfach 101220, D-5900 Siegen 1
- /17/ Fa.Herion-Werke KG, Postfach 1560, D-7012 Fellbach

7. Verzeichnis der Abbildungen

- Fig. 1 Limiteranordnung im TEXTOR-Vakuumgefäß
- Fig. 2 Limiteranordnung im Vakuumgefäß-Querschnitt
- Fig. 3 Konstruktionszeichnung des Horizontalen Hauptlimiters
- Fig. 4 Konstruktionszeichnung des vertikalen Hauptlimiters
- Fig. 5 Konstruktionszeichnung des Hauptlimiter-Kopfes
- Fig. 6 Konstruktionszeichnung des Referenzlimiter-Kopfes
- Fig. 7 Horizontaler Limiter während der Montage im Pumpenkreuzstück
- Fig. 8 Vertikaler Referenzlimiter während der Montage
- Fig. 9 Vertikale Hauptlimiter mit Antriebseinheit, vorbereitet zum Einbau
- Fig.10 Schmelzspuren am Hauptlimiter nach Plasmakontakt

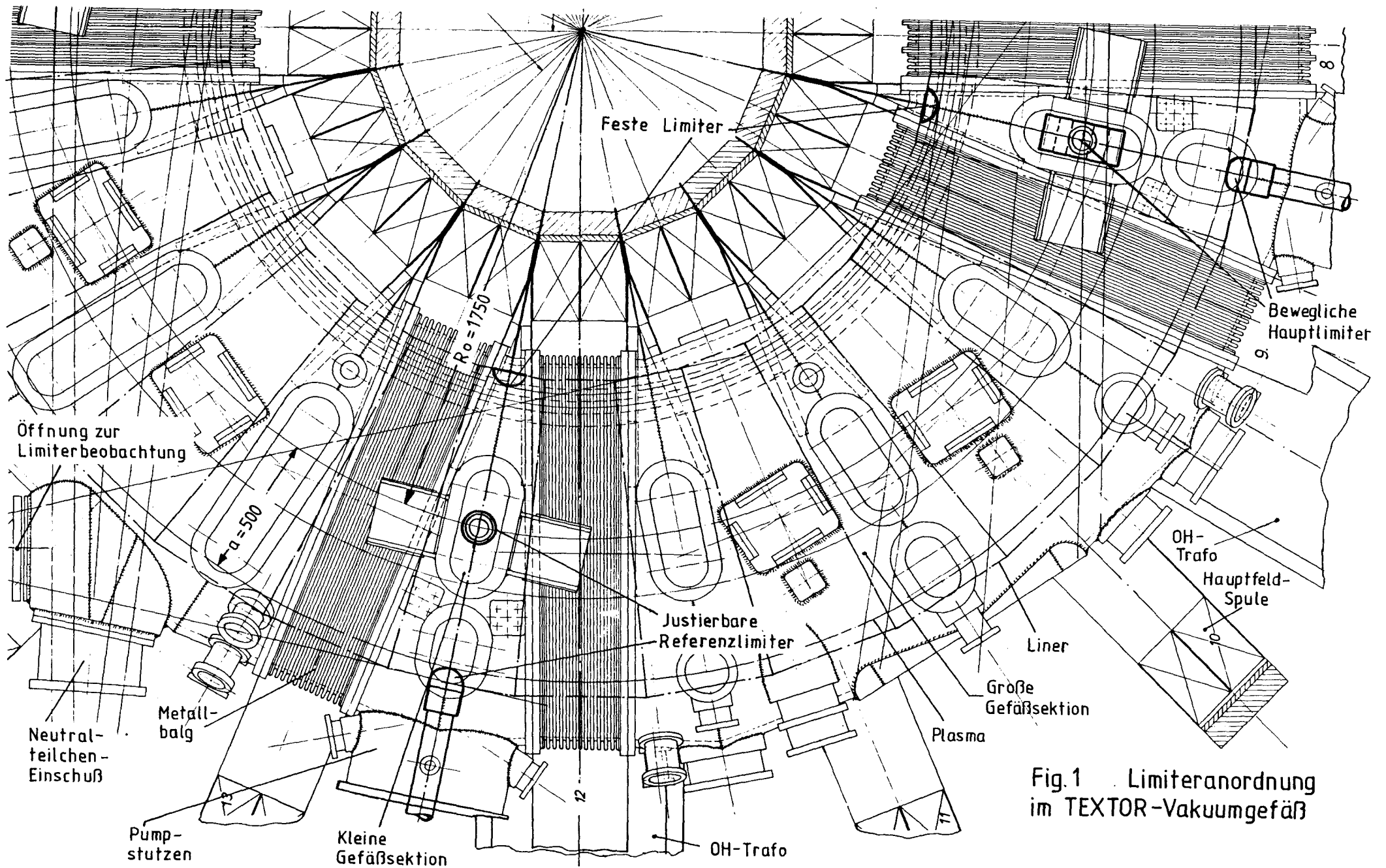


Fig.1 Limiteranordnung im TEXTOR-Vakuumgefäß

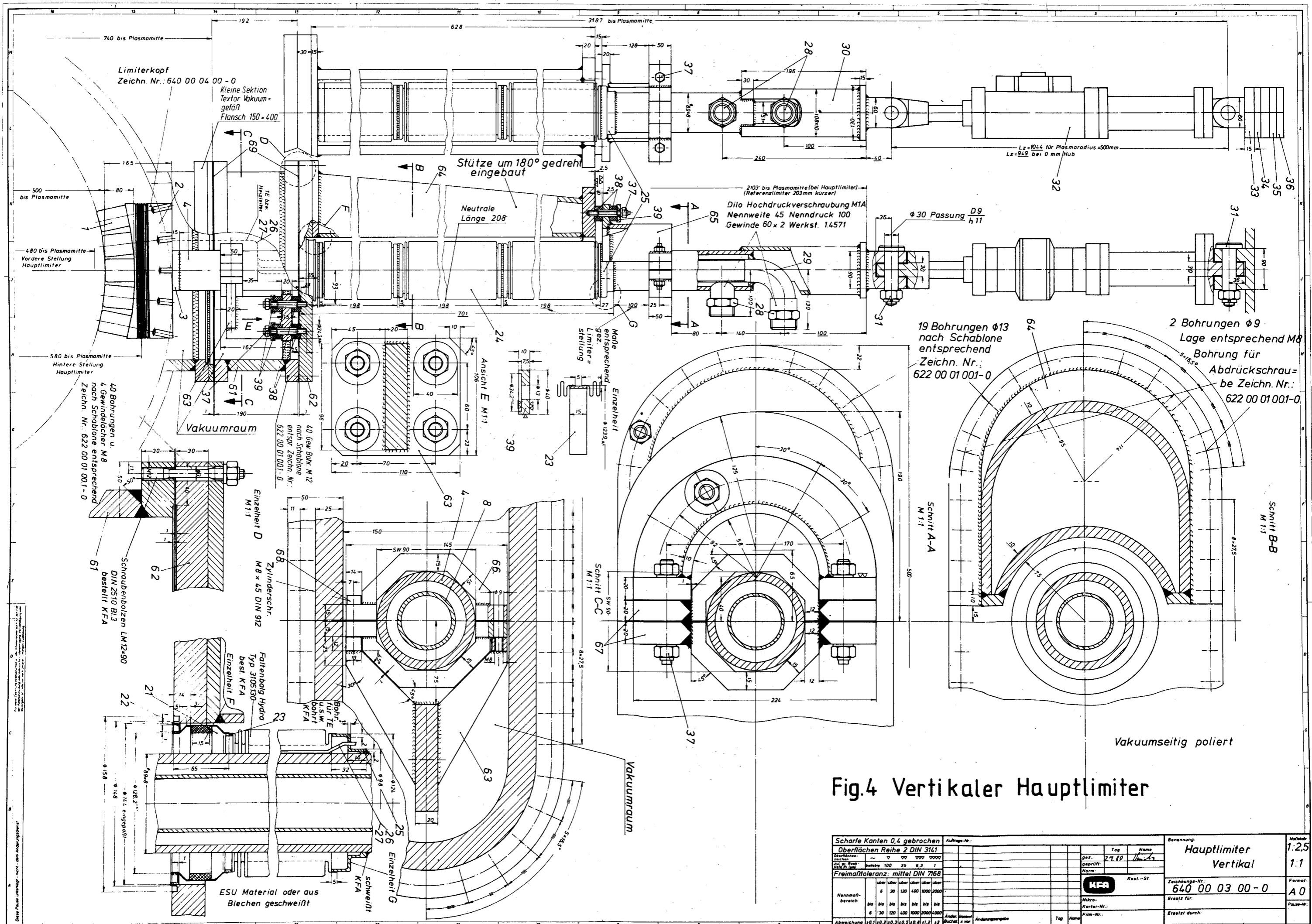
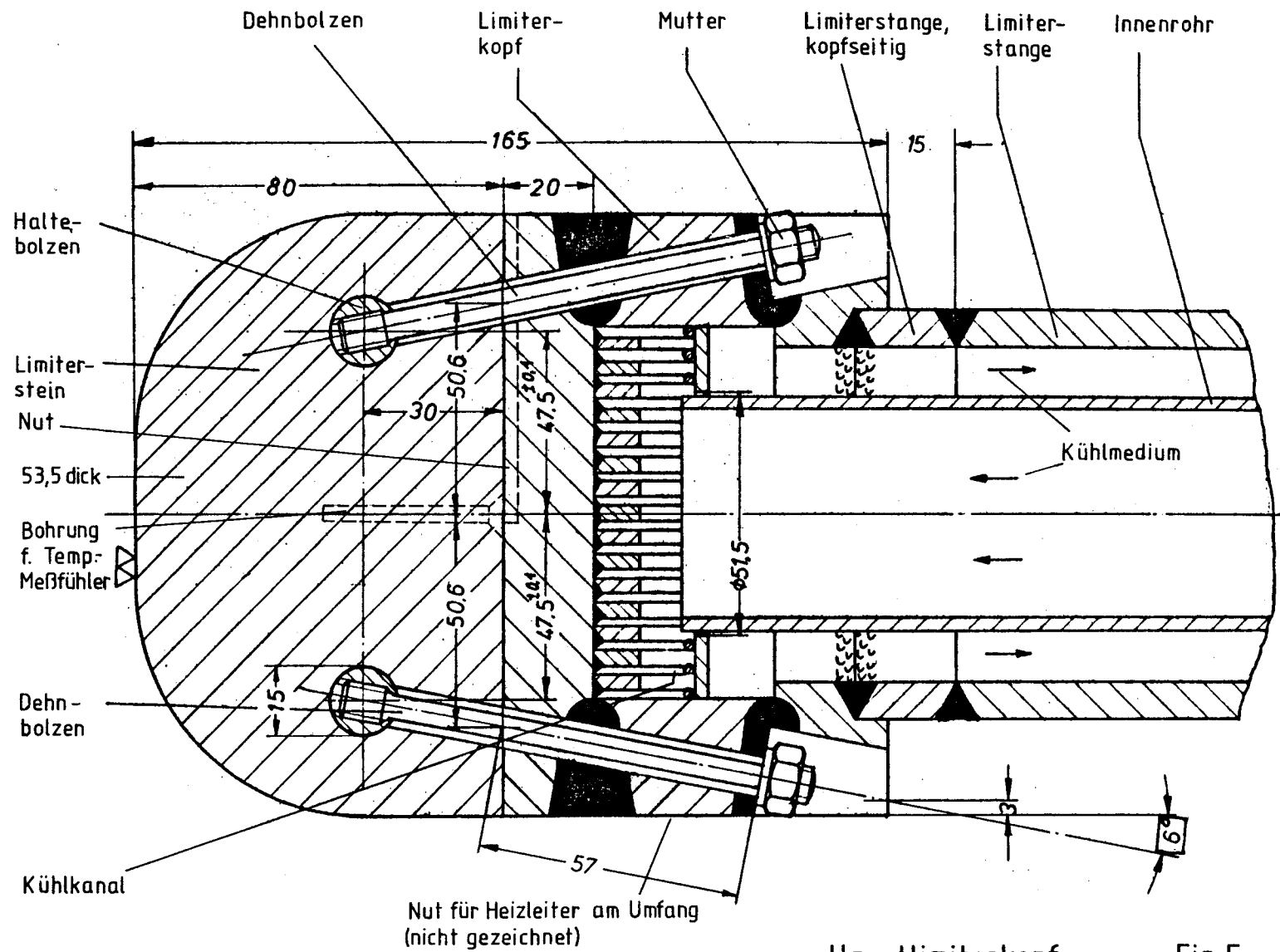


