



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

Zentralabteilung für Allgemeine Technologie

**Modular aufgebaute Universalkammer
für Arbeiten und Versuche
in Vakuum und beliebigen Atmosphären**

von

H. Haas

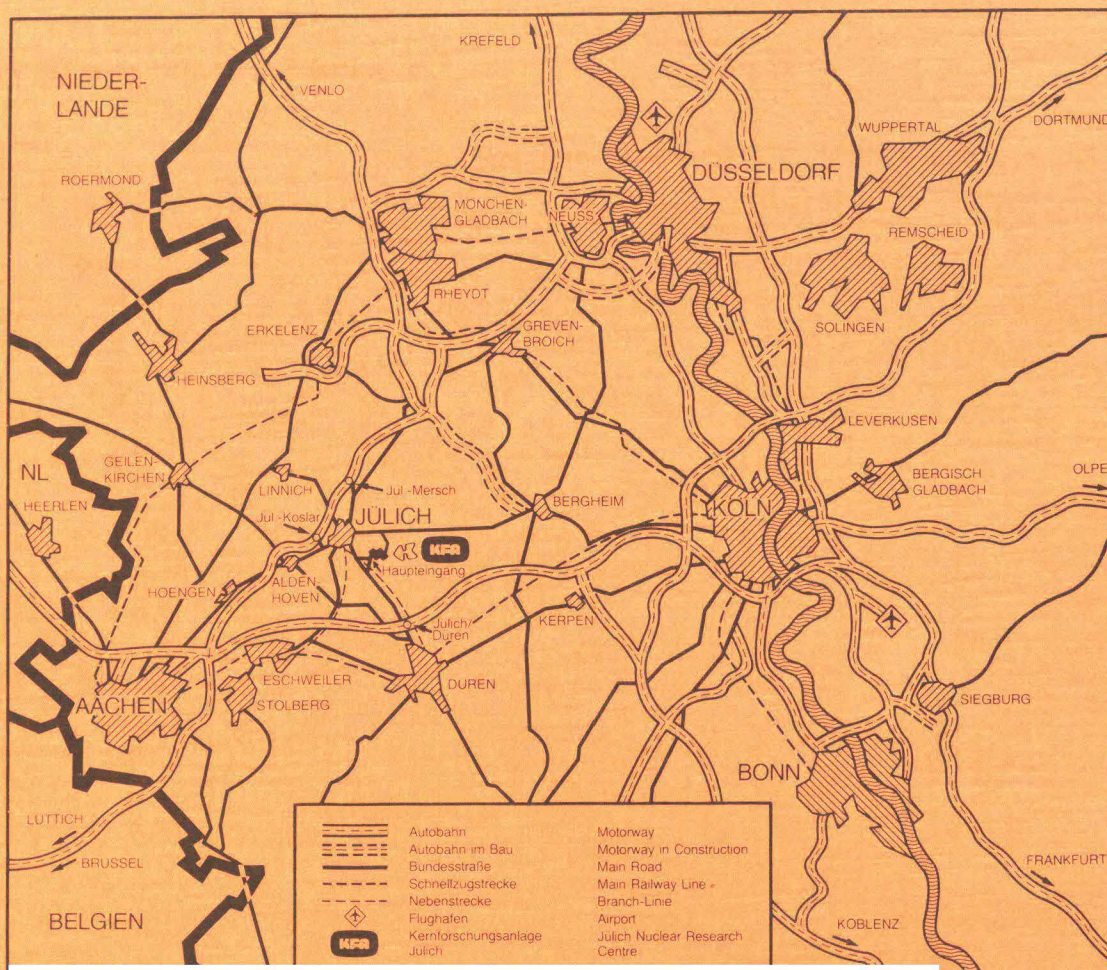
K. Delis

K. Derichs

D. Groß

W. Wolf

Jül-Spez-483
Dezember 1988
ISSN 0343-7639



Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 483
 Zentralabteilung für Allgemeine Technologie Jül-Spez-483

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH
 Postfach 19 13 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)
 Telefon: 02461/610 · Telex: 833556-0 kf d

**Modular aufgebaute Universalkammer
für Arbeiten und Versuche
in Vakuum und beliebigen Atmosphären**

von

H. Haas

K. Delis

K. Derichs

D. Groß

W. Wolf

Inhaltsübersicht

	<u>Seite</u>
1. Zielsetzung	1
2. Konstruktionsprinzip	2
3. Beschreibung der realisierten Universalkammer	5
4. Erweiterungsmöglichkeiten	9

1. Zielsetzung

Die Anwendung neuer Technologien ist in zunehmendem Maße damit gekoppelt, daß Prozesse und Handhabungen in Räumen ablaufen, die von der Atmosphäre gasdicht und druckfest getrennt sein müssen. Als Beispiel hierfür sind zu nennen die Entwicklung und Produktion von Bauteilen der Halbleitertechnik, die Erzeugung neuer Werkstoffe, die Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen sowie die neuen Verfahren zur Herstellung von Beschichtungen und Verbindungen zwischen verschiedenen oder gleichen Werkstoffen. Die Notwendigkeit, den Raum, in dem ein Prozeß oder eine Handhabung abläuft, gasdicht und druckfest von der Umgebung abzukapseln, gilt dabei kontinuierlich für jeden Betriebszustand und für jede Phase des ablaufenden Prozesses.

Die als Beispiel genannten Anwendungsfälle sind von sehr unterschiedlicher Natur und stellen demgemäß auch unterschiedliche Anforderungen in Bezug auf Einrichtungen zur Durchführung und Steuerung der jeweiligen Prozesse und Handhabungsvorgänge. In der derzeitigen Praxis spiegelt sich diese Unterschiedlichkeit darin wieder, daß für nahezu jeden Einsatzfall neue Behälter, Einrichtungen und Manipulationsgeräte mit dem dazugehörigen Aufwand an Kosten und Zeit entworfen und realisiert werden.

Diese Vorgehensweise ist sicherlich optimal, wenn Arbeiten oder Versuche über eine lange Zeit und im wesentlichen kontinuierlich in immer derselben Form anfallen, so daß die teuren Anlagen eine ausreichende Nutzung erfahren. Sobald aber der Fall eintritt, daß Arbeiten der verschiedensten Art oder kurzzeitige Versuche durchgeführt werden müssen, verursachen die speziell angepaßten Einrichtungen wegen der ungenügenden Nutzungsdauer meist einen unverträglich hohen Aufwand an Kosten und Zeit.

Als Ausweg aus dieser unbefriedigenden und kostenträchtigen Situation bietet sich an, die notwendigen Einrichtungen und Anlagen modular aufzubauen. Eine geschickte modulare Strukturierung erlaubt es dann, die Einrichtungen flexibel zu handhaben und den unterschiedlichen Problemen mit geringem Aufwand anzupassen.

Natürlich verursacht eine konsequent modular aufgebaute Anlage einmalig höhere Herstellkosten als eine Einzweckanlage. Diese werden jedoch durch die besseren Nutzungsmöglichkeiten bei wechselnden Aufgabenstellungen mehr als kompensiert.

Die nachfolgenden Ausführungen beschreiben das Prinzip und die Gestaltung einer modular aufgebauten Universalkammer, die im Rahmen des Materialforschungsprogrammes der KFA zur Herstellung und Qualifizierung von Gleitmaterialien für hohe Temperaturen entwickelt und gebaut worden ist.

2. Konstruktionsprinzip

Das Konstruktionsprinzip einer modular aufgebauten Universalkammer resultiert aus der Analyse und Strukturierung der unterschiedlichen Arbeiten und Versuche, die durchgeführt werden sollen. Für den in Punkt 1 genannten Einsatzbereich sind als wesentliche Aufgabenstellungen zu nennen:

- . Drucksintern bei Temperaturen bis zu 800 °C in Vakuum, Wasserstoff oder auch Sauerstoff
- . Strangpressen unter den gleichen Bedingungen
- . Tränken von porösen Werkstoffen mit schmierwirksamen Weichmetallen

- . Test von Lagerungen unter Vakuum sowie reduzierender und oxidierender Atmosphäre in einem weiten Bereich bezüglich Temperatur, Belastungsgrößen und Belastungsrichtung sowie bezüglich Geometrie der eingesetzten Lagerungen.
- . Reibversuche an standardisierten Reibproben bei hohen Flächenlasten.

