

Ausarbeitung der Konzeption für eine Hauptbaugruppe auf der Grundlage der Maschinengestaltung nach der „Technisch-wirtschaftlichen Konzeption“

Gewählt: X-Achse

▪ **Vordimensionierung der Antriebsachse**

- Festlegung der Axialbelastung
 - Schnittgeschwindigkeit v_c
 - Laut <http://de.wikipedia.org/wiki/Fräsen> für Fräsen in Ausbildungszentren (wesentlicher Bestandteil des Zielkundenkreises): $v_c = 20 \dots 300 \frac{m}{min}$
 - Das Produktspektrum ist sehr groß und die einzusetzenden Fräser haben verschiedenste Kennwerte, die Berechnung der maximalen Schnittkraft F_{c_max} erfolgt nur überschlägig:
 - $F_{c_max} = k_{c1.1} \cdot h^{(1-m_c)}$ ¹
Angenommene Daten des Fräasers bzw. des Materials (Angaben für den Werkstoff CrNiMo8²), es werden Extremwerte möglich vorkommender Bearbeitungsaufgaben angenommen: $k_{c1.1} = 2.600 \frac{N}{mm^2}$, $m_c = 0,2$, $h = 1,4 mm$
 - $F_{c_max} = 2.600 \frac{N}{mm} \cdot 1,4 mm^{(1-0,2)} = 3.403,11 N$
- Ermittlung des Antriebsmomentes und der Drehzahl des Motors der Antriebsachse
 - Berechnung der Schnittleistung P_c
 - $P_c = F_{c_max} \cdot v_c = 3,403 kN \cdot 300 \frac{m \cdot min}{min \cdot 60s} = 17,015 kW$
 - Berechnung des Antriebsmomentes P_M bei $\eta_{mech} = 0,85$

¹ KÖNIG: Fertigungsverfahren 1 - Drehen, Fräsen, Bohren, 6.Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer (1997), Seite 76

² FRIEDRICH: Tabellenbuch Metall- und Maschinentechnik (1988), Seite 7-22

$$\text{➤ } P_M = \frac{P_c}{\eta_{mech}} = \frac{17,01 kW}{0,85} = \underline{\underline{20 kW}}$$

⇒ Der konzipierte Motor aus der ersten „Technisch-Wirtschaftlichen Konzeption“ ist demnach mit 15 kW unterdimensioniert und sollte durch einen leistungsstärkeres Modell ersetzt werden, um allen Zielkundenbereichen gerecht zu werden.

- Berechnung der Drehzahl des Motors der Antriebsachse

$$\text{➤ Drehzahlbereich der Spindel: } 50 \text{ min}^{-1} \leq n_{Spindel} \leq 10.000 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{➤ Übersetzungsverhältnis des Zahnriementriebes: } i_R = 1,2$$

$$\Rightarrow n_{Mot_min} = n_{Spindel_max} \cdot i_R = 50 \text{ min}^{-1} \cdot 1,2 = \underline{\underline{60 \text{ min}^{-1}}}$$

$$\Rightarrow n_{Mot_max} = n_{Spindel_max} \cdot i_R = 10.000 \text{ min}^{-1} \cdot 1,2 = \underline{\underline{12.000 \text{ min}^{-1}}}$$

- Abstimmung von Vorschubgeschwindigkeit, Spindel- und Motordrehzahl des Antriebes für den Maschinentisch (X-Achse):

- Vorschubgeschwindigkeit: $v_f = \frac{v_c}{d \cdot \pi} \cdot f_z \cdot z$

- Extremwertannahmen: Walzenfräser, Werkstoff Aluminium-Legierungen 9-

$$13\% \text{ Si: } f_z = 0,12 \text{ mm}, v_c = 300 \frac{\text{m}}{\text{min}} \text{ für } a_p = 1^3$$

$$\text{➤ } d = 3 \text{ mm}, z = 2$$

$$\text{➤ } v_f = \frac{300 \frac{\cancel{\text{m}}}{\text{min}} \cdot 1.000 \frac{\text{mm}}{\cancel{\text{m}}}}{3 \cancel{\text{mm}} \cdot \pi} \cdot 0,12 \cancel{\text{mm}} \cdot 2 = \underline{\underline{7.639 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}}$$

- Spindeldrehzahl: $n_{Sp} = \frac{v_{f_max}}{h_{Sp}}$

$$\text{➤ Eilganggeschwindigkeit: } v_{f_max} = 15.000 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

$$\text{➤ Steigung des Kugelgewindetriebes: } h_{Sp} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{➤ } n_{Sp} = \frac{15.000 \cancel{\text{mm}}}{10 \cancel{\text{mm}} \cdot \text{min}} = \underline{\underline{1.500 \text{ min}^{-1}}}$$

