


JOACHIM KLEMENT



Werkzeug- maschinen- Nebenbau- gruppen

Automation und Energieeffizienz

expert ›

Werkzeugmaschinen-Nebenbaugruppen

Joachim Klement

Werkzeugmaschinen- Nebenbaugruppen

Automation und Energieeffizienz

expert ›

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

© 2019 · expert verlag GmbH
Dischingerweg 5 · D-72070 Tübingen

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede
Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne
Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für
Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung
und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Alle Informationen in diesem Buch wurden mit großer Sorgfalt erstellt. Fehler
können dennoch nicht völlig ausgeschlossen werden. Weder Verlag noch Autoren
oder Herausgeber übernehmen deshalb eine Gewährleistung für die Korrektheit
des Inhaltes und haften nicht für fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Internet: www.expertverlag.de
eMail: info@verlag.expert

Printed in Germany

ISBN 978-3-8169-3457-8 (Print)
ISBN 978-3-8169-8457-3 (ePDF)

Vorwort

In den nachfolgenden Kapiteln wird die Erfahrung langjähriger Werkzeugmaschinen-Konstruktions- und Entwicklungstätigkeit aufgezeigt, welche sich bei modernen Bearbeitungsmaschinen, Messmaschinen, Automationseinrichtungen und Vorschubbaugruppen ergeben. Es werden praxisbezogene Lösungen angeboten.

Dazu gehört die Beschreibung von hydraulischen, pneumatischen und mechanischen Gewichtsausgleichssystemen, Zustandsüberwachung von Lagern, Spindeln, Dichtungen und Werkzeugen, Dämpfung der Gesamtmachine, der Führungen und Werkzeuge, mechanische und elektrische Durchhangkompensation, mechanische und elektronische Temperaturkompensation, Werkstückvermessung, Werkzeug- und Überwachungssystem, Riementrieb-Bauarten und Maßnahmen zur Schallpegelreduzierung, Energieeffizienz von Werkzeugmaschinen, Elektromotoren-Auswahl, Elektromechanik, Hydraulik, Pneumatik im Vergleich, Fundamentierung von Werkzeugmaschinen mit Aufstell- und Richtelementen, Schleifring-Anwendung für durchdrehende Achsen, Automation von CNC-Werkzeugmaschinen mit Werkzeug- und Werkstückwechseleinrichtungen, Vakuumtechnik für Spann- und Handhabungssysteme.

Die Texte sind durch zahlreiche instruktive Skizzen ergänzt.

Ich danke Herrn Ulrich Sandten für die Hinweise zur Manuskriptgestaltung bis zur Druckreife. Ebenso meinem Enkel Maximilian Freiburger für die Unterstützung bei der Textverarbeitung.

Besonders danke ich meiner Frau Gudrun für die Geduld bei meinen Schreib- und Rechercharbeiten.

Coburg, den 15.März 2019

Dipl. Ing. Joachim Klement

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1	Gewichtsausgleich-Verfahren	1
1.1	Bauarten hydraulischer und pneumatischer Gewichtsausgleichsysteme.....	2
1.2	Hydraulischer Gewichtsausgleich.....	5
1.3	Pneumatischer Gewichtsausgleich.....	7
1.4	Mechanischer Gewichtsausgleich.....	12
1.5	Elektronischer Gewichtsausgleich.....	15
2.	Condition Monitoring	16
2.1	Zielsetzung der Zustandsüberwachung.....	18
2.2	Spindel Überwachungssysteme.....	20
2.3	Das Spindel Condition Monitoring System FAGSpiCoM.....	21
2.4	SKF Insight.....	26
2.5	Tool Scoper (Komet Group).....	27
2.6	Prometec Monitoring Solutions.....	30
2.7	Best SensSystem "BeMoS".....	36
2.8	Sensorsystem "torqXis".....	38
2.9	CMU 1000 Condition Monitoring Unit.....	39
2.10	MSSWP Simmerring Condition Monitoring.....	41
2.11	Werkzeugspannsystem Überwachung.....	43
2.12	Drive Train Condition Monitoring System (DTCM Siemens).....	46
2.13	FAG VarioSense Lager.....	46
3.	Dämpfungssysteme an spanenden Werkzeugmaschinen	48
3.1	Dämpfung von Maschinenstrukturen.....	52
3.2	Dämpfung von Hauptspindeln.....	62
3.3	Dämpfungseigenschaften von Werkzeugen.....	65
3.4	Dämpfungselemente geradliniger Führungen.....	73
3.4.1	Profilschienenführung mit Dämpfelementen.....	75
4.	Durchhangkompensation	79
4.1	Elektronische Kompensation.....	80
4.2	Mechanische Kompensation.....	82
4.3	Durchhangkompensation über vorgespannte Zugstäbe.....	83
4.4	Hydrostatische Durchhangkompensation.....	84
5.	Thermische Steifigkeit von Werkzeugmaschinen	85
5.1	Mechanische Temperaturkompensation.....	86
5.2	Elektronische Temperaturkompensation.....	90
6.	Werkstückvermessung	93
7.	Werkzeugmess und Überwachungssystem	96
7.1	Diagnose und Prozessüberwachungssystem.....	107
7.2	Identifikationssystem Rfid (Radio Frequency Identification).....	108
7.3	Werkzeugsysteme.....	110

