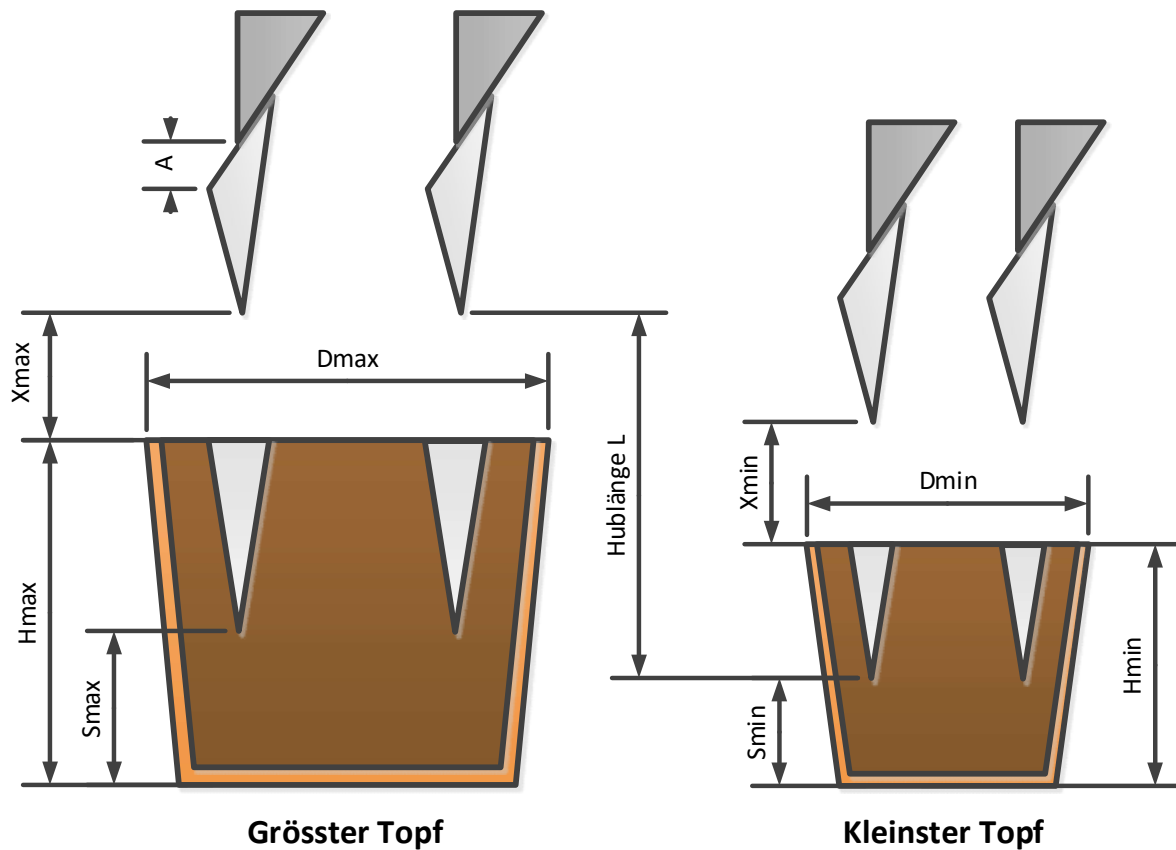


Auslegung der Spindel: Berechnungen

Gegeben durch die Topfgeometrie sowie das Pflichtenheft sind folgende Angaben:



	Grösster Topf (max)	Kleinster Topf (min)	Kommentar
Durchmesser D [mm]	140	90	Aus Datenblatt
Höhe H [mm]	106	67	Aus Datenblatt
max. Einsetztiefe S [mm]	63.6	40.2	0.6 x Höhe
Sicherheitsabstand X [mm]	15	15	Annahme
Ausfahrlänge A Dorn [mm]	15	15	Annahme

Durch den Verarbeitungsprozess der Topfmaschine ist gegeben:

	typisch	minimal	maximal
Rotationszeit/Eingriffszeit	1:1		
Produktionskapazität [Töpfe/Stunde]	2800		3600
Eingriffszeit t_e [s]	0.64		0.5
Rotationszeit t_r [s]	0.64		0.5

Weiter angenommen wird:

Totzeit t_t bis Motor anfährt bei Umkehrpunkt: 0.05s (10% der Eingriffszeit t_e)

