

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

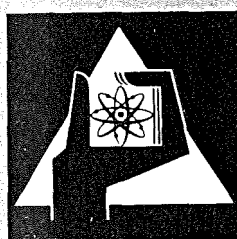
Dezember 1972

KFK 1682

Institut für Experimentelle Kernphysik

Justiergestell zur Ausrichtung von Strahlführungsmagneten

G. Friesinger



**GESELLSCHAFT
FÜR
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M.B.H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

KFK 1682

Institut für Experimentelle Kernphysik

JUSTIERGESTELL ZUR AUSRICHTUNG VON STRAHLFÜHRUNGSMAGNETEN

G. Friesinger

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H Karlsruhe

Zusammenfassung

Das beschriebene Gestell wurde zur Aufstellung und Ausrichtung von Strahlführungsmagneten (Gewicht ca. 10 t, Länge bis zu 4 m), entwickelt und gebaut. Die Magnete können mit dem Gestell in 6 Freiheitsgraden in einem Bereich von ± 15 mm justiert werden. Die Auflösung (kleinstmöglicher Verfahrenschritt) wurde bei den 3 Freiheitsgraden der Translation mit $\pm 5 \mu\text{m}$ und bei den 3 Freiheitsgraden der Rotation mit $\pm 15''$ gemessen. Der obere Teil des Justiergestells wird bei Magneten mit mehr als 4 Mp Gewicht während der Justierung pneumatisch entlastet.

A Support for Alignment of Beam Transport Magnets

Abstract

The described support was designed and built for the adjustments of beam transport and synchrotron magnets (weight up to 10 Mp, maximum magnet length 4 m). The support presents the possibility for adjusting magnets in 6 degrees of freedom. The range of the adjustment is about ± 15 mm. The resolution was measured to ± 5 microns by the 3 translation degrees of freedom and to $\pm 5 \times 10^{-5}$ rad by the 3 rotation degrees of freedom. The upper part of the support is unburdened by a pneumatic equipment for magnets > 4 Mp during adjustment.

Eingereicht am 17. 11. 1972

Justiergestell

0. Inhalt

1. Einleitung
2. Aufbau und Funktion
3. Technische Daten
4. Hinweise zur Benutzung
5. Ablauf einer Justierung
6. Zusammenfassung
7. Literaturverzeichnis
8. Anhang (Bilder, Tabellen, Skizzen)

1. Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Das Gestell (siehe Bild 1) wurde zur Aufstellung und Justierung von Synchrotronmagneten (Gewicht ca. 10 to, Länge bis 4 m) entwickelt und gebaut [1],[2].

Das Koordinatensystem des Magnets soll mit dem Koordinatensystem des Strahls zur Deckung gebracht werden (Figur 1). Die Aufgabe wurde mit dem Justiergestell gelöst, dessen obere Palette D (Figur 2) insgesamt 6 Freiheitsgrade besitzt. Die obere Palette D liegt auf einer höhenverstellbaren Dreipunktauflage (3 Freiheitsgrade) und ist über verstellbare Lenker horizontal verschiebbar (3 Freiheitsgrade). Die Bewegungen der oberen Palette D sind gewissen Einschränkungen unterworfen.

1.2 Justierung

Bei der Aufstellung eines Magneten im Strahl wird mit vertretbarem Aufwand eine IST-Position erreicht, die sich durch Δx , Δy , Δz , α , β , γ (Figur 1) von der vorgegebenen SOLL-Position unterscheidet. Die Koordinatensysteme des Magneten und des Strahls werden durch Transformation ineinander überführt, so daß Δx , Δy , Δz , α , β , γ null werden. Diesen Vorgang nennt man "Justieren" [4]. Die SOLL-Position wird nur mit der Genauigkeit der Justierung und der Nachweisverfahren erreicht. Das Gestell ermöglicht eine Justierung des Magneten im Bereich von μm bzw. Winkelsekunden. Sein Anwendungsbereich erstreckt sich auf alle Gegenstände, die nach ihrer Aufstellung justiert werden müssen. Es wird deshalb im folgenden Bericht für Magnet "Prüfling" und für Strahl "Normal" geschrieben [3].

2. Aufbau und Funktion

2.1 mechanischer Aufbau*

Das Justiergestell besteht im wesentlichen aus 4 Bau-
gruppen (Fig.2):

- A FüÙe
- B Untere Palette
- C Verstellelemente
- D Obere Palette

An den FüÙen A kann das Gestell mit dem Fußboden verschraubt werden, falls dies aus Gründen der Standsicherheit erforderlich wird. Die FüÙe A sind mit der unteren Palette B verschraubt. Sie können bei Bedarf gegen andere FüÙe ausgetauscht werden. Die untere Palette trägt die Verstellelemente C. Die Verstellelemente C bestehen aus 3 Spindelhubelementen E_1 , E_2 , E_3 , 2 verstellbaren Querlenkern F_{y1} , F_{y2} und einem verstellbaren Längslenker F_x (siehe Fig.5). Die bewegliche obere Palette D liegt auf den Spindelhubelementen E_1 , E_2 , E_3 . Zwischen E_1 , E_2 , E_3 und D befindet sich jeweils am oberen Spindelende ein kugelig gelagerter Laststeller. D ist durch die Lenker F_x , F_{y1} , F_{y2} mit B verbunden. D trägt den zu justierenden Gegenstand (Prüfling).

2.2 Funktion

Die obere Palette D kann in allen 6 Freiheitsgraden in kleinen Bereichen relativ zur unteren Palette B bewegt werden (Fig.3). Die Verschiebung von D in z-Richtung, die Drehung von D um die x- und y-Achse wird durch die Spindelhubelemente E_1 , E_2 , E_3 ermöglicht; die Verschiebungen von D in der x-y-Ebene und die Drehung von D um

*Die Konstruktion des Justiergestells ist in der BRD, der Schweiz und in Frankreich als Patent angemeldet.

die z-Achse durch die Lenker F_{y1} , F_{y2} , F_x . Die Verschiebe- und Drehbewegungen von D in der x-y-Ebene sind nicht rückwirkungsfrei, da D über F_x , F_{y1} , F_{y2} mit B gekoppelt ist (siehe Fig.5).

