



Beleg

Protokoll Hebezeugbremse Experimentelle Analyse des Maschineneinsatzes Gruppe 2

Versuchsteilnehmer:	Xiaochuan Lu	4724130
	Mengxu Lei	4817284
	Canqi Zheng	4824076
	Qinwen Wang	4806773
	Yunyi Sun	4675714

Abgabetermin:	08.02.2020
---------------	------------

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
1 Grundlagen	1
1.1. Hubwerk.....	1
1.2. Bremsenprüfstand.....	2
2 Hubwerke.....	3
2.1 Berechnung.....	3
2.1.1 Der für die Auswahl der Bremse maßgebenden Bremsmoments.....	3
2.1.2 Erforderliches Bremsmoment	3
2.1.3 Ersatzmassenträgheitsmoments.....	3
2.1.4 Die maximale Bremszeit bei Stoppbremung	4
2.1.5 Der maximale Bremsweg bei Stoppbremung.....	4
2.1.6 Rechnerisches Ersatzträgheitsmoment	4
3 Bremsprüfstand	5
3.1 Grafische Darstellung der Kalibrierkurve	5
3.2 Geometrische Größen der Bremse.....	6
3.3 Massenträgheiten Vergleichen	7
3.4 Bewertung der Ergebnisse für die Bremsvorgänge	7
3.4.1 Darstellung der Zeitverläufe.....	7
3.4.2 Bestimmung des rechnerischen Bremsmoments aus Zeitverlauf.....	10
3.4.3 Bestimmung des Bremsmoments aus Messstelle M2	11
3.4.4 Bestimmung der Reibungszahlen	13
3.4.5 Bewertung der Ergebnisse.....	14
3.5 Eignung der verwendeten Bremse als Haltbremse.....	14
3.6 Maximale Wärmebeanspruchung bei Stoppbremung	14
3.6.1 Einmalige Stoppbremung	15
3.6.2 Gehäufte Stoppbremung	15
3.7 Darstellung und Bewertung des Temperaturmessverfahrens.....	17
3.7.1 Darstellung des gemessenen Temperaturverlaufs	17
3.7.2 Bewertung der Temperaturmessverläufen (Versuchsreihe 1)	20

3.8	Berechnung der zu erwartenden Temperatur	21
3.9	Bestimmung der Parameter	21
3.9.1	Der Gesamt-Federsteifigkeit des ‚Antriebsstrangs‘	21
3.9.2	Bestimmung des Durchmessers	23

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Schema eines Hubwerks	1
Abbildung 1-2 Bremsenprüfstand - Bremse nicht montiert	2
Abbildung 3-1 Pendelrahmen zur Messung des Bremsmoments	5
Abbildung 3-2 Doppelbackenbremse	6
Abbildung 3-3 Messstelle M1: Drehzahl	7
Abbildung 3-4 Messstelle M2: Bremsmoment	8
Abbildung 3-5 Messstelle M3: Zugstangenkraft	8
Abbildung 3-6 Messstelle: M1 Drehzahl	9
Abbildung 3-7 Messstelle M2: Bremsmoment	9
Abbildung 3-8 Messstelle M3: Zugstangenkraft	10
Abbildung 3-9 Drehzahl bei Bremsvorgang bei Versuchsreihe 1	10
Abbildung 3-10 Drehzahl bei Bremsvorgang bei Versuchsreihe 2	11
Abbildung 3-11 Bremsmoment bei Versuchsreihe 1	11
Abbildung 3-12 Bremsmoment bei Versuchsreihe 2	12
Abbildung 3-13 Zugkraft bei Bremsvorgang bei Versuchsreihe 1	13
Abbildung 3-14 Zugkraft bei Bremsvorgang bei Versuchsreihe 2	13
Abbildung 3-15 Bremsbeläge DIN 15435-110	14
Abbildung 3-16 Kennlinienfelder für Bezugstemperatur T_{gu0} und T_{go0}	15
Abbildung 3-17 Kennlinienfelder für φ_{BD}	16
Abbildung 3-18 Kennlinienfelder für $\varphi_{p\mu}$ und $\varphi_{p\mu 0}$	16
Abbildung 3-19 Kennlinienfelder für φ_b	17
Abbildung 3-20 Temperaturverlauf von Versuchsreihe 1	18
Abbildung 3-21 Temperaturverlauf von Versuchsreihe 1	19
Abbildung 3-22 Temperaturverlauf von Versuchsreihe 2	19
Abbildung 3-23 Temperaturverlauf von Versuchsreihe 2	20
Abbildung 3-24 Temperaturverlauf von Versuchsreihe 2	20
Abbildung 3-25 Analyse der Schwingung 1	22
Abbildung 3-26 Analyse der Schwingung 2	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1 Messdaten von dem Kalibrieren	5
Tabelle 3-2 Bremsmoment aus Gleichung.....	11
Tabelle 3-3 Temperaturverlauf von Versuchsreihe 1	18

1 Grundlagen

1.1. Hubwerk

Die in dieses Experiment diskutierte Hubwerke ermöglicht vertikale Bewegung von Lastmasse durch die in Abbildung 1.1 gezeigte kinematische Kette. Die Bremse verbindet Motor und Getriebe, und wird meist von einem elektrohydraulischen Hubgerät (Elhy-Gerät) gelöst. Nur bei eingeschaltetem Elhy-Gerät wird der Antriebsmotor eingeschaltet.

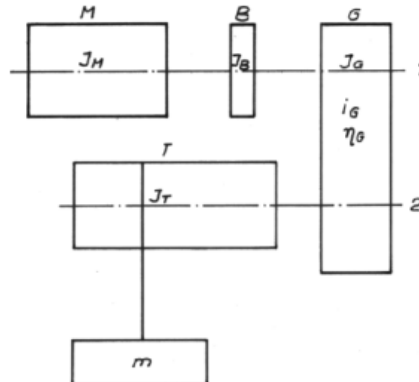


Abbildung 1-1 Schema eines Hubwerks

M	Motor
B	Bremse
G	Getriebe
T	Seiltrommel
m	Lastmasse (in Zeichnungsebene geklappt)
J	Massenträgheitsmoment
i	Übersetzungsverhältnis
η	Wirkungsgrad

1.2. Bremsenprüfstand

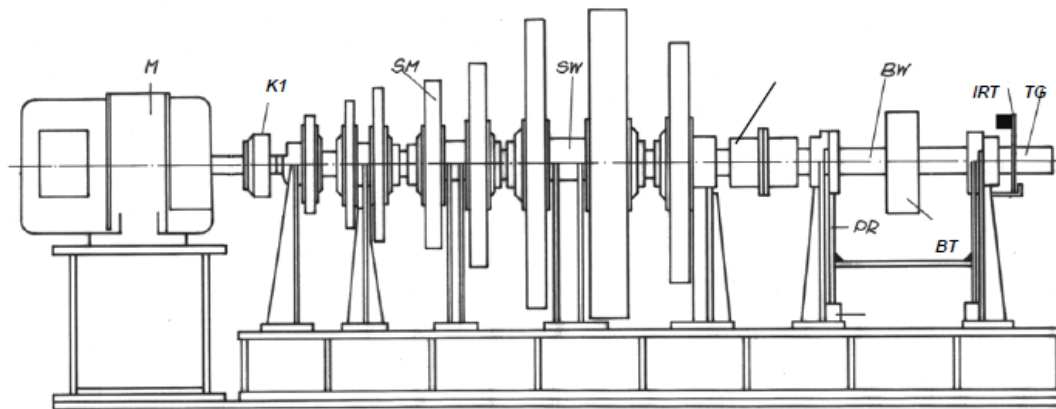


Abbildung 1-2 Bremsenprüfstand - Bremse nicht montiert

M Antriebsmotor;

K1/K2 Kupplung;

SM Schwungmasse;

SW Schwungmassenwelle;

BW Bremsenwelle;

BT Bremstrommel (bzw. -scheibe);

PR Pendelrahmen;

KMD Kraftmessdose;

IRT Infrarot-Temperaturgeber;

TG Tachogenerator

Auf dem in Abbildung 1.2 dargestellten Prüfstand werden Belastungen beim Verzögen von Hub- und Fahrtrieben nachgebildet, um die Bremse zu prüfen. Durch einen geregelten Gleichstrommotor werden die Schwungmassen- und Bremsenwelle auf die eingestellte Drehzahl gebracht. Die acht Schwungmassen verbinden mit Schwungmassenwelle durch im Stillstand schaltbare Zahnkupplungen.

