

Normierte Bewegungsgesetz

6.4.04

$$z_{ik} = \frac{\varphi_{ik}}{\Phi_{ik}}$$

Φ = Gesamtdrehinkel
im Anschliff

$$\Phi_{ik} = \varphi_k - \varphi_i$$

s_{ik} = Stößelgegenwart Hub

Dsp: $\varphi_2 = 40^\circ$

$\varphi_3 = 75^\circ$

$\Phi_{23} = 75^\circ - 40^\circ$

$\underline{\Phi_{23} = 35^\circ}$

$s_{ik} = f_{ik} \cdot S_{ik}$ (Wg)

s_{ik} = Gesamthub

$s'_{ik} = f'_{ik} \frac{s_{ik}}{\Phi_{ik}}$ (geschr)

f'_{ik} = Funktionswert

$s''_{ik} = f''_{ik} \frac{s_{ik}}{\Phi_{ik}^2}$ (Beschr.)

Winkelwerte in [Rad]
einsetzen

$s'''_{ik} = f'''_{ik} \frac{s_{ik}}{\Phi_{ik}^3}$ (Rnck)

$$\hat{\Phi} = \Phi^\circ \cdot \frac{\pi}{180}$$

Kurvengesetz: Berechnung von V und a

1

H = Hub [mm] oder [m]

\bar{t}_x = Zeit für den Gesamtabschnitt [s]

f = Weg

f' = Geschwindigkeit

f'' = Beschleunigung

n = Drehzahl [s^{-1}]

x = Abschnitt [$grad^\circ$]

Bsp.: Hub = 42 mm

$$f = 0,25$$

$$f' = 1,84$$

$$f'' = 4,71$$

$$n = 200 [min^{-1}]$$

$$n = 3,3 [s^{-1}]$$

$$x = 105^\circ$$

$$\text{Weg} = H \cdot f$$

$$\text{Geschw.} = \frac{H \cdot f'}{\bar{t}_x}$$

$$\text{Beschl.} = \frac{H \cdot f''}{\bar{t}_x^2}$$

$$\text{Weg} = 10,5 [\text{mm}]$$

$$V = \frac{0,042 \text{ m} \cdot 1,84}{0,0875 \text{ s}}$$

$$V = 0,883 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$a = \frac{0,042 \text{ m} \cdot 4,71}{0,0875^2 \text{ s}^2}$$

$$a = 25,84 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$\bar{t}_{360^\circ} = \frac{1}{n}$$

$$\bar{t}_x = \frac{\bar{t}_{360^\circ} \cdot x}{360}$$

$$\bar{t}_{360^\circ} = \frac{1}{3,3 [\text{s}^{-1}]} = 0,3 [\text{s}]$$

$$\bar{t}_x = \frac{0,3 [\text{s}] \cdot 105^\circ}{360^\circ}$$

$$\bar{t}_x = 0,0875 [\text{s}]$$

Randwertanpassung

(Beschl. = constant)

$$f''_{\text{Neu}} = \frac{\bar{t}_{\text{Neu}}^2 \cdot f''_{\text{Alt}}}{\bar{t}_{\text{Alt}}^2}$$

$$f''_{\text{Neu}} = \frac{H_{\text{Neu}} \cdot f''_{\text{Alt}} \cdot \bar{t}_{\text{Neu}}^2}{H_{\text{Alt}} \cdot \bar{t}_{\text{Alt}}^2}$$

für Hub = constant

Kurvengesetz : Umrechnung eines symm. Bewegungsgesetzes in ein unsymm. Bewegungsgesetz [2]

$f(\bar{z})$, $f'(\bar{z})$, $f''(\bar{z})$ bezogenes symm. Bewegungsgesetz

$f(z)$, $f'(z)$, $f''(z)$ unsymm. Bewegungsgesetz

Bereich I

$$0 \leq z \leq \lambda$$

$$\bar{z} = \frac{z}{2\lambda}$$

$$f(z) = 2\lambda f(\bar{z})$$

$$f'(z) = f'(\bar{z})$$

$$f''(z) = f''(\bar{z}) \frac{1}{2\lambda}$$

Bereich II

$$\lambda \leq z \leq 1$$

$$\bar{z} = 0,5 + \frac{z-\lambda}{2(1-\lambda)}$$

$$f(z) = \lambda + [2(1-\lambda)[f(\bar{z}) - 0,5]]$$

$$f'(z) = f'(\bar{z})$$

$$f''(z) = f''(\bar{z}) \frac{1}{2(1-\lambda)}$$

Kurvengesetz: Einfache Sinuside

[3]

$$f = \frac{1}{2}(1 - \cos(\pi \cdot \frac{x}{T})) \hat{=} f = H \cdot \frac{1}{2}(1 - \cos(\pi \cdot \frac{x}{T}))$$

$$f' = \frac{H \cdot \pi}{2 \cdot T} \sin(\pi \cdot \frac{x}{T})$$

$$f'' = \frac{H \cdot \pi^2}{2 \cdot T^2} \cos(\pi \cdot \frac{x}{T})$$

H = Flub [mm]

$\frac{H}{T}$ = Zeit für den gesamten Abschnitt [s]

x = Zeit für den momentanen Berechnungszeitpunkt [s]

v_{\max} (bei $T = \frac{\pi}{2}$)

$$v_{\max} = \frac{H \cdot \pi}{2 \cdot T} \underbrace{\sin(\pi \cdot \frac{\pi}{2})}_1$$

$$v_{\max} = \frac{H \cdot \pi}{2 \cdot T}$$

Bsp: Abschnitt = 80°

Flub = 30 [mm]

$\frac{H}{T}$ = 500 [min $^{-1}$]

$\frac{H}{T}$ = 8,3 [s $^{-1}$]

$\frac{H}{T_{360^\circ}}$ = 0,12 [s]

$\frac{H}{T_{80^\circ}}$ = $\frac{0,12 \text{ s} \cdot 80^\circ}{360^\circ}$

$$v_{\max} = 1,76 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$\frac{H}{T_{80^\circ}}$ = 0,026 [s]

a_{\max} (bei $T=0$ und $T=\pi$)

$$a_{\max} = \frac{H \cdot \pi^2}{2 \cdot T^2} \underbrace{\cos(\pi \cdot \frac{0}{T})}_1$$

$$a_{\max} = \frac{H \cdot \pi^2}{2 \cdot T^2}$$

Bsp:

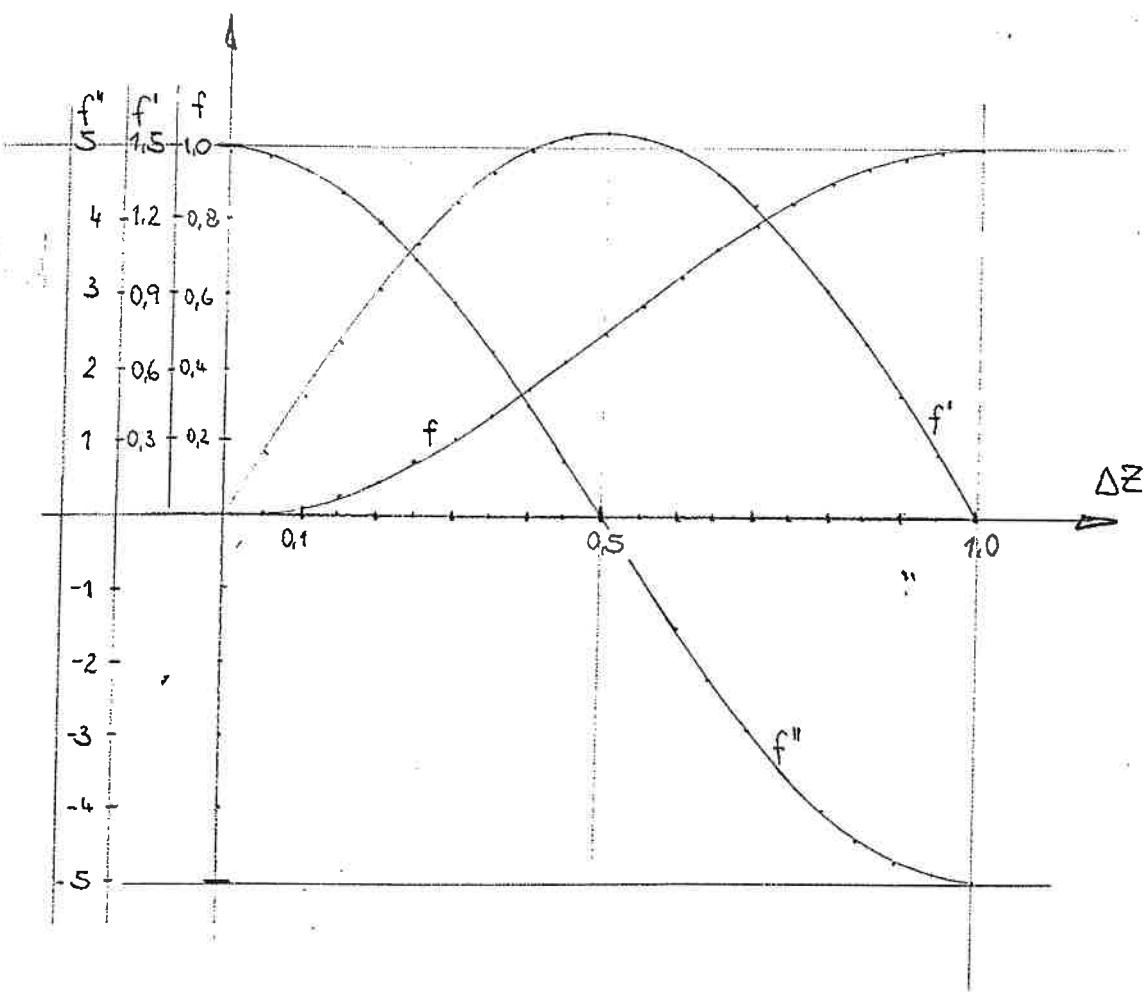
$$a_{\max} = \frac{0,03 \text{ m} \cdot \pi^2}{2 \cdot 0,026^2 \text{ s}^2}$$

$$a_{\max} = 208,18 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

geeignet für Umlehr - Umlehr

 Kurvengesetz:
 Einfache Sinuside
 ***** (S)

Δz	f	f'	f''
0.0000	0.0000	0.0000	4.9348
0.0500	0.0061	0.2457	4.8740
0.1000	0.0244	0.4854	4.6932
0.1500	0.0544	0.7131	4.3969
0.2000	0.0954	0.9232	3.9923
0.2500	0.1464	1.1107	3.4894
0.3000	0.2061	1.2708	2.9006
0.3500	0.2730	1.3995	2.2403
0.4000	0.3454	1.4939	1.5249
0.4500	0.4217	1.5514	0.7719
0.5000	0.5000	1.5707	-0.0000
0.5500	0.5782	1.5514	-0.7719
0.6000	0.6545	1.4939	-1.5249
0.6500	0.7269	1.3995	-2.2403
0.7000	0.7938	1.2708	-2.9006
0.7500	0.8535	1.1107	-3.4894
0.8000	0.9045	0.9232	-3.9923
0.8500	0.9455	0.7131	-4.3969
0.9000	0.9755	0.4854	-4.6932
0.9500	0.9938	0.2457	-4.8740
1.0000	1.0000	0.0000	-4.9348



f = Weg
 f' = Geschwindigkeit
 f'' = Beschleunigung

Kurvengesetz: einfache Linseide mit Wendepunktwert-
 (Umkehr-Umkehr) schreibung [5]

Bereich I: $0 \leq z \leq \lambda$

$$f_1 = C_A \left(\frac{2\lambda}{\pi}\right)^2 \left[1 - \cos\left(\frac{\pi z}{2\lambda}\right)\right]$$

$$C_A = \frac{\pi}{2\lambda \left(\frac{2}{\pi}\right)}$$

$$f_1' = C_A \left(\frac{2\lambda}{\pi}\right) \sin\left(\frac{\pi z}{2\lambda}\right)$$

$$C_A = \frac{\pi^2}{4\lambda}$$

$$f_1'' = C_A \cos\left(\frac{\pi z}{2\lambda}\right)$$

Bereich II: $\lambda \leq z \leq 1$

$$f_2 = C_A \left(\frac{2\lambda}{\pi}\right) \left[\frac{2(1-\lambda)}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{2(1-\lambda)}(z-1+(1-\lambda))\right) + \frac{2\lambda}{\pi} \right]$$

$$f_2' = C_A \frac{2\lambda}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{2(1-\lambda)}(z-1+(1-\lambda))\right)$$

$$f_2'' = -C_A \frac{\lambda}{1-\lambda} \sin\left[\frac{\pi}{2(1-\lambda)}(z-1+(1-\lambda))\right]$$

$$\lambda = \frac{\pi}{2 \left[1 + \left(\frac{2}{\pi} - 1\right)\right]} \cdot \frac{1}{C_A}$$

f_2'' , C_A und f''
 eingesetzt

$$\lambda = \frac{2,4674011}{C_A (\hat{=} f''_{\text{Nen}})}$$

Kurvengesetz: geneigte Sinuside

[6]

$$f = 2 - \frac{1}{2\pi} \sin(2\pi z) \quad \hat{=} \quad f = \frac{H}{T} \left(1 - \frac{1}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi z}{T}\right) \right)$$

$$f' = \frac{H}{T} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi z}{T}\right) \right]$$

$$f'' = \frac{H}{T^2} \cdot 2\pi \sin\left(\frac{2\pi z}{T}\right)$$

H = Flub [mm]