Die Tabelle 1 gibt Aufschluß über alle möglichen Bewegungen.

3. Technische Daten

3.1 Gewicht

Maximale Belastbarkeit	4 Mp
" " mit pneumatischer Entlastung	10 Mp
Eigengewicht	530 kp

3.2 Abmessungen (D in Mittelstellung)

Länge	1100 mm
Breite	700 mm
Höhe gesamt	750 mm
Höhe Füße A	390 mm

A kann dem jeweiligen Verwendungszweck angepaßt werden, die Mindesthöhe von A beträgt jedoch 20 mm.

Weitere Abmessungen siehe Zeichnung
Magnet-Justiergestell RBII-EKP-0-1428.

3.3 Verstellwege

maximale Verstellwege	
Verschiebung in x Koordinate	+ 15 mm
" in y "	+ 15 mm
" in z "	+ 15 mm
Drehung um x Achse	+ 3,2°
" um y Achse	+ 2,3°
" um z Achse	+ 1,7°

(siehe auch Fig. 3 + 4)

Tabelle 2 zeigt das Übertragungsverhältnis

$$\dot{\theta} = \frac{\text{Drehwinkel an den Verstellelementen}}{\text{Bewegung von D}}$$

3.4 Genauigkeiten

Mit einer Prüflast von 3 Mp wurden die in Tabelle 3 angegebenen kleinstmöglichen Verstellbewegungen ermittelt. Bild 2 zeigt die Auflösung beim Verstellen der oberen Palette D in z-Richtung. Die Kurve wurde mit einem elektronischen Feintaster (Verstärkung 4000-fach) aufgenommen.

Beim Verschieben der oberen Palette D mit den Lenkern F_x , F_{y1} , F_{y2} kriecht die Palette noch bis max. 200 μm weiter in eine Gleichgewichtslage. Dieses Kriechen kann durch eine oszillierende Bewegung an der Verstellkurbel verhindert werden.

3.5 verkoppelte Bewegungen (siehe auch 2.2)

Beim Verschieben der oberen Palette aus der Mittellage heraus in Richtung +x -x tritt eine unerwünschte Querverschiebung in Richtung +y auf.

Beim Verschieben von D in Richtung +y -y tritt die Querverschiebung in Richtung -x auf.

Beim Drehen von D in der xy-Ebene aus der Mittellage heraus verschiebt sich die Drehachse.

Der Koppelfaktor $f = \frac{\text{erwünschte Schiebung}}{\text{unerwünschte Schiebung}}$ beträgt in

den Endlagen der Verstellwege

$$f \approx \frac{10}{1}$$

Beispiel: Eine Verschiebung von F_x in Richtung +x um den Betrag $\Delta x = 10 \text{ mm}$ bringt gleichzeitig eine Verschiebung von D in Richtung +y um ca. 1 mm.

3.6 Möglichkeiten zur Erhöhung der Last

Die Belastbarkeit des Justiergestells wird eingeschränkt durch große Reibkräfte zwischen den Lasttellern über dem Spindelhubelement E_1 , E_2 , E_3 und der Auflagefläche an der Unterseite der oberen Palette D. Diese Reibkräfte ergeben bei Lasten über 4 Mp zu hohe Betätigungskräfte an den Lenkergetrieben und stellen bei sehr großen Lasten (≈ 10 Mp) deren Funktion in Frage. Um Prüflinge mit einem Gewicht ≥ 4 Mp bis max. 10 Mp zuverlässig zu justieren, wurde eine pneumatische Entlastung entwickelt (siehe Zeichnungen Magnet-Justiergestell RBII-EKP-O-377).

Hierbei wird die obere Palette D von 3 Luftfederbälgen während der Dauer der Verschiebungen und Drehungen entlastet. Der Speisedruck der Luftfederbälge ist abhängig vom Gewicht des Prüflings. Die Entlastungskraft darf max. 75 % des Prüflingsgewichts betragen, damit D nicht von den Lasttellern abhebt.

Mittlere Fläche eines Luftfederbalges $F_m = 330 \text{ cm}^2$.
Maximal zulässiger Luftdruck im Luftfederbalg 7,5 atü.
Fig.6 zeigt den pneumatischen Schaltplan zur Luftentlastung.

Beispiel: Überschlagsrechnung zur Einstellung der Druckminderer bei pneumatischer Entlastung.

Gewicht Prüfling = 6 Mp

Entlastungskraft $P_E = 6 \frac{75}{100} = 4,5$ Mp (Eigengewicht der oberen Palette D wurde vernachlässigt)

P_E wird von 3 Federbälgen aufgebracht

$$\begin{aligned} p \text{ Druckminderer} &= \frac{P_E}{3 F_m} \\ &= \frac{4500 \text{ kp}}{3 \cdot 330} \\ &= \underline{\underline{4,5 \text{ kp/cm}^2}} \end{aligned}$$

Dieser Wert muß am Druckminderer eingestellt werden und darf nicht überschritten werden.

4. Hinweise zur Benutzung des Justiergestells

Vorhandene Gestelle

4.1 Zur Zeit sind vorhanden:

6 Justiergestelle ohne pneum. Entlastung
Zeichnung RBII-EKP-01428

2 Justiergestelle mit pneum. Entlastung
Zeichnung RBII-EKP-0-377

4.2 Aufstellen des Justiergestells:

4.2.1 obere Palette D in Mittellage fahren

4.2.2 untere Palette B mit Bezugsflächen auf mindestens 1 mm
genau ausrichten auf Normal

4.2.3 Gestell B mit Richtwaage horizontieren

4.2.4 Falls es die Standsicherheit (siehe 4.3) erfordert
Füße A mit Fußboden verschrauben, dann 4.2.2 und 4.2.3
wiederholen.