- Motordrehzahl: $n_{Mot} = n_{Sp} \cdot i_G$

$$\text{➤ Übersetzung Getriebe: } i_G = 2$$

³ FRIEDRICH: Tabellenbuch Metall- und Maschinentechnik (1988), Seite 7-33

➤ $n_{Mot} = 1.500 \text{ min}^{-1} \cdot 2 = \underline{\underline{3.000 \text{ min}^{-1}}}$

- Auswahl von Durchmesser, Länge und Steigung des Kugelgewindetriebes vom Maschinentisch (X-Achse)
 - Nenndurchmesser: 40mm
 - Steigung: 10mm
 - Länge der Spindel: 1.800mm (Verfahrweg des Tisches in X-Richtung: 1.500mm; Länge der Mutter: 70mm; Länge des Muttergehäuses: 80mm; Länge der Spindelenden: 30mm (Form 41), 93mm (Form 81))
- Produktvorschlag: Produktlinie und Konfiguration von BoschRexroth⁴
 - ⇒ Gerollte Präzisionsspindel SN-R: 40 x 10 R x 6 (Toleranzklasse T3, Teilenummer R1511 445 00), Spindelenden Form 41 (Ausführung 300) bzw. 81 (Ausführung 301)
 - ⇒ Flansch-Einzelmutter FEM-E-C (Anschlussmaße nach DIN 69 051, Teil 5):
40 x 10R x 6 - 4 (Teilenummer R1502 440 85, $v_{max} = 38 \frac{m}{min}$)

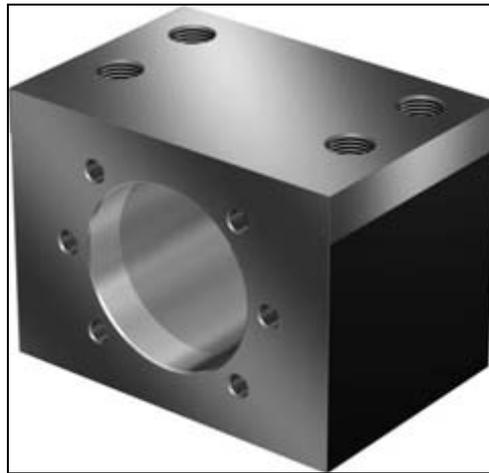


Flansch-Einzelmutter FEM-E-C (Quelle: BoschRexroth)

- ⇒ Muttergehäuse aus Stahl MGT passend zu FEM-E-C: 40 x 10 (Teilenummer R1506 400 50)

⁴ http://www.boschrexroth.com/is-bin/INTERSHOP.enfinity/eCS/Store/de_DE/-/EUR/BrowseCatalog461038-

[DisplayExternalCatalogPage?bridgeSelectedCatalog=DE_BRL&bridgePageId=group117254689492](http://www.boschrexroth.com/is-bin/INTERSHOP.enfinity/eCS/Store/de_DE/-/EUR/BrowseCatalog461038-DisplayExternalCatalogPage?bridgeSelectedCatalog=DE_BRL&bridgePageId=group117254689492)



Muttergehäuse MGT (Quelle: BoschRexroth)

- Bestimmung einer geeigneten Spindellagerung
 - Stehlager in Stahlausführung passend zum KGT von BoschRexroth
 - Einfache Montage durch variable Befestigungsmöglichkeit und Anschlagkanten
 - Stiftbohrungen für Verstiftung
 - Stehlagereinheit SB-L für Spindelende 41



Baugruppe Stehlagereinheit SB-L für Spindelende 41 (Quelle: BoschRexroth)

- Stehlagereinheit SEC-F für Spindelende 81: Größe 40 x 10 (Teilenummer R1594 030 00)
 - Präzisions-Stehlagergehäuse aus Aluminium mit beidseitigen Anschlagkanten
 - Axial-Schräggugellager
 - Nutmutter NMZ
 - Geeignet für Motoranbau



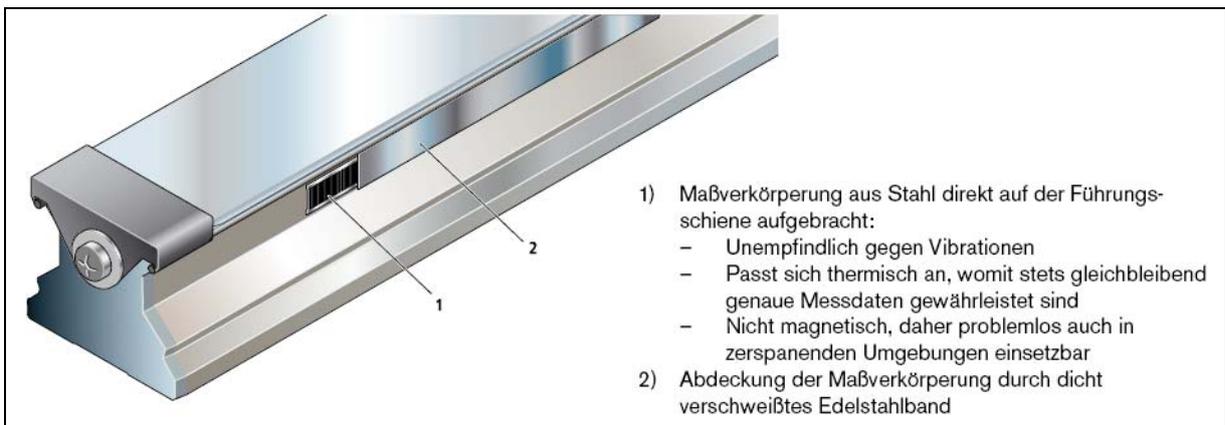


Baugruppe Stehlagereinheit SEC-F für Spindelende 81 (Quelle: BoschRexroth)