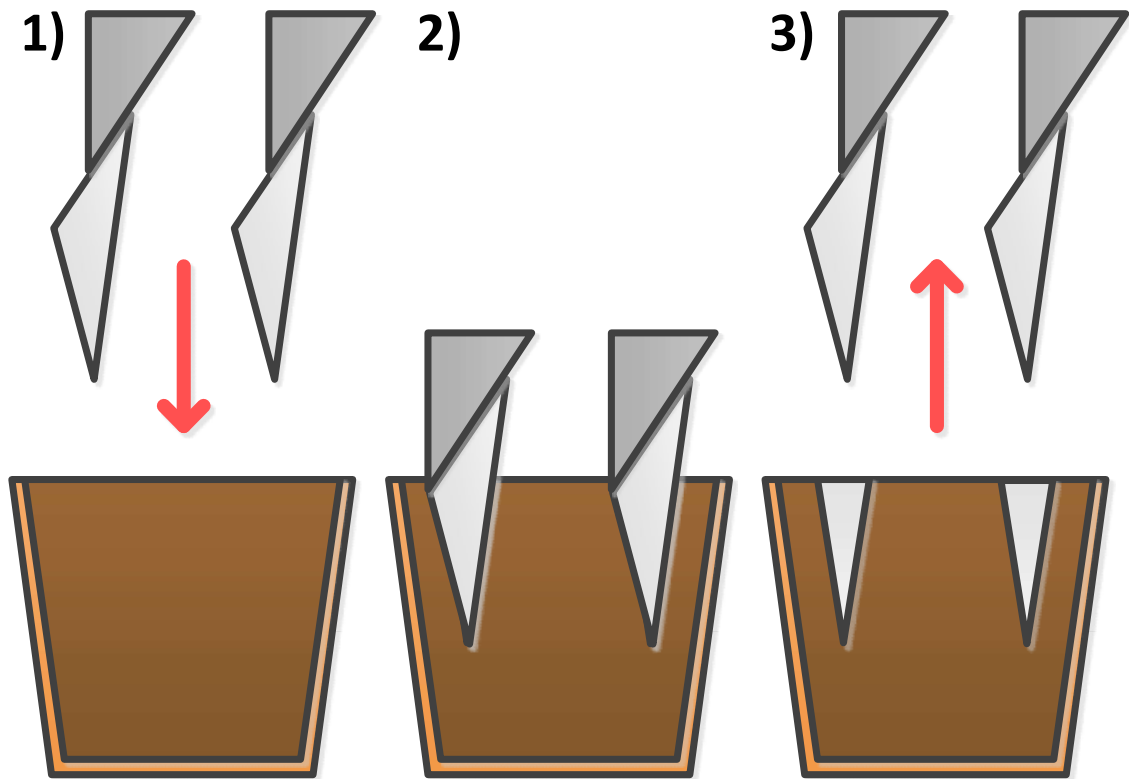
Linear beschleunigte Masse: 1kg (vgl. Tabelle: überschlägige Kalkulation der beschleunigten Masse)

Beschleunigungsdrehmoment M_a des Antriebs: 0.36Nm (in erster Annahme),

Wobei eine Reserve S von 2...3 anzustreben ist, da in der verwendeten Literatur für die Berechnung des Beschleunigungsdrehmoments M_a den Einfluss der Gewichtskraft nicht berücksichtigt wird. Weiter dient die Reserve dazu, dass das Aufbringen der mittleren Axialkraft $F_{axavg} = 20N$ (vgl. Kap. 5.8.1) gewährleistet ist.

Stechprozess

Der Stechprozess kann schematisch wie folgt dargestellt werden:



Berechnungen

Der Dorn macht pro Topf einen Doppelhub. So erfährt der Dorn pro Doppelhub zwei Beschleunigungs- und Bremsphase. Idealisiert werden diese Phasen in vier gleich langen Phasen dargestellt. Ein Doppelhub besteht somit aus folgenden Phasen:

$$t_e = 4 * t_b + t_t$$

Dadurch beträgt die Beschleunigungs- und Bremszeit t_b :

$$t_b = (t_e - t_t)/4 = (0.5s - 0.05s)/4 = 0.1125s$$

Die benötigte Hublänge L der Spindel, dass alle Positionen einstellbar sind ergibt sich durch:

$$L = H_{max} + X - S_{min} = 106mm + 20mm - 40.2mm = 85.8mm$$

Für die Konstruktion wird eine Hublänge von $\sim 100mm$ berücksichtigt.

