

## 1. Aufgabe Leit- und zugspindeldrehmaschine TUD 50

### Aufgabe 1.1

Stufung der 21 Drehzahlen in einer geometrischen Reihe

**gegeben:**  
 $d_{\min} = 6\text{mm}$   
 $d_{\max} = 500\text{ mm}$   
 $n_1 = 18\text{ U/min}$   
 $n_{21} = 1800\text{ U/min}$

### mögliche Drehzahlen

#### Formeln

**Stufensprung**  $q = \sqrt[z]{\frac{n_z}{n_1}}$  mit:  $z = 21$ ;  $n_z = 1800\text{ min}^{-1}$

$$\underline{\underline{q = 1.259}}$$

**Berechnung der Drehzahlen**  $n_i = n_1 * q^{i-1}$

Stufensprung  $q = 1,25$  entspricht nach DIN 804 der Lastdrehzahlenreihe R20/2, daraus resultieren folgende mögliche gerundete Lastdrehzahlen in  $\text{min}^{-1}$  für Werkzeugmaschinen mit geometrischer Stufung:

11,2 > 14 > 18 > 22,4 > 28 > 35,5 > 45 > 56 > 71 > 90 > 112 > 140 > 180 > 224 > 280 > 255 > 450 > 560 > 710 > 900 > 1120 > 1400 > 1800 > 2240 > 2800 > 4500 > 5600 > 7100 > 9000 > 11200

Die Auswahl der Drehzahlstufen kann bei jeder beliebigen Lastdrehzahl beginnen. Die erste gegebene Drehzahl  $n_1 = 18\text{ min}^{-1}$ , die letzte gegebene Lastdrehzahl  $n_{21} = 1800\text{ min}^{-1}$ , daraus resultieren folgende mögliche Lastdrehzahlen:

18 > 22,4 > 28 > 35,5 > 45 > 56 > 71 > 90 > 112 > 140 > 180 > 224 > 280 > 255 > 450 > 560 > 710 > 900 > 1120 > 1400 > 1800

## tatsächliche Schnittgeschwindigkeiten

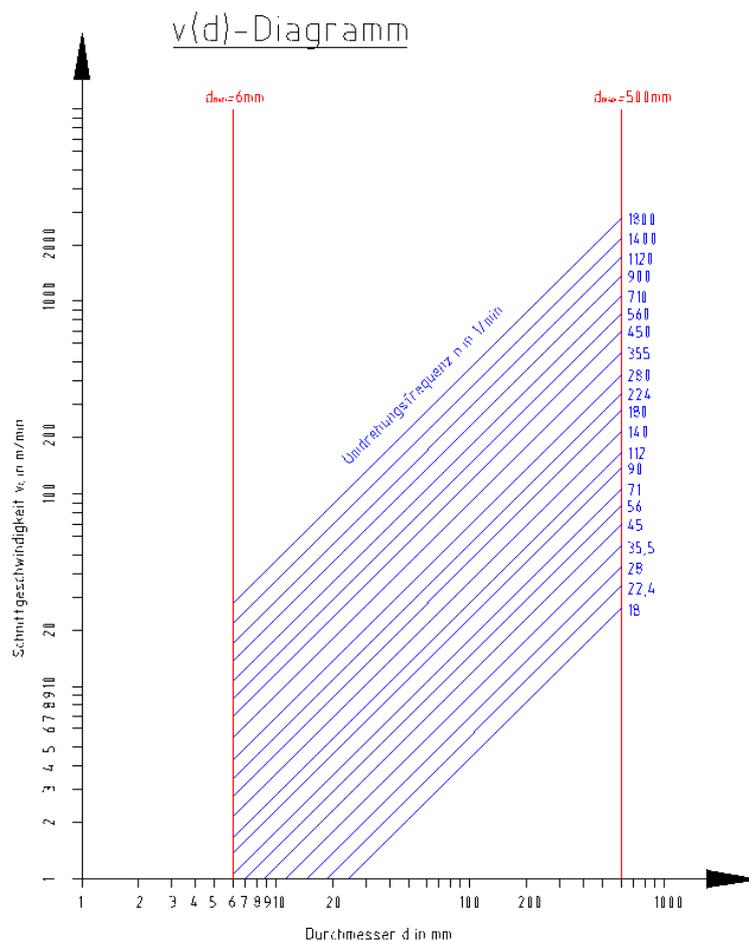
### Formeln

Schnittgeschwindigkeit  $v_c = \frac{n \cdot \pi \cdot d}{1000}$

### Tabelle Schnittgeschwindigkeiten

Werkstoff	Gewindeschneiden		Schruppen		Schlichten	
	V <sub>cmin</sub>	V <sub>cmax</sub>	V <sub>cmin</sub>	V <sub>cmax</sub>	V <sub>cmin</sub>	V <sub>cmax</sub>
<b>Stahl</b>	3,39	10,55	5,28	111,47	10,55	219,8
<b>Grauguss</b>	5,28	8,48	6,69	87,92	16,96	111,47
<b>Bronze, Messing</b>	8,48	10,55	26,38	175,84	43,96	282,6
<b>Leichtmetall</b>	16,96	28,26	70,65	879,2	111,47	1114,7

### v-d Diagramm



## **Aufgabe 1.2**

Die Bezeichnung M80x1 für das Gewinde bedeutet, dass pro Umdrehung 1mm Vorschub realisiert wird.