2 Hubwerke

2.1 Berechnung

2.1.1 Der für die Auswahl der Bremse maßgebenden Bremsmoments

Wirkungsgrad des Flaschenzugs:

$$\eta_{ges} = \eta_F \cdot \eta_G \cdot \eta_T = 0.99 \cdot 0.96 \cdot 0.97 = 0.922 \quad (1)$$

Gesamte Übersetzungsverhältnis:

$$i_{ges} = i_F \cdot i_G = 2 \cdot 63 = 126 \quad (2)$$

Lastmoment an Antriebswelle vom bremsenden Antrieb:

$$\bar{M}_{bew} = \frac{m_L \cdot g \cdot d_T \cdot \eta_{ges}}{2 \cdot i_{ges}} = \frac{8000 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.4 \text{ m} \cdot 0.922}{2 \cdot 126} = 114.85 \text{ Nm} \quad (3)$$

2.1.2 Erforderliches Bremsmoment

Brems-Sicherheitsfaktor S_B , nach der Norm [2] i.Allg. gefordert:

$$S_B = \frac{M_B}{M_{bew}} \geq 2 \quad (4)$$

Das Bremsmoment:

$$M_{B,erf} \geq 2 \cdot \bar{M}_{bew} = 2 \cdot 114.85 \text{ Nm} = 229.7 \text{ Nm} \quad (5)$$

2.1.3 Ersatzmassenträgheitsmoments

Massenträgheitsmoment auf Motor-(Bremsen) Welle:

$$J_1 = J_M + J_B + J_G = 1.35 + 0.0735 + 0.312 = 1.7355 \text{ kgm}^2 \quad (6)$$

Massenträgheitsmoment auf der Getriebeausgangswelle:

$$J_2 = J_T = 2.26 \text{ kgm}^2 \quad (7)$$

Ersatzmassenträgheitsmoment:

$$\bar{J}_{ers} = J_1 + J_2 \cdot \frac{\eta_G}{i_G^2} + m_L \cdot \frac{d_T^2}{4} \cdot \frac{\eta_{ges}}{i_{ges}^2} \quad (8)$$

$$\bar{J}_{ers} = 1.7355 \text{ kgm}^2 + 2.26 \text{ kgm}^2 \cdot \frac{0.96}{63^2} + 8000 \text{ kg} \cdot \frac{(0.4 \text{ m})^2}{4} \cdot \frac{0.922}{126^2} = 1.754 \text{ kgm}^2 \quad (9)$$

2.1.4 Die maximale Bremszeit bei Stoppbremsung

maximale Bremszeit:

$$t_{BS} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_n}{60} \cdot \frac{\bar{J}_{1sred}}{M_{B,erf} - \bar{M}_{bew}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 975 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s/min}} \cdot \frac{1,754 \text{ kgm}^2}{229.7 \text{ Nm} - 114.85 \text{ Nm}} = 1.559 \quad (10)$$

2.1.5 Der maximale Bremsweg bei Stoppbremsung

Während der Bremszeit legt die Motorwelle den Drehwinkel zurück:

$$\varphi_{1Bs} = \frac{-M_{B,erf} + \bar{M}_{bew}}{2 \cdot J_{sred}} \cdot t_{BS}^2 + \omega_1 \cdot t_{BS} = \frac{-229.7 \text{ Nm} + 114.85 \text{ Nm}}{2 \cdot 1.753 \text{ kgm}^2} \cdot (1.559 \text{ s})^2 + \frac{2 \cdot \pi \cdot 975 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s/min}} \cdot 1.559 \text{ s} = 80 \quad (11)$$

Maximaler Bremsweg:

$$s_{1Bs} = \frac{\varphi_{1Bs} \cdot d_T}{i_G \cdot 2 \cdot i_F} = \frac{80 \cdot 0,4 \text{ m}}{63 \cdot 2 \cdot 2} = 127 \text{ mm} \quad (12)$$

2.1.6 Rechnerisches Ersatzträgheitsmoment

Auf Motorwelle reduziertes Massenträgheitsmoment:

$$\bar{J}_{red} = J_1 + J_2 \cdot \frac{\eta_G}{i_G^2} = 1,7355 \text{ kgm}^2 + 2,26 \text{ kgm}^2 \cdot \frac{0,96}{63^2} = 1,736 \text{ kgm}^2 \quad (13)$$

Rechnerisches Ersatzträgheitsmoment mit größter Last:

$$J_r = \left(m_L \cdot \frac{d_T^2 \cdot \eta_{ges}}{4 \cdot i_{ges}^2} + \bar{J}_{red} \right) \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{S_B^2}} = J_r = \left(\frac{8000 \text{ kg} \cdot (0,4 \text{ m})^2 \cdot 0,922}{4 \cdot 126^2} + 1,736 \text{ kgm}^2 \right) \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{2^2}} = 2.338 \quad (14)$$

Rechnerisches Ersatzträgheitsmoment mit Totlast:

$$J_r = \left(m_L \cdot \frac{d_T^2 \cdot \eta_{ges}}{4 \cdot i_{ges}^2} + \bar{J}_{red} \right) \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{S_B^2}} = J_r = \left(\frac{100 \text{ kg} \cdot (0,4 \text{ m})^2 \cdot 0,922}{4 \cdot 126^2} + 1,736 \text{ kgm}^2 \right) \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{2^2}} = 2.315 \quad (15)$$

3 Bremsprüfstand

3.1 Grafische Darstellung der Kalibrierkurve

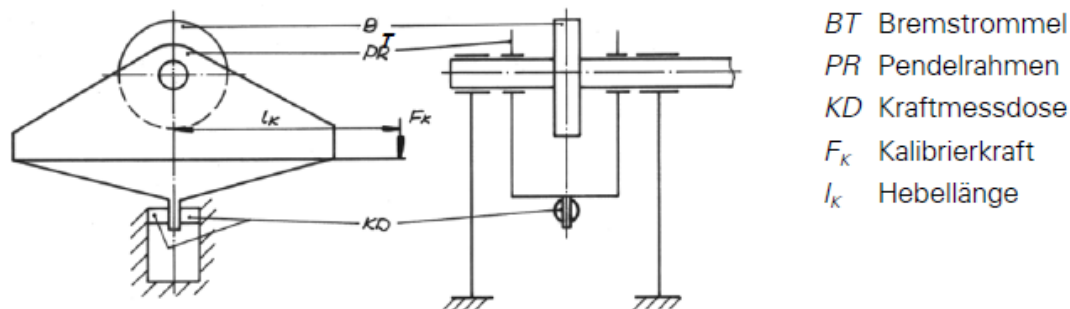
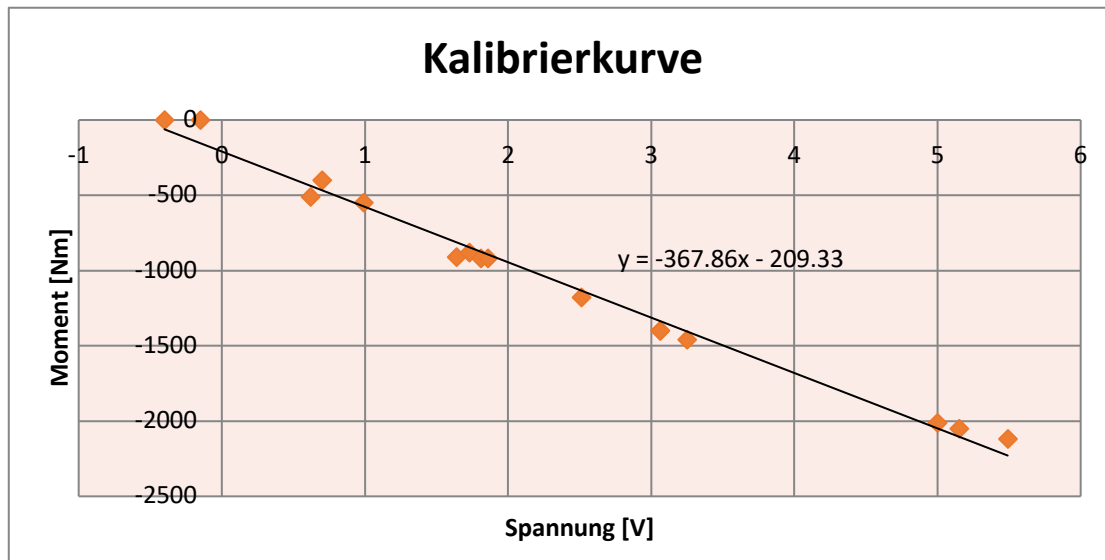