8.	Riementriebe	112
8.1	Riementriebbauarten	113
8.2	Fertigungstoleranzen von Zahnriemengetrieben.....	115
8.3	Geräuschenstehung bei Zahnriementrieben	117
8.4	Maßnahmen zur Schallpegelsenkung.....	119
8.5	Anwendungen von Zahnriemen	122
9.	Energieeffizienz von Werkzeugmaschinen.....	127
9.1	Energieverbrauch beim Bearbeiten.....	129
9.2	Motoren Auslegung	130
9.3	Anwendungen aus der Praxis	131
10.	Elektromotoren Auswahl.....	135
10.1	Permanentmagnetmotoren	137
10.2	Servomotoren	139
10.3	Closed Loop Schrittmotoren.....	143
10.4	Vergleich Schrittmotoren zu Servomotoren.....	144
11.	Elektromechanik, Hydraulik, Pneumatik im Vergleich.....	145
11.1	Werkstück bewegen oder halten.....	147
11.2	Werkstücke greifen	147
11.3	Servo Elektronik und Hydraulik Hybridachse	148
11.4	Versuch mit Zylinder Antrieben	149
12.	Fundamentierung von Werkzeugmaschinen.....	152
12.1	Aufstell und Richtelemente	156
12.2	Fundament.....	157
12.3	Passive Schwingungsisolierung.....	159
13.	Schleifring Anwendung	162
13.1	Faseroptische Drehübertrager für den High Speed Datentransfer.....	164
13.2	Innovative Aspekte.....	165
13.3	Anwendungsbeispiele	166
14.	Automation von CNC Werkzeugmaschinen	169
14.1	Werkzeugwechsel.....	169
14.2	Werkstückwechsel	172
15.	Vakuumtechnik	177
15.1	Energiebedarf für die Vakuum Erzeugung	177
15.2	Funktionsprinzipien der Vakuum Erzeuger	178
15.3	Anwendungsbeispiele	181
16.	Optische 3D Werkstückvermessung.....	185
16.1	Anwendungsbeispiele	186
17.	Literaturverzeichnis.....	187
18.	Stichwortverzeichnis	194
19.	Bildnachweis	197

1 Gewichtsausgleich-Verfahren

Bei großen Bearbeitungszentren lohnt es sich, einen Gewichtsausgleich von Spindelkopf oder Werkstücktisch einzusetzen.

Das beschleunigt die Bearbeitung und Dynamik vertikaler Achsen von Werkzeugmaschinen.

Das Gewichtsausgleich-System leistet nicht nur einen Beitrag zur Energieeffizienz in der Fertigung, sondern senkt auch die Gesamtlebenskosten der Maschine.

Außerdem lassen sich dem Gewichtsausgleich-System die Motoren für die Vertikalachsen von Spindelkopf und Werkstücktisch deutlich kleiner dimensionieren.

Das ermöglicht dynamischere Bewegungen der Achsen und spart zusätzlich Strom.

Während bei horizontalen Bewegungen in der automatischen Fertigung davon ausgegangen werden kann, dass im energielosen Zustand wegen der Schwerkraft keine Gefährdungen für Personen bestehen, sind bei vertikalen Verfahrensbewegungen im Rahmen der Gefahrenanalyse auch die Risiken des ungewollten Herabsinkens zu beachten.

Diese Gefährdungen treten besonders zutage bei Linearrobotern, die mit schweren Teilen, zum Beispiel Motoren oder Getrieben, operieren, aber auch bei Gelenkarmrobotern oder innerhalb von Maschinen, zum Beispiel bei vertikalen Achsen von Bearbeitungszentren oder Drehzentren.

Wenn eine prozess-bedingt vorhandene Haltebremse keinen ausreichenden Schutz gegen ungewolltes Herabsinken erreicht, können steuerungstechnische Maßnahmen oder Gewichtsausgleich-Systeme zur Minderung des Gefährdungsrisikos beitragen.