4.3 Standsicherheit

Der Schwerpunkt des auf der oberen Palette D aufgebauten Prüflings muß mit Sicherheit innerhalb der Kippkanten der oberen Palette D liegen (Figur 7). Die Kippkanten ergeben sich aus den Auflagerpunkten der oberen Palette D auf den Spindelhubelementen E_1 , E_2 , E_3 . Die Kippkanten sind auf der Oberseite der Gestelle markiert. Eine Fangvorrichtung für die obere Palette D ist eingebaut. Sie wirkt jedoch nur, wenn die Füße A auf dem Fußboden verschraubt sind. Sie ist nur für unvorhergesehene Zwischenfälle gedacht und darf beim justieren nicht in Anspruch genommen werden.

4.4 Prüfling aufbauen und mit der oberen Palette D fest verspannen oder verschrauben. Löcher müssen vom Benutzer gebohrt werden!

4.5 Prüfling und Gestell erden!

Die obere Palette D ist mit der unteren Palette B durch eine flexible Erdleitung verbunden.

4.6 Wartung

Das Justiergestell ist normalerweise wartungsfrei. Die beweglichen Teile wurden bei der Montage mit Molykote-Paste geschmiert.

Wenn regelmäßig täglich mehr als 20 Justierungen vorgenommen werden, so ist das Gestell vierteljährlich mit Molykote-Paste zu schmieren.

4.7 Transport

Beim Krantransport wird das Gestell an B mit 2 Hanfseilen angeschlagen.

5. Justieren eines Prüflings

5.1 Allgemeines

Im folgenden werden wesentliche Tätigkeiten bei einer Justierung beschrieben.

Eine mögliche Justierung wird angedeutet. Generell hängt das Vorgehen von der jeweils geforderten Genauigkeit ab. Durch die Genauigkeit sind die Meßmittel und Referenzen festgelegt. Als Meßmittel empfiehlt es sich, soweit als möglich, Richtwaagen zum horizontieren und zum vergleichen von Neigungen einzusetzen. Weiter können Fluchtfernrohre verwendet werden.

Genauere Meßmittel sind jedoch nur sinnvoll, wenn die Referenzen am Prüfling mit der entsprechenden Genauigkeit vorhanden sind.

5.2 Beispiel einer Justierung

5.2.1 Meßmittel auf Koordinatensystem des Normals ausrichten.

Die Lage der x-y-Ebene des Normals wird mit der Richtwaage abgefragt. Ein Fluchtfernrohr wird aufgestellt und mit der Koordinatenrichtung (x oder y) des Normals gefluchtet.

5.2.2 IST-Lage des Prüflings ermitteln

An den vorhandenen Referenzpunkten (Flächen, Zielmarken) des Prüflings, wird dessen IST-Lage mit Richtwaage und Fluchtfernrohr gemessen und notiert.

5.2.3 SOLL-IST-Vergleich und justieren

Die unter 5.2.1 und 5.2.2 ermittelten Werte werden zuerst für die horizontale Ebene x-y verglichen. Der Prüfling wird dann mit den Spindelhubelementen E_1 , E_2 , E_3 solange justiert, bis die geforderte Aufstell-Genauigkeit erreicht ist.

Ein weiterer SOLL-IST-Vergleich ergibt die Abweichung des Prüflings von der Flucht des Normals. Die Fluchtabweichung wird durch Verstellen der Lenker F_x , F_{y1} , F_{y2} beseitigt. Dieser Vorgang muß mehrmals wiederholt werden, da die Bewegungen der einzelnen Lenker untereinander verkoppelt sind. (siehe 3.5)

Mittels dieser Justierung sind die Koordinatensysteme des Prüflings und des Normals zueinander parallel.

Durch Messen der Beträge Δx , Δy , Δz (Figur 1) besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Koordinatensystem des Prüflings und dem des Normals.

5.3 Justieren mit pneum. Entlastung

Zuerst wird der zulässige Speisedruck der Luftfederbäl-

ge ermittelt (Abschn. 3.6) und am Druckminderer eingestellt. Dann werden die Verstellelemente C während jeder Justierbewegung durch Einschalten der Speiseluft entlastet. Vor Messung der IST-Lage des Prüflings muß der Überdruck in den Entlastungsbälgen abgebaut sein.

6. Zusammenfassung

Die beschriebene Justiereinrichtung bietet die Möglichkeit, Lasten mit einem Gewicht bis zu 10 Mp, in 6 Freiheitsgraden zu justieren.

Die Auflösung (kleinstmöglicher Verfahrenschritt) wurde bei den 3 Freiheitsgraden der Translation mit $\pm 5 \mu\text{m}$ und bei den 3 Freiheitsgraden der Rotation mit $\pm 15''$ gemessen.

7. Literaturverzeichnis

- [1] Vorschlag zum Bau eines 40 GeV Protonensynchrotrons
Kernforschungszentrum Karlsruhe
Institut für Exp. Kernphysik
Juli 1967

- [2] Vorschlag zum Bau eines 40 GeV Protonensynchrotrons
- Addendum -
Kernforschungszentrum Karlsruhe
Institut für Exp. Kernphysik
Juli 1969

- [3] An Arrangement for Automatic Magnetic Field Measurements
Kernforschungszentrum Karlsruhe
Institut für Exp. Kernphysik
Institut für Datenverarbeitung in der Technik
KfK 1220