Bei der Analyse dieser Aufgaben zeigt sich erwartungsgemäß, daß die auf den ersten Blick sehr unterschiedlichen Arbeiten und Versuche bereits bei einer geringen Analysentiefe soweit zerlegt werden können, daß bis auf die unmittelbaren Versuchsobjekte und wenige Ausnahmen alle durchzuführenden Arbeiten und Versuche aus den selben Prozeß- und Handhabungselementen zusammengesetzt sind. Die anlagentechnische Realisierung der so gefundenen Prozeß- und Handhabungselemente führt direkt zu der gesuchten modular aufgebauten Universalkammer, in der die unterschiedlichen Arbeiten und Versuche dann nur durch Austausch oder durch Veränderungen in der Anordnung von Modulen durchgeführt werden.

Der Aufbau der Universalkammer für die oben genannten Aufgabenstellungen ist durch folgende Punkte gekennzeichnet, wobei nur die Anlagenteile, die mit dem Innenraum der Kammer in direkter Verbindung stehen, betrachtet werden:

- . Der Behälter ist auf seine originären Funktionen als gasdichter und druckfester Einschluß eines Raumes beschränkt. Die Verbindung zu anderen Modulen geschieht an Flanschen und Befestigungspunkten, die bezüglich Zahl und Richtung ausreichend vorhanden sind. Die Flansche werden je nach Anwendungsfall mit Modulen oder mit Blinddeckeln bestückt. Dabei ist der Behälter so ausgelegt, daß er alle auslegungsgemäßen Gaskräfte, Dichtungskräfte und von den Modulen eingeleiteten Kräfte aufnehmen kann. Die Universalversuchskammer ist auch in statischer Hinsicht als geschlossenes System konzipiert, so daß nur die Gewichtskraft und

deren Reaktionskraft durch das Gestell, das den Behälter trägt, als von außen angreifende Kräfte zu betrachten sind. Sobald nicht vernachlässigbare dynamische Bewegungen erfolgen, müssen natürlich auch die daraus resultierenden dynamischen Massenkkräfte in Betracht gezogen werden.

- . Die Flansche des Behältermoduls sind auf drei Größen standardisiert, so daß dem Austausch und der Zuordnung von Modulen möglichst wenig Grenzen gesetzt sind.
- . Für den Behälter und die drucktragenden Teile der diversen Module werden einheitliche Spezifikationen bezüglich Druck, Temperatur und Krafteinleitung festgelegt, damit die Module im gesamten Spezifikationsbereich ohne Nachprüfung und besondere Einschränkungen einsetzbar sind.
- . Die Module für die Kraftbewegungen (Pressen, Drehen) führen nur eine einzige Bewegung aus. Zusammengesetzte Bewegungen, wie z.B. Drücken und Drehen, werden durch Kombination von Modulen erzeugt.
- . Zur Universalkammer gehören auch Handhabungsmodule, Absperr- und Schleusenmodule, Meßmodule, Ankoppelmodule, Heizungsmodule und die Sonderausführungen der Versuchs- und Arbeitsobjekte.

3. Beschreibung der realisierten Universalkammer

Das Kernstück der Universalkammer, die Bild 1 in der Version für das Drucksintern zeigt, ist der Behältermodul, der in Bild 2 im Querschnitt und in der Abwicklung dargestellt ist.

Der Behälter ist aus einem dickwandigen zylindrischen Mantel mit einem Innendurchmesser von 400 mm und einer Innenlänge von 500 mm hergestellt. Die beiden Stirnflächen dieses Zylinders sind als Flanschflächen mit der Nennweite 400 ausgeführt, so daß sowohl Deckel als auch Module angeschraubt werden können. In der Mitte dieser Deckel und in die zylindrischen Mantelflächen sind insgesamt acht Flanschflächen für NW 150 so eingearbeitet, daß sich jeweils zwei solcher Flanschflächen mit 0,05 mm Toleranz genau gegenüberstehen, damit die Ankopplung von Modulen auf derselben Achse möglich wird. Der zylindrische Mantel weist zudem noch acht Flanschflächen der Nennweite 50 auf, die hauptsächlich für Meß-, Ankopplungs- und Handhabungsmodule gedacht sind. Die Anordnung der Flanschflächen ist in der Abwicklung des Bildes 2 gezeigt, und die Auslegungsdaten sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Zur Ankopplung der anderen Module an den Behältermodul werden die entsprechenden Deckel durch den Modul ersetzt. Das bedeutet, daß der angekoppelte Modul die Dichtfunktion des Deckels übernehmen muß. Als Dichtungen können wahlweise Elastomere oder auch federbelastete Metalldichtungen verwendet werden.

Als ankoppelbare Module stehen derzeit zur Verfügung:

- Zylinder mit 10^6 N Zug- und Druckkraft.

Die Deckel NW 400 können gegen diesen hydraulisch betätigten Zylinder mit 10^6 N Zug- und Druckkraft getauscht werden. Der Zylinder, den Bild 3 im Querschnitt zeigt und dessen Spezifikationen in Tabelle 2 zusammengefaßt sind, ist ebenso wie der Behälter auf eine maximale Betriebs-

temperatur von 250 °C ausgelegt, so daß aus Gründen des Unfallschutzes keine besonderen Vorkehrungen beim warmen Betrieb des Behälters erforderlich sind.

Die Besonderheit dieses Zylinders besteht darin, daß die bewegliche Kolbenstange ohne Lagerung im Behälter auskommt und daß die Funktionen der Hydraulikabdichtung und der Behälterdichtung getrennt sind: Für die Hydraulik werden temperaturfeste und handelsübliche Hydraulikdichtelemente verwendet. Gegenüber dem Behälter erfolgt die Abdichtung über einen Metallkompensator, so daß der Behälterinnenraum weder eine nasse Kolbenstange noch ein aus Elastomer hergestelltes Dichtelement sieht. Die Kolbenstange ist wegen einer möglichen Belastung durch Drehmomente und zur Entlastung des Kompensators verdrehsteif geführt.

- . Zylinder mit 10^5 N Zug- und Druckkraft.

Dieser Zylinder ist auf die Flanschfläche der Nennweite 150 angepaßt. Die Grundsätze der konstruktiven Ausführung entsprechen dem Zylinder mit 10^6 N Zug- und Druckkraft. Bild 4 zeigt den Zylinder im Querschnitt und Tabelle 3 faßt die Auslegungsdaten zusammen.

- . Spindel mit 500 N·m Drehmoment.

Die Spindel (Bild 5) ist ebenso wie der Zylinder mit 10^5 N Zug- und Druckkraft zur Ankopplung an die Flanschflächen der Nennweite 150 ausgelegt. Dadurch, daß die Flanschflächen der Nennweite 150 sich paarweise auf derselben Achse gegenüberliegen, lassen sich auch Spindel und Preßzylinder genau gegenüberliegend anordnen, so daß Drehbewegung und Vorschub kombinierbar werden.

Zu diesen Zweck ist die Spindellagerung ebenso wie der Zylinder auf 10^5 N Zug- und Druckkraft ausgelegt, damit sie die vom Zylinder aufgebrauchten Kräfte tragen kann. Der drehende Zylinderschaft wird mit Hilfe einer handelsüblichen Drehdurchführung, in der eine magnetische Flüssigkeit von Dauermagneten sowohl bei der Drehung als auch im

Stillstand in einem Labyrinth festgehalten wird, abgedichtet. Mit dieser Methode lassen sich vom Prinzip her beliebig starke Wellen in einem dichten Behälter einführen.

Der Teil des Spindelschaftes, der in den Behältermodul ragt, läßt sich auswechseln, damit den unterschiedlichen Anforderungen bezüglich Geometrie, Temperatur und Belastung Rechnung getreten werden kann.

Die Spezifikationen der Spindel sind in Tabelle 4 enthalten.

- . Absperr- und Koppелеlemente für Vakuum und Gase.

Dies sind einfache Übergangsstücke zwischen den Flanschflächen NW 150 und NW 50 auf die Standarde der Vakuumanlagen und der Gasversorgung.

- . Durchführungen für Strom und Thermoelemente.