Der Vorschub der Maschine beträgt, bedingt durch die Leitspindelsteigung mit  $P = 6$  mm, 6mm.

Mit der Gesamtübersetzung aller Schaltgetriebe des Vorschubantriebes von  $u_0 = 1/3$  kann nur ein Vorschub von 2mm je Umdrehung realisiert werden.

Um den Vorschub von 1mm pro Umdrehung realisieren zu können, muss am Wechselradgetriebe das Übersetzungsverhältnis von 1:2 eingestellt werden.

## 2. Aufgabe CNC-Drehmaschine CTX 400



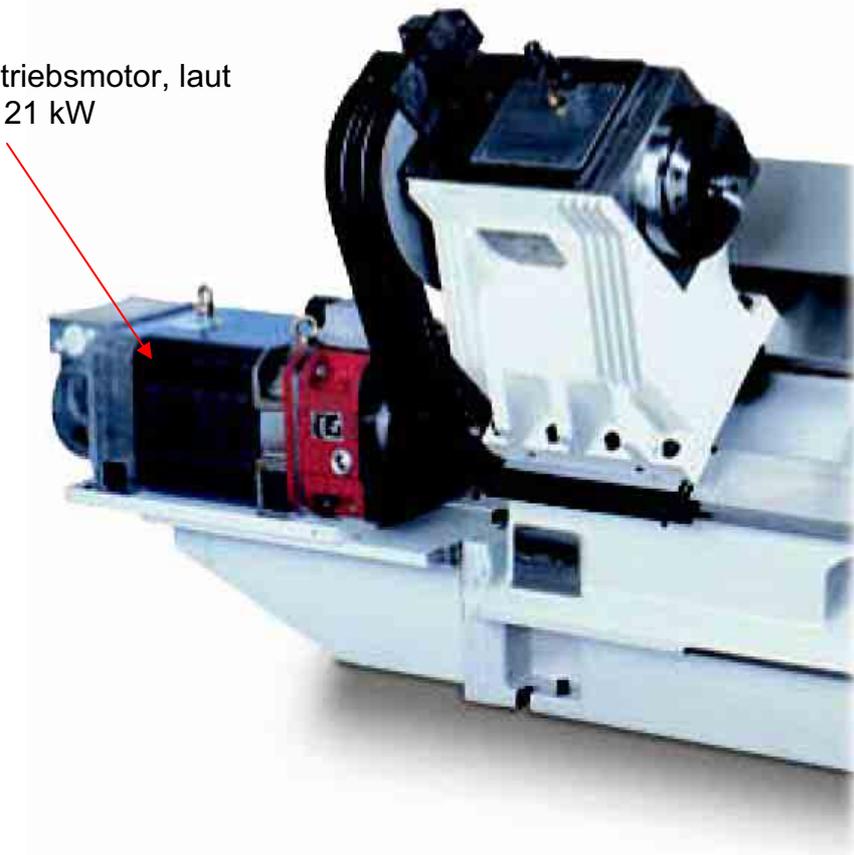
Bei modernen CNC-Drehmaschinen (Computer Numeric Control) wird heute jeder Bewegungseinheit ein eigener Antrieb zur Seite gestellt. Im Gegensatz dazu existierten früher Maschinen mit nur einem Motor und alle angetriebenen Teile wurden über gestufte Getriebe versorgt.

Mit Entwicklung der CNC-Technik wurde es unabdingbar, jede Bewegung einzeln steuern zu können. Würde man komplizierte Bewegungen über nur einen Hauptantrieb realisieren wollen, wären riesige automatische Getriebe mit hohem Kompliziertheitsgrad notwendig, welche außerdem noch wesentlich teurer wären als mehrere autonome Antriebe für die verschiedenen Achsen.

Bei der CTX 400 CNC-Drehmaschine von Gildemeister handelt es sich um eine Schrägbett-drehmaschine. Auf der linken Seite ist der Spindelkasten auf das Bett der Maschine aufgeschraubt. Der Spindelkasten und das Maschinenbett sind sehr massiv konstruiert, um die bei der Bearbeitung auftretenden Kräfte aufzunehmen. An der Maschinenaußenseite ist der Motor für den Hauptantrieb angebracht. Um Kräfte und Momente an die Hauptspindel zu übertragen, sind diese mit einem Riementrieb verbunden. Ein Getriebe besitzt diese Maschine nicht, da der Motor stufenlos in den Drehzahlen einzustellen ist. Bei einer neueren Ausführung dieser Maschine ist der Motor um die Hauptspindel herumgebaut. Der Vorschub in z-Richtung ist so realisiert, dass auf dem Schrägbett ein Schlitten montiert ist, welcher auf einer Gleitführung geführt wird und durch eine in der Mitte befindliche Antriebsspindel angetrieben wird. Diese Führung muss so montiert sein, dass sie genau parallel zur z-Achse verläuft und die bei der Bearbeitung auftretenden Schnittkräfte ohne qualitätsbeeinflussenden Deformationen standhält. Auf diesem Schlitten befindet sich um 90° gedreht noch ein Schlitten, der zum Vorschub in y-Richtung dient. Dieser Schlitten ist auf Profilschienen gelagert, zwischen denen wiederum eine Antriebsspindel eingebaut ist. Die Anforderungen an diesen Vorschub sind analog zu dem in z-Richtung. Am Ende der beiden Antriebsspindel befindet sich je ein Motor und je ein Messsystem. Das Messsystem dient der genauen Positionierung der Werkzeuge am Werkstück.