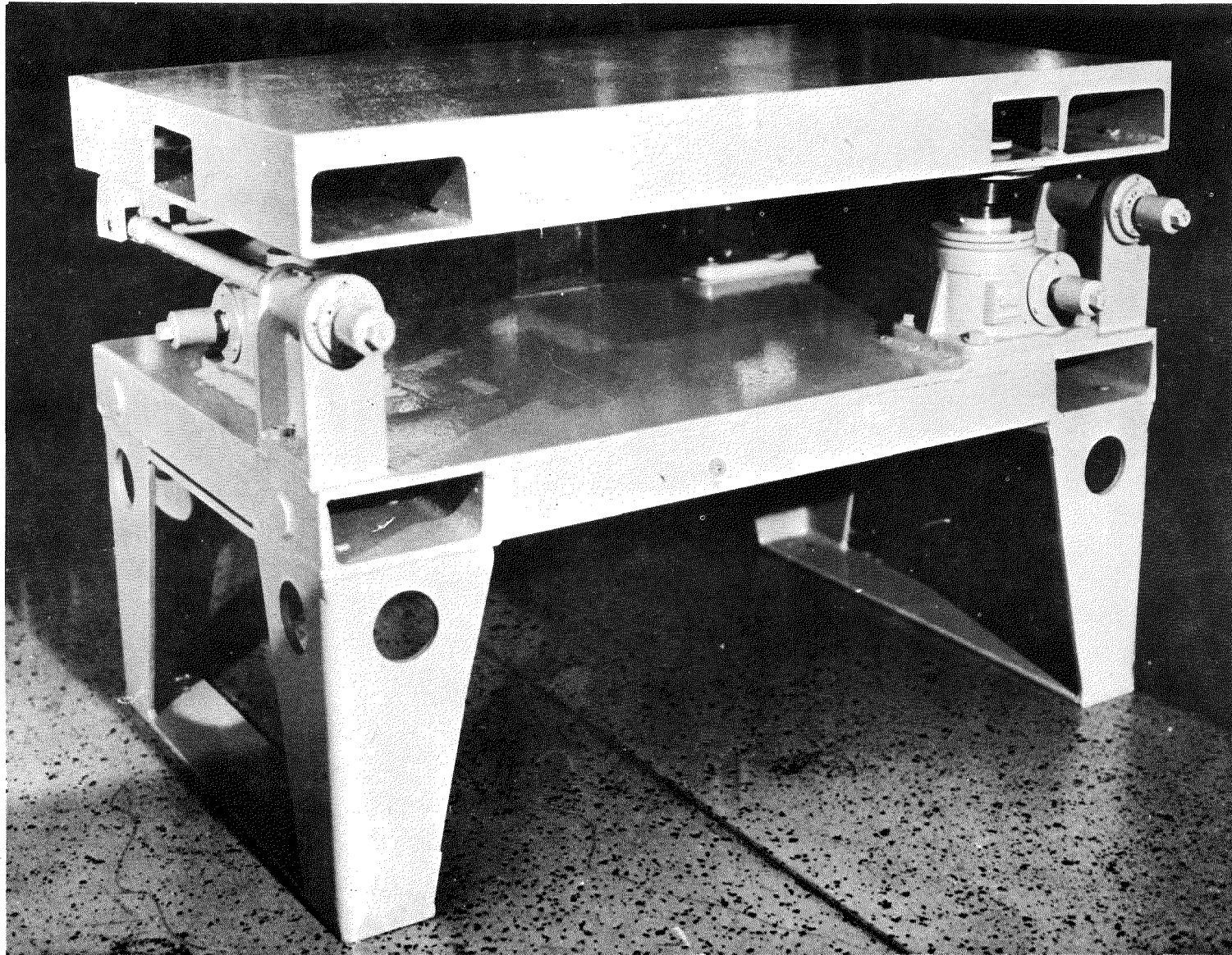
[4] Hansen

"Justierung" Eine Einführung in das Wesen der
Justierung von technischen Gebilden

zweite, überarbeitete Auflage

VEB Verlag Technik Berlin

Bestell-Nr. 7/1/3999



AN. 2861-2101

Bild 1 Gesamtansicht Justiergestell

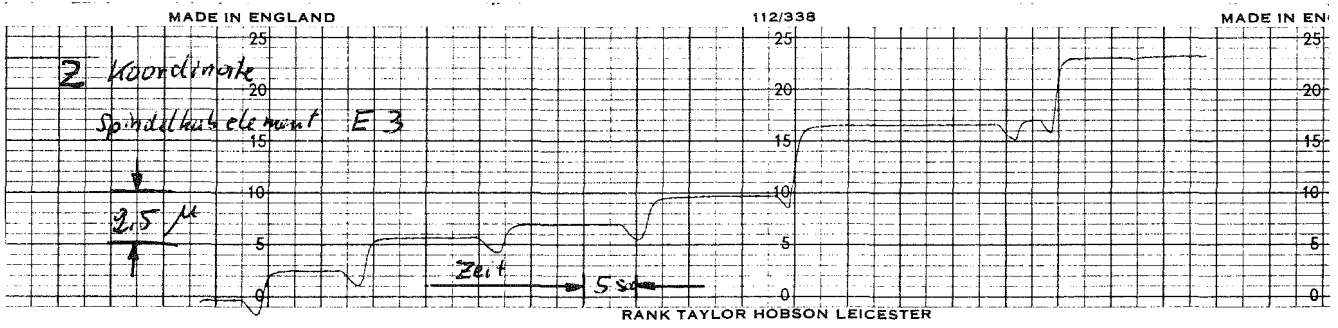


Bild 2 Auflösung (= kleinstmögliche Verstellsschritte)
beim Verstellen der Z-Koordinate

Tabelle 1 Bewegungen der oberen Palette D

Art der Bewegung	bei Verschiebung		bei Drehung		Freiheitsgrad	BETÄTIGUNG DER Verstellelemente (siehe Fig. 5)	Drehrichtung bei BETÄTIGUNG der Verstellelemente mit STECK-SCHLÜSSEL SW 19 [UHRZEIGERSINN]
	entlang Koordinate	in Richtung	Drehachse	Drehrichtung			
VERSCHIEBUNG	x	+			1.	F_x	entgegen
VERSCHIEBUNG	x	-				F_x	im
VERSCHIEBUNG	y	+			2.	F_{Y1} F_{Y2}	F_{Y1} im, F_{Y2} im
VERSCHIEBUNG	y	-				F_{Y1} F_{Y2}	F_{Y1} entgegen, F_{Y2} entgegen
VERSCHIEBUNG	z	+ (hoch)			3.	E_1 E_2 E_3	E_1 im, E_2 entg., E_3 entgegen
VERSCHIEBUNG	z	- (tief)				E_1 E_2 E_3	E_1 entgegen, E_2 im, E_3 im
DREHUNG			x	+ ^{*)}	4.	E_1 E_2	E_1 entgegen, E_2 entgegen
DREHUNG			x	-		E_1 E_2	E_1 im, E_2 im
DREHUNG			y	+	5.	E_1 E_2 E_3	E_1 entgegen, E_2 im, E_3 entg.
DREHUNG			y	-		E_1 E_2 E_3	E_1 im, E_2 entgegen, E_3 im
DREHUNG			z	+	6.	F_{Y1} F_{Y2}	F_{Y1} entgegen, F_{Y2} im
DREHUNG			z	-		F_{Y1} F_{Y2}	F_{Y1} im, F_{Y2} entgegen