Durch die Ausführung in Modulbauweise können diese Durchführungen separat gefertigt und geprüft und dann an die Flanschflächen der Nennweite 50 angeschraubt werden.

- . Heizungsmodule

Diese Heizungen bestehen im Prinzip aus einem widerstandsbeheizten Draht, der nach außen durch Wärmeschilde abgeschirmt wird und der das im Inneren befindliche Versuchsobjekt über Strahlung und bei Gasatmosphäre auch durch Wärmeleitung aufheizt.

Bild 6 zeigt einen so aufgebaute Einzonenheizung, die für Drucksinterversuche eingesetzt wird. Die Auswahl des Drehmaterials richtet sich nach der Atmosphäre, in der die Heizung betrieben wird.

Bild 7 zeigt eine nach dem gleichen Prinzip aufgebaute Zweizonenheizung, deren Heizzonen durch Wärmeschilde gegeneinander abgeschirmt sind.

. Handhabungseinrichtung

Zur dreidimensionalen Bewegung eines Meßfühlers im geschlossenen Behälter, steht eine Vorrichtung zur Verfügung, die an den Flanschflächen der Nennweite 140 angekoppelt wird und die in Bild 8 dargestellt ist.

. Kühlmodul

Diese Einrichtung dient dazu, heißes Gas aus dem Behälter zu ziehen, beim Durchgang durch einen Wärmetauscher abzukühlen und wieder zurück in den Behälter zu pumpen. Dabei wird das Gas in einem geschlossenen Rohrsystem ohne Kontakt zur Umwelt geführt.

. Sondermodule

Hierzu zählen insbesondere die Einrichtungen, die unmittelbar das Objekt der Tätigkeit oder des Versuches betreffen.

Zu nennen sind

- die Preßvorrichtung (Bild 6), in der Drucksintervorgänge stattfinden,
- die Strangpreßvorrichtung (Bild 9), bei der unter Vakuum und bei Temperatur Pulvergemische strangverpreßt werden,
- die kaltisostatische Preßvorrichtung (Bild 10) für Preßdruck bis 10 kbar,
- ein Spindelprüfgerät (Bild 11),
- eine Wälzlagerprüfeinrichtung sowie
- eine Vorrichtung zum Tränken von porösen Stoffen.

4. Erweiterungsmöglichkeiten

Die unter Punkt 3 beschriebenen Module erlauben bereits eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten, so zum Beispiel:

- Drucksintern
- Strangpressen
- Reibversuche Scheibe - Stift, Walze - Stift, Stift - Stift
- Laufuntersuchungen und Lebensdauerversuche an Gleit- und Wälzlagerungen mit radialen und axialen Belastungen
- Untersuchung von kompletten Maschinenbauteilen
- Tränk-, Löt- und Beschichtungsprozeduren.

Bei allen diesen Arbeiten ist die Atmosphäre in dem Behältermodul nach Belieben einstellbar; daß heißt, daß sowohl Ultrahochvakuum als auch reduzierende oder oxidierende Gasumgebungen realisiert werden können.

Die beschriebene Universalkammer, bei der verschiedene Module an einem Behältermodul angekoppelt werden ist nur als eine erste Stufe der Modulbauweise zu verstehen. Die realisierbaren Möglichkeiten lassen sich vervielfachen und auf die Durchführung komplexer Prozesse ausdehnen, wenn

- . mehrere Behältermodule, die nicht unbedingt zylindrisch sein müssen,
- . Absperr- und Schleusenmodule zum sauberen Trennen der Atmosphäre in den einzelnen Behältermodulen und zum Transport von Proben und Versuchsobjekten, ohne die Trennung der Gasräume zu verletzen,

- . Module für mechanische Bearbeitungen und physikalische und chemische Oberflächenbehandlungen sowie
- . Manipulatoremodule für die intelligente und vielachsige Handhabung in den Behältermodulen

eingesetzt werden.

Wie jedes Baukastensystem erlaubt es auch die hier beschriebene Modulbauweise, die Anlagen Schritt für Schritt aufzubauen, auf einfache Weise zu ändern und zu ergänzen sowie nach dem Gebrauch in wiederverwertbare Module zu zerlegen. Voraussetzung dafür ist jedoch, daß die Standardisierung der Schnittstellen strikt eingehalten wird.

Werkstoff	1.4429
zulässiger Überdruck	25 bar
maximale Wandtemperatur	250 °C
maximale Zug- und Druckkraft an der Flanschfläche NW 400	10^6 N
maximale Zug- und Druckkraft an der Flanschfläche NW 150	10^5 N
maximal übertragbares Drehmoment an der Flanschfläche NW 150	500 N·m
Auslegungswert der Dichtungskräfte	220 N/mm

Tabelle 1: Auslegungsdaten des Behältermoduls

- Hubzylinder hat eine durchgehende Kolbenstange.
Daraus resultiert:
 - . Zug- und Druckverhältnisse sind exakt gleich
 - . Die Wegmessung des Kolbens erfolgt außen
 - . Ein Schwingkopf (z.B. US-Erregung) zur Anregung der Kolbenstange kann außen installiert werden.
- Die Kolbenstange ist so ausgeführt, daß sie beidseitig mit verschiedenen Köpfen bestückt werden kann, um den jeweiligen Erfordernissen bezüglich Geometrie, Temperatur und Belastung genügen zu können.
- Hydraulikdruck 0 - 200 bar
- Hub 0 - 70 mm
- Zug- und Druckkraft max. 10^6 N
- Geschwindigkeit max. 5 mm/s
- Verfahrensgenauigkeit (absolut) 0,2 mm
- Radiallast auf der Spitze der Kolbenstange max. $5 \cdot 10^4$ N
- Belastung durch Drehmoment max. 500 N·m
- Antriebsleistung max. 5 kW
- Ratterfrequenz des Hydraulikdruckes, Impulsgenerator max. 30 Hz
- axiale Steifigkeit (Stangenkopf - Boden) ca. 10^{-7} mm/N
- radiale Steifigkeit ca. 10^{-5} mm/N

Tabelle 2: Spezifikationen des Zylinders mit 10^6 N Zug- und Druckkraft

- Hubzylinder hat eine durchgehende Kolbenstange.
Daraus resultiert:
 - . Zug- und Druckverhältnisse sind exakt gleich
 - . Die Wegmessung des Kolbens erfolgt außen
 - . Ein Schwingkopf (z.B. US-Erregung) zur Anregung der Kolbenstange kann außen installiert werden.
- Die Kolbenstange ist so ausgeführt, daß sie beidseitig mit verschiedenen Köpfen bestückt werden kann, um den jeweiligen Erfordernissen bezüglich Geometrie, Temperatur und Belastung zu genügen.
- Hydraulikdruck 0 - 200 bar
- Hub 0 - 70 mm
- Zug- und Druckkraft max. 10^5 N
- Geschwindigkeit max. 50 mm/s
- Verfahrengenauigkeit (absolut) 0,2 mm
- Radiallast auf der Spitze der Kolbenstange max. $5 \cdot 10^3$ N
- Belastung durch Drehmoment max. 500 N·m
- Antriebsleistung max. 5 kW
- Ratterfrequenz des Hydraulikdruckes, Impulsgenerator max. 50 Hz
- axiale Steifigkeit (Stangenkopf - Boden) ca. 10^{-6} mm/N
- radiale Steifigkeit ca. $2 \cdot 10^{-4}$ mm/N

Tabelle 3: Spezifikationen des Zylinders mit 10^5 N Zug- und Druckkraft

- Hydraulischer Antrieb	
- Drehgeschwindigkeit mit Getriebe	0 - 90 U/min
- Drehgeschwindigkeit ohne Getriebe	0 - 650 U/min
- Drehmoment mit Getriebe	max. 500 N·m
- Drehmoment ohne Getriebe	max. 70 N·m
- zulässige axiale Zug- und Druckkraft	max. 10^5 N
- zulässige radiale Kraft auf die Spindelspitze	kurzzeitig: $2 \cdot 10^4$ N Dauerbetrieb: $5 \cdot 10^3$ N
- Steifigkeit der Spindel	axial: 10^{-6} mm/N radial: $2 \cdot 10^{-4}$ mm/N
- Antriebsleistung	5 kW
- Ratterfrequenz des Hydraulikdruckes (2 Punkt-Impulsgenerator)	max. 30 Hz
- Hydraulikdruck	0 - 140 bar
- zulässige Abweichung der Geschwindigkeit vom Sollwert	2 %
- zulässige Abweichung des Drehmomentes vom Sollwert	2 %