Abbildung 3-1 Pendelrahmen zur Messung des Bremsmoments

Das Bremsmoment wird durch die aufgenommenen Kräfte von zwei jeweils als Drehmomentenstütze für den drehbar gelagerten Pendelrahmen fungierende Kraftmessdosen erzeugt. Mit bekannten Massen und konstanter Hebellänge wird verschiedene Kalibrierkräfte erzeugt, die davon gelesene Kalibriermomente und die gemessenen Bremsmomente werden dann zusammengefasst und durch die Regressionsrechnung mathematisch beschrieben.

Mbr [V]	Fk [kN]	Mbr [Nm]
-0,40	0	0
0,62	-0,51	-510
1,64	-0,91	-910
3,06	-1,40	-1400
5,49	-2,12	-2120
5,00	-2,01	-2010
2,51	-1,18	-1180
0,70	-0,40	-400
-0,15	0	0
1,73	-0,88	-880
1,81	-0,92	-920
3,06	-1,40	-1400
5,15	-2,05	-2050
3,25	-1,46	-1460
1,86	-0,92	-920
0,99	-0,55	-550

Tabelle 3-1 Messdaten von dem Kalibrieren



Grafik 3-1 Kalibrierkurve

Die gelesenen Bremsmomente werden durch $M_b = F_k \cdot l_k$ berechnet und in Abbildung 3.2 als Moment [Nm] gezeichnet und die gemessenen Bremsmomente werden als Spannung [V] dargestellt. Nach der Regressionsrechnung bekommen wir die Lineargleichung:

$$M_{B,Nm} = -367,86M_{B,V} - 209,33 \text{ [Nm]} \quad (16)$$

3.2 Geometrische Größen der Bremse

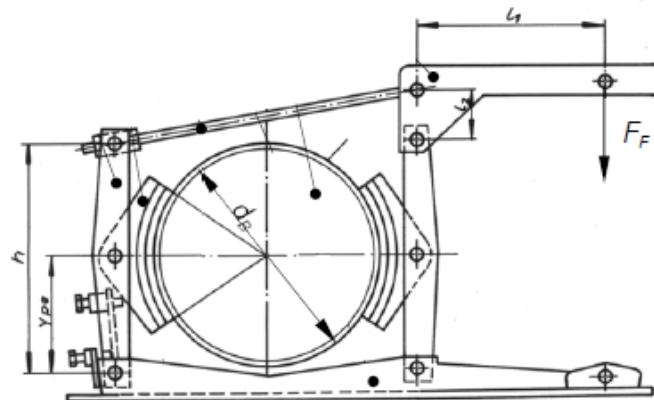


Abbildung 3-2 Doppelbackenbremse

$$d_B = 315 \text{ mm}$$

Bremshebel:

$$h = 460 \text{ mm}$$

$$y_{p2} = 156 \text{ mm}$$

Winkelhebel:

$$l_1 = 315 \text{ mm}$$

$$l_2 = 55 \text{ mm}$$

3.3 Massenträgheiten Vergleichen

Rechnerisches (Ersatz-) Massenträgheitsmoment bei Stoppbremsung

$$J_r = \left(\frac{m \cdot d_r^2 \cdot \eta_{ges}}{4 \cdot i_{ges}^2} + J_{red} \right) \cdot \frac{M_{Berf}}{M_{Berf} - M_{bew}} \quad (17)$$

$$J_r = \left[\frac{8000 \text{ kg} \cdot (0.4 \text{ m})^2 \cdot 0.922}{4 \cdot 126^2} + 1.736 \text{ kgm}^2 \right] \cdot \frac{229.7 \text{ Nm}}{229.7 \text{ Nm} - 114.85 \text{ Nm}} = 3.5 \text{ kgm}^2 \quad (18)$$

Vorgegeben ist $J_r = 2.315 \text{ kgm}^2$

Verbindet man verschiedene Schwungmasse auf die Bremsenwelle, um den Nährungswert der Massenträgheit zu erreichen.

3.4 Bewertung der Ergebnisse für die Bremsvorgänge

Es wurde 2 Versuchsreihen durchgeführt, beim Versuch 1 sind Schwungmasse J1 und J2 auf Bremsenwelle verbunden, und beim Versuch 2 sind J1, J2 und J3 auf Bremsenwelle verbunden.