Anmerkung: FÜR DREHBEWEGUNG GILT: + $\hat{=}$ mathematisch positiv $\hat{=}$ entgegen Uhrzeigersinn
 - $\hat{=}$ " negativ $\hat{=}$ im " "

*)BLICK IN POSITIVE RICHTUNG DER KOORDINATE

Tabelle 2 Übertragungsverhältnis \ddot{U}

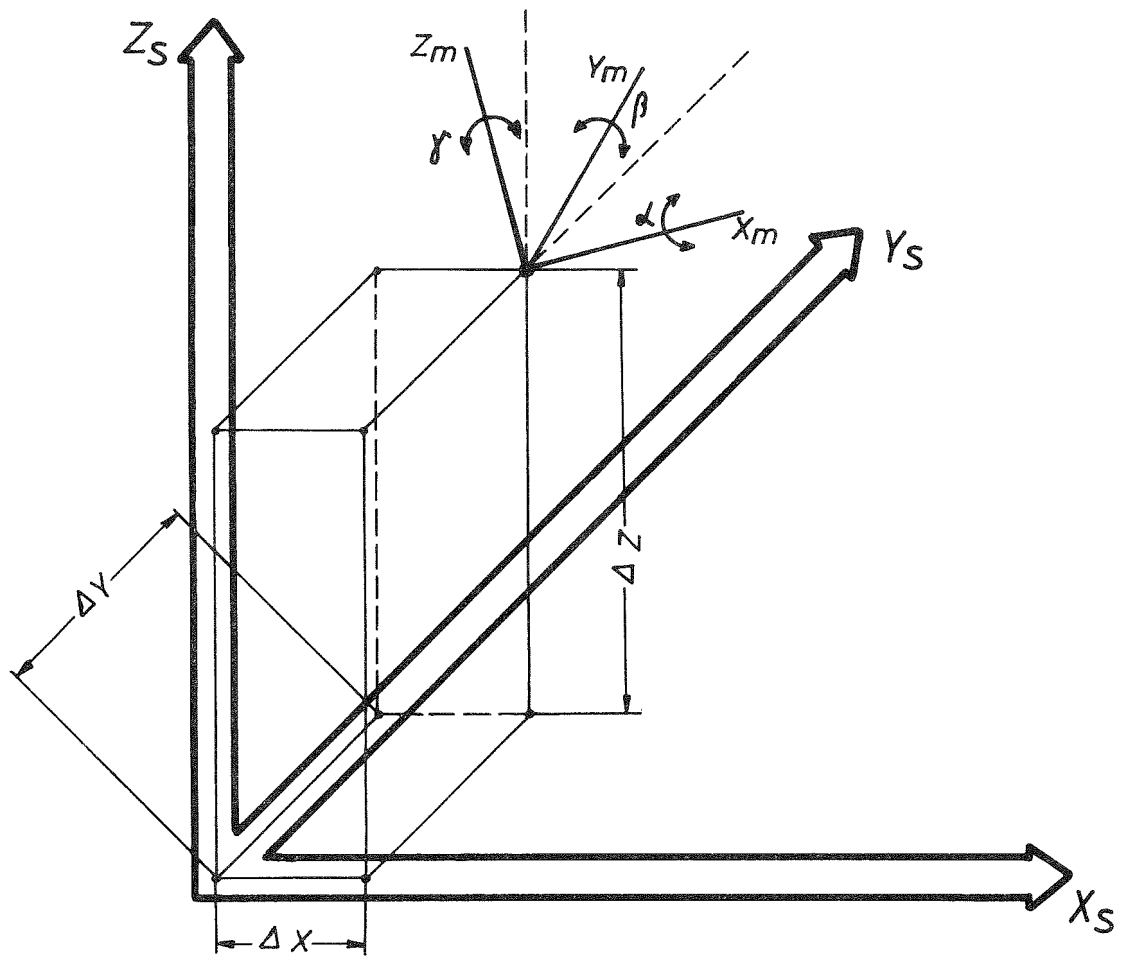
$$\text{Übertragungsverhältnis } \ddot{U} = \frac{\text{Drehwinkel } \varphi \text{ an den Verstellelementen (SW19)}}{\text{Verschiebung der oberen Palette } D} \quad [^\circ/\mu\text{m}]$$

Verstellelemente	Drehwinkel φ am Sechskantadapter (SW 19)	Verschiebung von D (μm)			\ddot{U} Mittelwert
Spindelhubelemente E_1, E_2, E_3	90 °	280	285	305	0,31
Lenker F_X, F_{Y1}, F_{Y2}	90 °	500	900	1010	0,18

Tabelle 3 Justiergestell, gemessene kleinste Verstellbewegungen bei einer Last von 3 Mp

Koordinate	kleinstmöglicher Verstellschritt (μm)					
	Richtung -			Richtung +		
X	Richtung - X	Lenker F_X	25 μ	Richtung + X	Lenker F_X	10 μ
Y	Richtung - Y	Lenker F_{Y2}	1,5 μ	Richtung + Y	Lenker F_{Y2}	1,5 μ
	" - Y	" F_{Y1}	0,8 μ	" + Y	" F_{Y1}	1 μ
Z	Richtung - Z	Sp E_3	3 μ	Richtung + Z	Sp E_3	2 μ