T = Zeit für den gesamten Abschnitt [s]

z = Zeit für den momentanen Berechnungspunkt

v_{max} (bei $T = \frac{1}{2}$)

$$v_{max} = \frac{H}{T} \underbrace{\left[1 - \cos\left(\frac{2\pi z}{2 \cdot T}\right) \right]}_2$$

$$v_{max} = 2 \cdot \frac{H}{T}$$

Bsp: Abschnitt = 80°

Flub = 30 [mm]

$n = 500 [\text{min}^{-1}]$

$n = 8,3 [\text{s}^{-1}]$

$\frac{1}{360^\circ} = 0,12 [\text{s}]$

$\frac{1}{80^\circ} = \frac{0,12 \text{ s} \cdot 80^\circ}{360^\circ}$

$$v_{max} = 2,25 \frac{[\text{m}]}{\text{s}}$$

$$\frac{1}{80^\circ} = 0,025 \frac{[\text{s}]}{\text{s}}$$

a_{max} (bei $T = \frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}T$)

$$a_{max} = \frac{H}{T^2} \cdot 2\pi \underbrace{\sin\left(\frac{2\pi z}{2 \cdot T}\right)}_1$$

$$a_{max} = 2\pi \cdot \frac{H}{T^2}$$

$$a_{max} = 2\pi \cdot \frac{0,03 \text{ m}}{0,025^2 \text{ s}^2}$$

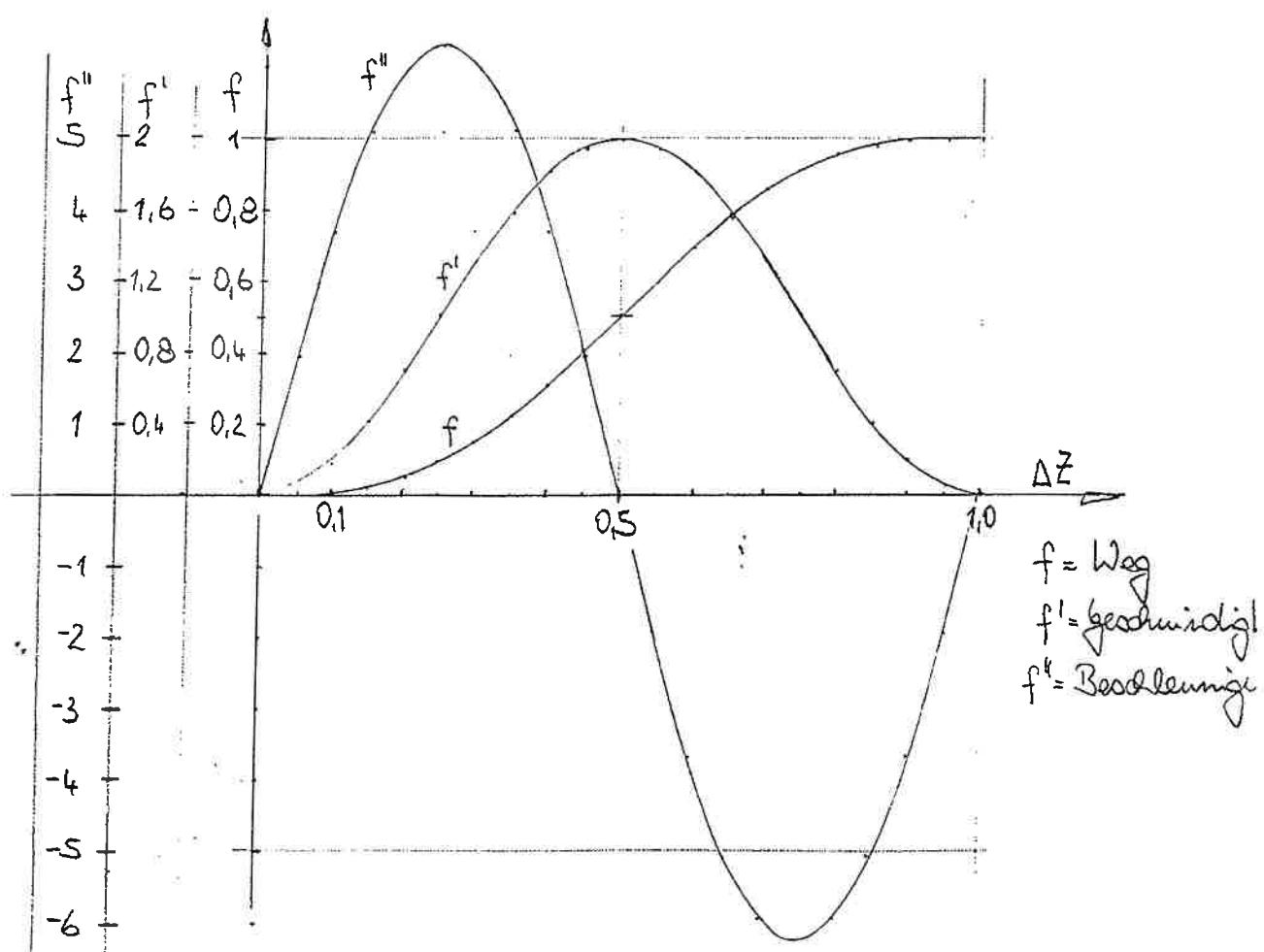
$$a_{max} = 265,07 \frac{[\text{m}]}{\text{s}^2}$$

geeignet für Rast - Rast

Kurvengesetz:
Geschwiste Sinoide

(1)

Δz	f	f'	f''
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0500	0.0008	0.0489	1.9416
0.1000	0.0064	0.1909	3.6931
0.1500	0.0212	0.4122	5.0832
0.2000	0.0486	0.6909	5.9756
0.2500	0.0908	1.0000	-6.2831
0.3000	0.1486	1.3090	5.9756
0.3500	0.2212	1.5877	5.0832
0.4000	0.3064	1.8090	3.6931
0.4500	0.4008	1.9510	1.9416
0.5000	0.5000	2.0000	0.0000
0.5500	0.5991	1.9510	-1.9416
0.6000	0.6935	1.8090	-3.6931
0.6500	0.7787	1.5877	-5.0832
0.7000	0.8513	1.3090	-5.9756
0.7500	0.9091	1.0000	-6.2831
0.8000	0.9513	0.6909	-5.9756
0.8500	0.9787	0.4122	-5.0832
0.9000	0.9935	0.1909	-3.6931
0.9500	0.9991	0.0489	-1.9416
1.0000	1.0000	0.0000	0.0000



Kurvengesetz: geneigte Sinuside mit Rast-Rast
Wendepunktworschreibung [8]