## Aufgaben und Anforderungen an den Hauptantrieb:

Spindeltriebsmotor, laut  
Hersteller 21 kW



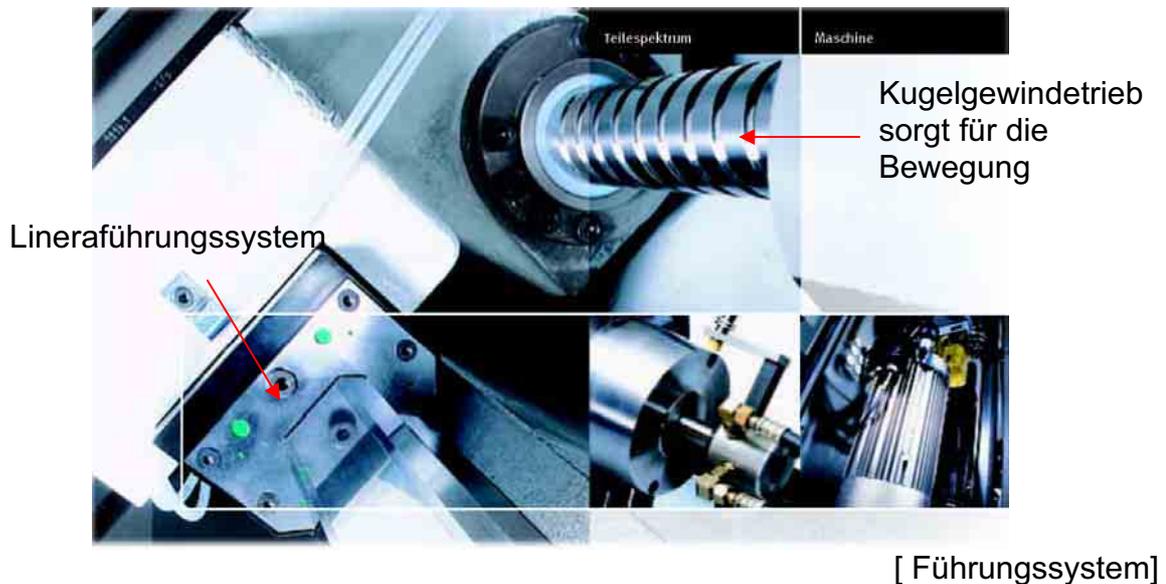
Der Hauptantrieb soll das Drehmoment für die Hauptspindel bereitstellen. Daraus resultieren eine Vielzahl an Forderungen.

Der Hauptantrieb sollte mit einer größtmöglichen Drehzahl betrieben werden, um so eine hohe Schnittgeschwindigkeit zu realisieren. Der Drehzahlbereich sollte so groß wie möglich und stufenlos regelbar sein, um eine maximale Flexibilität zu erreichen. Ein weiterer sehr wichtiger Punkt ist die zu erreichende Genauigkeit, was sich auch in der Drehzahlsteuerung und der Laufgenauigkeit widerspiegelt.

Weiterhin spielen die Kosten eine wichtige Rolle und zwar nicht nur während der Herstellung, sondern auch bei der Wartung und Pflege sowie den Energiekosten.

Bei der CTX 400 werden alle o.g. Eigenschaften durch ein gut durchdachtes Netz an Sensortechnik realisiert. Der Motor ist über einen Riemen direkt (ohne Getriebe) mit der Hauptspindel verbunden. Durch Kombination von modernen Antriebselementen und moderner Messtechnik werden die geforderten Eigenschaften umgesetzt. Der Riementrieb kann zum Ausgleich von Anlaufstößen des Motors genutzt werden.

## Aufgaben und Anforderungen an den Vorschubantrieb:

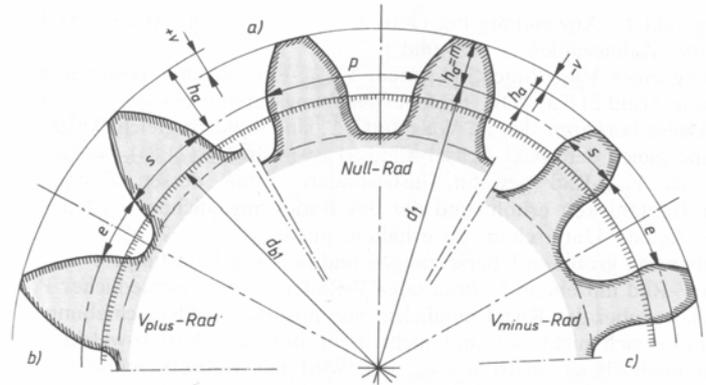
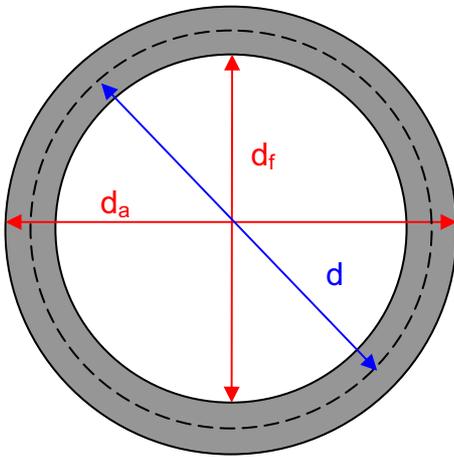