- Prinzipielle Auswahl eines Messsystems
 - Direktes Messsystem
 - Das Messsystem ist direkt mit dem Maschinentisch (bzw. Profilschienenführung gekoppelt)
 - Steigungsfehler der Spindel werden absorbiert
 - Der Maßstab besitzt Referenzmarken, denen ein exakter Wert zugeordnet ist
 - nach dem Einschalten müssen die Referenzmarken überfahren werden (Referenzierfahrt)
 - Einfache Montage
 - Hohe Genauigkeit, jedoch anfällig auf Verschmutzung
 - Produktvorschlag: Integriertes Messsystem für Kugel- und Rollenschienenführungen des Herstellers BoschRexroth⁵
 - Integriertes Messsystem:
 - ⇒ Führungs- und Messsystem bilden eine Einheit, aufbauend auf Standard-Führungselementen
 - ⇒ Kein zusätzlicher Bauraum nötig, außer eventuell in Längsrichtung durch den Messkopf
 - ⇒ Keine zusätzlichen Anbauflächen für Messsysteme notwendig
 - ⇒ Keine Messungenauigkeit durch Parallelitätsabweichung von Mess- und Führungssystem
 - ⇒ Nachrüstung und Austausch problemlos möglich

⁵ http://www.boschrexroth.com/business_units/brl/de/produkte/profilschienen_fuehrungen/RSF/ims/redirect_media/index.jsp

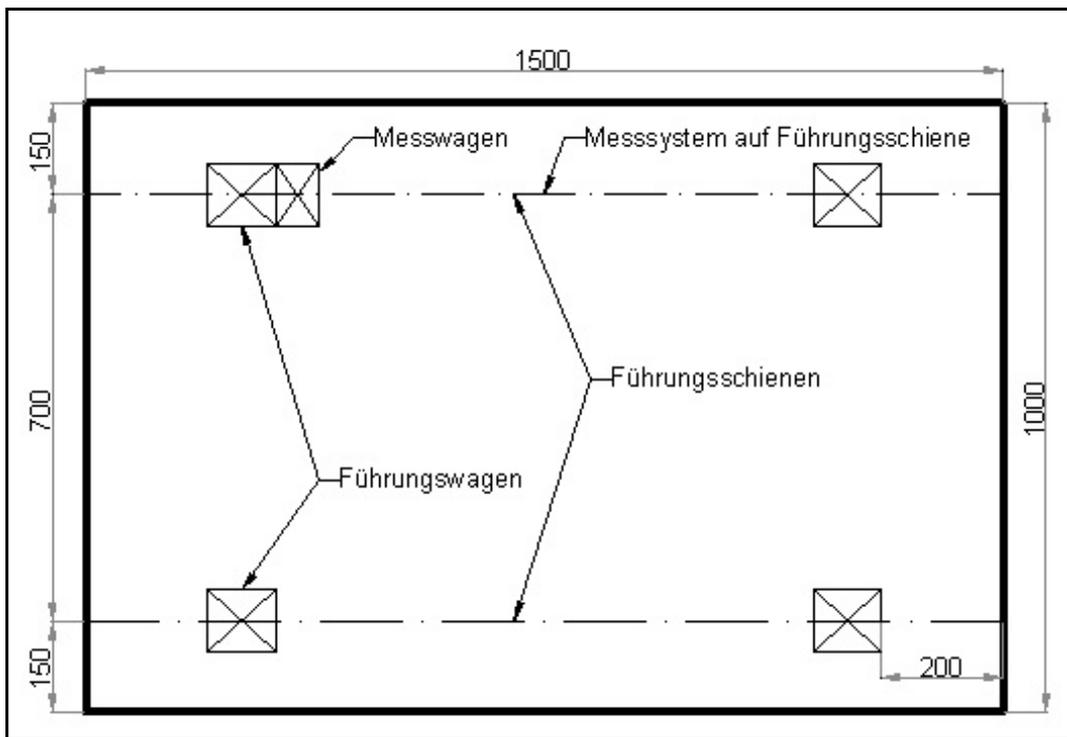
- Induktives Messsystem
 - ⇒ Berührungslose Abtastung gewährt Wartungsfreiheit
 - ⇒ Keine Beeinträchtigung durch Wasser, Öl, Staub, Späne etc.
 - ⇒ Unempfindlich gegen Magnetstörfelder
 - ⇒ Äußerst robust
 - ⇒ Führungsschienen einteilig: Standardlänge bis 4000 mm
 - ⇒ Mehrere Sensoreinheiten auf einer Schiene möglich
- Inkrementales Messverfahren
 - ⇒ Präzise Positionsbestimmung durch hochgenaue Maßverkörperung gepaart mit abstandskodierten Referenzmarken, bzw. Einzelreferenzmarken
 - ⇒ Hohe Auflösung bis 0,25 µm
- Führungsschiene mit integrierter Maßverkörperung
 - ⇒ Gleiches Bohrbild wie Standard-Führungsschienen
 - ⇒ Wahlweise einzelne Referenzmarke oder abstandskodierte Referenzmarken über die gesamte Schienenlänge, abgedeckt durch ein dicht verschweißtes Edelstahlband