Figur 1 Justierung Prinzip



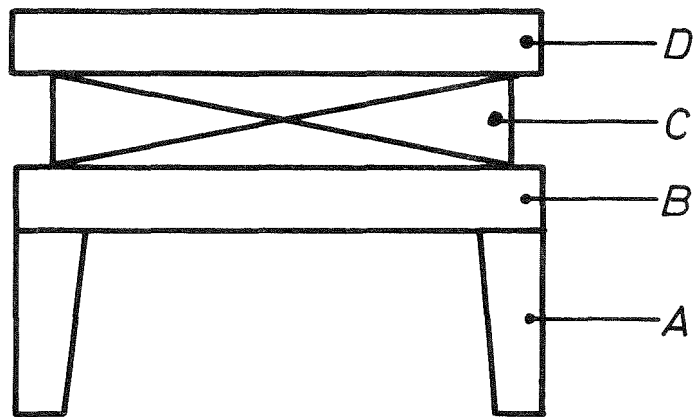
X_s }
 Y_s } Koord. System des Strahls (SOLL)
 Z_s }

X_m }
 Y_m } Koord. System des Magnets (IST)
 Z_m }

ΔX }
 ΔY }
 ΔZ } Justierung
 α }
 β }
 γ }

Figur 2

Schematischer Aufbau des Justiergestells



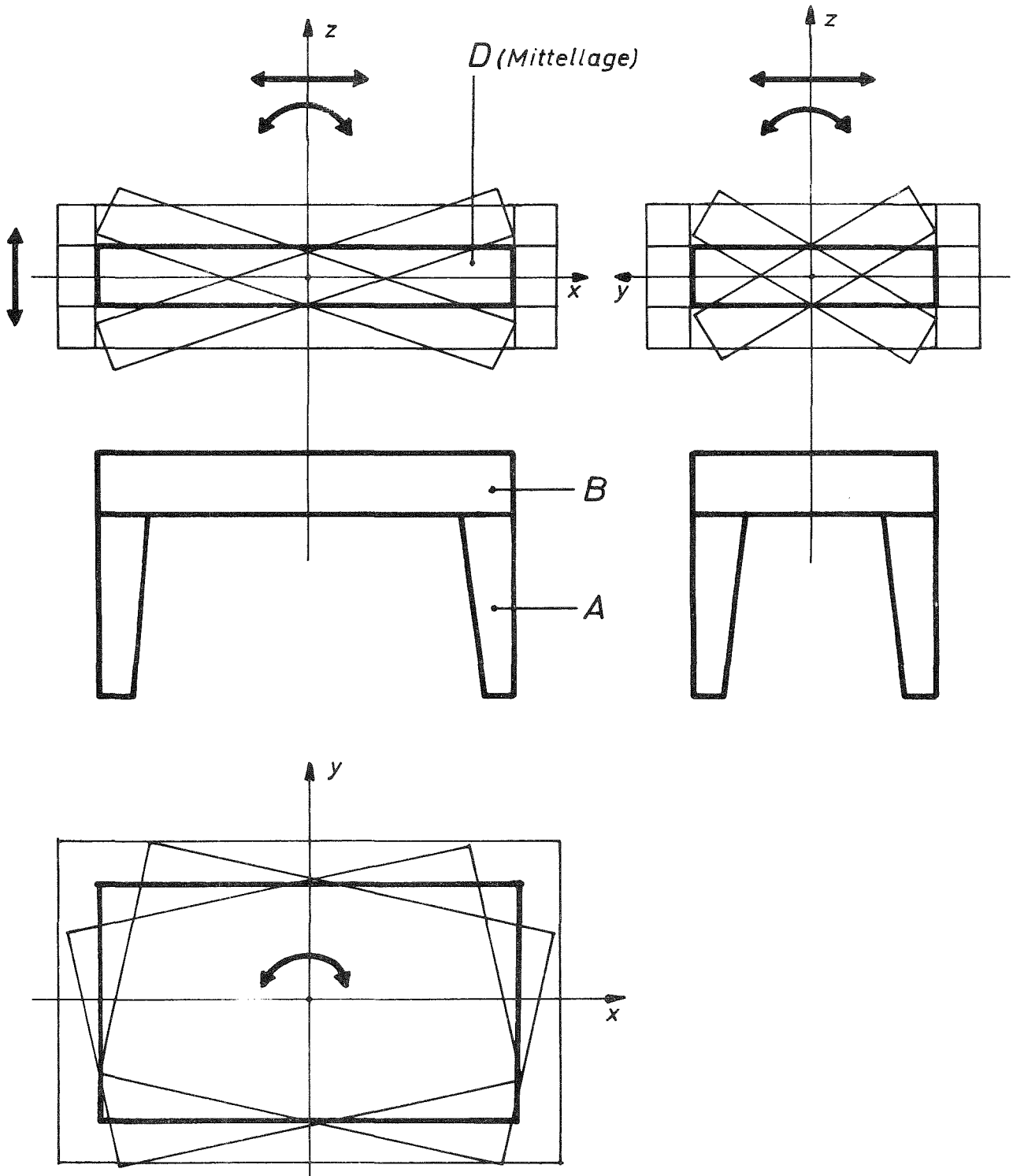
A=Fuß

C=Verstellelemente

B=untere Palette