Der Vorschubantrieb bei spanenden CNC-Maschinen ist nicht wie bei konventionellen Maschinen kinematisch an den Hauptantrieb gekoppelt. Der Motor des Vorschubantriebes muss stark genug sein um die Vorschubkraft aufbringen zu können. Wichtig für die exakte Positionierung und somit die Genauigkeit des Werkstücks ist nicht nur der Motor des Vorschubantriebes sondern auch die Steifigkeit und die Genauigkeit der Führungselemente wie z.B. der Kugelgewindetriebe oder Schlittenführung. Aufgabe des Kugelgewindetriebes ist die Erzeugung einer Linearbewegung durch Wandlung der Rotationsbewegung. Weiterhin müssen alle Bewegungsachsen senkrecht zueinander stehen. An den Vorschubspindeln ist in der Regel am Ende ein Messsystem angebracht. Dies ist notwendig, um die Werkzeugposition ermitteln zu könne. Die Vorschubantriebe, besonders gilt dies für die Führungsschienen und die Spindel, müssen spielfrei sein.



[WZ-Wechsler]

### 3. Aufgabe Kastenständer-Bohrmaschine BK 40



$$d_a = \text{Kopfkreisdurchmesser} = m * (z+2)$$

$$d = \text{Teilkreisdurchmesser} = m * z$$

$$d_f = \text{Fußkreisdurchmesser} = d - 2 * (m + c) \quad \rightarrow c \approx 0,167 m$$

$$p = \text{Teilung} = m * \pi$$

(Quelle Roloff/Matek)

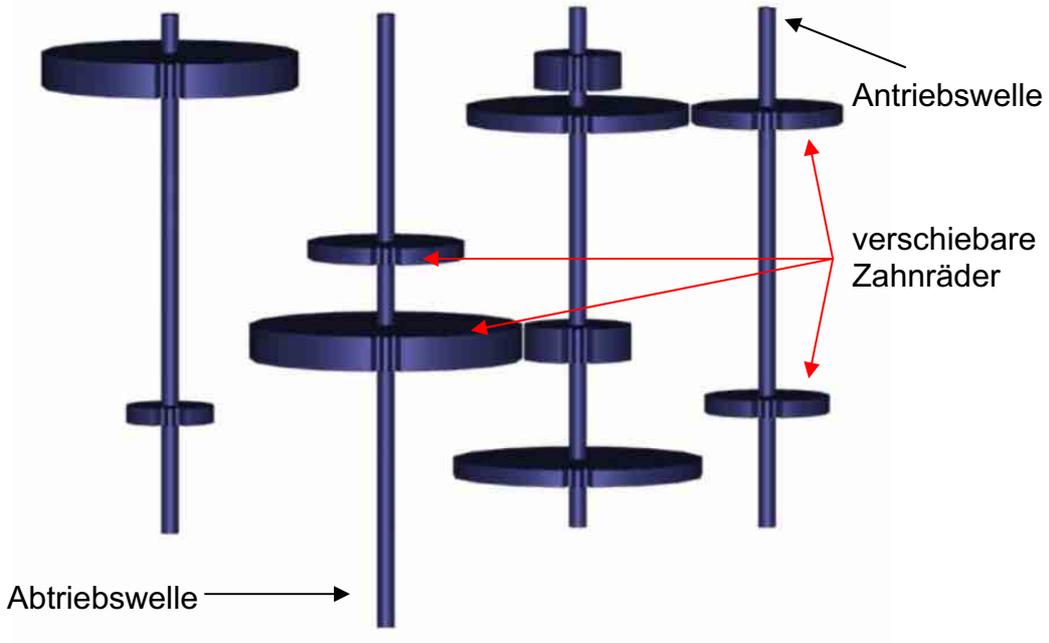
„Da beim Null-Radpaar die Umfangsgeschwindigkeit beider Räder am Teilkreis gleich ist, gilt  $v = d_1 * \pi * n_1 = d_2 * \pi * n_2$ .