Gewichtsausgleich-Systeme vermeiden folgende Probleme:

- Überdimensionierung von Motor und Antrieb
- Frühzeitige Abnutzung der Führungsschienen und Leitspindeln
- Werkzeugbruch bei Stromausfällen
- Verminderte Leistung, sowie dynamisches Ansprechverhalten der Achsen

1.1 Bauarten hydraulischer und pneumatischer Gewichtsausgleich-Systeme

Ziehendes System

Zur Gewichtskompensation einer vertikalen Achse bei Werkzeugmaschinen und Handlingsystemen hat sich das so genannte „ziehende System“ bestens bewährt. Diese Variante zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass eine Bremse (Absturz-sicherung) an den unteren Zylinderkopf montiert werden kann. Da das Gewicht des stangenseitigen Zylinderkopfes, der Bremse und der Kolbenstange zum Zylinderrohr und dem hinteren Enddeckel wesentlich höher ist, wird bei dieser Konstruktion der Schwerpunkt des gesamten Systems nach unten verlagert.

Prinzipschaltbild

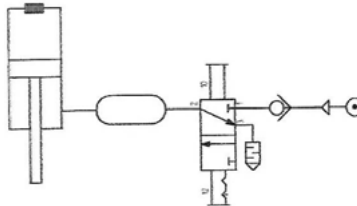


Abb. 1: Ziehendes Gewichtsausgleich-System

Drückendes System

Das so genannte „drückende System“ zur Gewichtskompensation kommt zum Einsatz, wenn eine größtmögliche Kompensationskraft bei kleinstmöglichem Zylinderdurchmesser benötigt wird; dies wird durch eine größere Kolbenfläche erreicht. Um beim drückenden System die Knicksicherheit der Kolbenstange zu erhöhen, kann eine verstärkte Kolbenstange verwendet werden. Der Gesamtschwerpunkt verlagert sich bei dieser Einbauanordnung weiter nach oben (insbesondere bei Verwendung einer Kolbenstangenbremse), wodurch eine höhere Belastung der Zylinder-Anbauteile bewirkt werden könnte.

Prinzipschaltbild

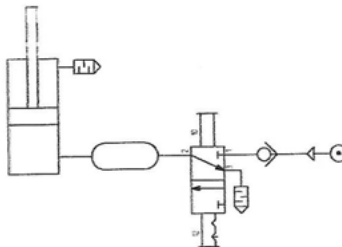


Abb. 2: Drückendes Gewichtsausgleich-System

Reibungsarme Zylinder

Der Zylinder spielt eine wesentliche Rolle bei der Bearbeitungsgenauigkeit, weil er, ausgestattet mit reibungsarmen Dichtungen, während der langsamen Bearbeitungsbewegungen keine Schwingungen erzeugt und zudem eine Nullleckage aufweist, um den Ölverbrauch des Speichers zu minimieren.

Geringe Geschwindigkeiten und Leckage sind oft der Grund für unerwünschte Schwingungen während des Betriebs, bedingt durch das Slip-Stick-Phänomen.

Gewöhnlich ist der Haftreibungskoeffizient höher als der kinetische Reibungskoeffizient.

Sobald die angewandte äußere Kraft die Haftreibung überwunden hat und die dynamische Bewegung beginnt, kommt es zu ruckartigen Erscheinungen und unerwünschten Schwingungen nur aufgrund des geringeren Werts der kinetischen Reibung.

Um die oben genannten Probleme zu vermeiden, wurden spezielle Abdichtungssysteme entwickelt, welche aufgrund des speziellen Designs und Gummigemisches einen annähernd gleichen Haft- und Gleitreibungskoeffizienten aufweisen.

Folglich werden die Schwingungen, die am Anfang der Zylinderbewegung erzeugt werden reduziert und schnell gedämpft.