$f(\bar{z})$, $f'(\bar{z})$, $f''(\bar{z})$ besogenes symm. Bewegungsgesetz

$f(z)$, $f'(z)$, $f''(z)$ unsymm. Bewegungsgesetze

Bereich I

$$0 \leq z \leq \lambda$$

$$\bar{z} = \frac{z}{2\lambda}$$

$$f(z) = 2\lambda \left[\bar{z} - \frac{1}{2\pi} \sin(2\pi \bar{z}) \right]$$

$$f'(z) = 1 - \cos(2\pi \bar{z})$$

$$f''(z) = \frac{1}{2\lambda} [2\pi \sin(2\pi \bar{z})]$$

Bereich II

$$\lambda \leq z \leq 1$$

$$\bar{z} = 0,5 + \frac{z-\lambda}{2(1-\lambda)}$$

$$f(z) = \lambda + 2(1-\lambda) \left[\left(\bar{z} - \frac{1}{2\pi} \sin(2\pi \bar{z}) \right) - 0,5 \right]$$

$$f'(z) = 1 - \cos(2\pi \bar{z})$$

$$f''(z) = \frac{1}{2(1-\lambda)} [2\pi \sin(2\pi \bar{z})]$$

Kurvengesetz: harmonische Kombination Rast - Umkehr [9]

Bereich I: $0 \leq z \leq \lambda/4$

$$f_1 = \frac{2}{2\pi} C_a \left(z - \frac{\lambda}{2\pi} \sin P_1 \right)$$

$$P_1 = \frac{2\pi \cdot z}{\lambda}$$

$$f_1' = \frac{\lambda}{2\pi} C_a (1 - \cos P_1)$$

$$f_1'' = C_a \sin P_1$$

Bereich II: $\lambda/4 \leq z \leq \lambda$

$$f_2 = \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)^2 C_a \left(8 + \frac{2\pi}{\lambda} z - 9 \cos P_2 \right)$$

$$P_2 = \frac{2\pi}{3\lambda} \left[z - \frac{\lambda}{4} \right]$$

$$f_2' = \frac{\lambda}{2\pi} C_a (1 + 3 \sin P_2)$$

$$f_2'' = C_a \cos P_2$$

Bereich III: $\lambda \leq z \leq 1$

$$f_3 = -\frac{1-\lambda}{\pi} C_a^* \left[\frac{4(1-\lambda)}{\pi} \sin P_3 + \frac{\lambda}{2\pi} (4+\pi) \right]$$

$$P_3 = \frac{\pi}{2(1-\lambda)} [z - \lambda]$$

$$f_3' = -\frac{2(1-\lambda)}{\pi} C_a^* \cos P_3$$

$$f_3'' = C_a^* \sin P_3$$

Umkehrtransform $f_{\text{ul}}'' = C_a^*$

$$f_{\text{Neu}}'' = \frac{T_{\text{Neu}}^2 \cdot f_{\text{Aet}}''}{T_{\text{Aet}}^2}$$

$$C_a^* = \frac{-2\pi^2}{8 - \lambda(12 - \pi) + \lambda^2(4 - \pi)}$$

für f_{ul} = konstant

$$C_a = -\frac{1-\lambda}{\lambda} C_a^*$$

$$\lambda = 5,15979 - \sqrt{17,30387 + 22,99515 \left(\frac{1}{f_{\text{ul}}''} \right)}$$

$$S_{\text{Neu}}'' = f_{\text{ul}}''$$

Kurvengesetz: harmonische Kombination

[9a]

Bereichsgrenzen für den Umkehrwinkelwert C_A^*

$$C_A^* = f_u'' = f_{(Neu)}''$$

$f_{(Neu)}''$ muss größer 2,4674 sein

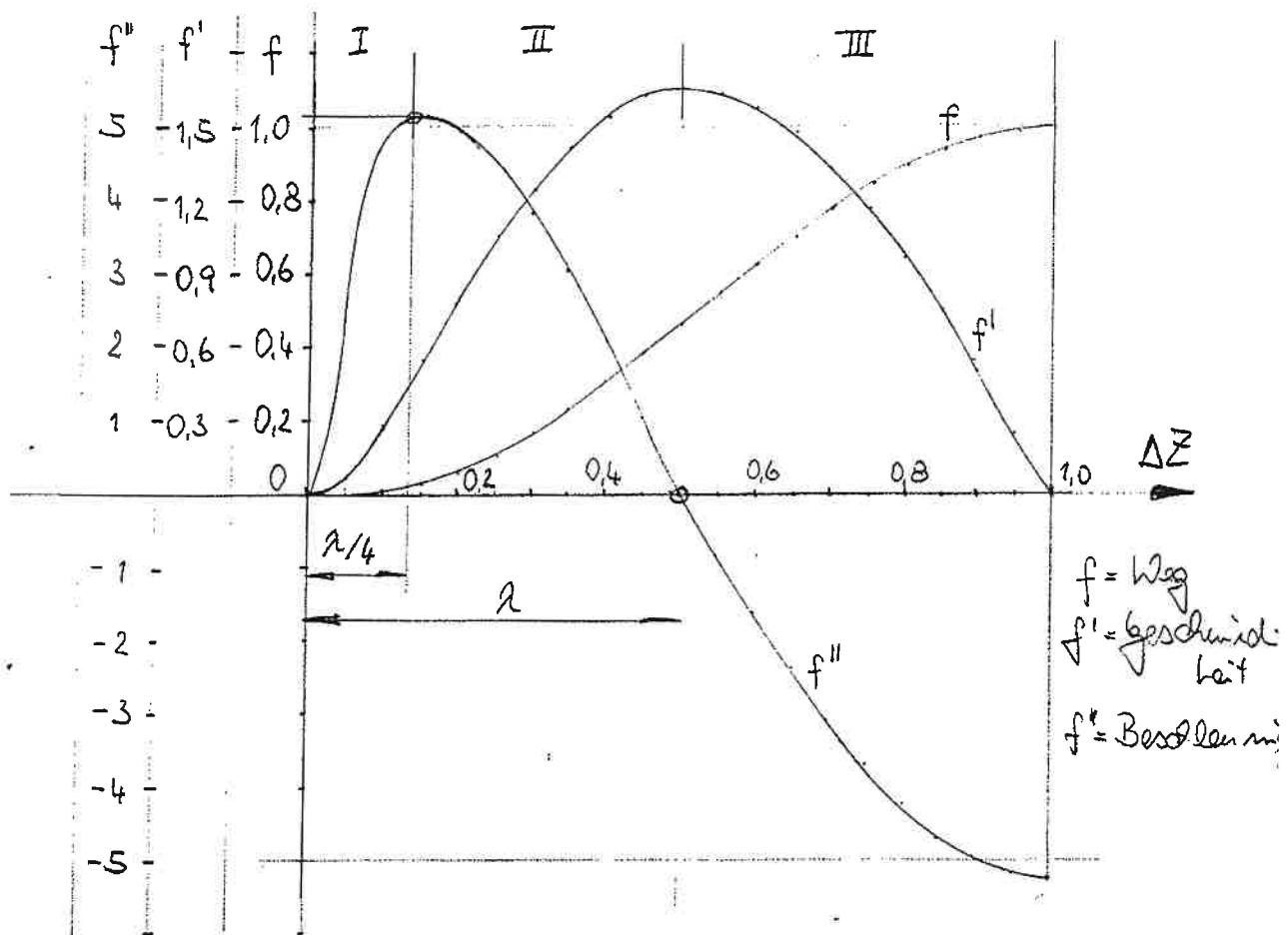
aussonst wird $\lambda = 0$ oder negativ