Fig.4 Vertikaler Hauptlimiter

Scharfe Kanten 0,4 gebrochen		Oberflächenreihe 2 DIN 3141		Freimaßtoleranz: mittel DIN 7168		Abweichung		<table border="1"> <tr> <th>Abw.</th> <th>0,1</th> <th>0,2</th> <th>0,3</th> <th>0,5</th> <th>0,8</th> <th>1,2</th> </tr> <tr> <td>+</td> <td>0,1</td> <td>0,2</td> <td>0,3</td> <td>0,5</td> <td>0,8</td> <td>1,2</td> </tr> </table>		Abw.	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	+	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	<table border="1"> <tr> <th>Tag</th> <th>Name</th> </tr> <tr> <td>27.10</td> <td></td> </tr> </table>		Tag	Name	27.10		<table border="1"> <tr> <th>Benennung</th> <th>Maßstab</th> </tr> <tr> <td>Hauptlimiter Vertikal</td> <td>1:2,5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1:1</td> </tr> </table>		Benennung	Maßstab	Hauptlimiter Vertikal	1:2,5		1:1
Abw.	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2																															
+	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2																															
Tag	Name																																				
27.10																																					
Benennung	Maßstab																																				
Hauptlimiter Vertikal	1:2,5																																				
	1:1																																				
<table border="1"> <tr> <th>Norm</th> <th>Kost.-St.</th> </tr> <tr> <td>KFA</td> <td></td> </tr> </table>		Norm	Kost.-St.	KFA		<table border="1"> <tr> <th>Zeichnungs-Nr.</th> <th>Format</th> </tr> <tr> <td>640 00 03 00 - 0</td> <td>A 0</td> </tr> </table>		Zeichnungs-Nr.	Format	640 00 03 00 - 0	A 0	<table border="1"> <tr> <th>Tag</th> <th>Name</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Tag	Name			<table border="1"> <tr> <th>Erstellt durch</th> <th>Prüfer</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Erstellt durch	Prüfer																
Norm	Kost.-St.																																				
KFA																																					
Zeichnungs-Nr.	Format																																				
640 00 03 00 - 0	A 0																																				
Tag	Name																																				
Erstellt durch	Prüfer																																				