3.4.1 Darstellung der Zeitverläufe

Versuchsreihe 1

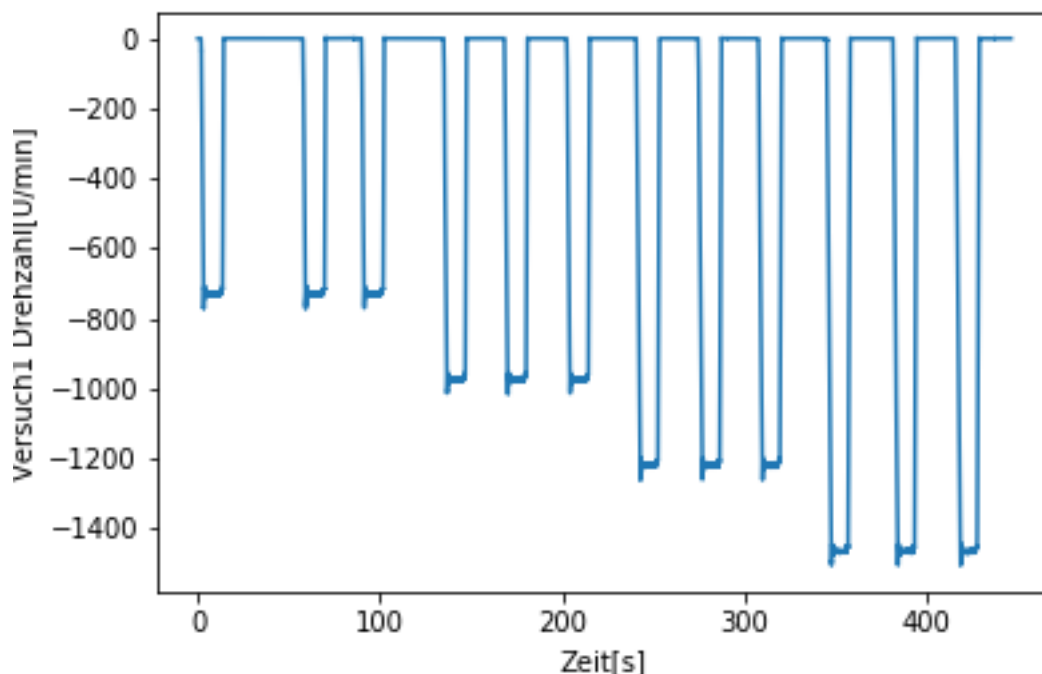


Abbildung 3-3 Messstelle M1: Drehzahl

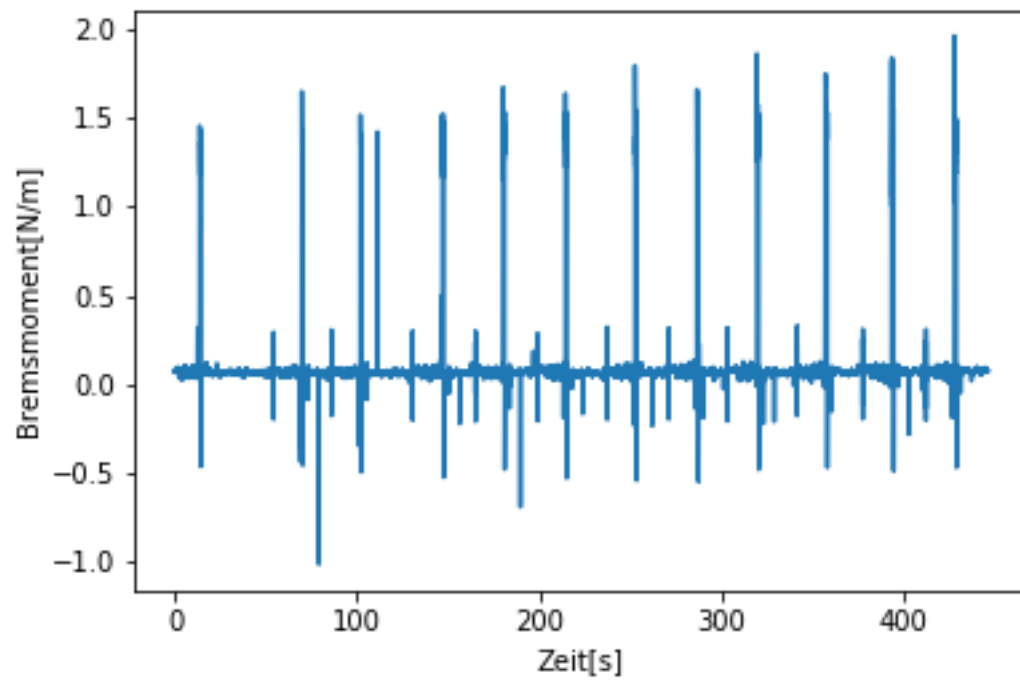


Abbildung 3-4 Messstelle M2: Bremsmoment

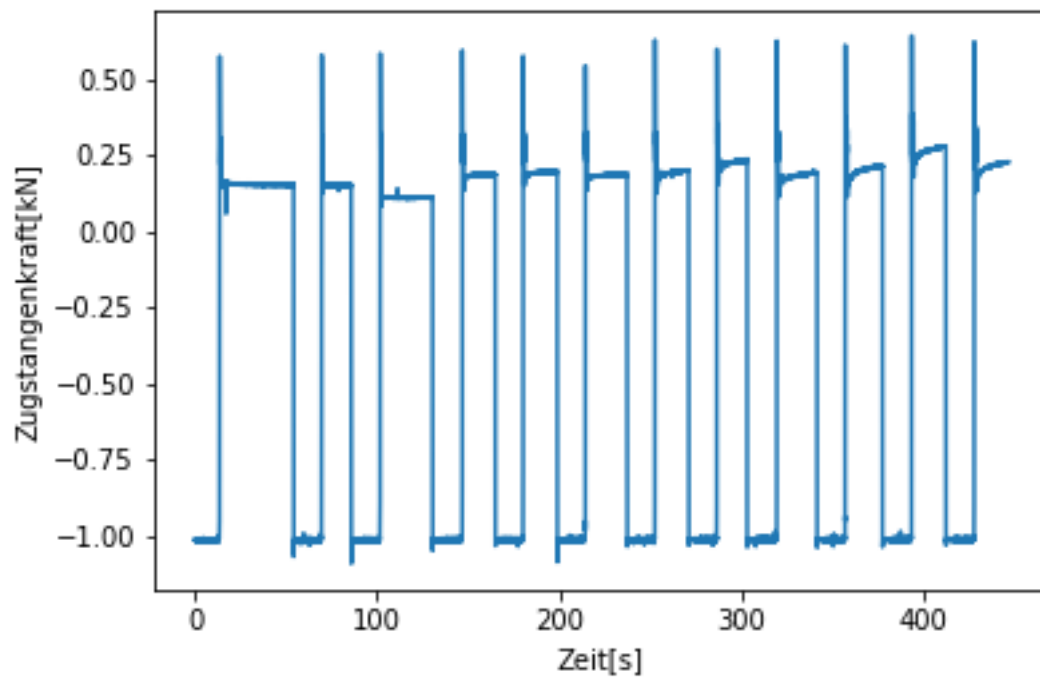


Abbildung 3-5 Messstelle M3: Zugstangenkraft

Versuchsreihe 2:

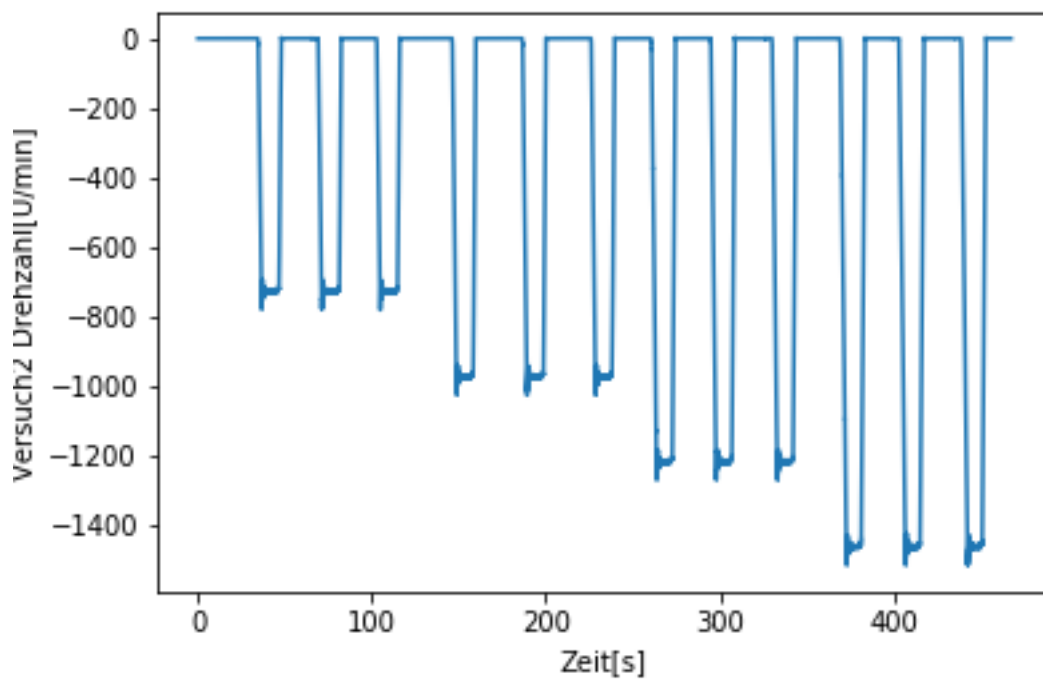


Abbildung 3-6 Messstelle: M1 Drehzahl

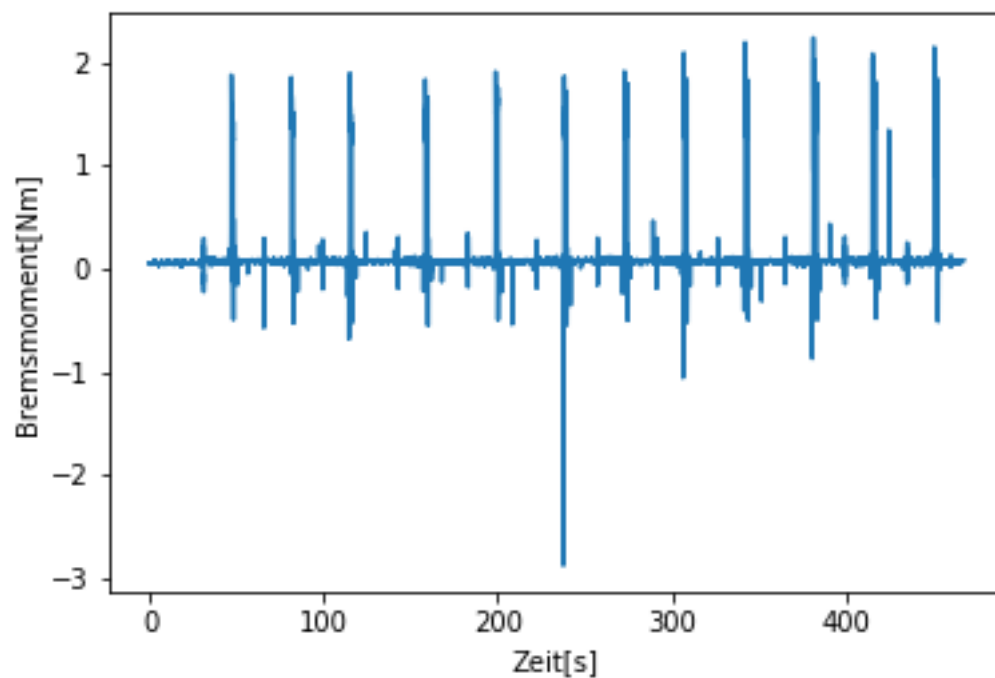


Abbildung 3-7 Messstelle M2: Bremsmoment

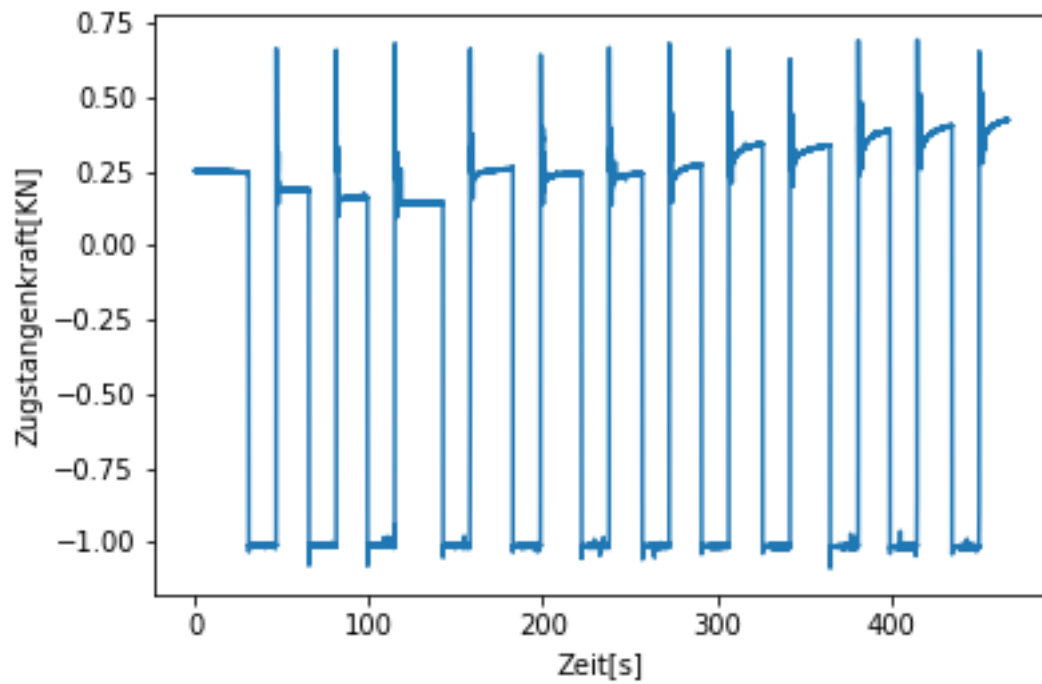


Abbildung 3-8 Messstelle M3: Zugstangenkraft

3.4.2 Bestimmung des rechnerischen Bremsmoments aus Zeitverlauf

$$t_{Bs} = \dot{\phi}_{10} \frac{\bar{J}_{ers}}{M_B - \bar{M}_{bew}} \quad (19)$$

$\bar{M}_{bew} = 0$, t_{Bs} aus Zeitverlauf.

$$M_B = \dot{\phi}_{10} \frac{\bar{J}_{ers}}{t_{Bs}} \quad (20)$$

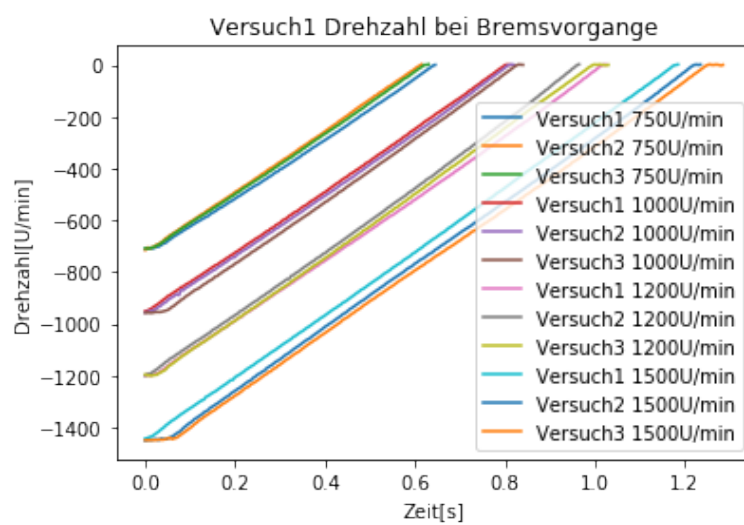


Abbildung 3-9 Drehzahl bei Bremsvorgang bei Versuchsreihe 1

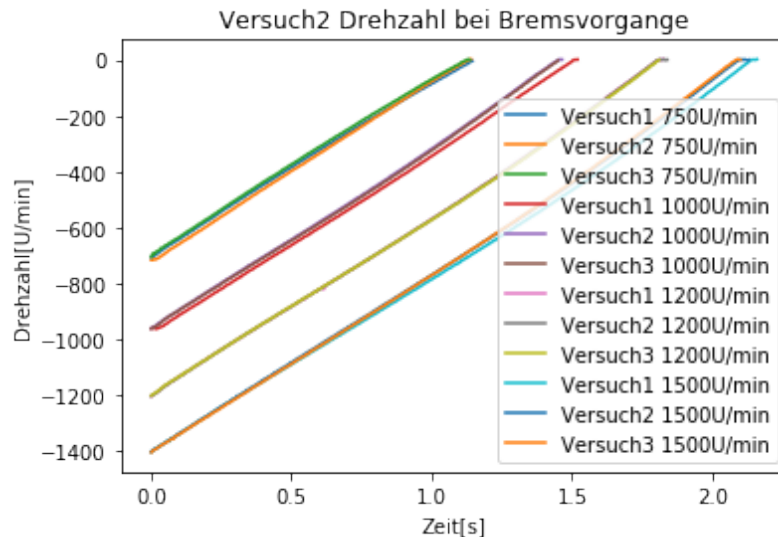


Abbildung 3-10 Drehzahl bei Bremsvorgang bei Versuchsreihe 2

Die Abbildungen 3-9 und 3-10 zeigen die Drehzahlverläufe bei Bremsvorgang bei Versuchsreihe 1 und Versuchsreihe 2, dann kann das Bremsmoment durch Gl.20 berechnet werden:

	Versuchsreihe 1				Versuchsreihe 2			
Drehzahl[U/min]	750	1000	1200	1500	750	1000	1200	1500
$\overline{t_{Bs}}[s]$	0.62	0.825	0.97	1.24	1.149	1.47	1.845	2.135
$\overline{J_{ers}}[kgm^2]$	1.754				1.735			
$\overline{M_B}[Nm]$	-207.5				-123			

Tabelle 3-2 Bremsmoment aus Gleichung

3.4.3 Bestimmung des Bremsmoments aus Messstelle M2

Die Bremsmomentsverläufe aus Messstelle M2 stehen in Abbildung3-11 zur Verfügung

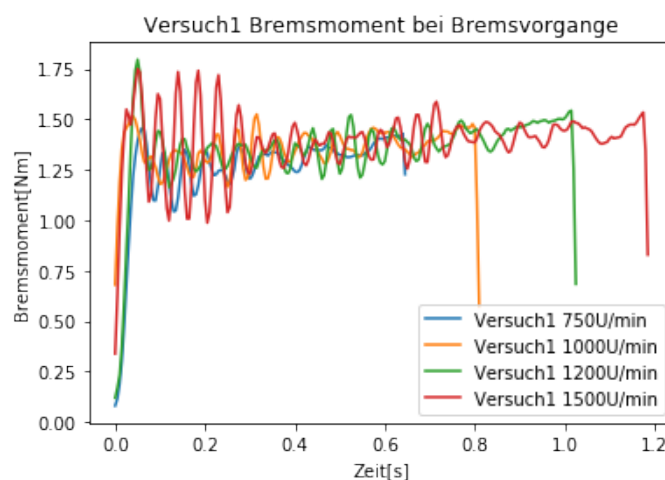


Abbildung 3-11 Bremsmoment bei Versuchsreihe 1

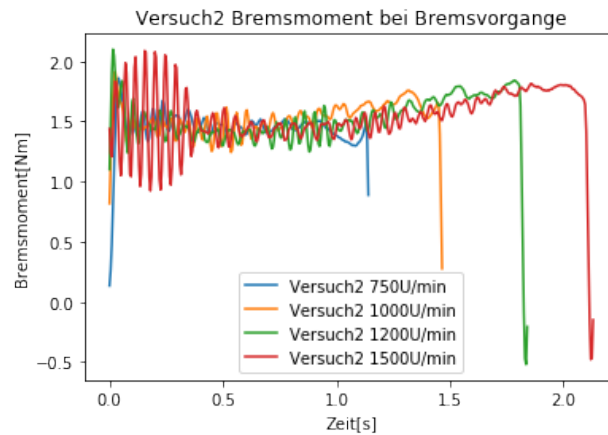


Abbildung 3-12 Bremsmoment bei Versuchsreihe 2

Die Berechnung des Bremsmomentes wird von einem vereinfachten Modell durchgeführt. Das Bremsmoment wurden beim Praktikum erst in [V] ausgelesen und dann in [Nm] umgerechnet.

Tabelle 3.1: Bremsmoment in [V] und [Nm]

Drehzahl [U/min]	Versuchsreihe 1		Versuchsreihe 2	
	Bremsmoment [V]	Bremsmoment [Nm]	Bremsmoment [V]	Bremsmoment [Nm]
750	1.2475	-668.23535	1.3995	-724.15007
	1.3204	-695.05234	1.4404	-739.19554
	1.2845	-681.84617	1.4226	-732.64764
1000	1.3464	-704.6167	1.4564	-745.0813
	1.3468	-704.76385	1.5176	-767.59434
	1.3212	-695.34663	1.5120	-765.53432
1250	1.3482	-705.27885	1.5251	-770.35329
	1.4233	-732.90514	1.5085	-764.24681
	1.3357	-700.6806	1.5395	-775.65047
1500	1.3889	-720.25075	1.5016	-761.70858
	1.3539	-707.37565	1.5236	-769.8015
	1.2933	-685.08334	1.5397	-775.72404

Laut Messdaten in Tabelle 1 ist der Mittelwert von Bremsmoment:

- Für Versuchsreihe 1: $\overline{M_B} = 700.1196 \text{ Nm}$
- Für Versuchsreihe 2: $\overline{M_B} = 757.6406 \text{ Nm}$

3.4.4 Bestimmung der Reibungszahlen

Bestimmung der Reibungszahlen wird durch die nachfolgende Gleichung durchgeführt:

$$M_B = d_B \cdot \mu \cdot \eta_{Gest} \cdot F_F \cdot \frac{l_1 \cdot h}{l_2 \cdot y_{P_2}} \quad 21$$

Aus technischen Daten von Anleitung:

$$d_B = 320 \text{ mm}$$

$$\eta_{Gest} = 0,922$$

$$h = 460 \text{ mm}$$

$$y_{P_2} = 156 \text{ mm}$$

$$l_1 = 315 \text{ mm}$$

$$l_2 = 55 \text{ mm}$$

Die Folgende Abbilungen zeigen die Zugkräfte bei Bremsvorgange bei Versuchsreihe 1 und Versuchsreihe 2

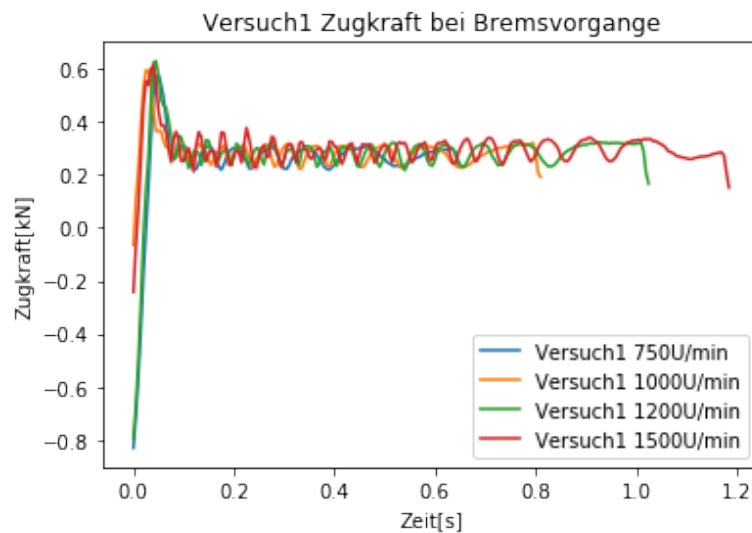


Abbildung 3-13 Zugkraft bei Bremsvorgange bei Versuchsreihe1

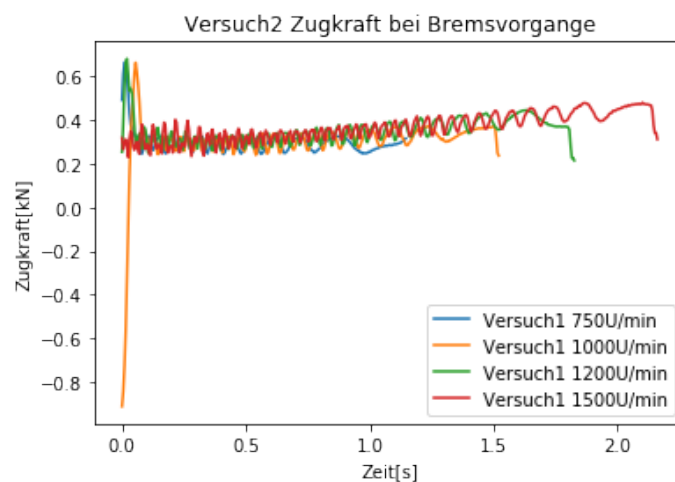


Abbildung 3-14 Zugkraft bei Bremsvorgange bei Versuchsreihe 2

Für Versuchsreihe 1:

$$\bar{F}_F = 0.24 kN$$
$$\mu = \frac{M_B}{d_B \cdot \eta_{Gest} \cdot F_F} \cdot \frac{l_2 \cdot y_{P_2}}{l_1 \cdot h} = \frac{700 \text{ Nm}}{320 \text{ mm} \cdot 0,922 \cdot 240 \text{ N}} \cdot \frac{55 \text{ mm} \cdot 156 \text{ mm}}{315 \text{ mm} \cdot 460 \text{ mm}} = 0.58 \quad 22$$