Profilführungsschiene mit integriertem Messsystem (Quelle: BoschRexroth)

▪ Gestaltung der Führung

- Abstand und Anordnung der Führungsbahnen und Führungsschuhe



Draufsicht des Maschinentisches mit Maßen für die Führungsschienen und -wagen

- Abschätzung der Belastungsgröße als Dimensionierungsgrundlage
 - Abschätzung der zu bewegenden Massen
 - Maschinentisch (Stahl mit $\rho = 7.850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ⁶, $L \times B \times H = (1,5 \times 1,0 \times 0,05) \text{m}^3$):

$$m_{\text{Tisch}} = \rho \cdot V = 588,75 \text{ kg} \text{ (T-Nuten bleiben unberücksichtigt)}$$
 - Spannsystem: $m_{\text{Spann}} \approx 30 \text{ kg}$
 - Werkstück: $m_{\text{WSt}} \approx 70 \text{ kg}$ (mehrere Werkstücke möglich)
 - Führungsschuhe, Muttergehäuse KGT, Mutter KGT: $m_{\text{Bauteile}} \approx 25 \text{ kg}$
 - Gesamt zu bewegende Masse in X-Richtung: $m_{\text{X_ges}} \approx 838,75 \text{ kg}$
 - Aufteilung der Masse auf 4 Führungsschuhe: $m_{\text{Schuh}} = \frac{m_{\text{X_ges}}}{4} \approx 209,69 \text{ kg}$
 - Wirkende Kraft je Schuh: $F_{\text{Schuh}} = m_{\text{Schuh}} \cdot g = \underline{\underline{2.057,06 \text{ N}}}$
 - Eilganggeschwindigkeit: $v_{f_Eil} = \underline{\underline{15 \frac{\text{m}}{\text{min}}}}$
- Auswahl einer Profilführungsschiene und zugehöriger Führungsschuhe
 - Führungswagen aus Stahl, Größe 35

⁶ FRIEDRICH: Tabellenbuch Metall- und Maschinentechnik (1988), Seite 2-4

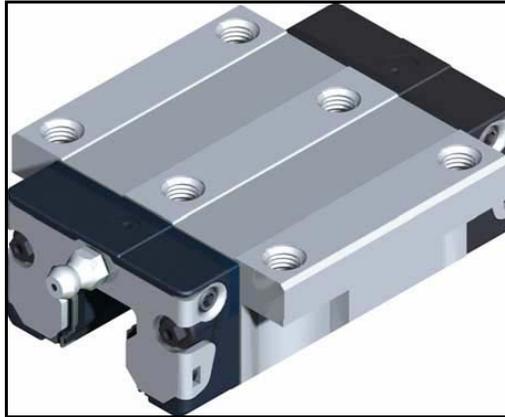
- Führungsschuh BoschRexroth Führungswagen FNS R1651 (Teilenummer R1651 312 20)⁷

$$\Rightarrow v_{\max} = 5 \frac{m}{s} \triangleq 300 \frac{m}{\min}$$

$$\Rightarrow \text{Tragzahl } C_{\text{dyn}} = 41.900 \text{ N}$$

$$\Rightarrow \text{Tragzahl } C_{\text{stat}} = 54.000 \text{ N}$$

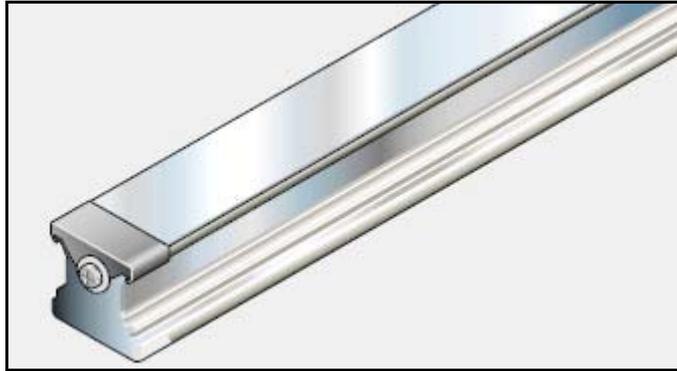
⇒ Alle Werte entsprechen den Vorgabewerten