Daraus folgt.... das Übersetzungsverhältnis

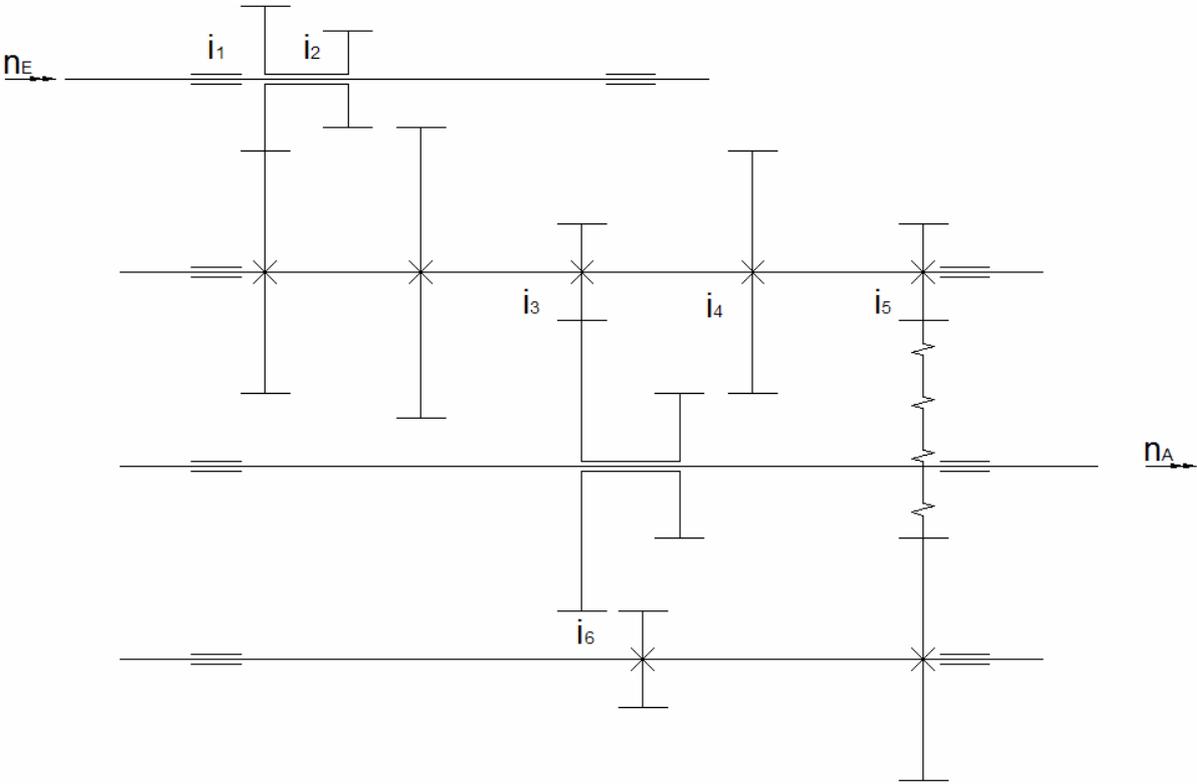
$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1}$$

Index 2 = großes Zahnrad  
d = Teilkreisdurchmesser

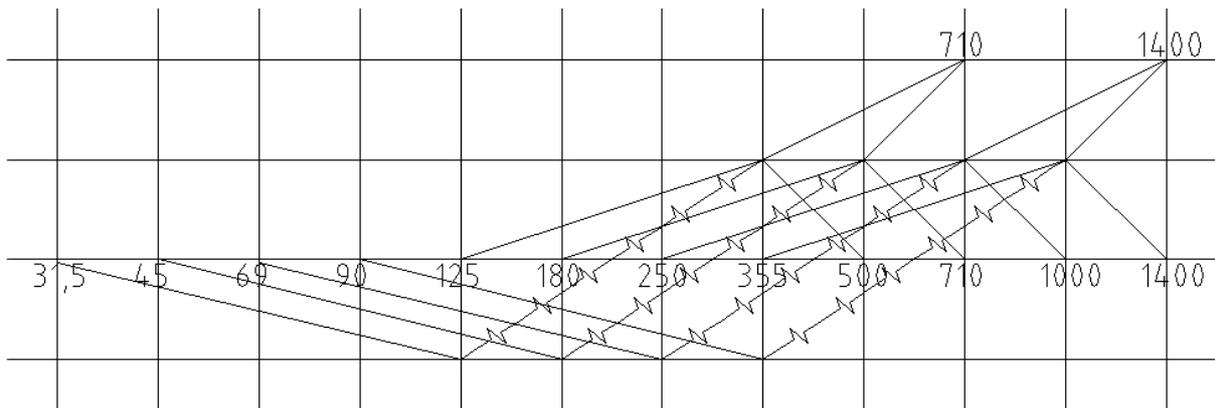
**Getriebeplan schematisch**



**Getriebeplan**



## Drehzahlplan



Die Berechnung der I – Werte:

$$i_1 = \frac{41}{27} = 1,518 \approx 1,6 \Rightarrow \varphi^2$$

$$i_2 = \frac{46}{22} = 2,091 \approx 2 \Rightarrow \varphi^3$$

$$i_3 = \frac{50}{19} = 2,631 \approx 2,3 \Rightarrow \varphi^4$$

$$i_4 = \frac{28}{41} = 0,683 \approx \frac{1}{\varphi^2}$$

$$i_5 = \frac{47}{15} = 3,133 \approx 3,15 \Rightarrow \varphi^5$$

$$i_6 = \frac{50}{15} = 3,333 \approx 3,15 \Rightarrow \varphi^5$$

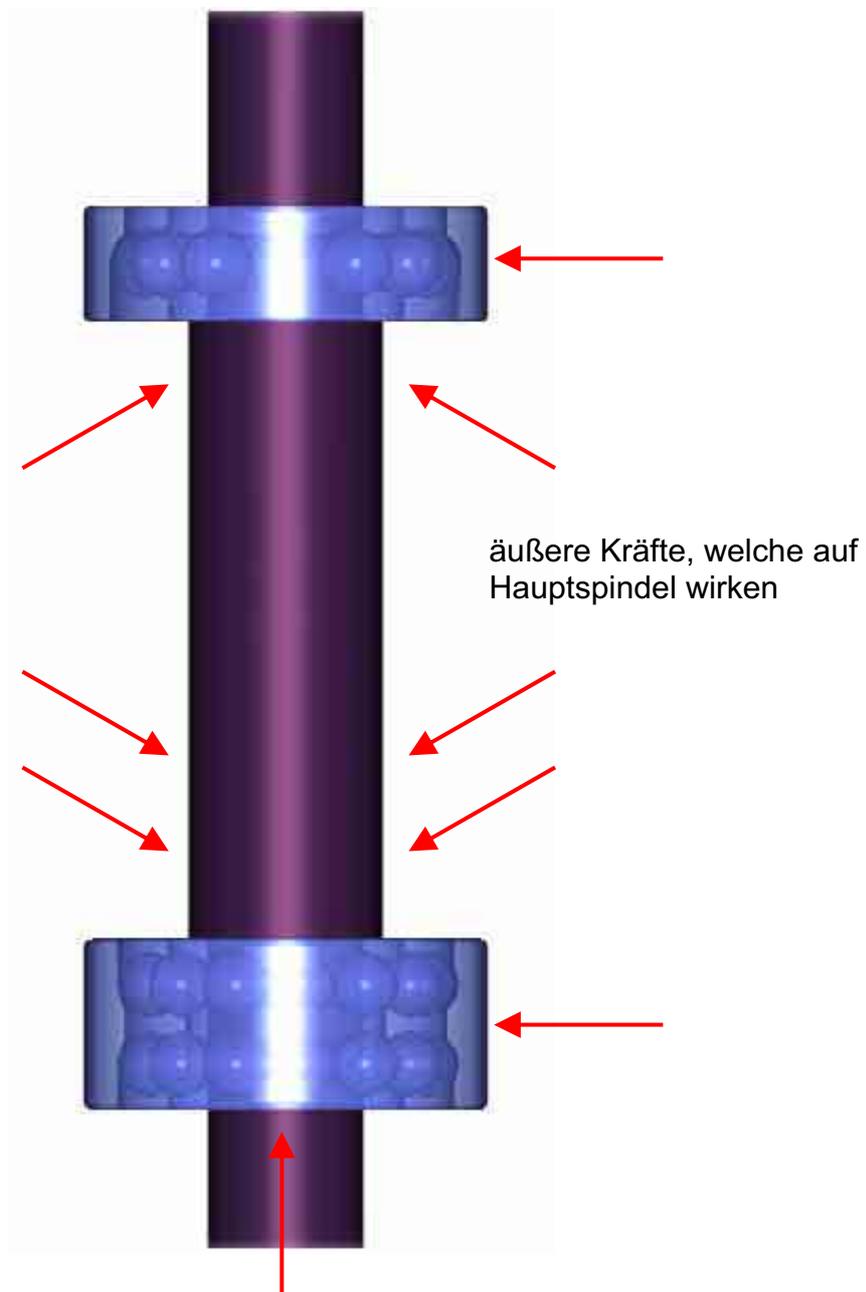
#### 4. Aufgabe CNC – Bohr und Fräsmachine BkoE 630x1000