Hauptlimiterkopf

Fig. 5

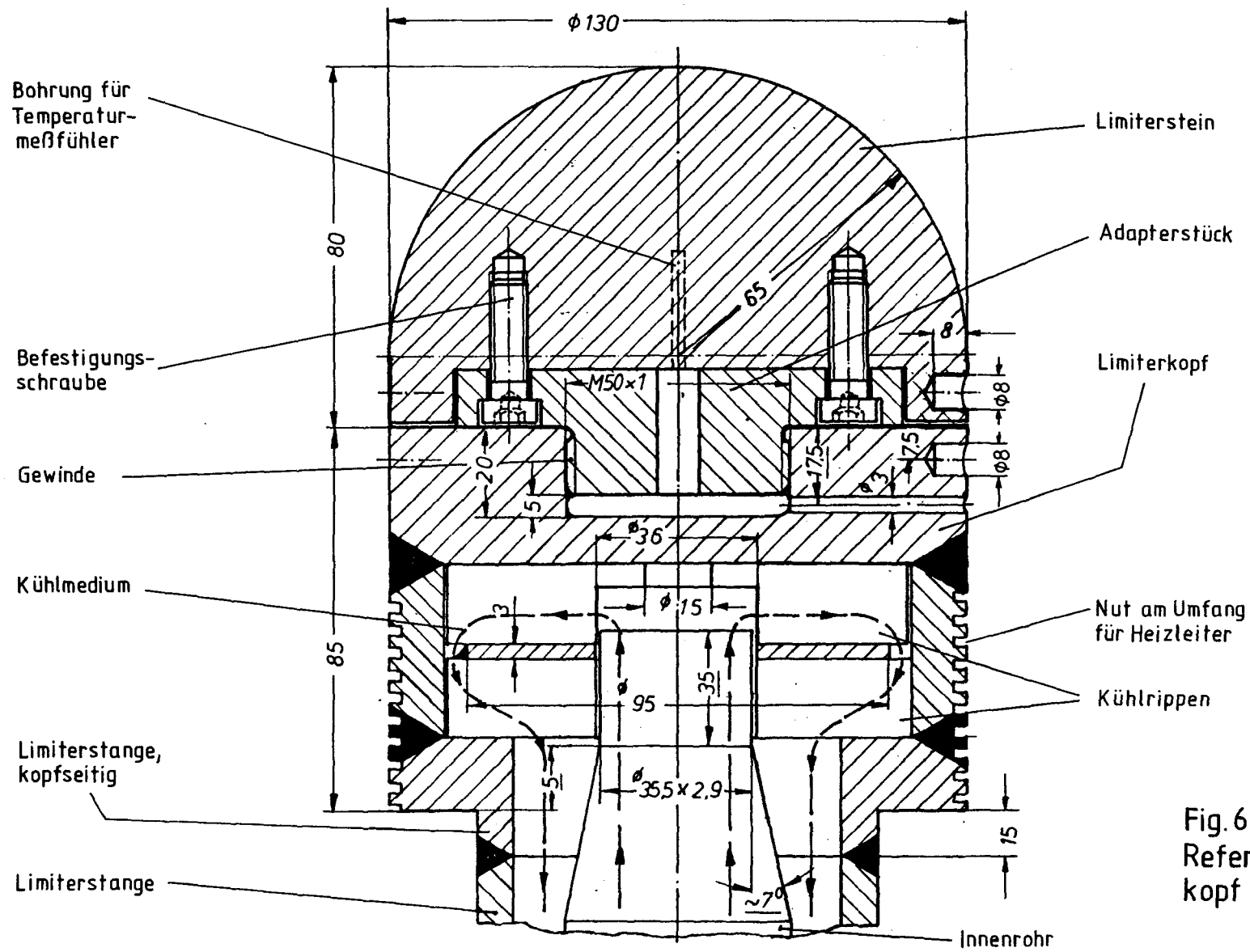