Ablöse: $\lambda \text{ (rest) } \geq 0$

 Kurvengesetz:
 Harmonische Kombination
 $\lambda = 0.500$
 Rast - Umkehr

(4)

Δz	f	f'	f''
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0500	0.0013	0.0792	3.0650
0.1000	0.0100	0.2867	4.9593
0.1500	0.0308	0.5450	5.1060
0.2000	0.0645	0.7996	4.9593
0.2500	0.1105	1.0374	4.5159
0.3000	0.1678	1.2479	3.8751
0.3500	0.2347	1.4220	3.0650
0.4000	0.3092	1.5522	2.1209
0.4500	0.3891	1.6326	1.0841
0.5000	0.4716	1.6598	-0.0000
0.5500	0.5543	1.6394	-0.8157
0.6000	0.6349	1.5786	-1.6113
0.6500	0.7115	1.4789	-2.3673
0.7000	0.7822	1.3428	-3.0650
0.7500	0.8452	1.1736	-3.6872
0.8000	0.8990	0.9756	-4.2186
0.8500	0.9424	0.7535	-4.6462
0.9000	0.9741	0.5129	-4.9593
0.9500	0.9934	0.2596	-5.1503
1.0000	1.0000	-0.0000	-5.2145



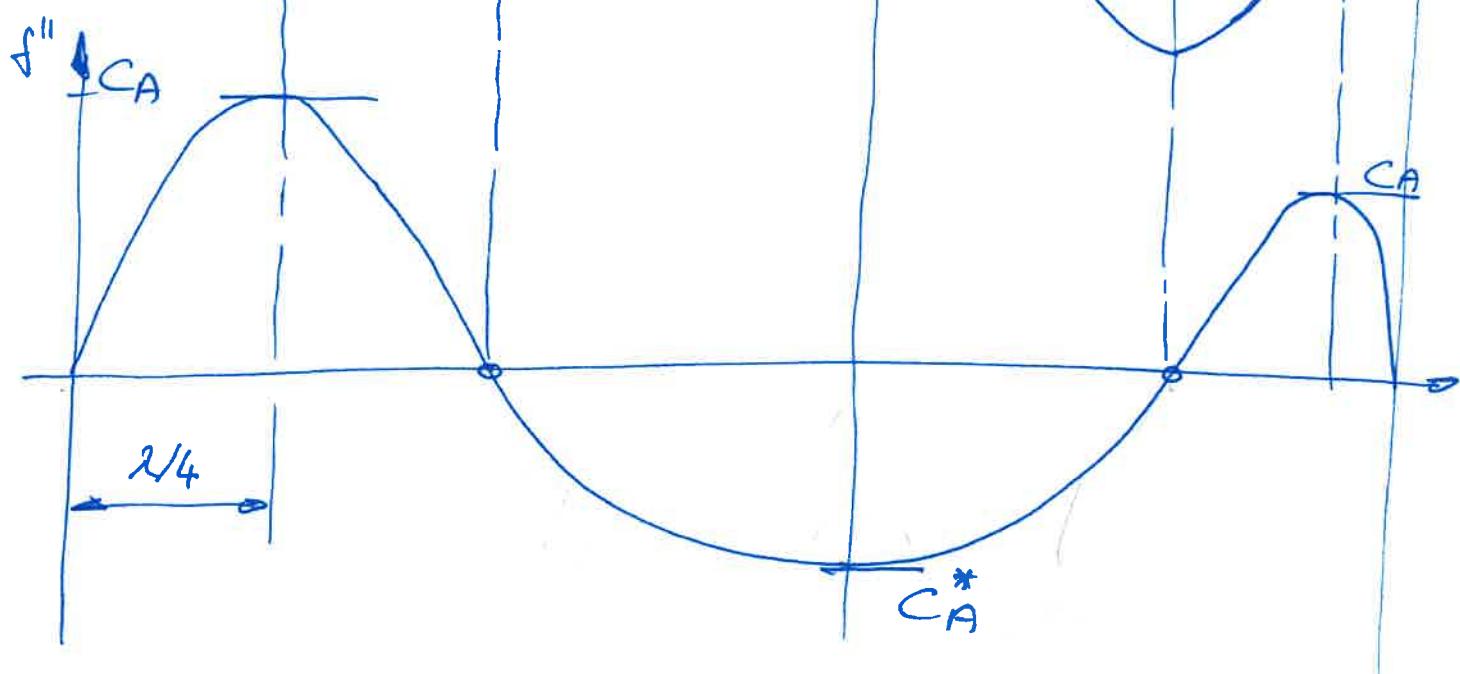
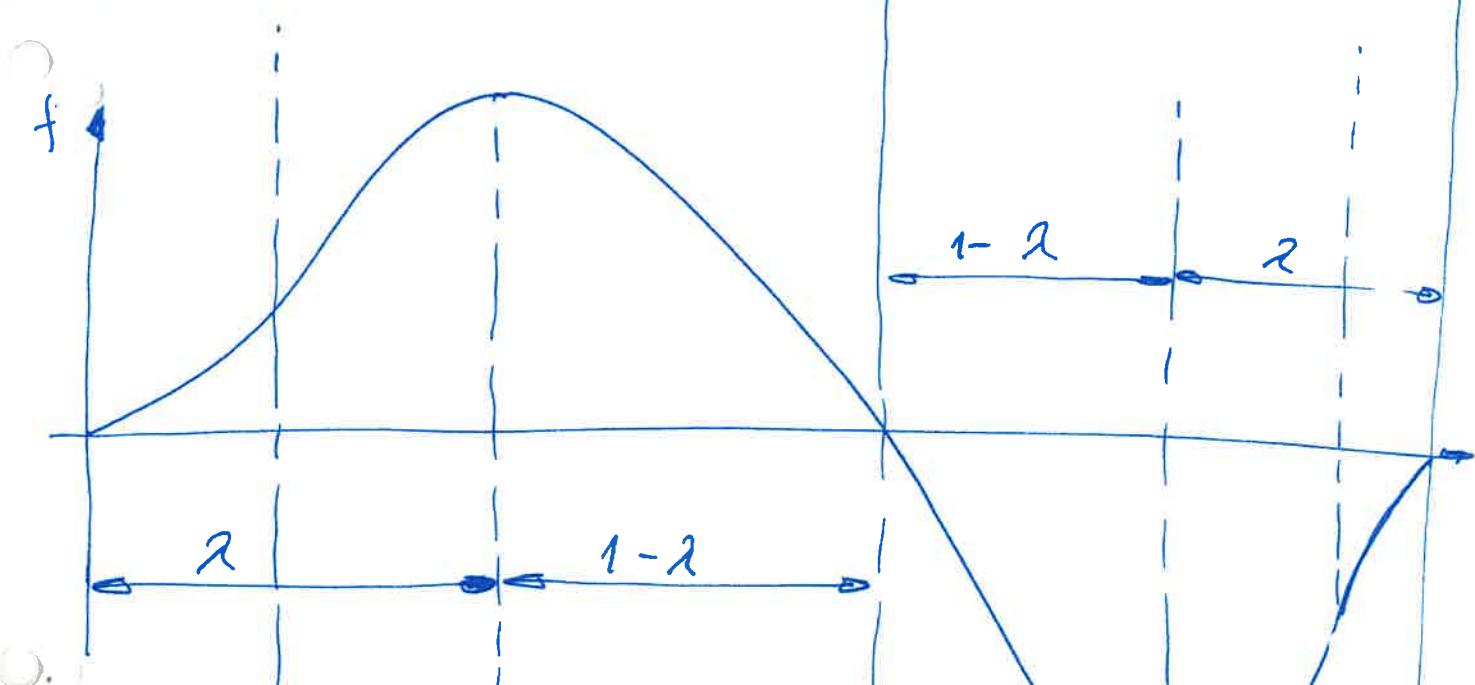
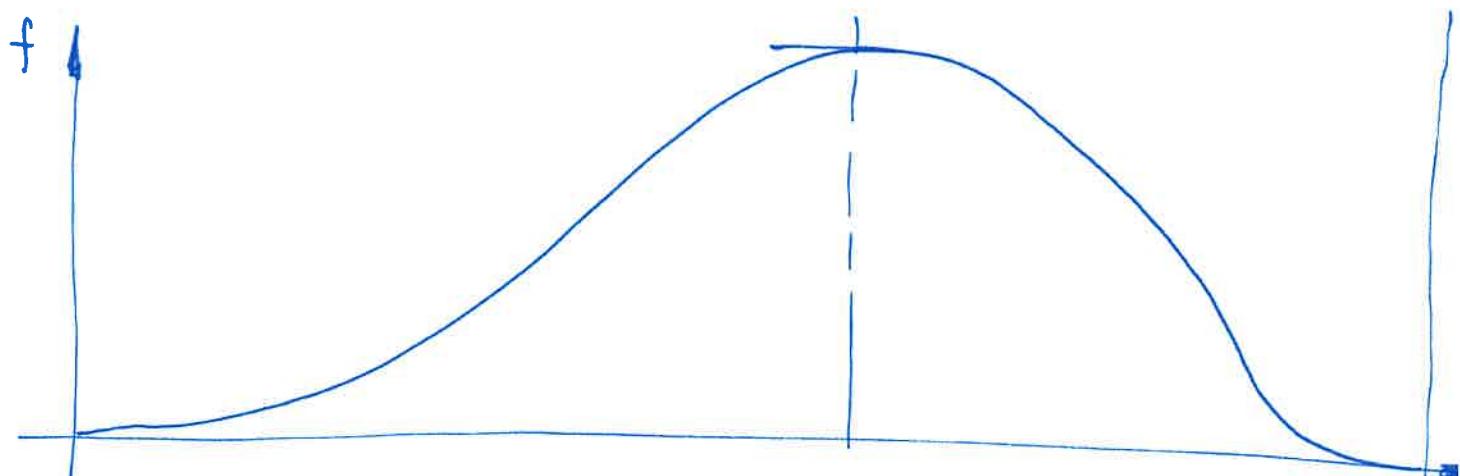
Kurvengesetz:
Harmonische Kombination
Lambda = 0.500
Umkehr - Rast