Einflüsse auf den Dicht- und Gleitprozeß von Hydraulikdichtungen

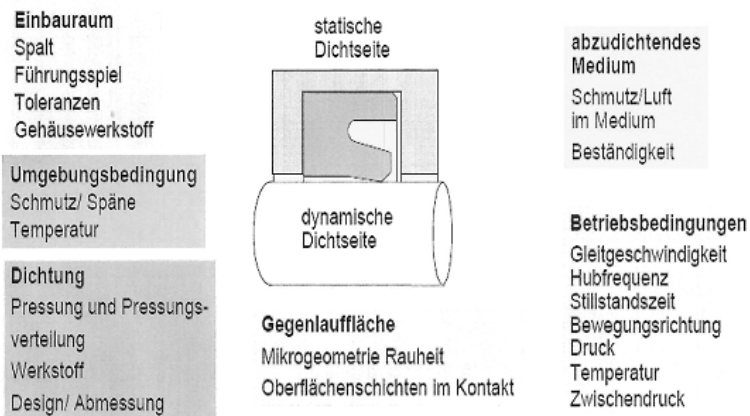


Abb. 3: Einflüsse auf Hydraulikdichtungen

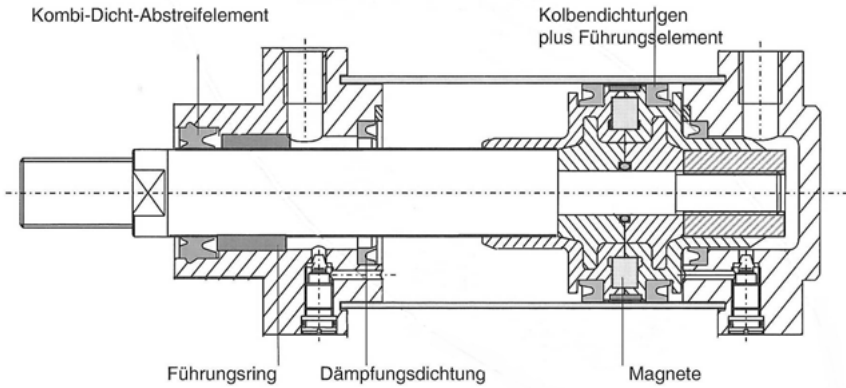


Abb. 4: Typisch aufgebauter Pneumatikzylinder

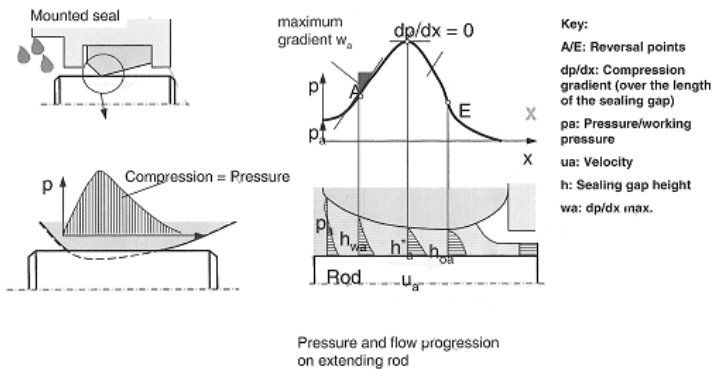


Abb. 5: Schmierfilmdicke bei Stangendichtungen

1.2 Hydraulischer Gewichtsausgleich

Ein hydraulischer Gewichtsausgleich ist ein autarkes System – einmal mit Druck beaufschlagt, benötigt es keine weitere Energiezufuhr.

Ein mit einem Druckspeicher verbundener Hydraulikzylinder nimmt das Gewicht des Spindelkopfs oder Werkstücktischs auf.

Der Druck in dem System wird so eingestellt dass die Kraft des Zylinders das Gewicht ausgleicht.

Für die vertikale Bewegung des Spindelkopfs ist nur noch die Reibkraft und die Massenträgheit zu überwinden – es ist eine deutlich geringere Antriebsleistung notwendig.

Das Aggregat für die Druckölversorgung ist nur für die Systembefüllung bei Inbetriebnahme und für den Servicefall erforderlich. Beides ist nicht zeitkritisch, daher muss die Förderleistung des Aggregats nicht groß sein.

Geeignet sind beispielsweise Kompakt-Hydraulikaggregate, da sie die Kriterien hoher Betriebsdruck, kleine Förderleistung, kompakte Bauweise und großes Behältervolumen für das Befüllen oder Entleeren des Systems erfüllen.

Notwendig ist ein Druckregelventil für die Druckversorgung, damit bei der Befüllung des Systems auch der gewünschte Betriebsdruck eingestellt wird. Während des Betriebs überwacht ein Druckschalter den Systemdruck, der das Unter- oder Überschreiten des festgelegten Druckbereichs signalisiert. Der Maschinenbediener kann dann entsprechende Maßnahmen ergreifen, zum Beispiel das System auf Leckagen untersuchen oder die Vorspannung des Druckspeichers kontrollieren.

Ein Druckbegrenzungsventil sichert den Druckspeicher und über das Ablassventil wird der Speicher im Servicefall entleert.

Der kompakte Ventilverband enthält diese Standardkomponenten. Verrohrung und Montage oder eine separate Blockkonstruktion entfallen.

Lösungsansätze für ein Gewichtsausgleich-Kompakt-Hydraulikaggregat, eine druckregelte, Verstellpumpe und ein Druckbegrenzungsventil:

- 3-Wege-Druckbegrenzungsventil
- Stetigwegventil im Lastdruck-Regelkreis
- Verstellpumpe in Mooringregelung
- Verstellpumpe im elektronischen Druckregelkreis (DFE-System)
- Druckspeicher

Die detaillierte Auslegung an die Anforderungen in der Maschine kann mithilfe der Auslegungssoftware (beispielsweise Hydac) durchgeführt werden.