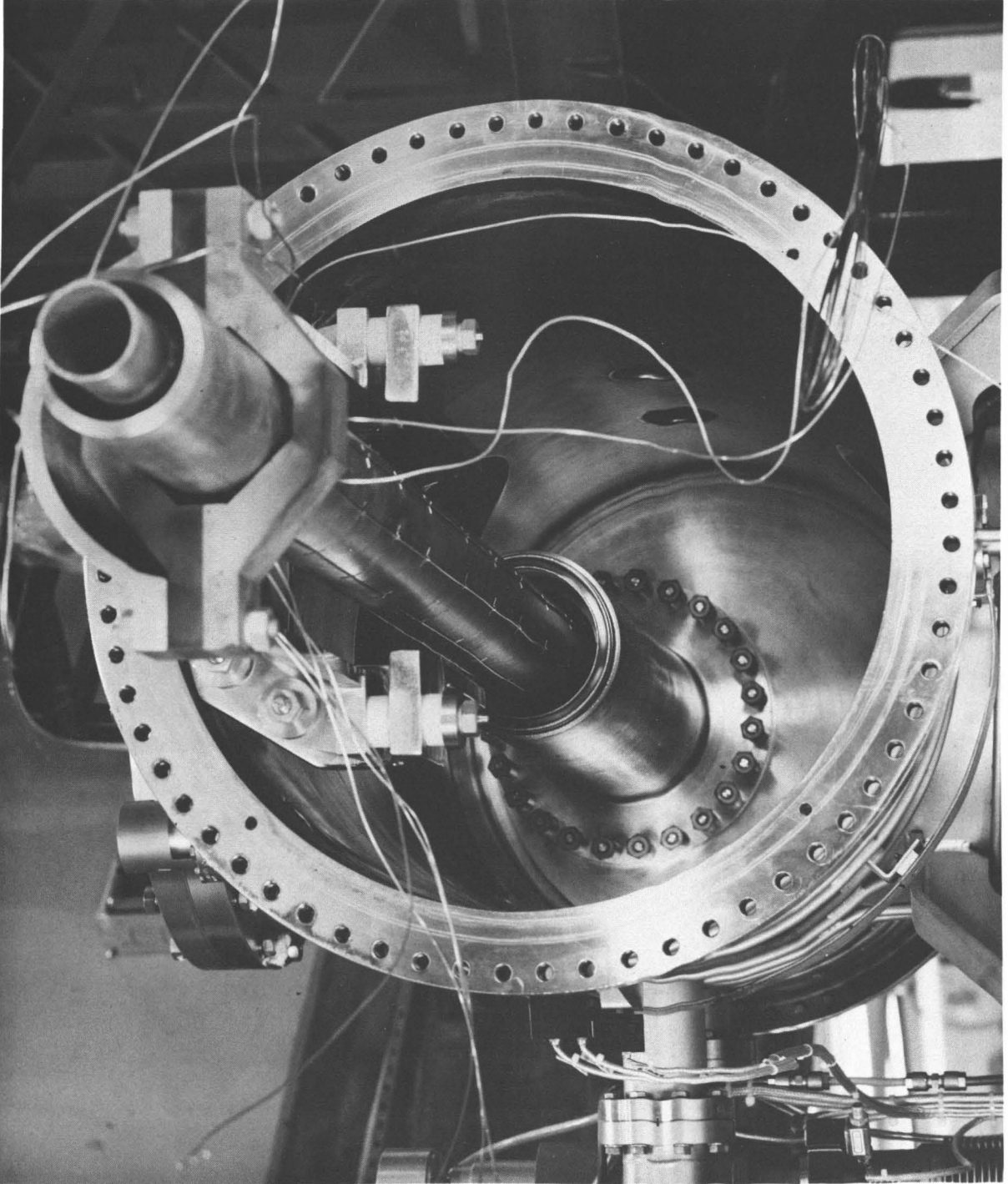