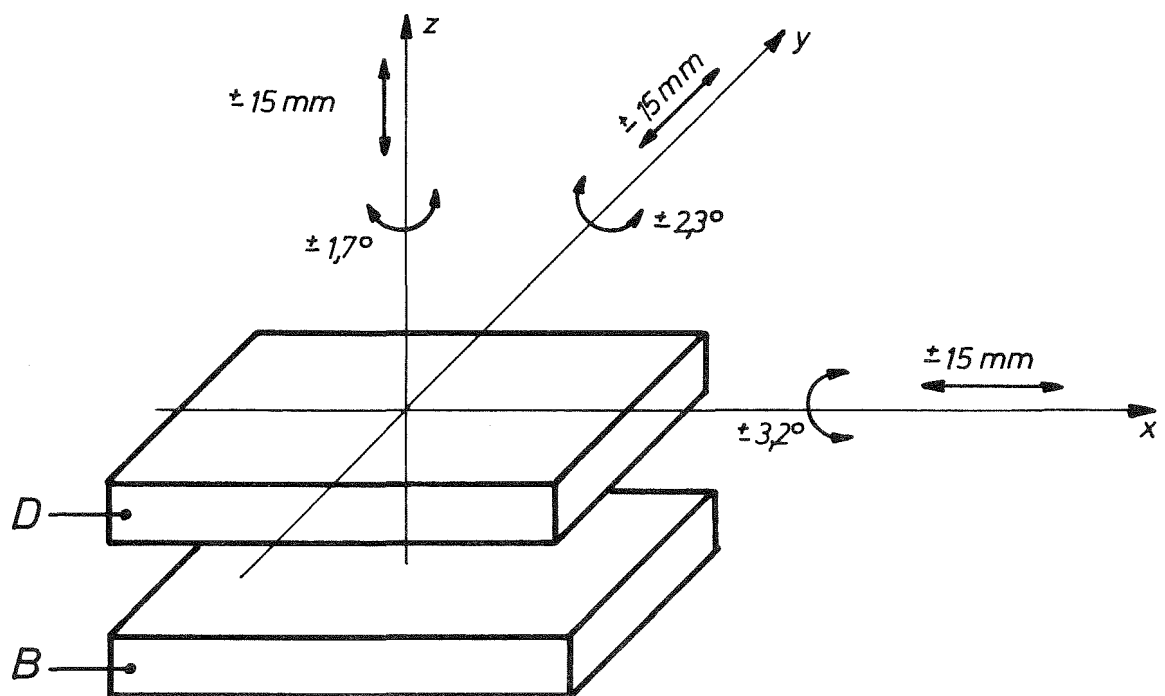
D=obere Palette

Figur 3 *Bewegungen der oberen Palette D des Justiergestells
(Verstellbereiche stark übertrieben)*

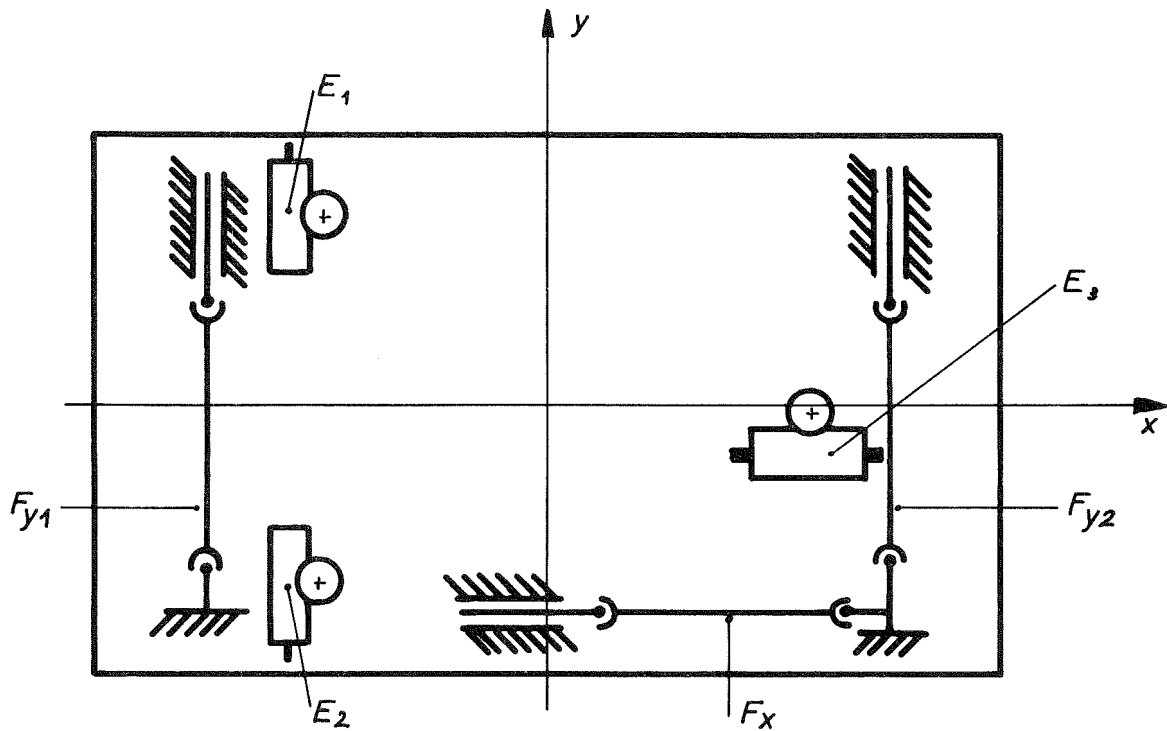




Figur 4

Justiergestell, maximale Verstellbereiche von D



Figur 5 Justiergestell, Anordnung und Gliederung der Verstellelemente C (Draufsicht)