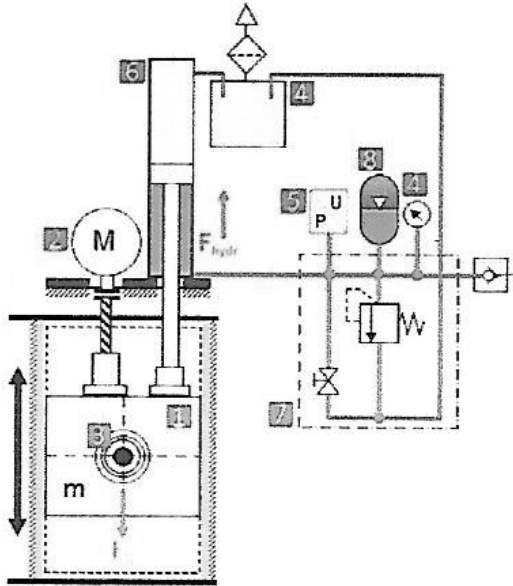


Abb. 6: Prinzipschaltbild für hydraulischen Gewichtsausgleich



Abb. 7: Hydraulischer Gewichtsausgleich (Rexroth)

1.3 Pneumatischer Gewichtsausgleich

In Verbindung mit hochdynamischen vertikalen Linearmotor-Achsen sind pneumatische Gewichtsausgleich-Zylinder eine Notwendigkeit, um die heute geforderten Bearbeitungszeiten zu realisieren, beziehungsweise deutlich zu verkürzen.

Bauarten:

Standard-Ausführung (Aluminium) für geringe Belastung

- Geringes Gewicht
- Betriebsdruck bis 10 bar
- Maximale Verfahrgeschwindigkeit:
 - Bei Verwendung von zwei Druckanschlüssen 1,25 m/s
 - Bei Verwendung von einem Druckanschluss 0,75 m/s
 - Maximale Beschleunigung 10 m/s²
 - Lebensdauer
 - Leichtlaufprinzip

Hidyn-Ausführung (Stahl)

- Betriebsdruck bis 16 bar
- Maximale Verfahrgeschwindigkeit 4 m/s
- Maximale Beschleunigung 30 m/s²
- Bei oszillierenden Bewegungen Arbeitsfrequenz bis 15 Hz
- Integrierte Lebensdauerschmierung
- Reibungsoptimiert