Führungswagen FNS R1651 (Quelle: BoschRexroth)

- Zusätzlich Messkopf mit integriertem Messsystem für Profilverführungsschienen von BoschRexroth für Rollenwagen FNS R1651
- Führungsschiene aus Stahl Größe 35
 - BoschRexroth Standard-Führungsschiene FS R1605 (Teilenummer R1605 362 61)
 - ⇒ Teilung der Bohrung 80mm
 - ⇒ Länge der Schienen: 2.700mm (Länge und Verfahrweg des Tisches: 1.500mm; Abstand der Führungsschuhe vom Rand: 200mm → $L_{\text{effektiv}} = 2 \cdot 1.500 \text{ mm} - 2 \cdot 200 \text{ mm} = 2.600 \text{ mm}$)

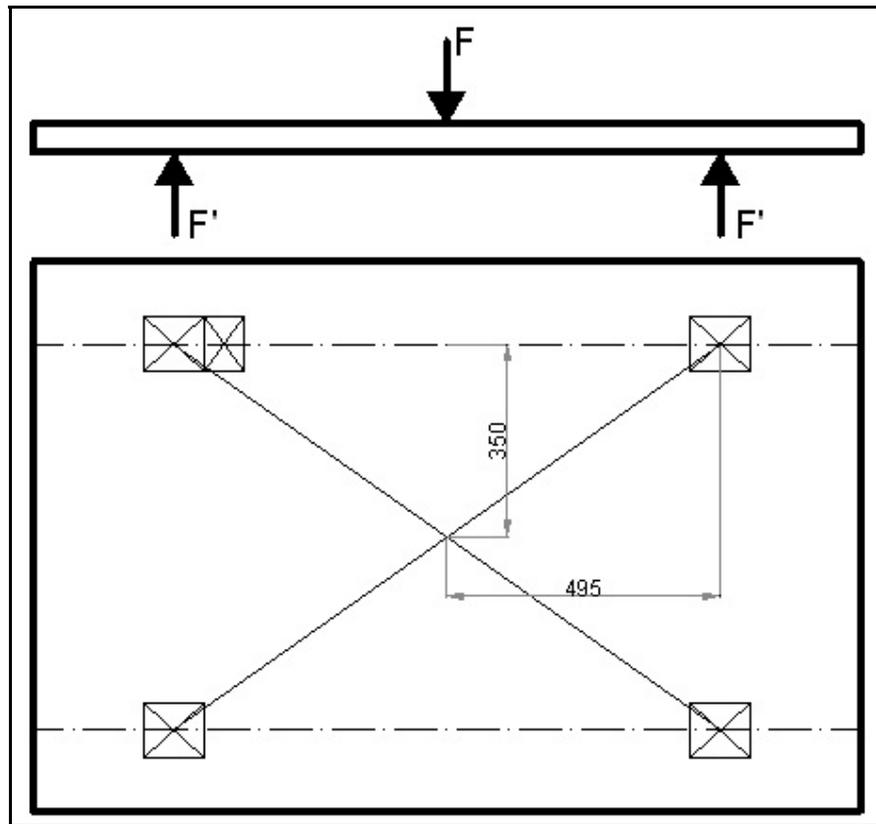
⁷ <http://www.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload.dll?db=brmv2&watermark=off&lvid=20091&mvid=618&clid=1&sid=28EDA231C0C30A72C4259737C1CD67B7&sch=M>



Führungsschiene FS R1605 (Quelle: BoschRexroth)

- Eine Führungsschiene mit Maßverkörperung für integriertes Messsystem von BoschRexroth
- Befestigung der Führungseinheit
 - Die Führungsschienen werden direkt auf dem Maschinengestell verschraubt, Abstand der Bohrungen 80mm, Schrauben M8, Abdeckband von oben, verschraubte Schutzkappe
 - Führungsschuhe werden von unten gemäß den Maßen der Draufsicht am Maschinentisch verschraubt
 - Führungswagen sind werksseitig von oben und unten verschraubbar
 - Steifigkeitserhöhung bei Abhebe- und Seitenbelastung durch zusätzliches Verschrauben an zwei Bohrungen in der Mitte des Führungswagens
- **Gestaltung der Hauptabmessungen der Baugruppe**
 - Erfassen von Randbedingungen (z. B. Tischhöhe)
 - Oberkante des Tisches: 700mm (Tischhöhe ist fix, da die Z-Zustellung über den Kreuztisch am Maschinengestell erfolgt)
 - Gesamtstärke des Maschinentisches=50mm
 - Material der Bauteile: Stahl ($E = 210.000 \frac{N}{mm^2}$; $\rho = 7.850 \frac{kg}{m^3}$)⁸
 - Anordnung der Antriebselemente
 - Die Antriebselemente sind in einer Reihe angeordnet
 - überschlägliche Berechnung der Verformung des Gestellbauteils

⁸ FRIEDRICH: Tabellenbuch Metall- und Maschinentechnik (1988), Seite 2-4 bzw. 2-23