Für Versuchsreihe 2:

$$\bar{F}_F = 0.33 kN$$
$$\mu = \frac{M_B}{d_B \cdot \eta_{Gest} \cdot F_F} \cdot \frac{l_2 \cdot y_{P_2}}{l_1 \cdot h} = \frac{757 \text{ Nm}}{320 \text{ mm} \cdot 0,922 \cdot 330 \text{ N}} \cdot \frac{55 \text{ mm} \cdot 156 \text{ mm}}{315 \text{ mm} \cdot 460 \text{ mm}} = 0.46 \quad 23$$

3.4.5 Bewertung der Ergebnisse

Aus den Ergebnissen kann man annehmen, dass die Reibungszahlen lineare Abhängigkeit von Bremsmoment haben, d.h. mit großen Bremsmoment bekommt man große Reibungszahl.

3.5 Eignung der verwendeten Bremse als Haltbremse

Zur Beurteilung der Bremse darf die statische Bremssicherheit aus Verhältnis vom Beharrungsmoment und dem im folgenden berechneten Bremsmoment den Werte 2 nicht unterschreiten, also

$$S_B = \frac{M_B}{\bar{M}_{bew}} = \frac{700 \text{ Nm}}{2 \cdot 114.85 \text{ Nm}} = 3.04 \geq 2 \quad 24$$

Deshalb ist diese Bremse für den Prüfstand geeignet und theoretisch genug dimensioniert.

3.6 Maximale Wärmebeanspruchung bei Stoppbremsung

Zur Beurteilung der maximaler Wärmebeanspruchung muss man den Zusammenhang zwischen die Wärmestromdichte und Wärmebeanspruchung einmaliger und gehäufter Stoppbremsung berücksichtigen. Die Maße von Bremsbelag wird nach DIN15435 – 315 gesammelt.

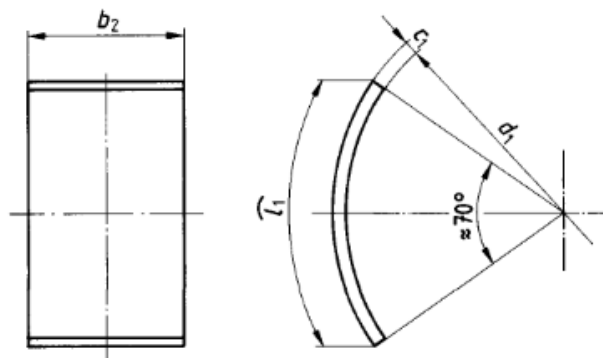


Abbildung 3-15 Bremsbelage DIN 15435-110

Maße von Bremsbelag: $b_2 = 110\text{mm}$, $c_1 = 10\text{mm}$, $d_1 = 315\text{mm}$, $l_1 = 204\text{mm}$

3.6.1 Einmalige Stoppbremung

Wärmestrom

$$\dot{Q}(t) = M_B \dot{\phi}(t) = M_B \dot{\phi}_0 \left(1 - \frac{t}{t_B}\right) = 62150,127(1 - 4,16t) \quad 25$$

Belagfläche

$$A_{bel} = \pi \cdot d_1 \cdot b_2 \cdot \frac{70^\circ}{360^\circ} = 21166,48\text{mm}^2 \quad 26$$

Wärmestromdichte

$$q(t) = \frac{\dot{Q}(t)}{A_{bel}} = 2,936(1 - 4,16t) \quad 27$$

3.6.2 Gehäufte Stoppbremung

Mit $d_B = 320\text{ mm}$ und $n = 750\text{ U/min}$ kann man aus Abbildung 3-16 $T_{gu0} = 150^\circ\text{C}$ und $T_{go0} = 210^\circ\text{C}$ auslesen.

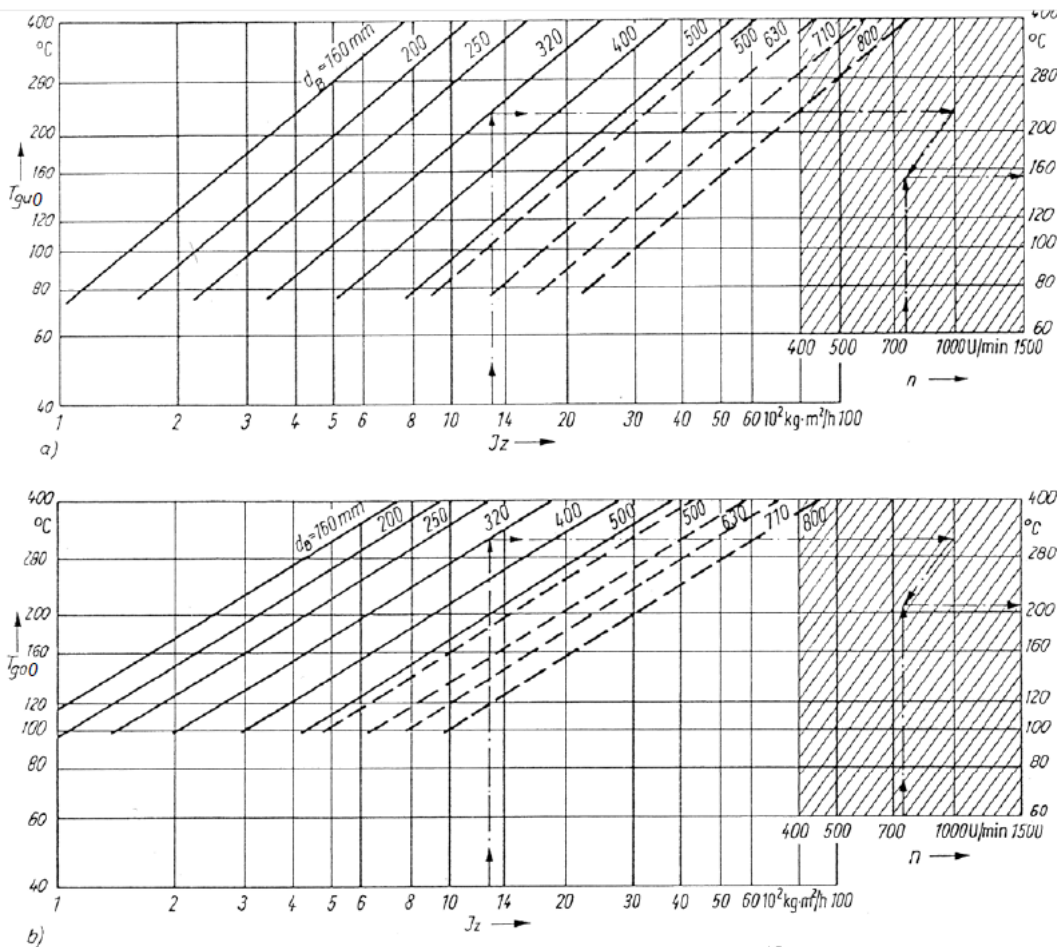


Abbildung 3-16 Kennlinienfelder für Bezugstemperatur T_{gu0} und T_{go0}

Mit $v_0 = \omega_B \cdot \frac{d_B}{2} = 12,57 \text{ m/s}$ und $BD = ED = 40\%$, bekommt man aus Abbildung 3-17 $\varphi_{BD} = 0,98$, mit $p\mu = 0,234$ liest man aus Abbildung 3.8 $\varphi_{p\mu u} = 1.1$ und $\varphi_{p\mu o} = 1.2$.