Tabelle 4: Spezifikation zur Spindel mit 500 N·m Drehmoment

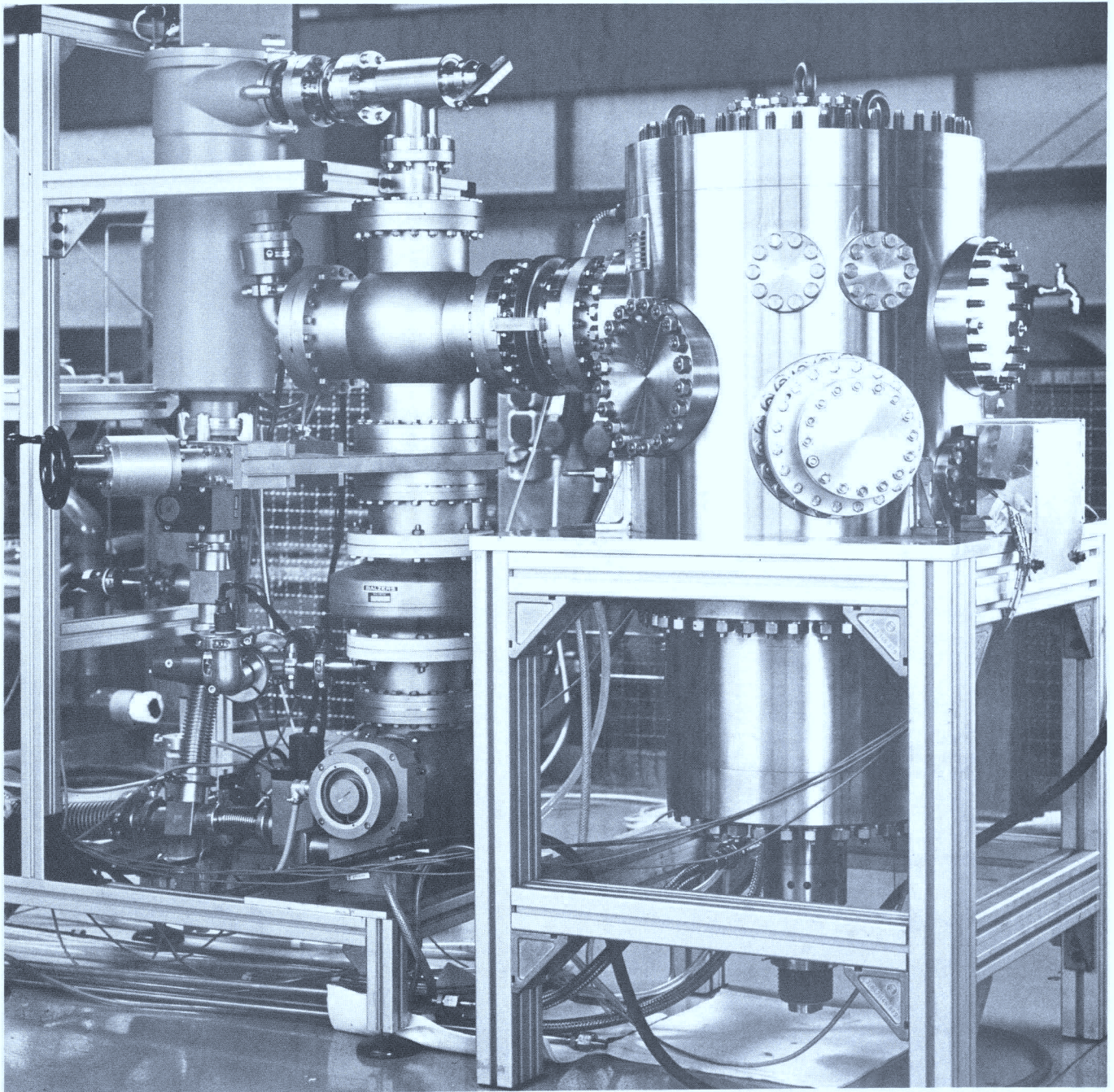
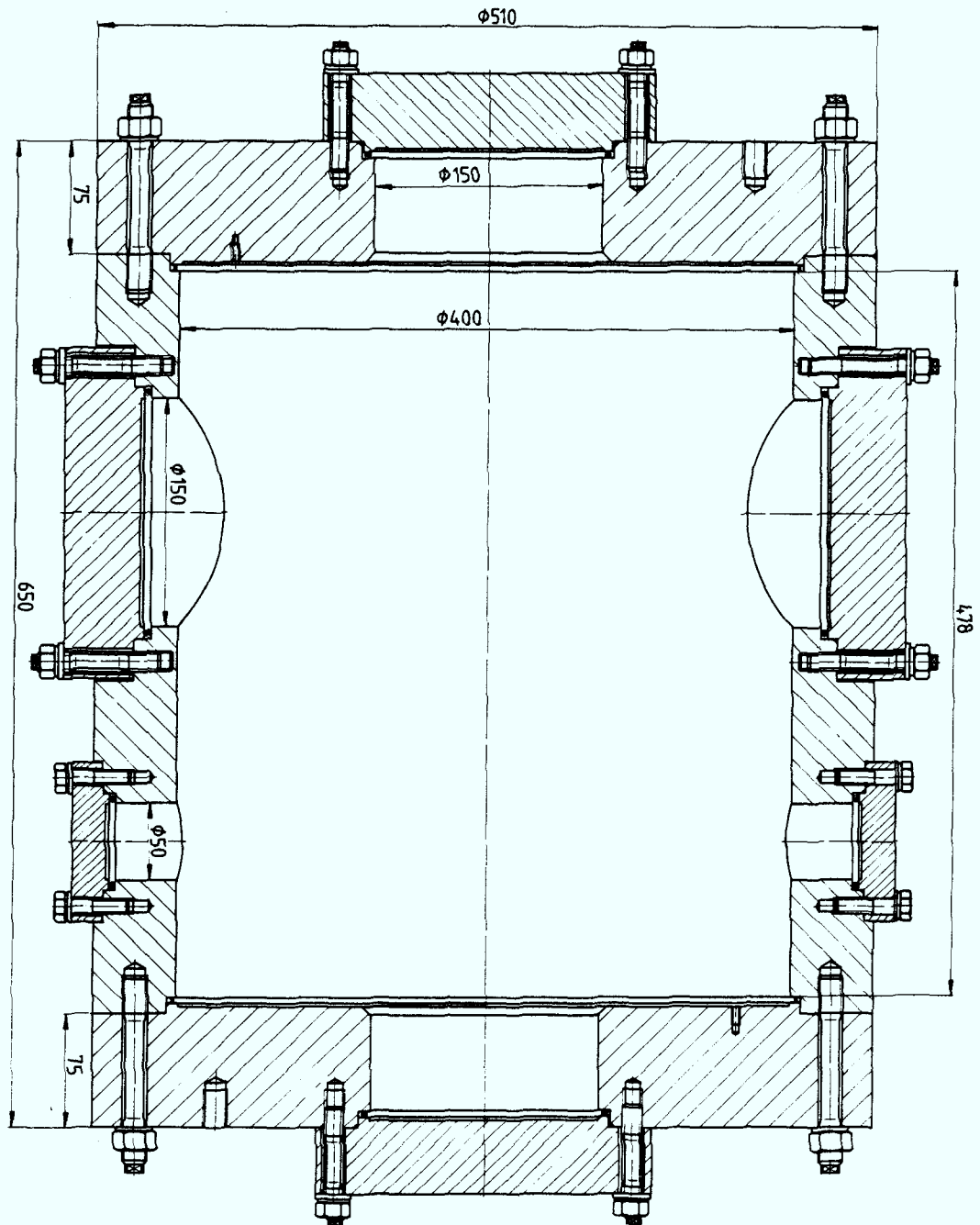