##### Einflussfaktoren auf die Genauigkeit der Hauptspindel

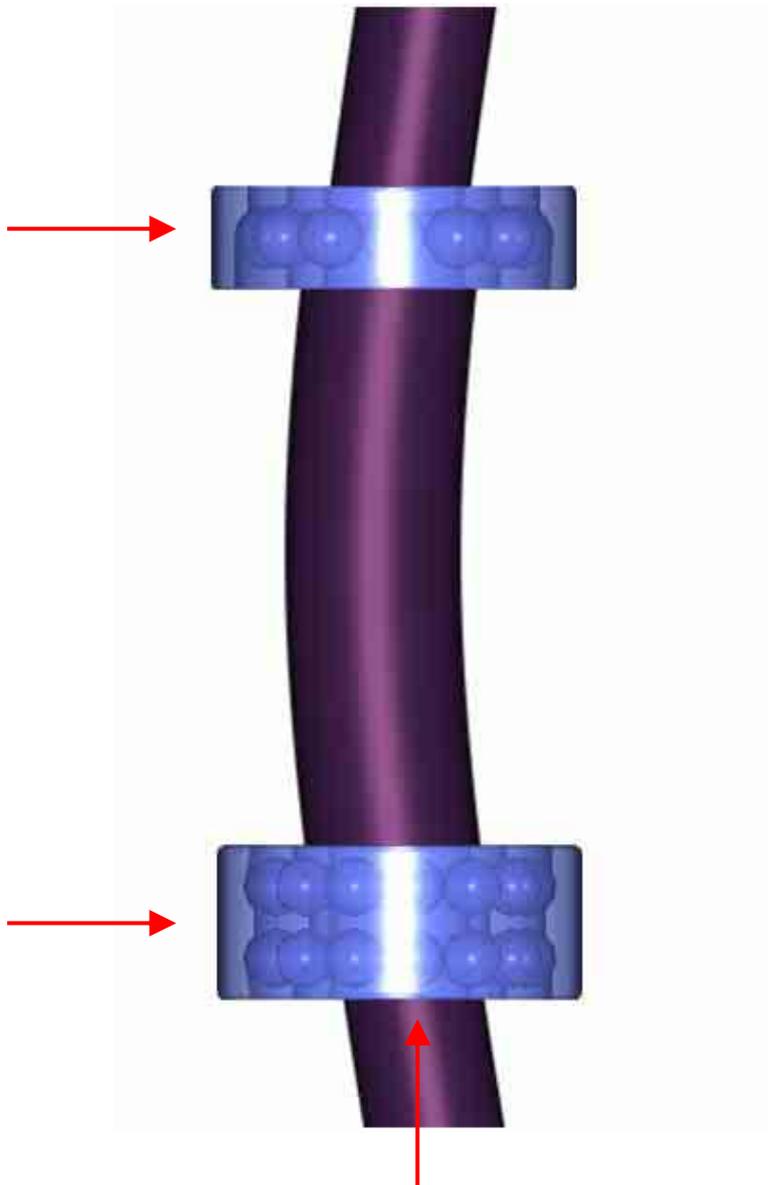
Einfluss auf die Genauigkeit der Hauptspindel haben die Steifigkeit und die Nachgiebigkeit der Hauptspindel. Dabei sind die Einflussgrößen die Kräfte, die über das Werkzeug in die Spindel eingeleitet werden sowie die Kraft, die über den Antrieb, den Riemen, in die Spindel eingeleitet wird.

Maßgeblichen Einfluss hat die Anzahl, der Abstand und die Ausführung der Lagerungen der Hauptspindel.

##### Schematische Darstellung der Hauptspindel mit Lagerstellen



## Biegung durch äußere Kräfte ( $F_{\text{Antrieb}}$ , $F_C$ )

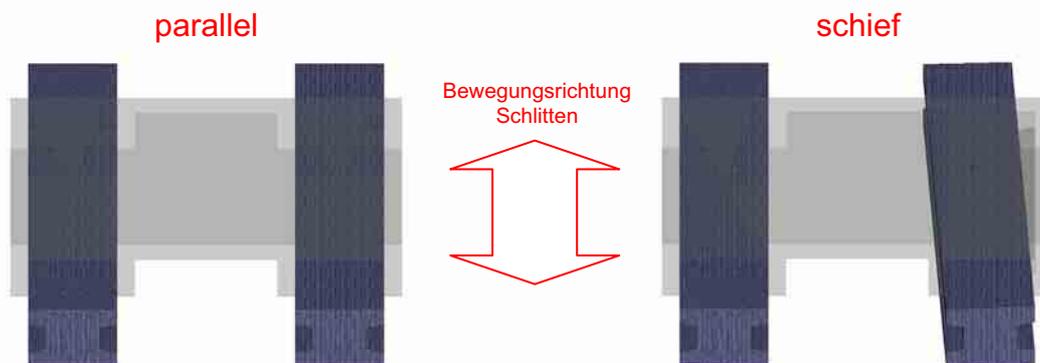


Durch die Biegung der Hauptspindel steht das Werkzeug nicht mehr senkrecht auf der x-Achse und senkrecht auf der y-Achse, was zur Folge hat, dass es zu Positions- und Rechtwinklichkeitsabweichungen kommt, was gerade eine Koordinatenbohrmaschine auszeichnen soll. Es kommt weiterhin dazu, dass z.B. ein Bohrer sich nicht mehr um seine Mittelpunktachse dreht, sondern um eine andere Achse außerhalb des Mittelpunktes. Dies hat zur Folge, dass der Bohrer „eiert“ und die Bohrung zu groß wird. Desweiteren ist die Hauptspindel ein schwingendes System mit speziellen Federsteifigkeiten. Dies sollte durch die Dimensionierung und Lagerung entsprechend der Lastfälle, entsprechend den Anforderungen an die Maschine, vermieden werden. Die Biegekräfteinleitung durch den Antrieb lässt sich vermeiden durch die Verwendung von biegeentlastenden Lagerungen der Riemenscheiben oder der Verwendung einer Motorspindel.