(4)

Δz	f	f'	f''
0.0000	0.0000	-0.0000	5.2145
0.0500	0.0065	0.2596	5.1503
0.1000	0.0258	0.5129	4.9593
0.1500	0.0575	0.7535	4.6462
0.2000	0.1009	0.9756	4.2186
0.2500	0.1547	1.1736	3.6872
0.3000	0.2177	1.3428	3.0650
0.3500	0.2884	1.4789	2.3673
0.4000	0.3650	1.5786	1.6113
0.4500	0.4456	1.6394	0.8157
0.5000	0.5283	1.6598	0.0000
0.5500	0.6108	1.6326	-1.0841
0.6000	0.6907	1.5522	-2.1209
0.6500	0.7652	1.4220	-3.0650
0.7000	0.8321	1.2479	-3.8751
0.7500	0.8894	1.0374	-4.5159
0.8000	0.9354	0.7996	-4.9593
0.8500	0.9691	0.5450	-5.1860
0.9000	0.9899	0.2867	-4.9593
0.9500	0.9986	0.0792	-3.0650
1.0000	1.0000	0.0000	0.0000

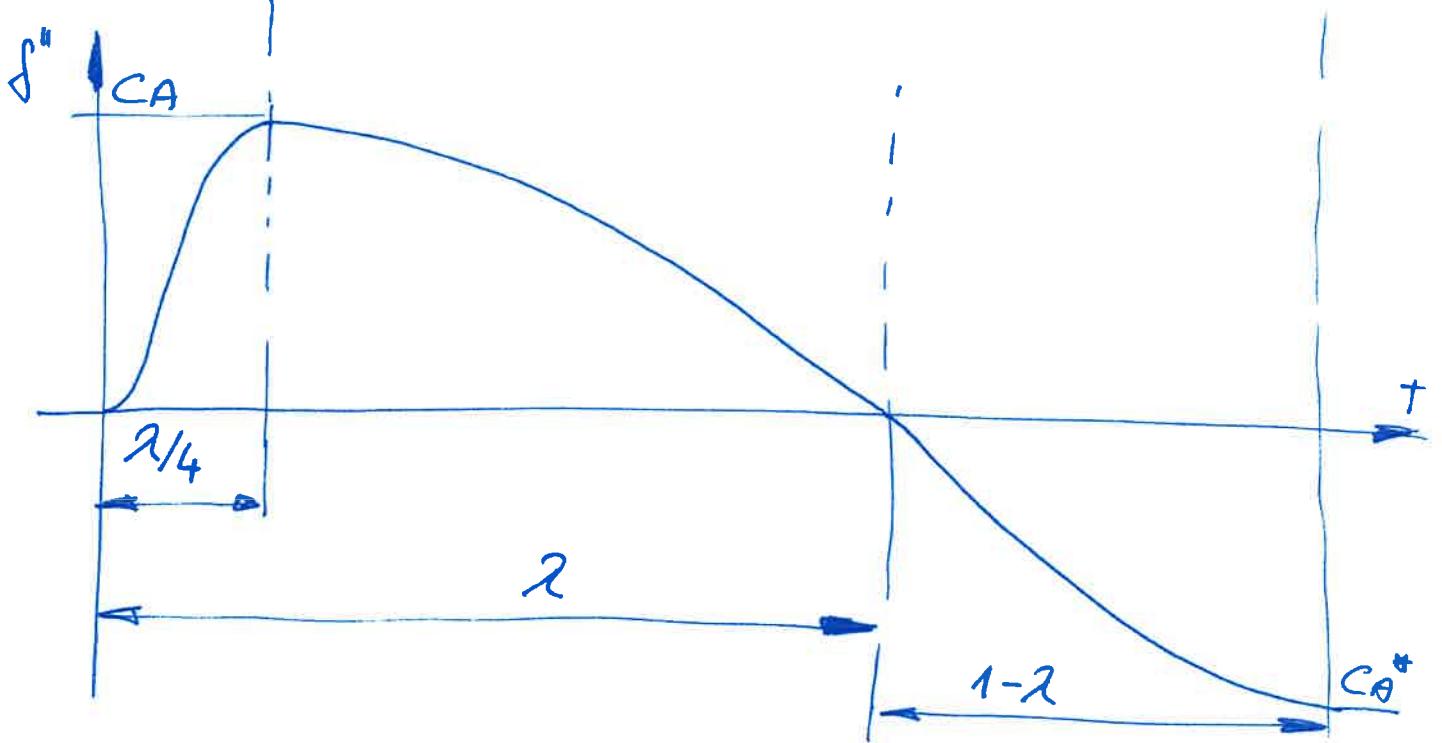
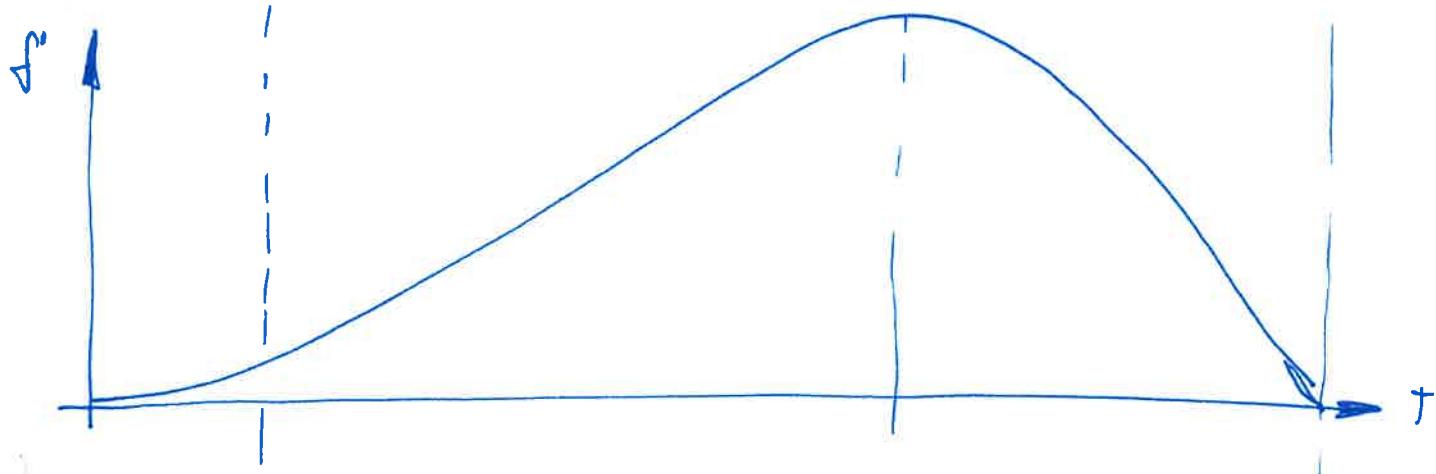
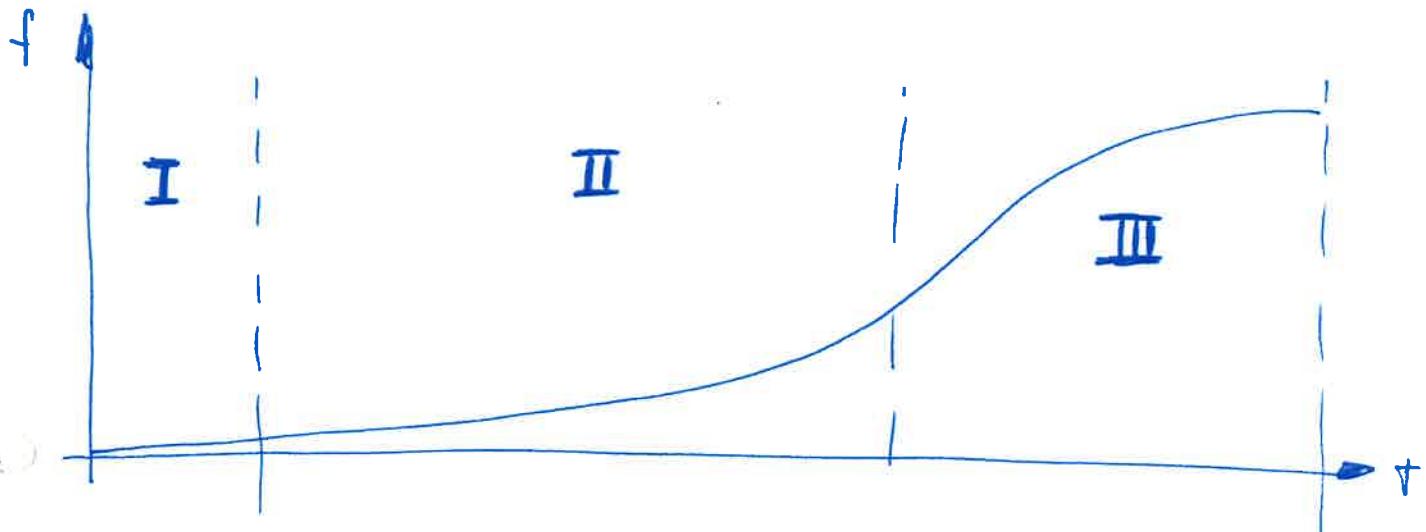
Harmonische Kombination