Bild 1: Universalkammer, ausgerüstet für Drucksintern



Abwicklung

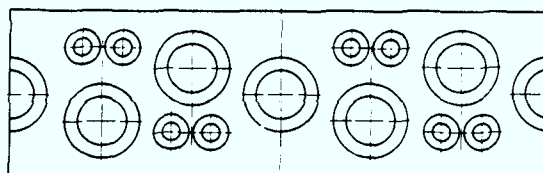


Bild 2
Querschnitt durch
Behältermodul

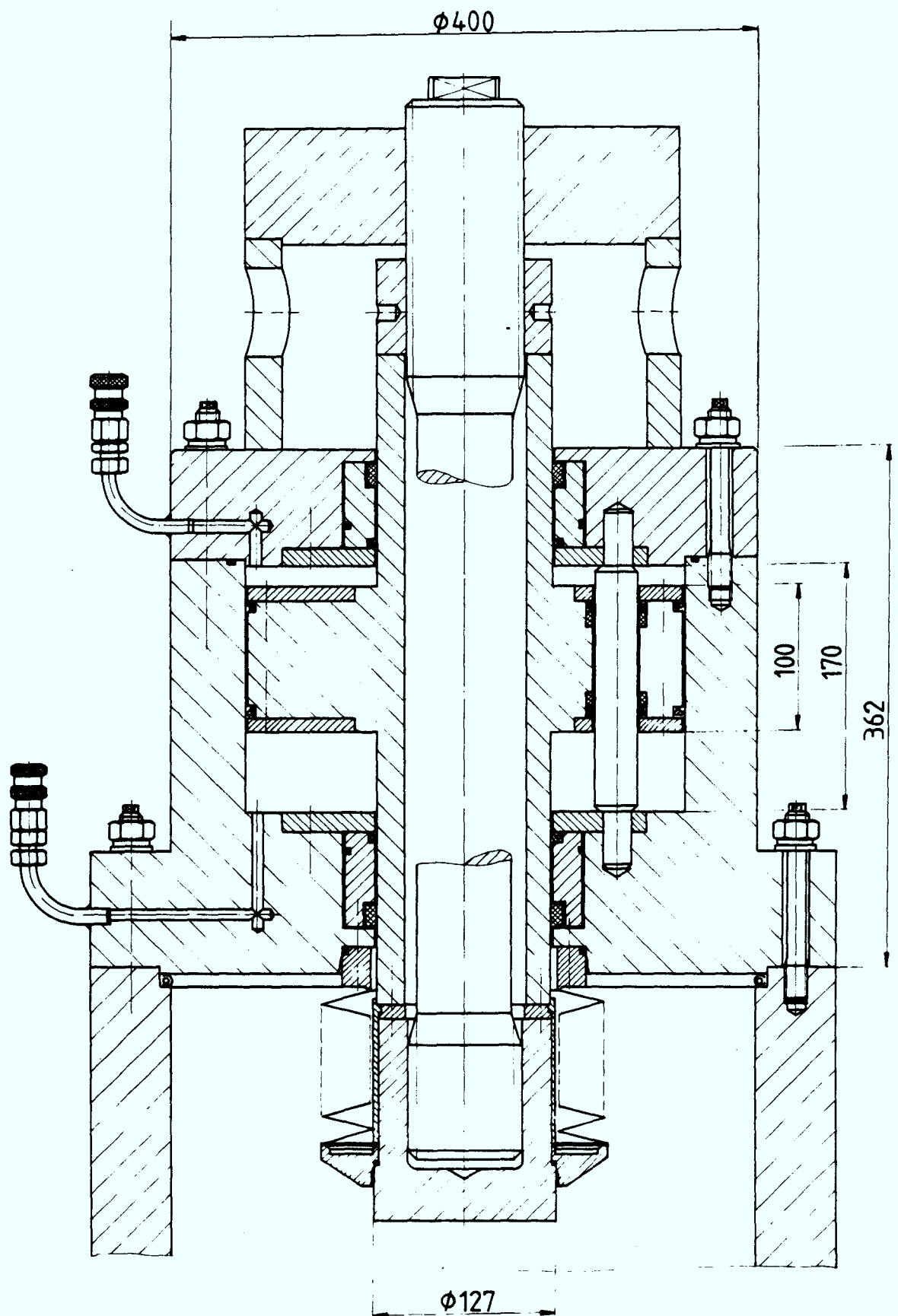


Bild 3
 Querschnitt des Zylinders