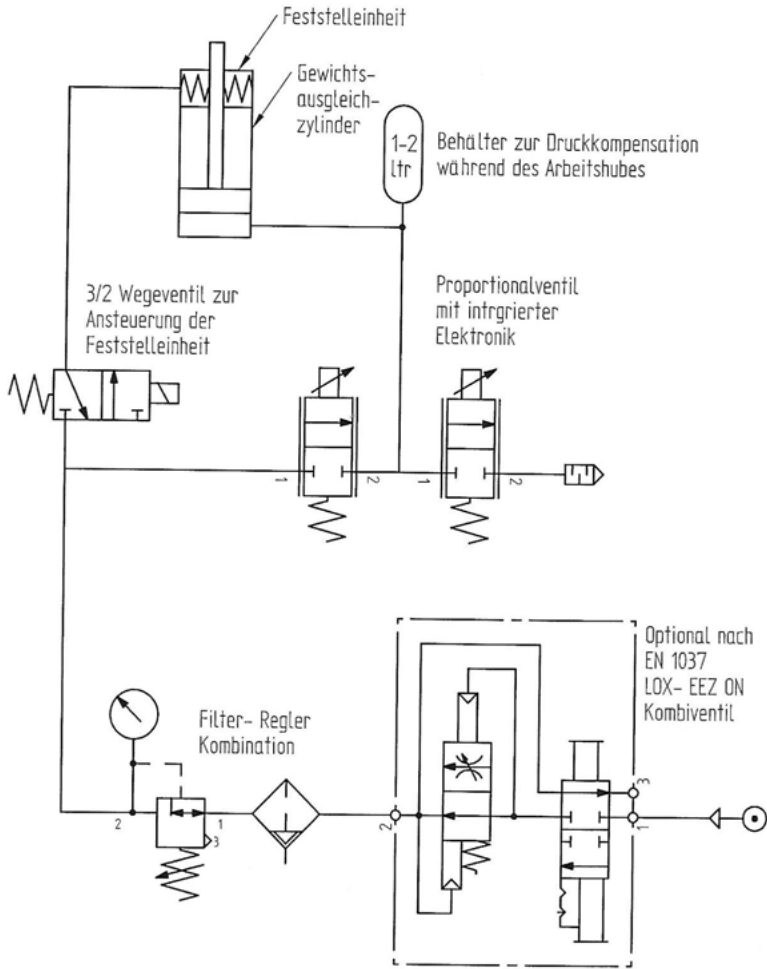


Abb. 8: Steuerschema für Gewichtsausgleichszylinder

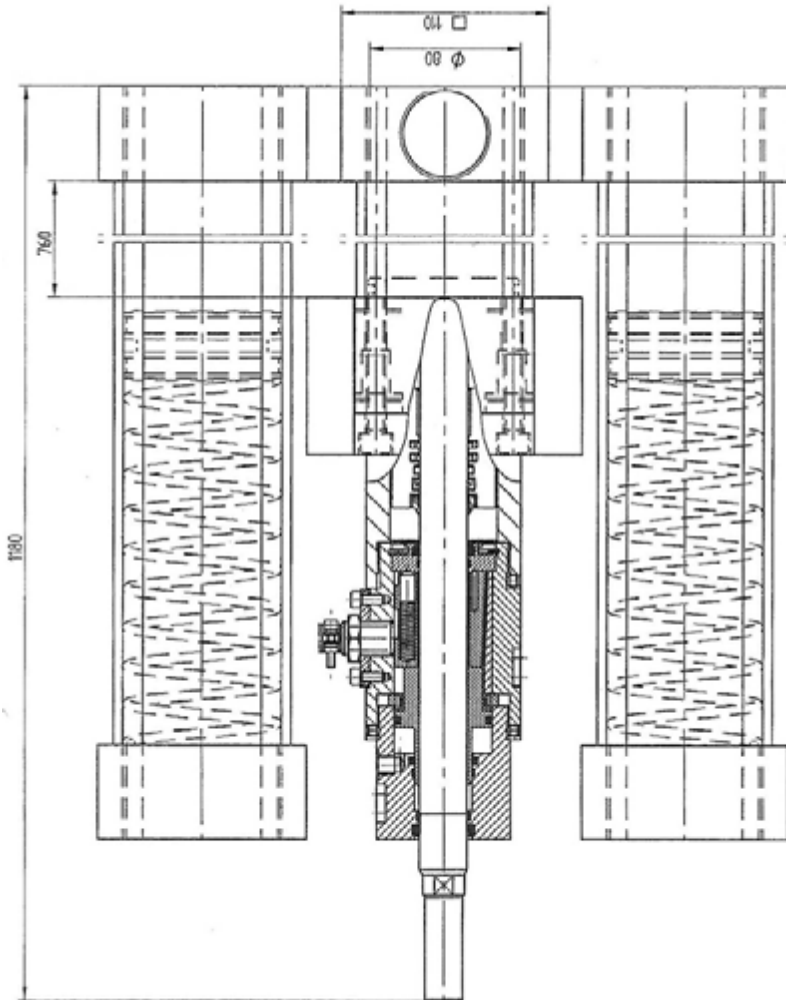


Abb. 9: Gewichtsausgleichszylindersystem mit Federspeicher (Ross Europa)

Druckübersetzer

Eine große Fläche wird mit geringem Druck (Luftkolben 3) beaufschlagt und wirkt auf eine kleine Fläche mit großem Druck (HD-Kolben 2). Die kontinuierliche Förderung wird durch ein intern angesteuertes 4/2 Wegeventil (Steuerschieber 4) erreicht. Der Steuerschieber leitet die Antriebsdruckluft abwechselnd auf die Ober- und Unterseite des Luftkolbens.

Die Ansteuerung des Steuerschiebers erfolgt durch zwei 2/2 Wegeventile (Pilotventil 7) die mechanisch von dem Luftkolben in seinen Endlagen betätigt werden.

Die Pilotventile be- beziehungsweise entlüften den Betätigungsraum des Steuerschiebers.

Der HD-Kolben erzeugt mithilfe von Rückschlagventilen (Saugventil, Druckventil 1) den Volumenstrom. Der Ausgangsdruck ergibt sich durch den eingestellten Antriebsdruck.

Nach den Formeln, die bei den technischen Daten der Kompressoren angegeben sind, lässt sich der statische Enddruck berechnen.

Bei diesem Enddruck herrscht ein Kräftegleichgewicht auf der Antriebs- und Hochdruckseite. Der Kompressor bleibt, wenn er diesen Enddruck erreicht hat, stehen und verbraucht keine Luft mehr.