1 Zylinder Rast-Umlehr und Umlehr-Rast

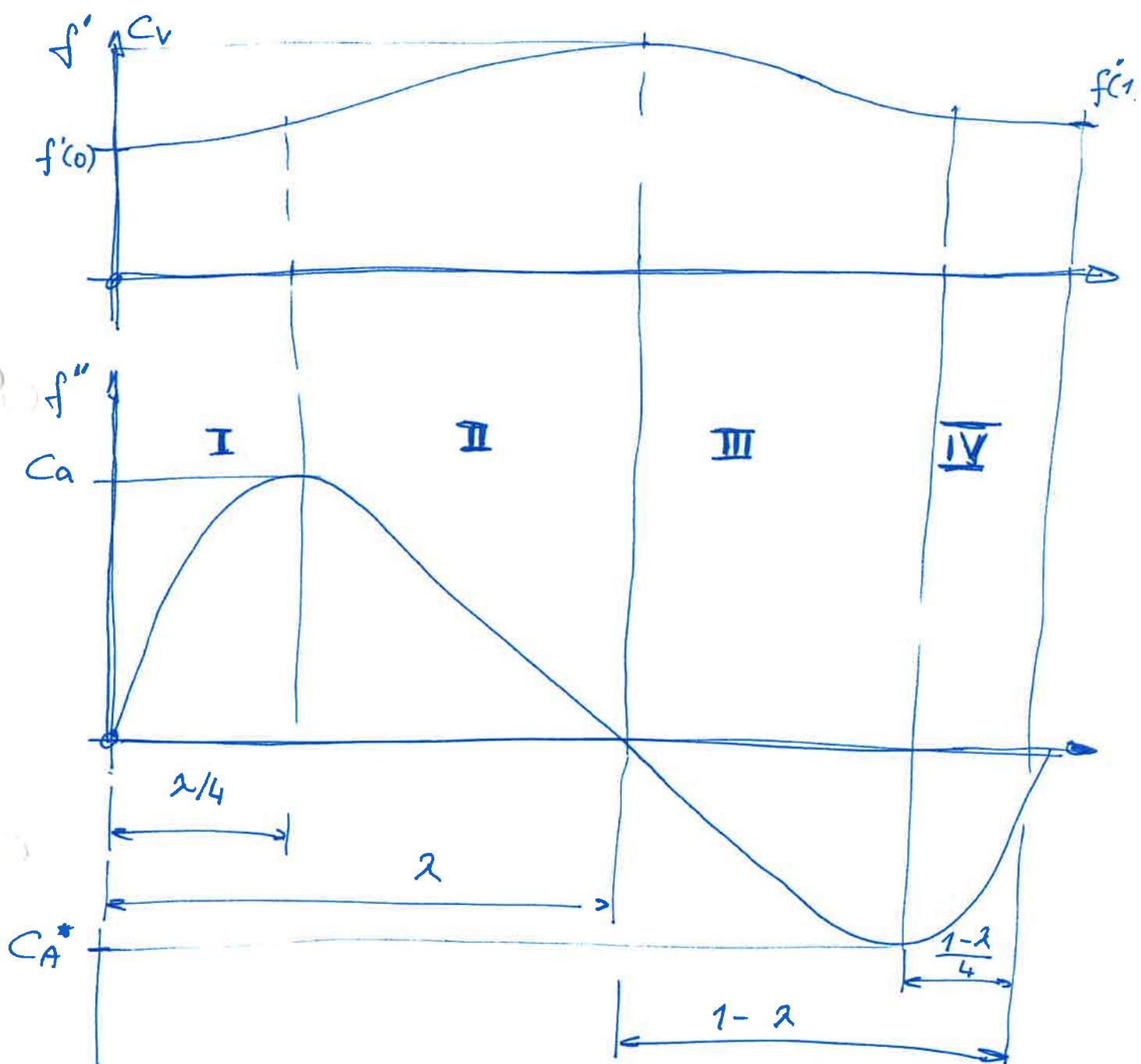


Harmonische Kombination

Rast-Umlehr



Reziprokerste Sinuslinie für konstante
Geleitfähigkeit in konstante Geleitfähigkeit



Bereich 0 ... 45°

$$f''_{\text{Neu}} = \frac{H_{\text{Alt}} \cdot f''_{\text{Alt}} \cdot \bar{T}_{\text{Neu}}^2}{H_{\text{Neu}} \cdot \bar{T}_{\text{Alt}}^2}$$

$$f''_{\text{Neu}} = \frac{13 \text{ mm} \cdot 4,9348 \cdot 0,0375^2 \text{ s}^2}{18,7 \text{ mm} \cdot 0,03^2 \text{ s}^2}$$

$$\underline{f''_{\text{Neu}} = 4,341874}$$

$$\lambda = 5,15979 - \sqrt{17,30387 + 22,99515 \frac{1}{f''_{\text{Neu}}}}$$

$$\underline{\lambda = 0,405843}$$

Beispiel

$$H_{\text{Alt}} = 13 \text{ mm}$$

$$H_{\text{Neu}} = 18,7 \text{ mm}$$

$$f''_{\text{Alt}} = +4,9348$$

$$n = 200 \text{ min}^{-1}$$

$$n = 3,3 \text{ s}^{-1}$$

$$\bar{T}_{360} = 0,3 \text{ s}$$

$$\bar{T}_{45^\circ} = 0,0375 \text{ s}$$

$$\bar{T}_{40^\circ} = 0,03 \text{ s}$$

Bereich 85° 220° ∴ 0.

Bereich 220° ... 360°

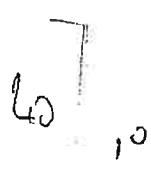
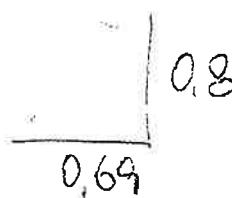
$$\bar{T}_{350} = 0,1125 \text{ s}$$

$$\bar{T}_{400} = 0,116 \text{ s}$$

$$f''_{\text{Neu}} = \frac{65,3 \text{ mm} \cdot 3,1653 \cdot 0,116^2 \text{ s}^2}{71 \text{ mm} \cdot 0,1125^2 \text{ s}^2}$$

$$\underline{f''_{\text{Neu}} = 3,130817}$$

$$\underline{\lambda = 0,1950497}$$



$$\lambda = \frac{\left| \frac{C_A''}{C_A} \right|}{\left| \frac{C_A''}{C_A} \right| + 1}$$

$C_A'' = \text{Rechter Radialwinkel}$

$$\begin{array}{c} X \\ \parallel \\ 0,0 \\ \parallel \\ E \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \alpha_{10^\circ} \\ \parallel \\ 0,0 \\ \parallel \\ E \end{array}$$