## Einflussfaktoren auf die Führungsgenauigkeit einer translatorischen Achse

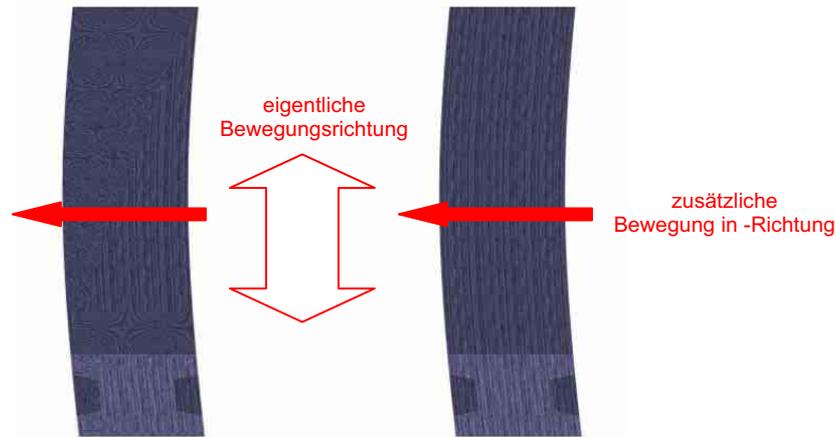
Einfluss die Führungsgenauigkeit einer translatorischen Achse haben hauptsächlich die verwendeten Führungen und die Antriebselemente und das Spiel dieser Komponenten. So sind z.B. bei dieser Maschine für alle translatorischen Achsen jeweils zwei Wälzführungen mit Wälzkörperketten („Flachköpfig“) verwendet wurden. Das hat den Vorteil, dass das Führungssystem durch die Vorspannung der Kugeln in den Führungswagen gegen die Wälzführungen in alle Richtungen, außer die gewünschte Bewegungsrichtung, fest und spielfrei ist. Vorteil gegenüber einer konventionellen Gleitführung (z.B. Schwalbenschwanz) ist, dass nicht erst beim Gleiten ein Schmierfilm aufgebaut werden muss (Reibung erst höher, als dann mit Schmierung) und es dadurch nicht zu einer ruckartigen Bewegung kommt. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Reibung gering ist und deshalb für diese Antriebe auch Kugelgewindespindeln eingesetzt werden, welche ebenfalls durch die Kugeln verspannt sind und somit das Spiel kleiner wird. Die Kugelgewindespindeln werden am Schlitten durch zwei Muttern gegeneinander verspannt. So tritt trotz zyklischer Belastung kein Spiel auf.

Einfluss auf die Führungsgenauigkeit hat auch die Parallelität der Führungsschienen zueinander.



Wenn die Schienen schief zueinander stehen, treten zusätzliche Kräfte zwischen den Schienen auf und stören die gleichmäßige Bewegung und es kann zu Verkantungen kommen.

Sehr wichtig für die Genauigkeit ist es auch, dass die Führungsschienen gerade sind und nicht krumm, da wie hier dargestellt bei einer Bewegung in x-Richtung gleichzeitig eine Bewegung in y-Richtung auftritt, was zur Folge hat, dass die Position in y-Richtung nicht stimmt. Desweiteren dürfen die Schienen auch nicht ballig in z-Richtung sein, da sich diese bei einer Bewegung in x-Richtung der Schlitten um die x-Achse dreht, was dazu führt, dass die Position in y-Richtung nicht mehr stimmt und es nicht mehr möglich ist, eine Bearbeitung in z-Richtung senkrecht durch y-Achse durchzuführen. Analog gelten diese Einflüsse auch für die anderen translatorischen Achsen.



### Einflussgrößen auf die Lage der Achsen zueinander

Besonders groß ist der Einfluss auf die Lage der z-Achse, da diese an einem vertikalen Ständer geführt wird und die Bearbeitungskräfte in die x-, y- und z-Richtung aufnehmen muss. Durch Zunahme des Abstandes in z-Richtung, nimmt auch das auf den Ständer wirkende Biegemoment zu, was zur Biegung des Ständers führt. Durch diese Biegung tritt eine Lageabweichung in der x-y-Ebene auf und die z-Achse steht nicht mehr senkrecht auf der x-y-Ebene.

Weiterhin muss gewährleistet sein, dass keine Aufbiegung des Gestelles durch Wärmeeintrag aus den Spänen auftritt.

Durch Wärmeeintrag können sich die Antriebsspindeln ausdehnen. Da das Messsystem aber die Umdrehungen misst und über den Anstieg die Position errechnet wird, kann auch dies zu Ungenauigkeiten führen.

### Einflussfaktoren auf die Positioniergenauigkeit einer Arbeitsachse

Einfluss auf die Positioniergenauigkeit hat das Maßsystem, was in diesem Fall am Ende der Antriebsspindel befindlich ist. Daraus ergibt sich eine Messunsicherheit, da das System die Anzahl der Umdrehungen misst (Positionswinkel  $\varphi$ ), aber über die Steigung der Spindel die translatorische Koordinate bestimmt wird. Des weiteren entsteht ein Fehler von  $\frac{1}{2}$  Skalenteil des Messsystems, durch Auflösung des Messsystems wie  $\frac{1}{2} \mu\text{m}$ , wobei dieser Fehler sehr klein ist. Stark beeinflusst wird die Positioniergenauigkeit durch eventuell auftretendes Rucken der Achsen, durch Übergang von Haft- zu Roll- bzw. Gleitreibung und durch das Spiel im Antriebssystem. Biegung an der Maschine durch Wärmeeintrag spielt dabei auch eine wichtige Rolle, da diese im Messsystem nicht erfasst wird und berücksichtigt wird. Spiel in den Antrieben wirkt sich dadurch sehr stark auf die Genauigkeit aus, da die Achse in positiven und negativen Richtungssinn wechselhaft verfahren werden.