Angenommene Angriffspunkte der Kräfte für eine Belastungsberechnung

- Tiefe der T-Nuten 20mm → Stärke des Maschinentisches für die Berechnung: 30mm
- Angenommene Belastung: $m_{x_ges} \approx 838,75 \text{ kg}$ → angreifende Kraft:

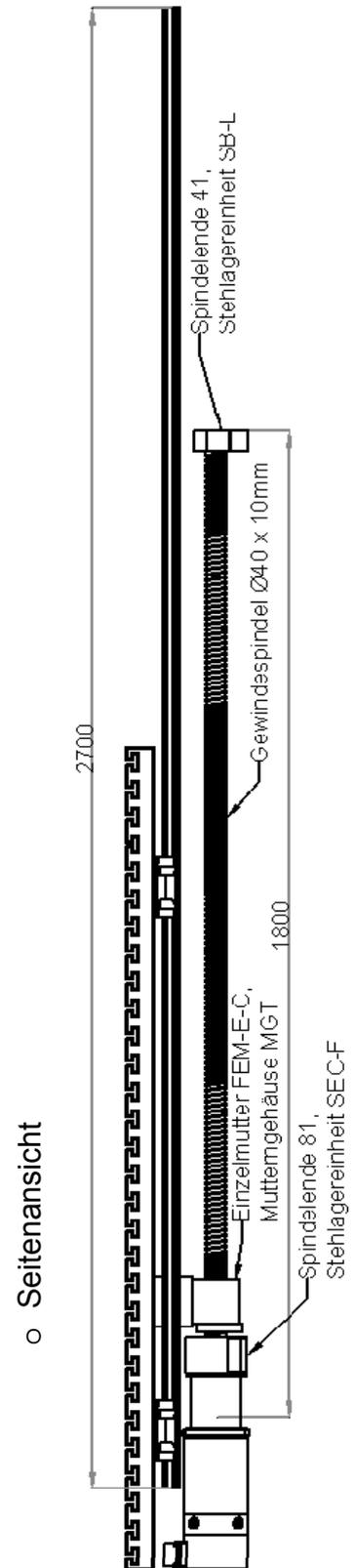
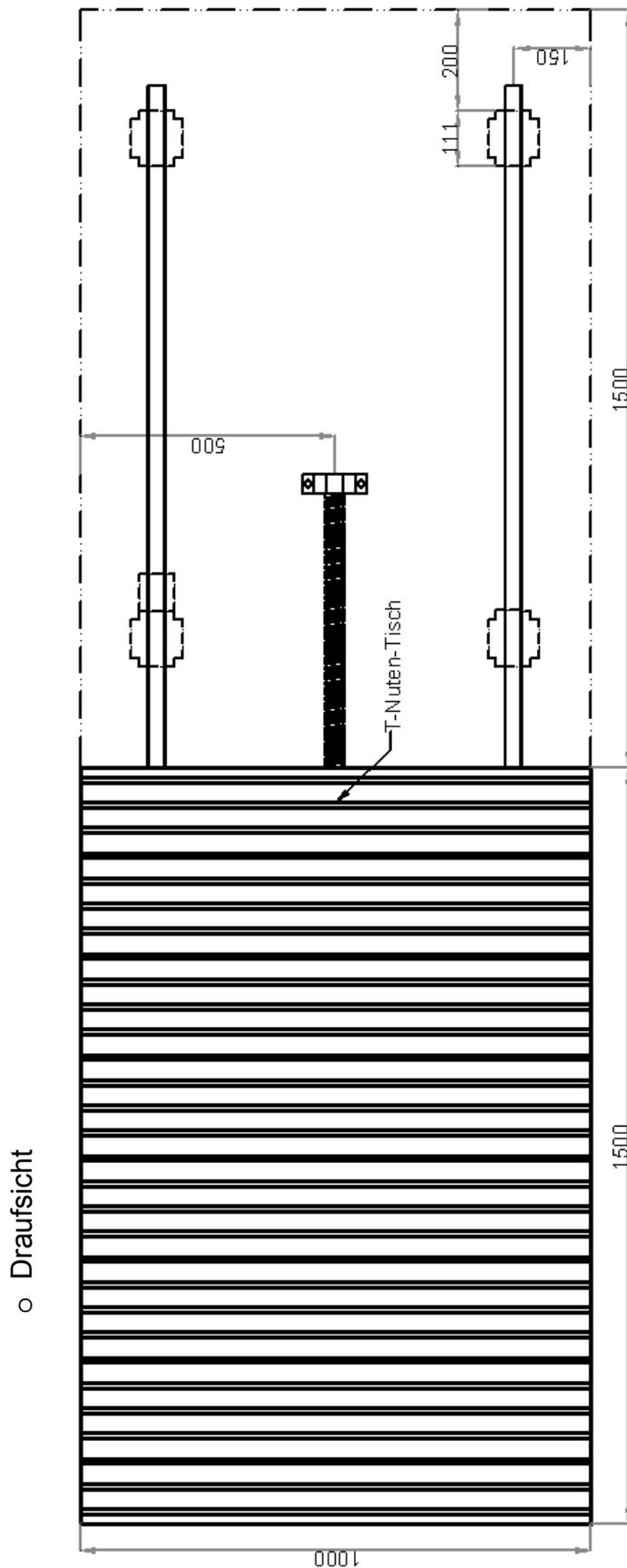
$$F_N = 838,75 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 8.228,14 \text{ N}$$