Ein Druckabfall auf der Hochdruckseite oder eine Druckerhöhung auf der Antriebsseite führen dazu, dass der Kompressor selbsttätig wieder anläuft und Gas verdichtet bis sich erneut ein Kräftegleichgewicht einstellt.

Zusätzlich können Kompressoren auch durch Druckschalter, Kontaktmanometer oder externe Steuerungen ein- oder ausgeschaltet werden.

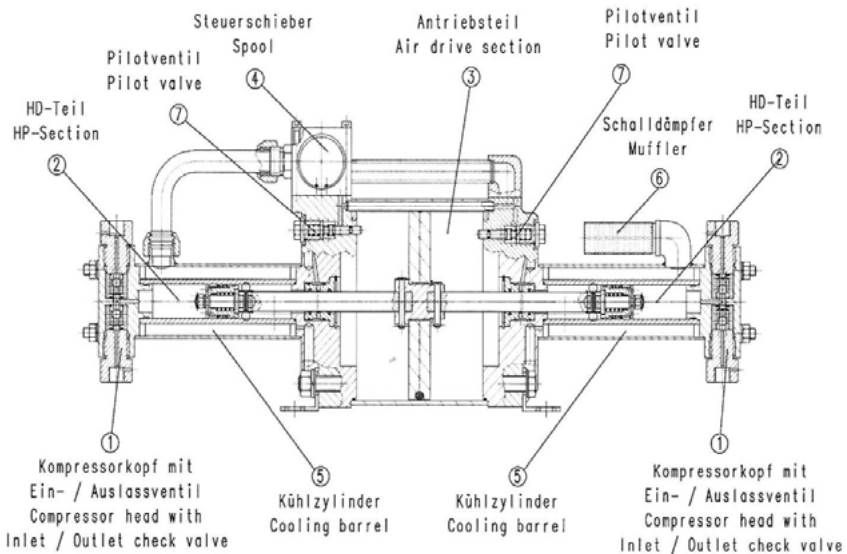


Abb. 10: Prinzipschaltbild: Druckübersetzer (Maximator)

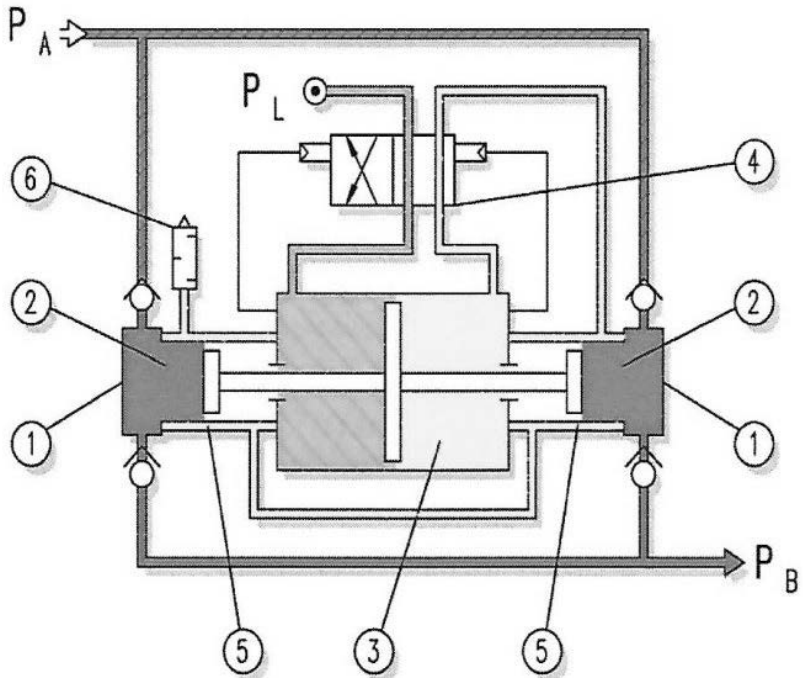


Abb. 11: Kompressor als Druckübersetzer (Maximator)

1.4 Mechanischer Gewichtsausgleich

Gegengewicht

Der Gewichtsausgleich erfolgt über Gegengewichte. Diese Gewichtsausgleich Variante findet noch immer wegen ihrer Funktions-Einfachheit und Zuverlässigkeit Anwendung bei Sondermaschinen, Transferstraßen und bei Universalwerkzeugmaschinen mit unbeweglichen Senkrechttändern.

Die Masse des Gegengewichtes muss annähernd gleich sein wie die Summe aller auf der Führung des Senkrechtschlittens beweglichen Massen.

Bei kleineren Massen werden mit dieser Lösung geringere Herstellungskosten erreicht als bei der Verwendung von hydraulischen oder pneumatischen Gewichtsausgleich Systemen.