 mit 10^6 N Zug- und Druckkraft

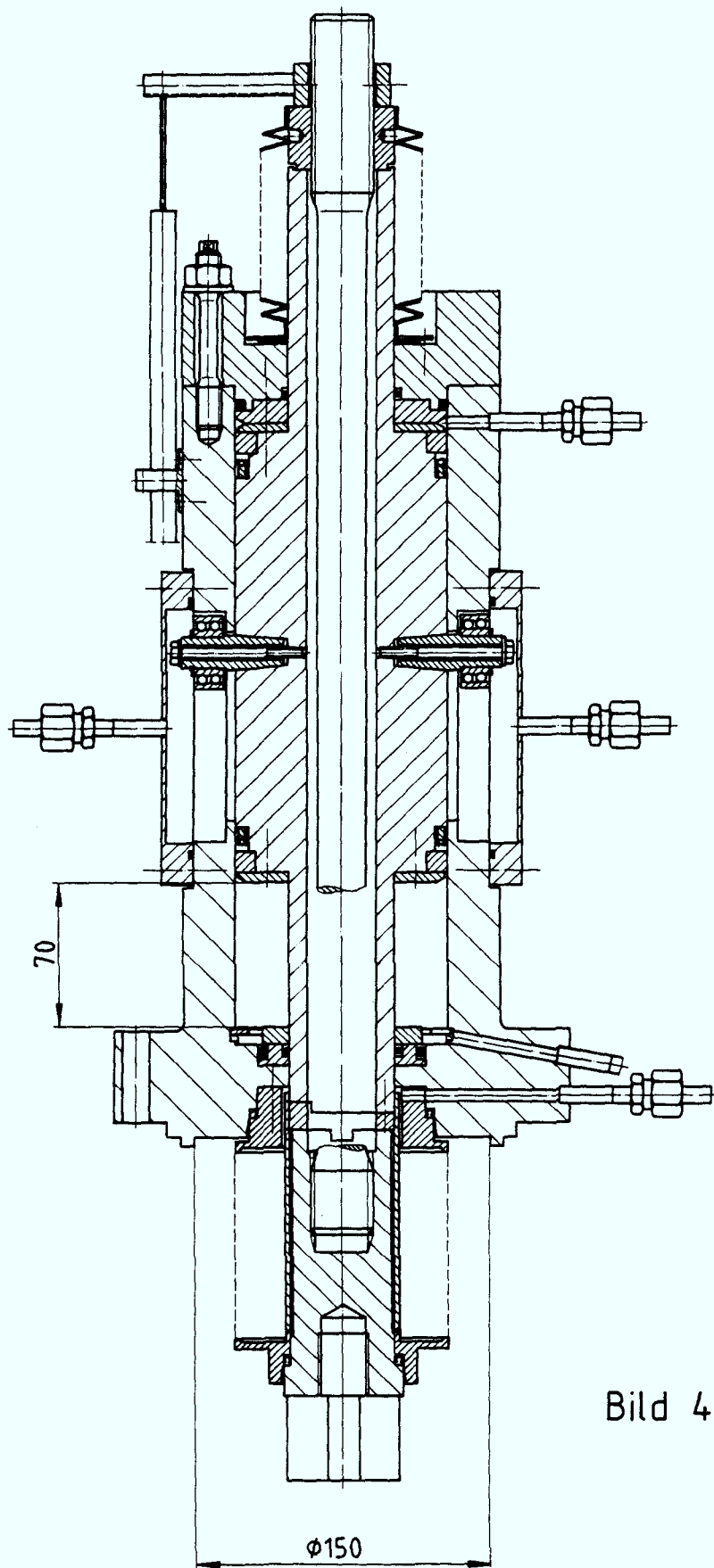


Bild 4 Querschnitt des
Zylinders mit
 10^5 N Zug- und
Druckkraft

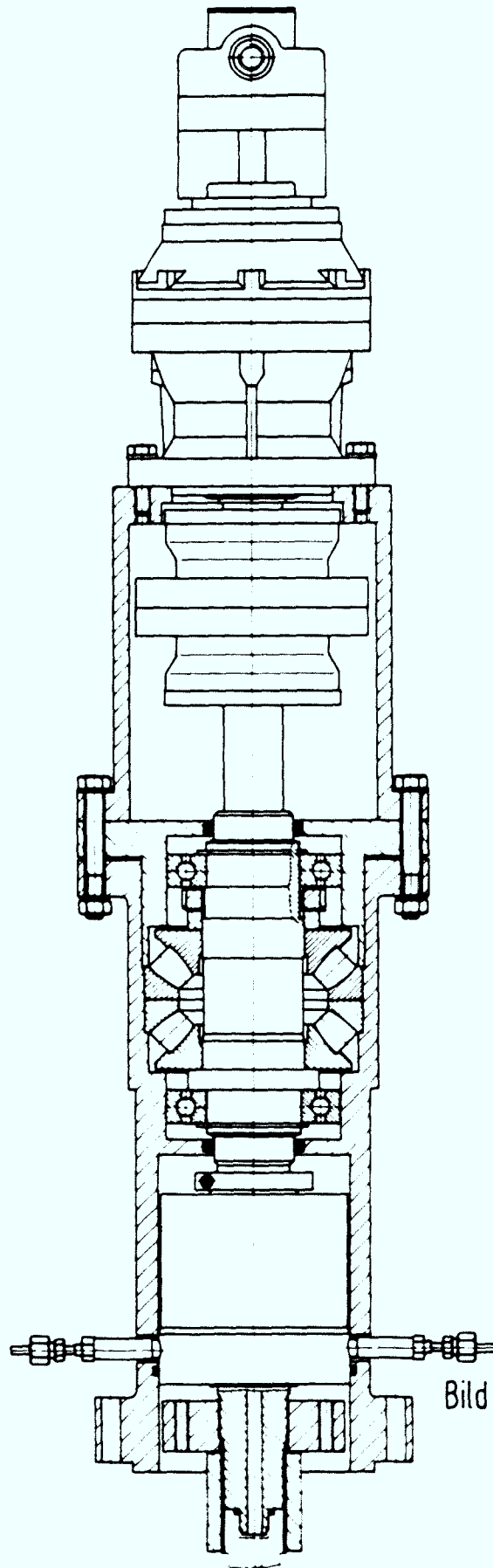


Bild 5 Schnitt durch die
Spindel mit 500Nm
Drehmoment