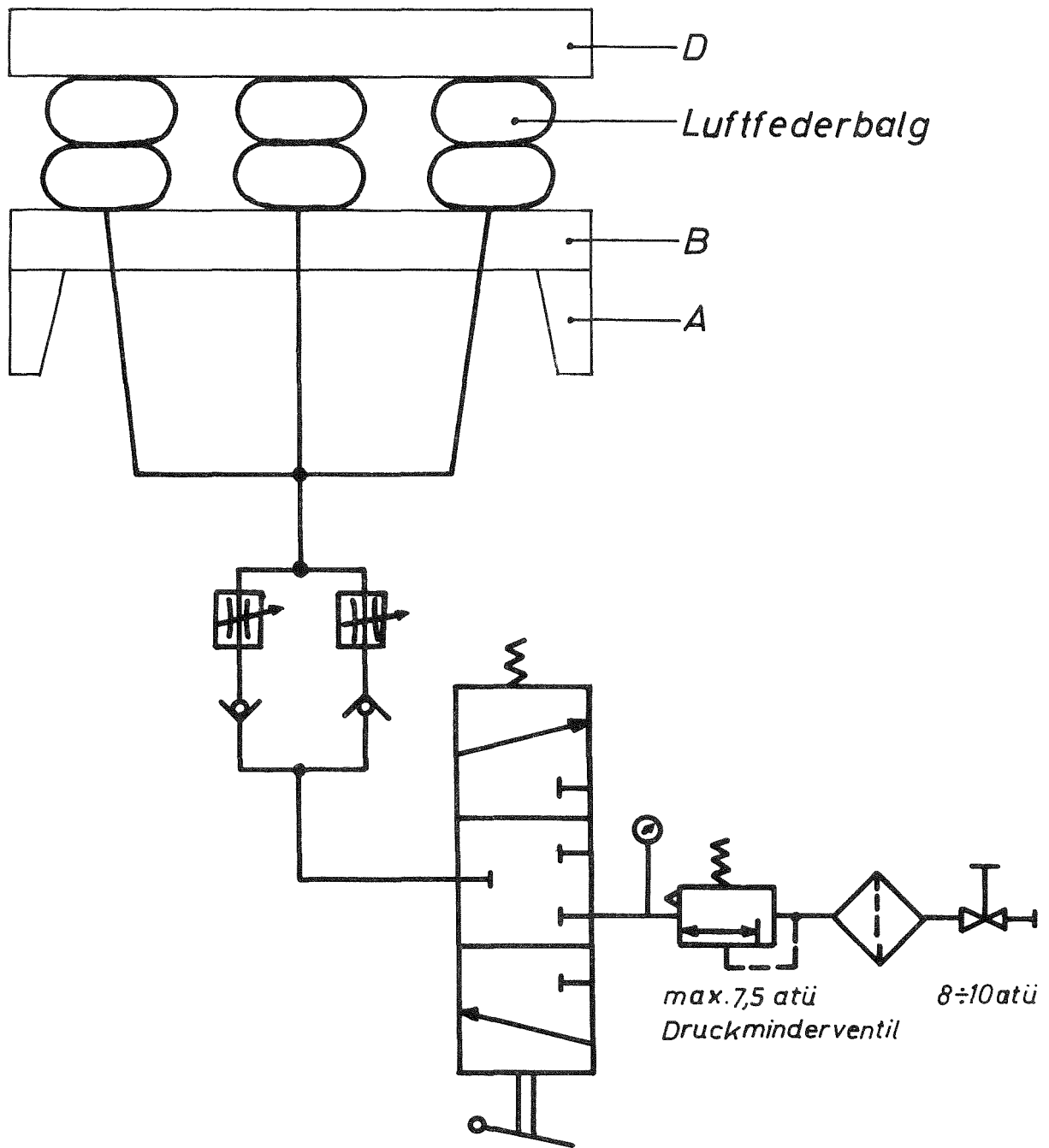


 -schraffiert $\hat{=}$ an B befestigt
 -schraffiert $\hat{=}$ an D befestigt

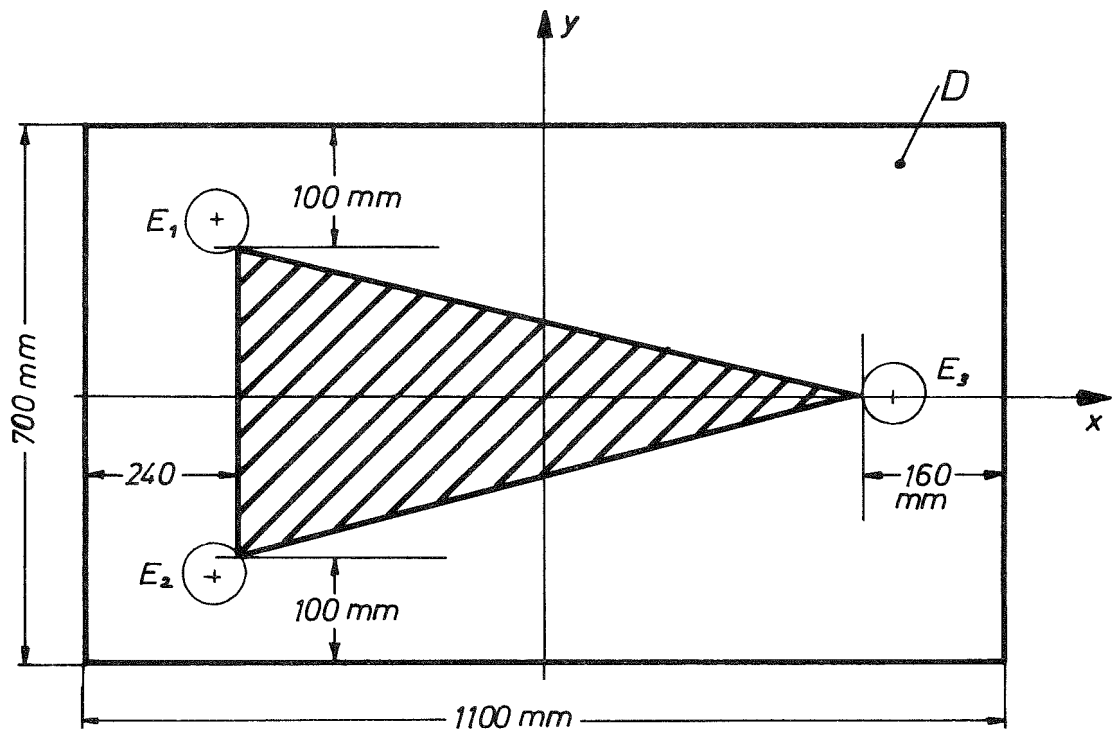
$E_1 =$
 $E_2 =$ } Spindelhubelemente (Vertikalbewegung)
 $E_3 =$

$F_x =$ Längslenker }
 $F_{y1} =$ Querlenker } Horizontalbewegungen
 $F_{y2} =$

Figur 6 Justiergestell, Schaltplan pneumatische Entlastung



Figur 7 Justiergestell Schwerpunktlagen des Prüflings



Der Schwerpunkt des Prüflings muß innerhalb der schraffierten Fläche liegen (Die schraffierte Fläche ist auf dem Gestell grau lackiert)