- Angenommene, maximale Durchbiegung (in X-Richtung da größerer Abstand der Auflagepunkte) im ungünstigsten mithilfe der Berechnungsformel für 3-Punkt-Belastung:

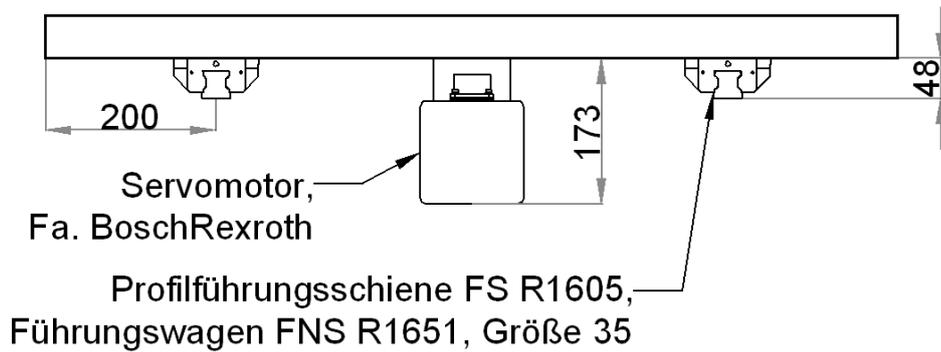
$$\Delta f = \frac{l_x^3 \cdot F}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot E} = \frac{495^3 \text{ mm}^3 \cdot 8.228,14 \text{ N} \cdot \text{mm}^2}{4 \cdot 1.000 \text{ mm} \cdot 30^3 \text{ mm}^3 \cdot 210.000 \text{ N}} = 0.044 \text{ mm}$$

- ⇒ Diese Durchbiegung liegt über der geforderten Genauigkeit von 1 µm. Es ist zu überprüfen, ob sich der Tisch wirklich so wie in dieser überschlägigen Rechnung durchbiegt. Wenn ja, sind Gegenmaßnahmen abzuwägen (z. B. steiferes Material, Tisch dicker konstruieren)

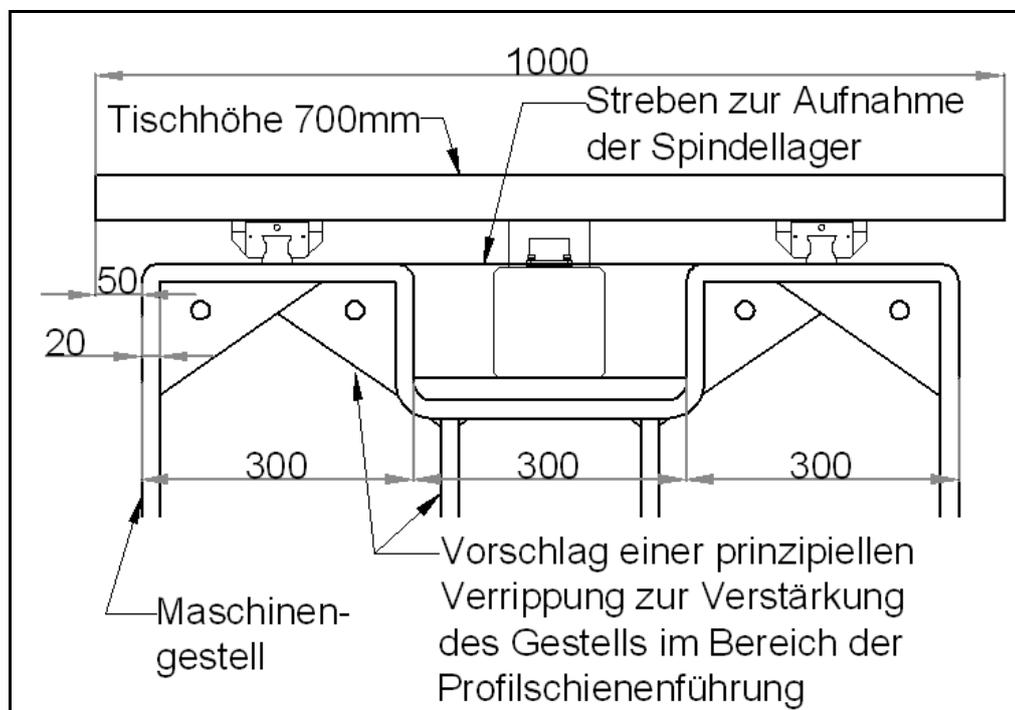
- Erstellung einer Entwurfsskizze für die Baugruppe
 - Darstellung in mehreren Ansichten mit wichtigen Maßen