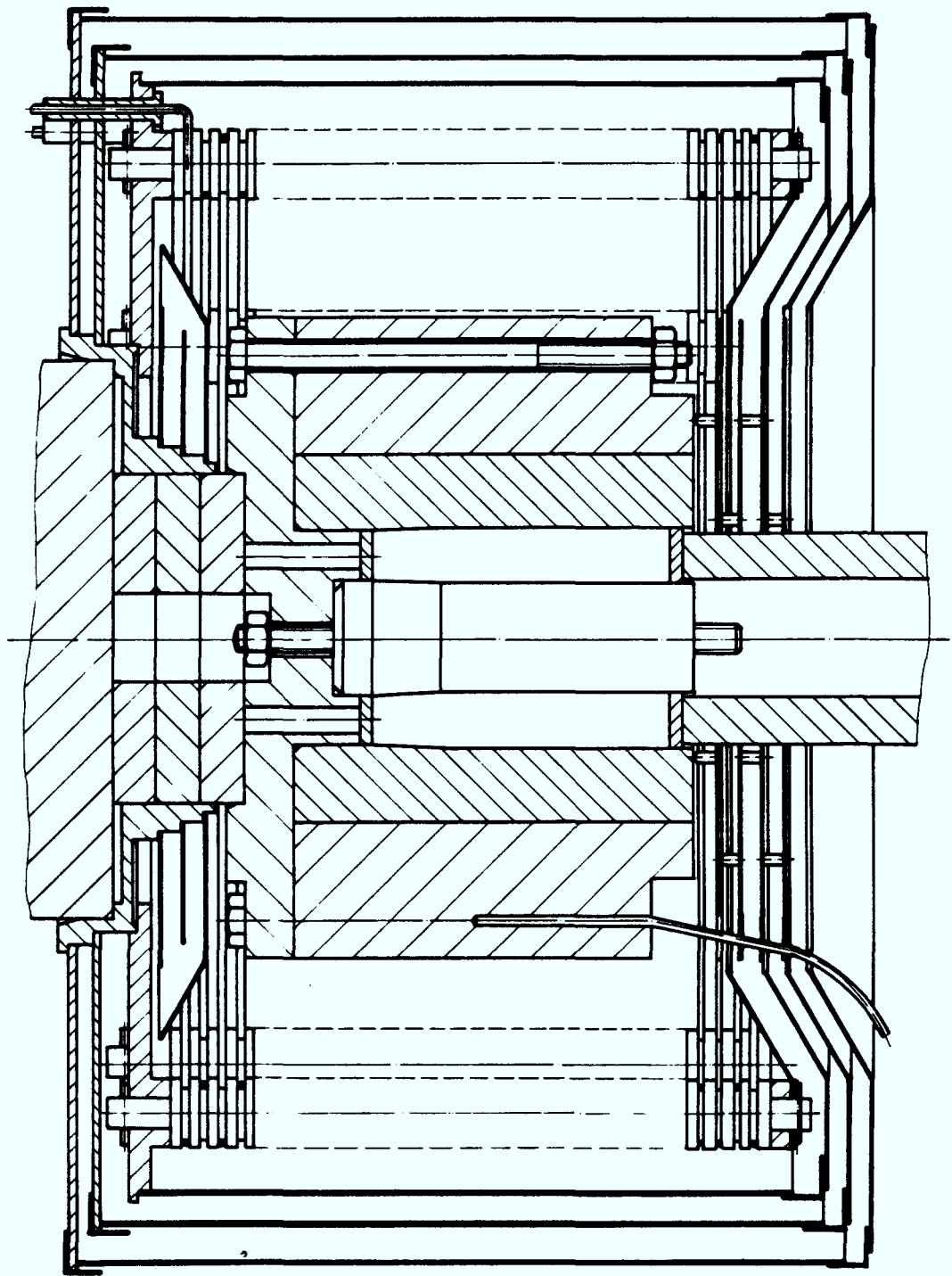


Bild 6 Einzonenheizung für
Preßversuche und
Drucksintern

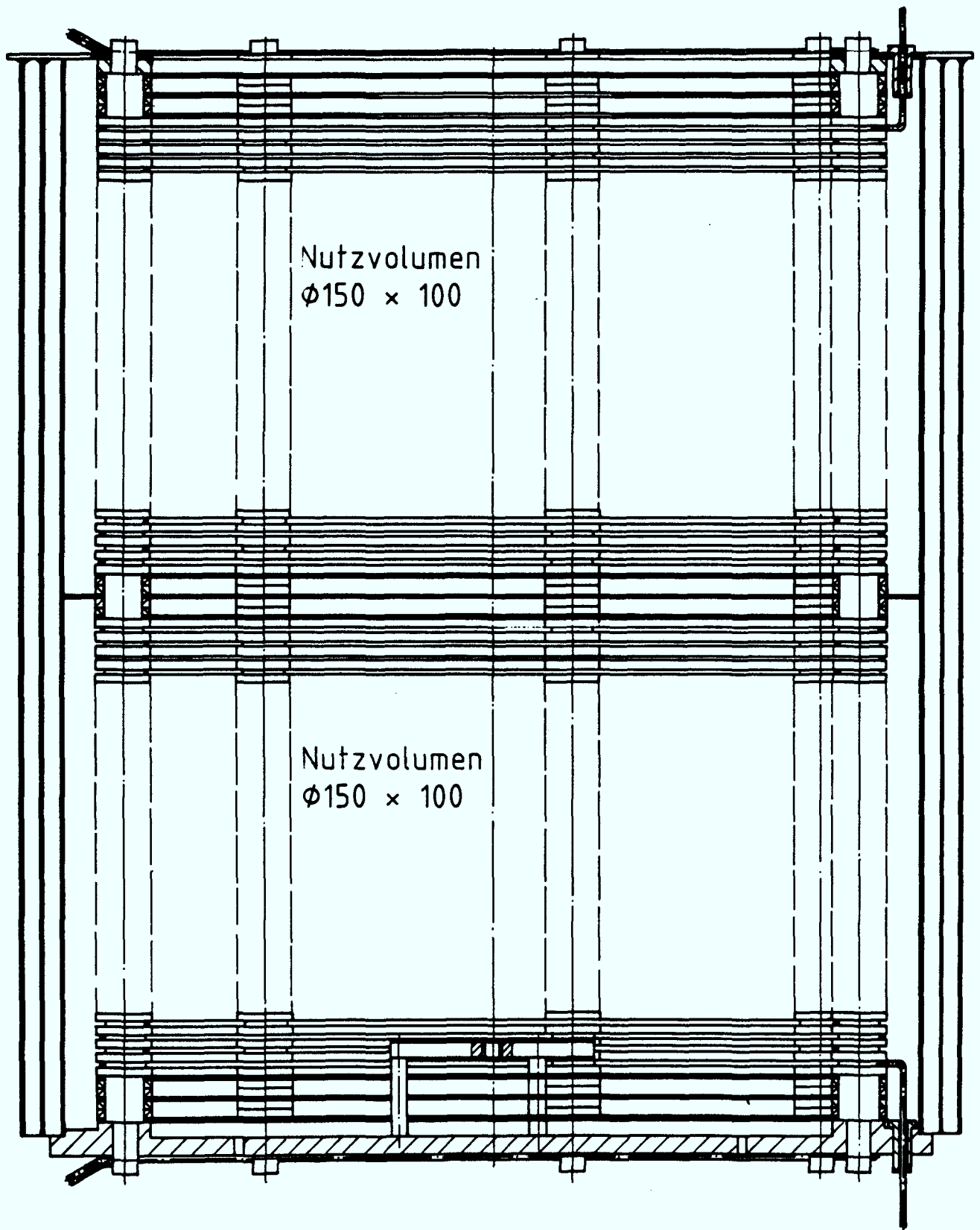


Bild 7
Zweizonenheizung

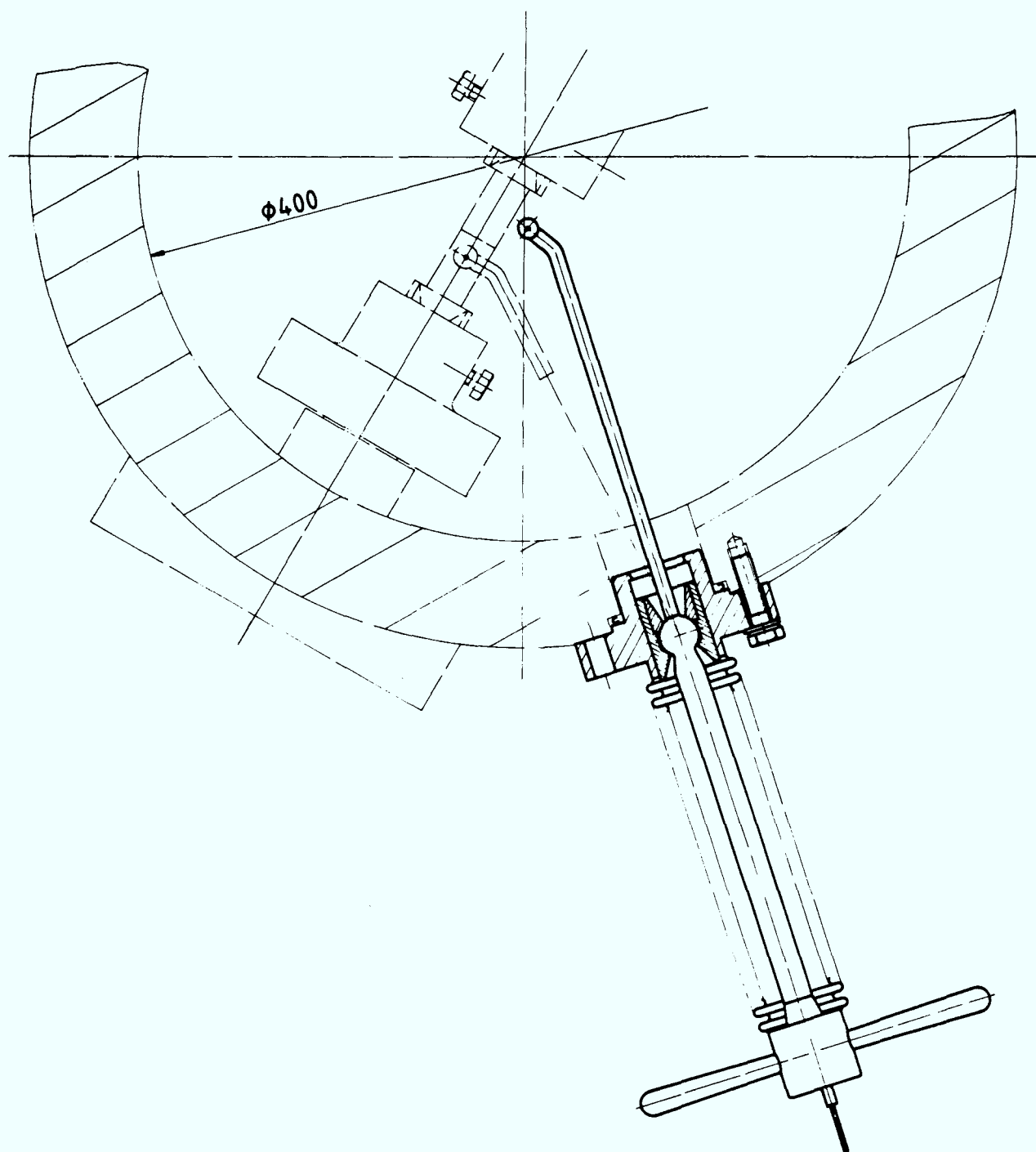
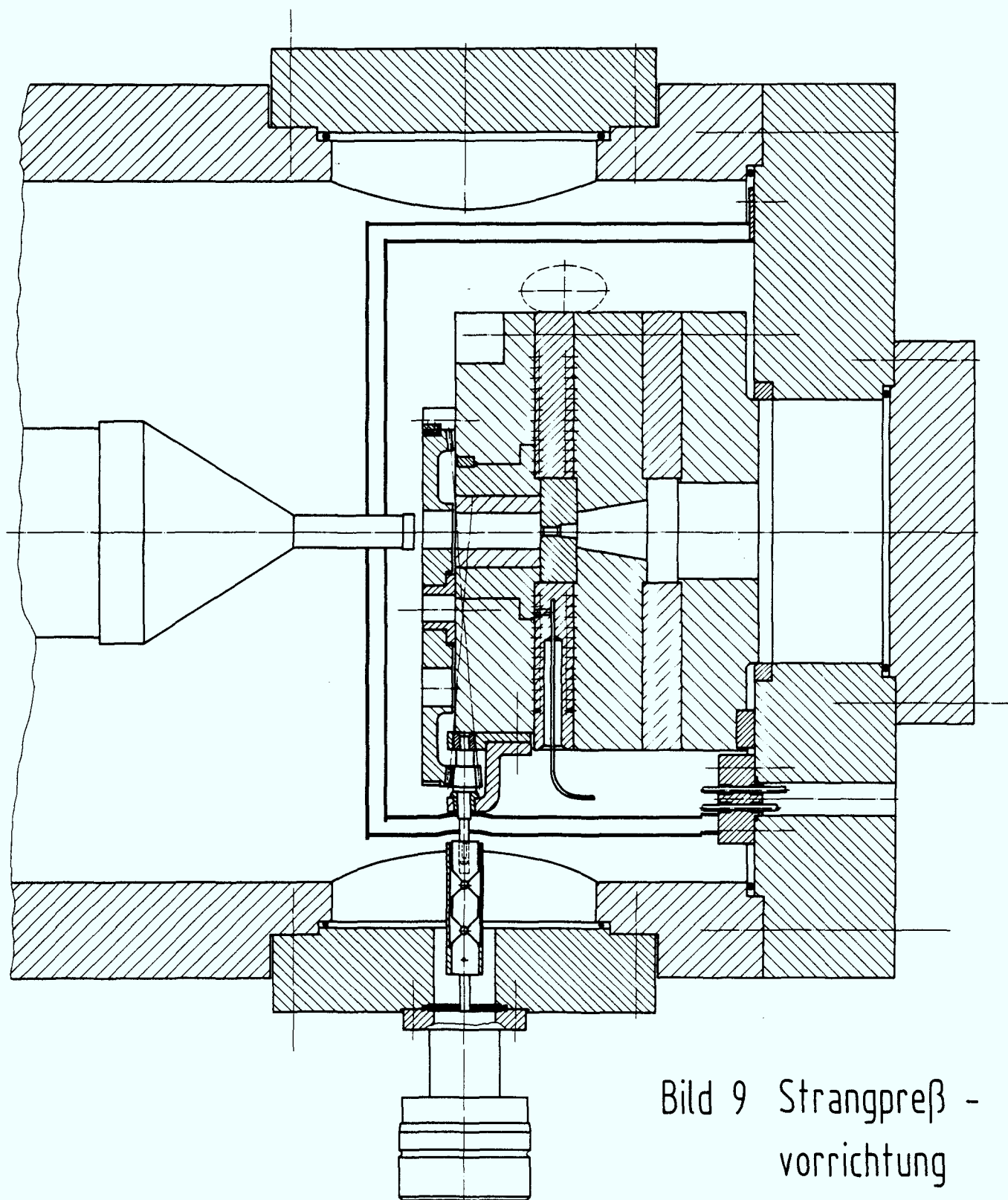