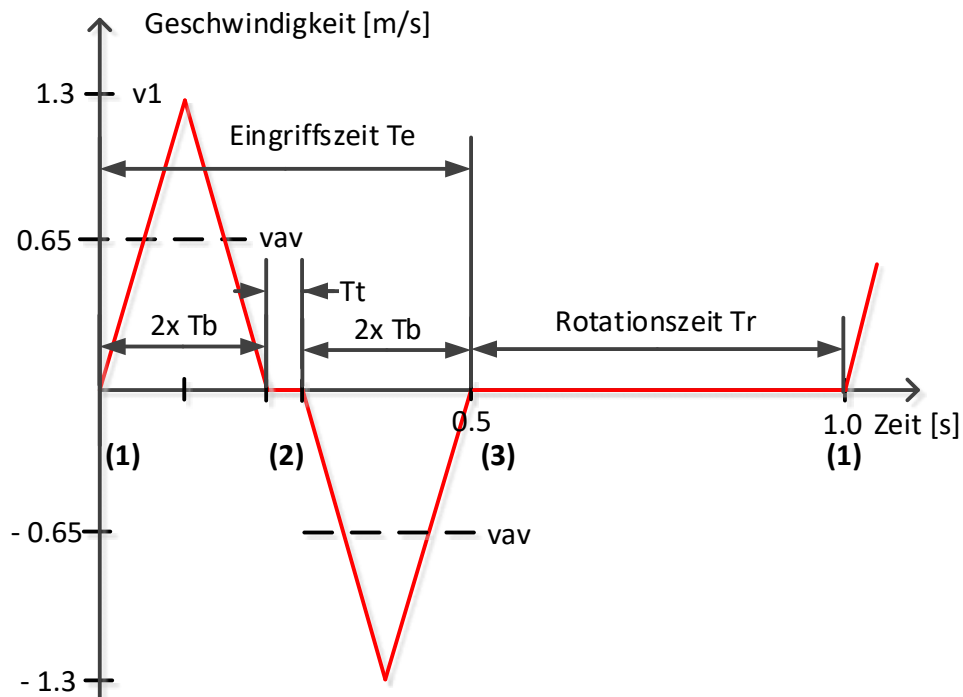
Wobei der maximale Hubweg bei grösstem Topf:

$$U_{max} = H_{max} - S_{max} + X + A = 72.4mm$$

Die grösste durchschnittliche Geschwindigkeit erfährt der Dorn bei grösstem Topf. Diese beträgt:

$$v_{avmax} = \frac{U_{max}}{t_b} = \frac{72.4mm}{0.1125s} = 643.5mm/s$$

Daraus ergibt sich die maximale Produktionskapazität folgendes Geschwindigkeitsprofil der geradlinigen Bewegung:



Dabei ist der Verlauf dieses Profils streng idealisiert. Die Totzeit t_t des ersten Hubes ist nicht dargestellt, da diese im Teil der Rotationszeit t_r verborgen ist. Für die weitere Auslegung von Spindel und Antrieb wird $v_1 = 1.3 \text{ m/s}$ und $v_{av} = 0.65 \text{ m/s}$ verwendet.

Berechnungen Antrieb

Die nachfolgenden Berechnungen für die Auslegung des Spindelantriebes orientieren sich am Kapitel 13.2 aus Roloff/Matek Maschinenelemente (21. Auflage).

Für die Spindeltriebe wurde unter Berücksichtigung des evaluierten Motors eine Vorauswahl von vier Spindeln getroffen. Die ausgewählten Komponenten besitzen folgende Eigenschaften:

	m [kg]	J [kgm²]	Kommentar
Kupplung WA 20	0.015	7.80E-07	Aus Datenblatt
Motor QBL5704--116-04-042	1.25	2.30E-05	Aus Datenblatt. J bezieht sich auf Rotor
Spindel Ds14x30 Edelstahl	0.092	6.58E-06	$D = 14 \text{ mm}$, $\rho_{1430es} = 1.22 \text{ kg/m}$
Spindel Ds14x30 Aluminium	0.268	2.26E-06	$D = 14 \text{ mm}$, $\rho_{1430al} = 0.42 \text{ kg/m}$
Spindel Ds10x25 Edelstahl	0.136	1.71E-06	$D = 10 \text{ mm}$, $\rho_{1025es} = 0.62 \text{ kg/m}$
Spindel Ds10x25 Aluminium	0.046	5.78E-07	$D = 10 \text{ mm}$, $\rho_{1025al} = 0.21 \text{ kg/m}$