Bei Gewichtsausgleich mit Hydraulik- oder Pneumatikzylinder werden wesentlich geringere Massen bewegt als mit Gegengewicht Ausgleich, deshalb haben diese Systeme durch höhere Eigenfrequenz ein besseres dynamisches Verhalten.

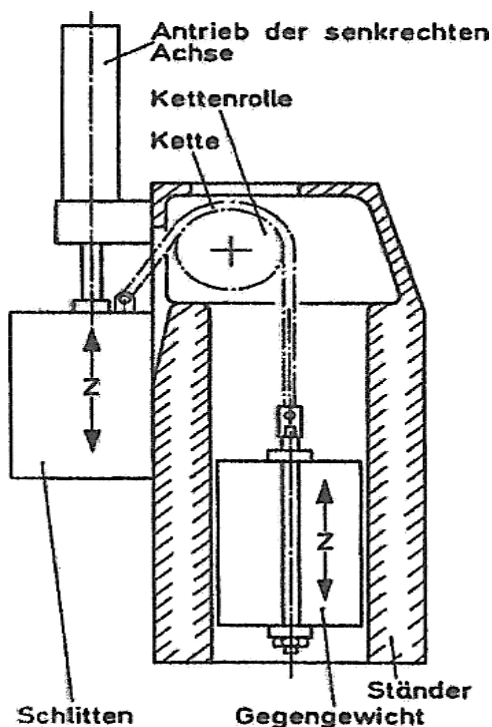


Abb. 12: Schema Mechanischer Gewichtsausgleich

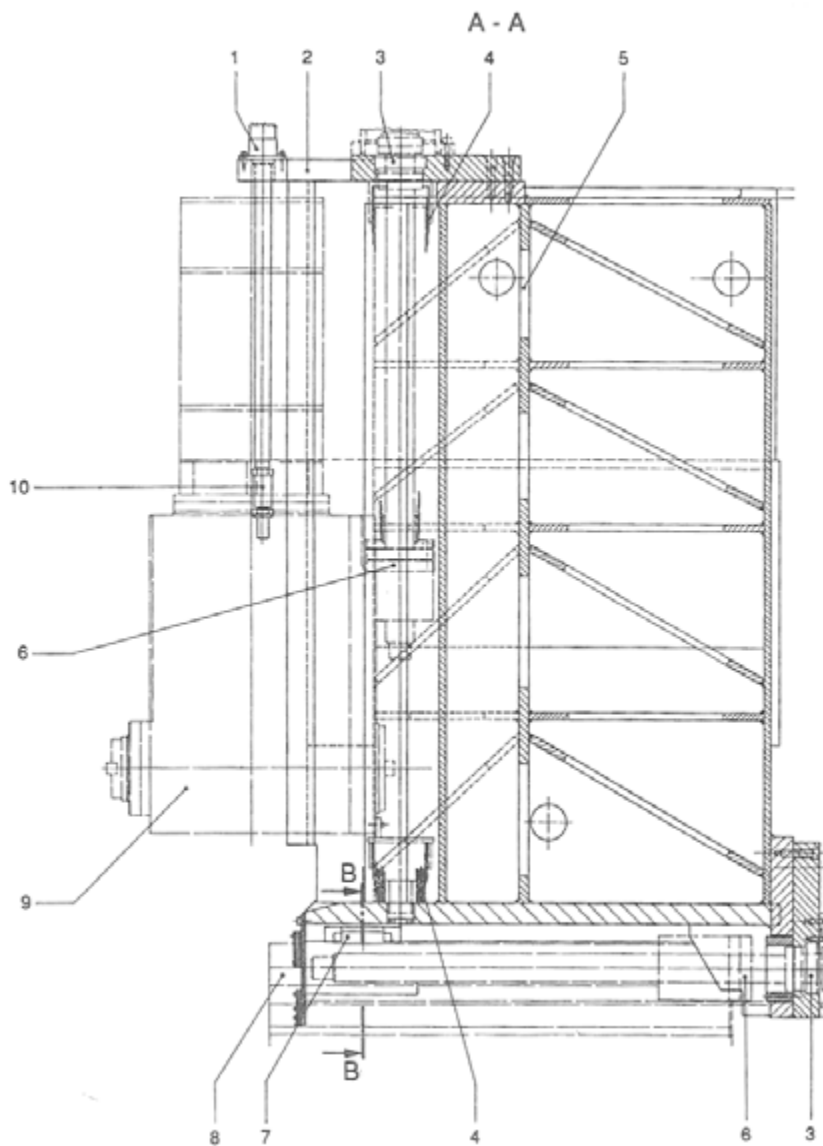


Abb. 13: Mechanischer Gewichtsausgleich Einbauskitze