Bild 8

Handhabungsmodul



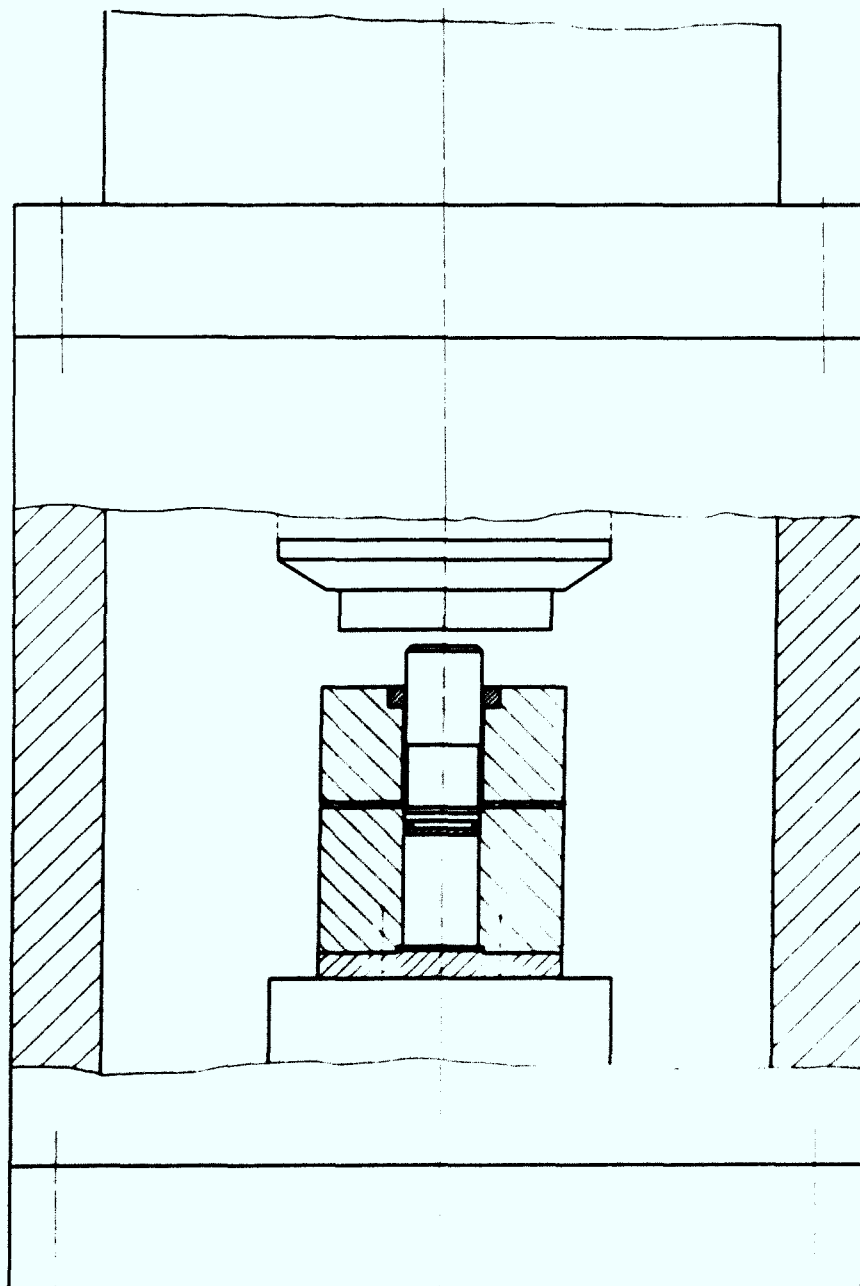


Bild 10
kaltisostatischer
Preßmodul

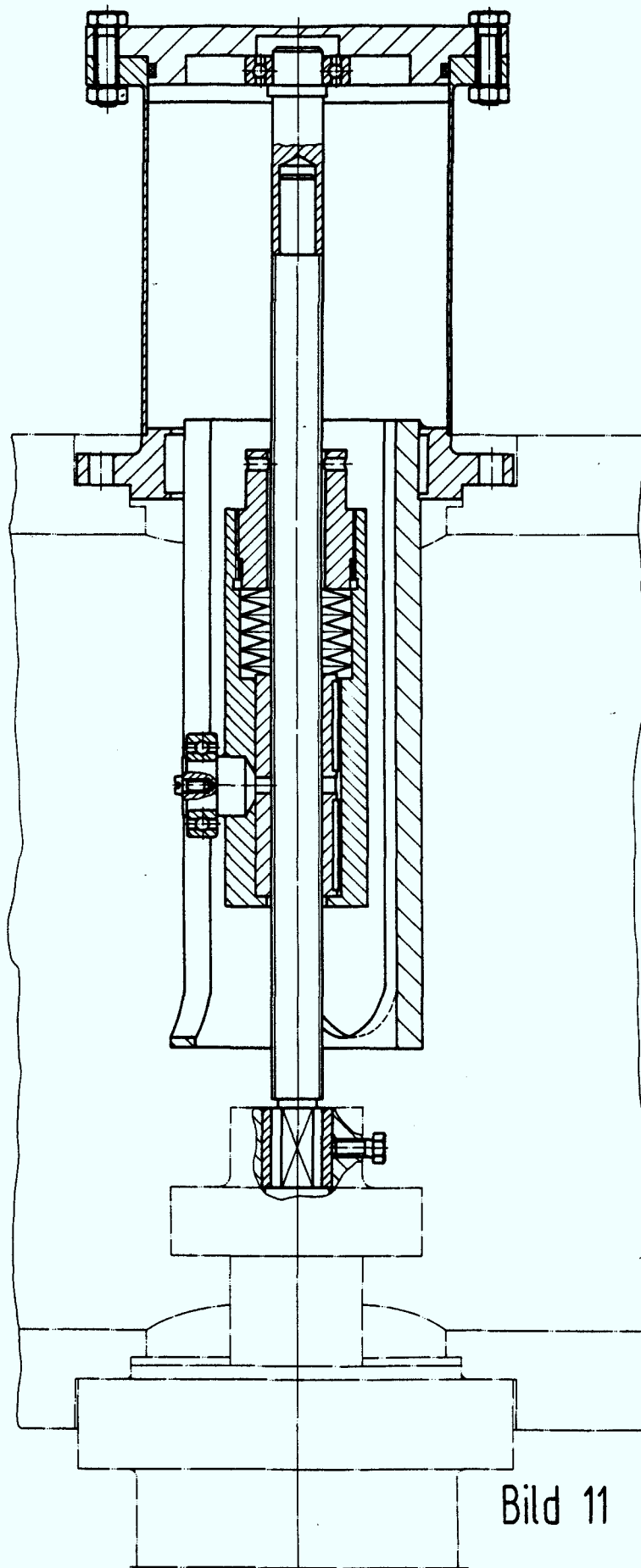


Bild 11 Spindelpreß-
vorrichtung