- Vorderansicht

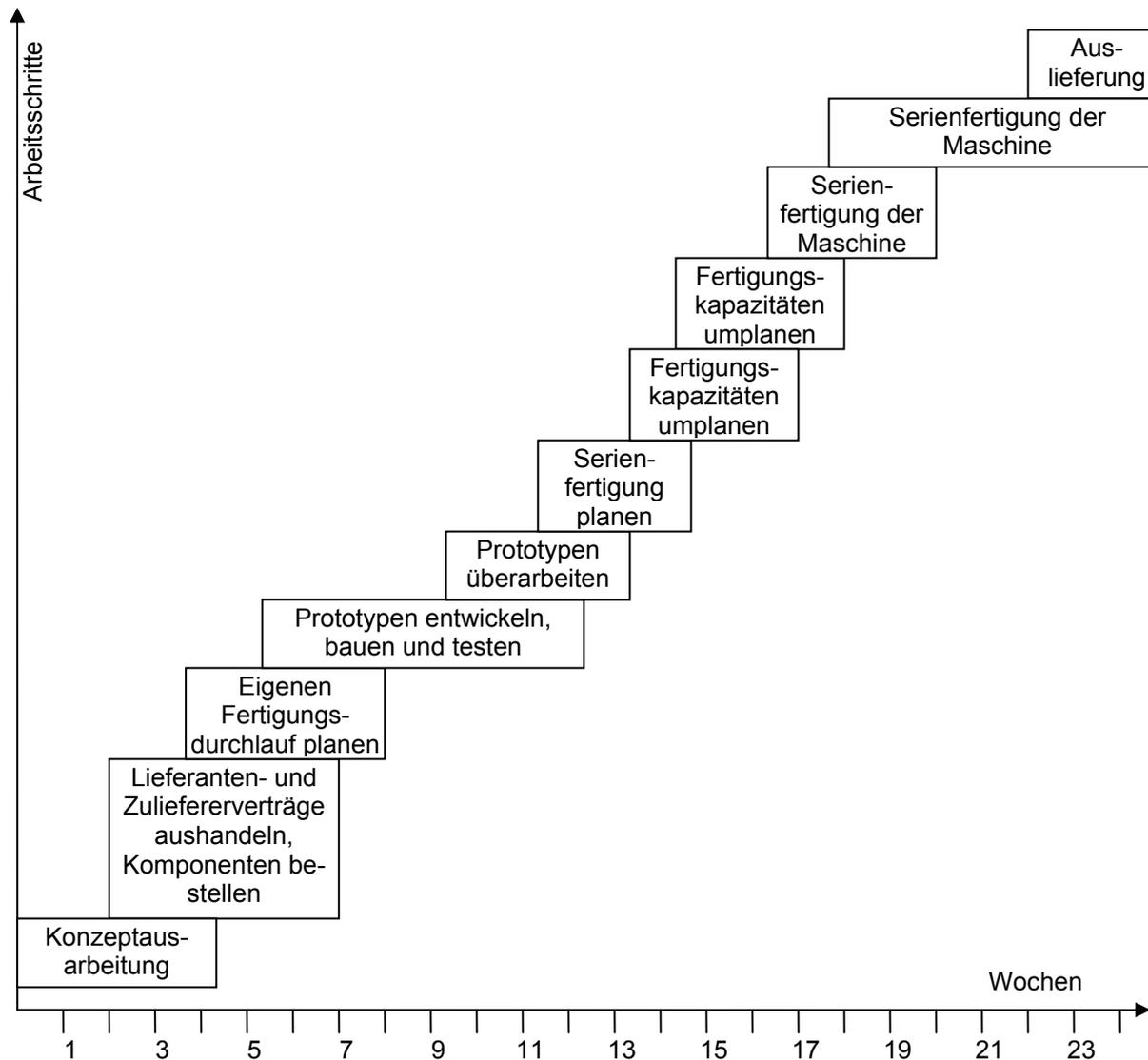


▪ Entwurfsskizze für die Gestellbauteile Schlitten und Schlittenbasis



- Eine Verrippung des Gestells muss sinnvollerweise dort geschehen, wo die größten Belastungen zu erwarten sind, dies ist hier an der Stelle der Profilschieneführungen.

▪ Zeitplan



▪ Probleme für das Erreichen des Gesamtziels

- Es werden keine Probleme bei der Übernahme der neuen Maschine in die Fertigung und somit in die Produktpalette gesehen, da unser Unternehmen mehrfach erfolgreich eine neue Maschine am Markt etablieren konnte. Zum anderen zeigen die Kontakte mit der Industrie, dass schon mit Spannung unsere Neuentwicklung erwartet wird. Wichtig dabei ist nun, den Zeitplan einzuhalten um vor der Konkurrenz am Markt zu sein.