Wobei die Trägheitsmomente und Massen mit folgenden Formeln angenähert wurden:

$$m = \rho_{\text{länge}} * L \quad J = \frac{m * D^2}{8}$$

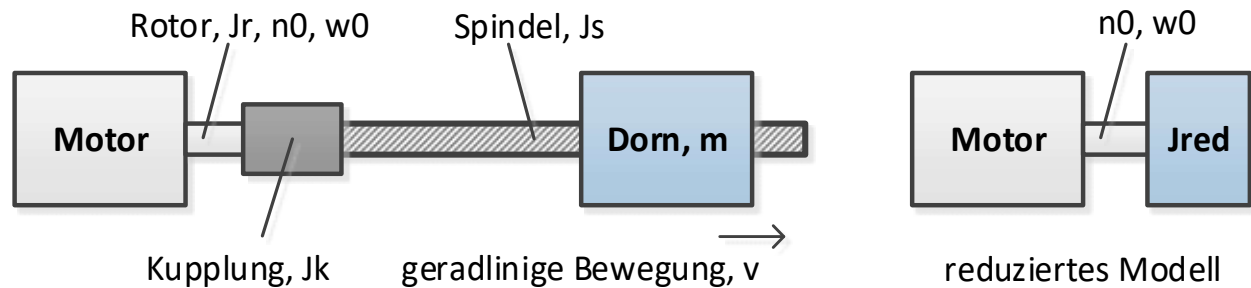
Die Längendichten stammen aus dem Datenblatt des Herstellers.

Für die gegebenen Steigungen P der ausgewählten Spindeln ergibt sich die maximale Drehzahl bei v_1 :

$$n_{\max} = n_{v1} = 2 * n_{av} = 2 * \frac{60 * U_{\max}}{P * t_b} \quad \omega_{\max} = \omega_{v1} = \frac{2 * \pi * n_{oma}}{60}$$

	P [mm]	U _{max} [mm]	t _b [s]	n _{v1} [U/min]	w _{v1} [rad/s]
Ds14x30	30	72.4	0.1125	2574	269.5
Ds10x25	25	72.4	0.1125	3090	323.6

Nun kann nach Wittel, Muhs, Jannasch und Vossiek (2013) die Antriebsmaschine wie folgt dargestellt werden (analog zu Abbildung 13-5, S.448):



Das reduzierte Trägheitsmoment J_{red} beträgt (S.449, Gleichung 13.4):

$$J_{red} = J_{rotor} + J_{Kupplung} + J_{Spindel} + m * \left(\frac{v_1}{\omega_{v1}} \right)^2$$

Und das Beschleunigungsdrehmoment M_a (S.449, Gleichung 13.3):

$$M_a = J_{red} * \frac{\Delta\omega}{t_b} = J_{red} * \frac{\omega_{v1}}{t_b}$$

Angewandt auf die ausgewählten Spindeltriebe ergibt dies:

	J _{red} [kgm ²]	M _a [Nm]	Reserve ¹ S = M _{antrieb} /M _a
Ds14x30 Edelstahl	5.36E-05	0.128	3.28
Ds14x30 Aluminium	4.93E-05	0.118	3.56
Ds10x25 Edelstahl	4.16E-05	0.120	3.50
Ds10x25 Aluminium	4.05 E-05	0.116	3.62

Weitere Angaben: überschlägige Kalkulation der beschleunigten Masse

	Stk.	Material	Volumen [mm ³]	Dichte[g/mm ³]	Gewicht [g]	Total [g]
Konstruktion						
grundplatte	1	AlMg1	34238	2.70E-03	92.4	92.4
fuehrung	3	AlMg1	21658	2.70E-03	58.5	175.4
montage_gewindetrieb	1	AlMg1	54929	2.70E-03	148.3	148.3
scheibe_innen	1	AlMg1	13174	2.70E-03	35.6	35.6
Normteile						
Keilnabe	1	Stahl	-	-	60.00	60.0
Gleitlager	6	iglidur J3	-	-	2	12.0
Stellring	3	Aluminium	-	-	13	39.0
Stechdorn	3	ABS	-	-	100.00	300.0
fuehrungsring	3	Kunststoff	-	-	2	6.0
Gewindetrieb	1	iglidur J	18980	1.49E-03	28.3	28.3
Muttern	6		-	-	1	6.0
Schrauben	3		-	-	2	6.0
Total						909.0

¹ Bei M_{antrieb}= 0.42Nm gemäss Datenblatt Trinamic QBL5704-116-04-042 (Rated Torque)