Fig. 6
Referenzlimiterkopf

Fig. 7
Horizontaler Limiter
während der Montage
im Pumpenkreuzstück
(ohne Limiterkopf)



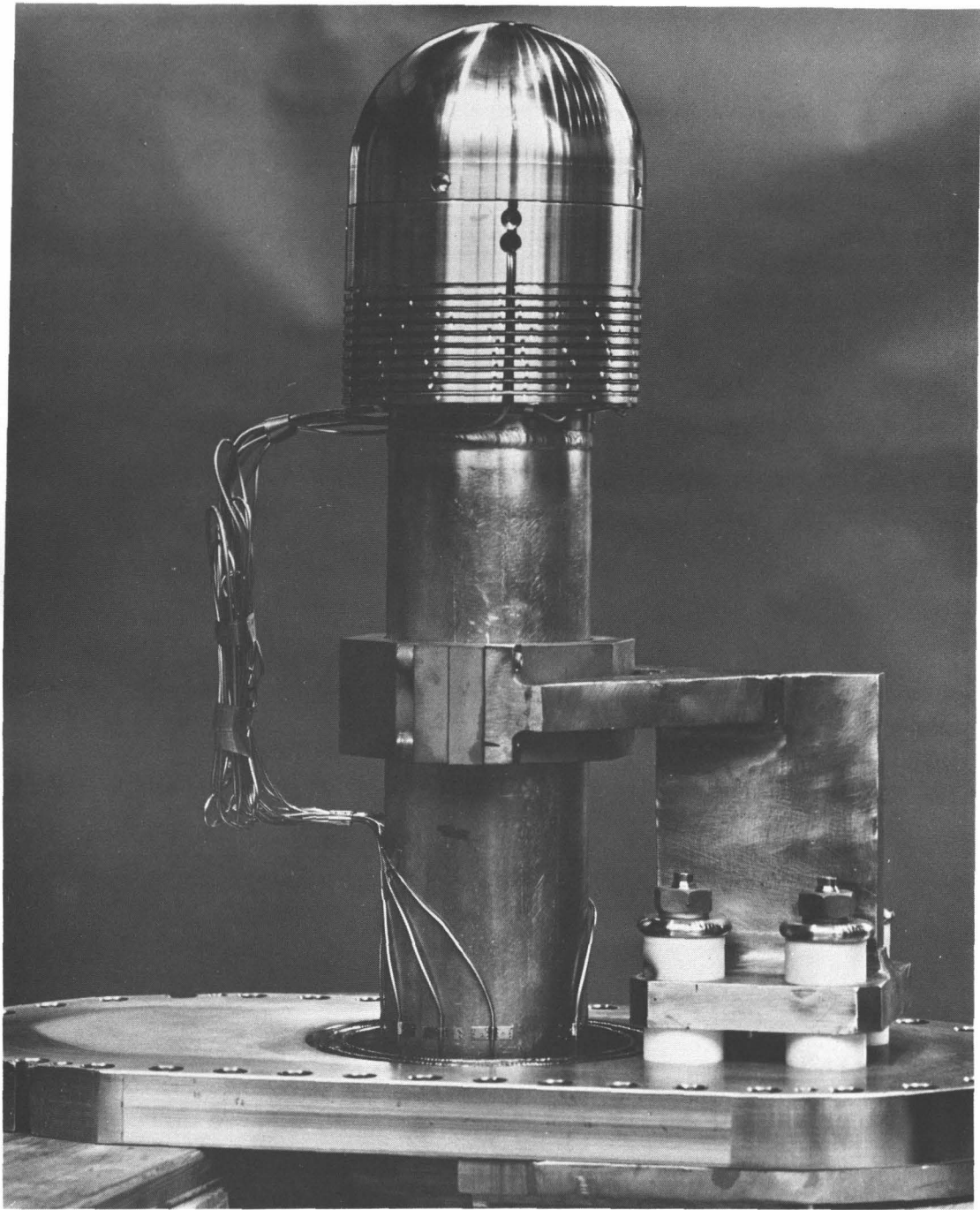


Fig. 8 Vertikaler Referenzlimiter
während der Montage

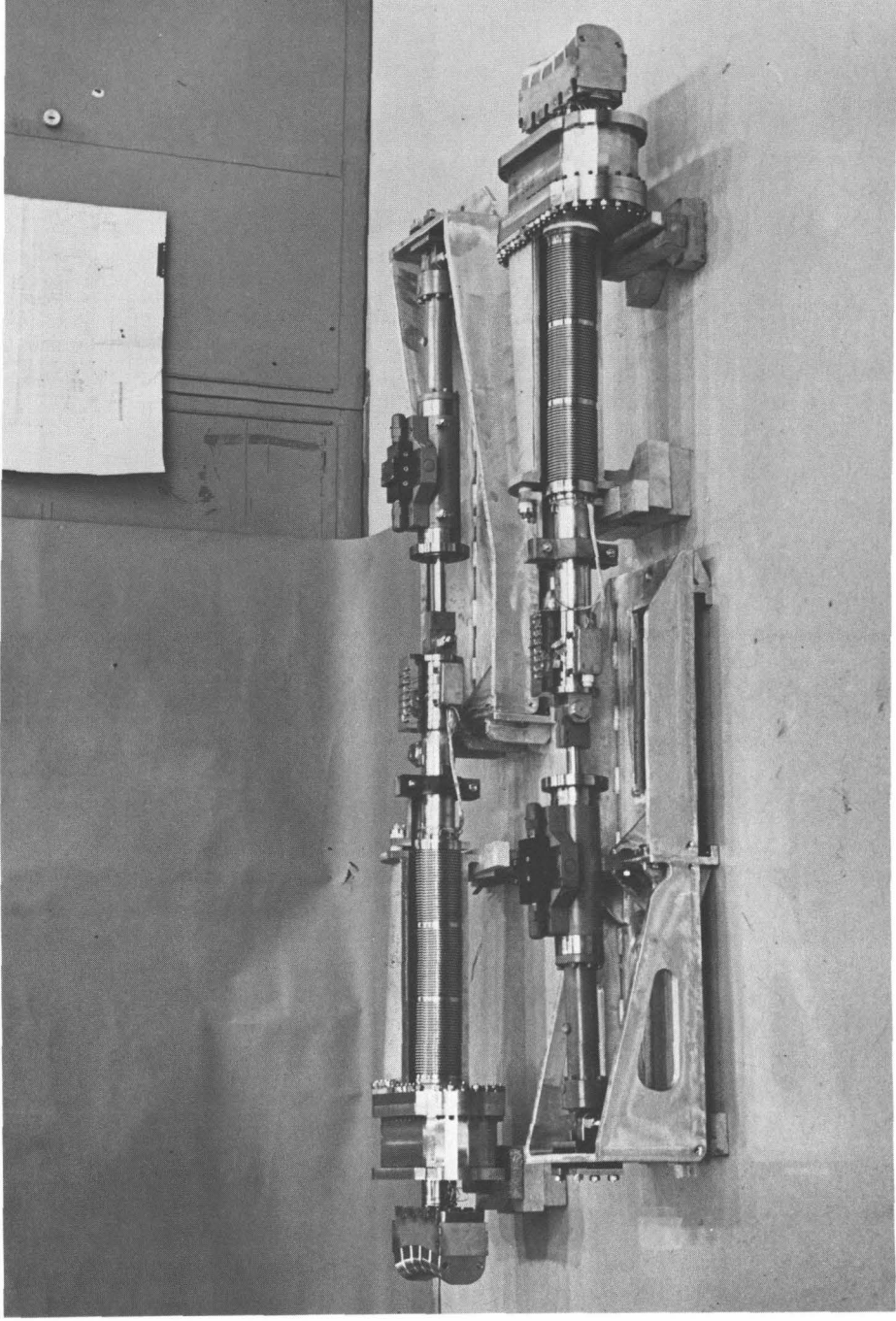


Fig.9 Vertikale Hauptlimiter mit Antriebseinheit,
vorbereitet zum Einbau

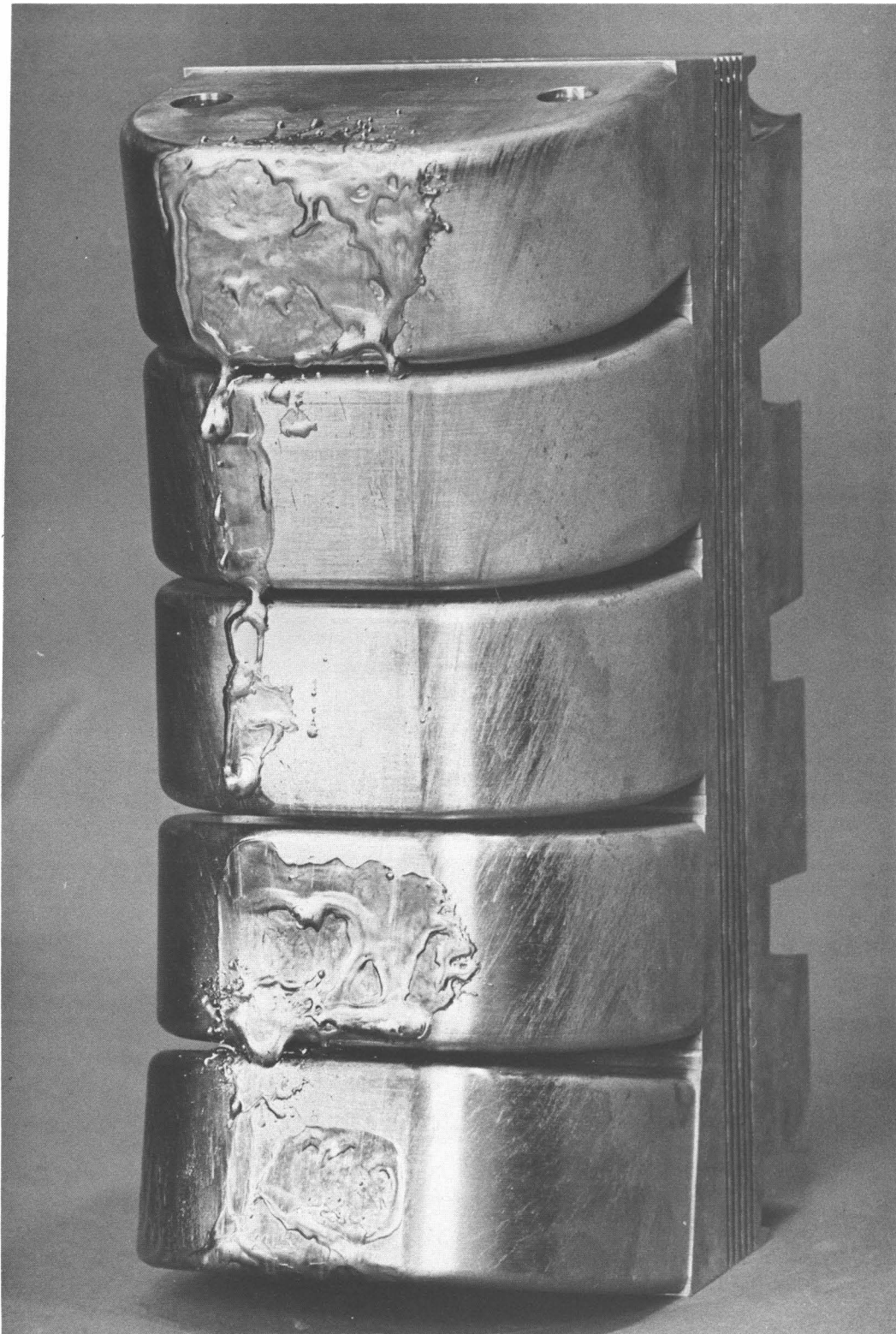


Fig.10 Schmelzspuren am Hauptlimiter
nach Plasmakontakt