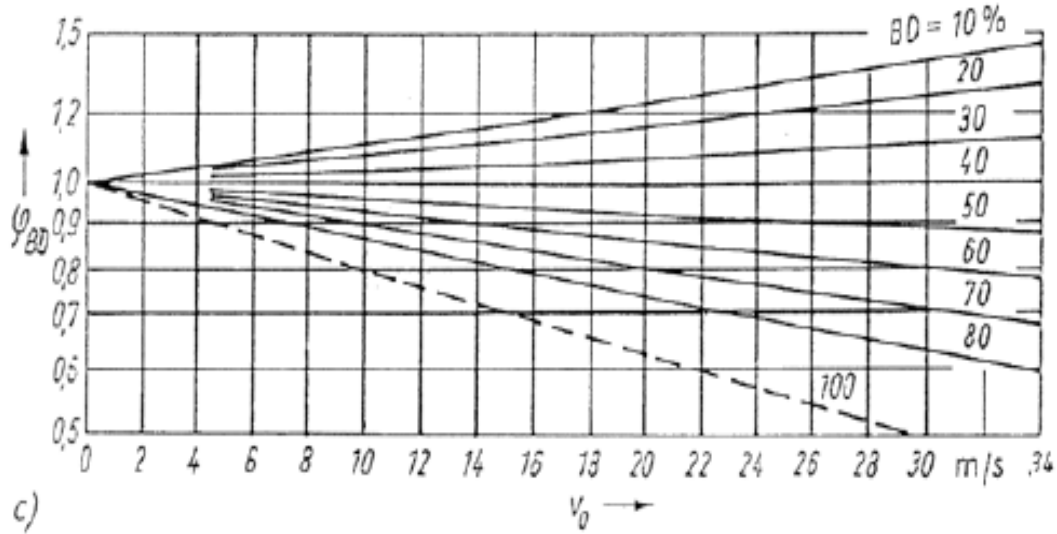


Abbildung 3-17 Kennlinienfelder für φ_{BD}

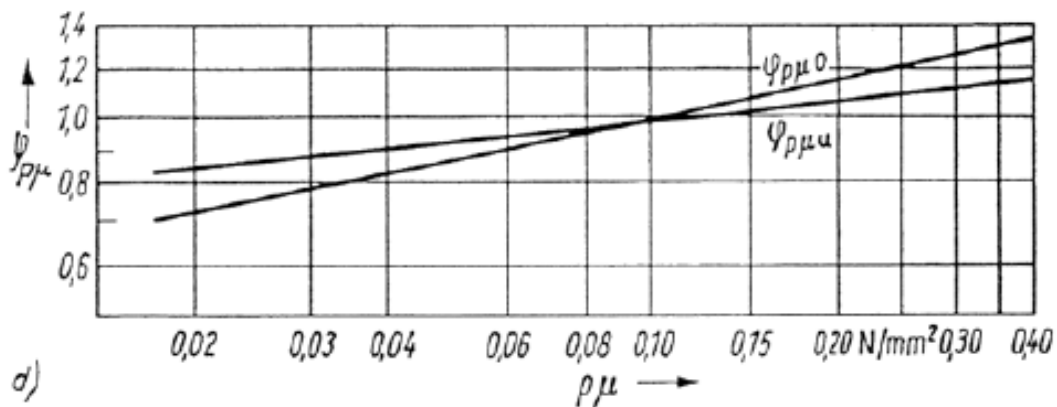


Abbildung 3-18 Kennlinienfelder für $\varphi_{p\mu u}$ und $\varphi_{p\mu o}$

Mit $\frac{b}{d_B} = 0,369$ bekommt man aus Abbildung 3.9 $\varphi_b = 0,85$.

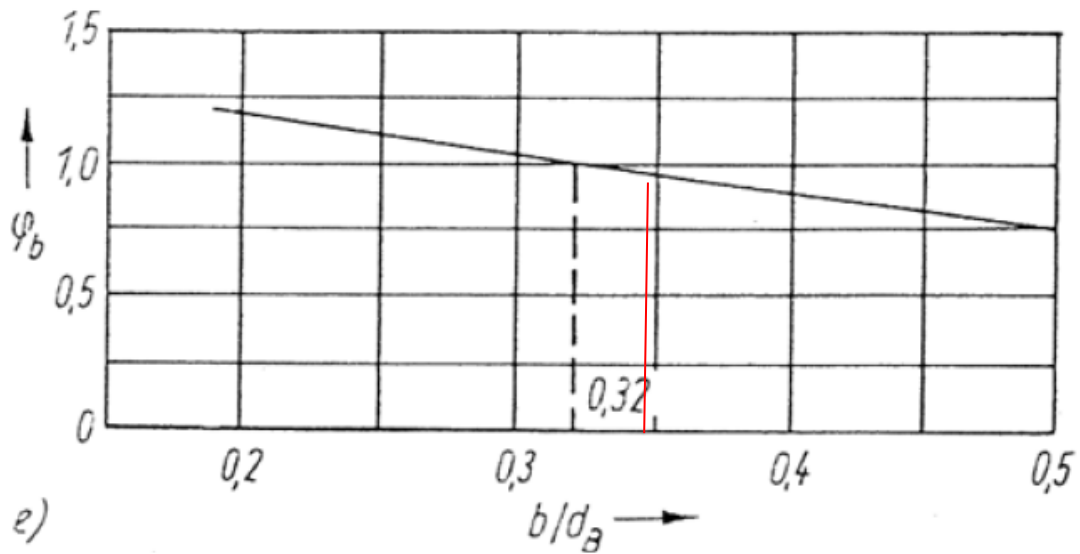


Abbildung 3-19 Kennenlinienfelder für φ_b

$$T_{gu} = T_{gu0} \cdot \varphi_{BD} \cdot \varphi_{p\mu u} \cdot \varphi_b = 137,445^\circ\text{C}$$

$$T_{go} = T_{go0} \cdot \varphi_{p\mu o} + T_{gu0} \cdot \varphi_{p\mu u} \cdot (\varphi_{BD} - 1) = 247,38^\circ\text{C}$$

Mittelwert:

$$T_{char} = \frac{T_{gu} + T_{go}}{2} = 192,413^\circ\text{C} < 250^\circ\text{C} = T_{zul}$$

3.7 Darstellung und Bewertung des Temperaturmessverfahrens

3.7.1 Darstellung des gemessenen Temperaturverlaufs

Die Temperaturverläufe sind in Tabelle 3- und 3- für die Versuchsreihe 1 und 2 dargestellt, die Temperaturen werden in 3 Methoden gemessen:

T1: Thermoelement, T2: Kontaktthermometer, T3: Infrarotthermometer

Drehzahl n [U/min]	$T1[^\circ\text{C}]$	$T2[^\circ\text{C}]$	$T3[^\circ\text{C}]$
0	24.8	24.2	25.0
750	25.3	25.4	25.8
	26.0	26.4	26.5
	26.7	28.5	26.7
1000	27.7	31.4	27.5
	29.3	33.6	29.6
	33.2	36.2	31.2
1250	32.8	41.1	31.2
	34.2	47.4	32.9
	36.4	50.6	35.2
1500	38.3	51.8	38.7
	42.4	62.0	39.9
	44.1	63.4	40.5

Tabelle 3-3 Temperaturverlauf von Versuchsreihe 1

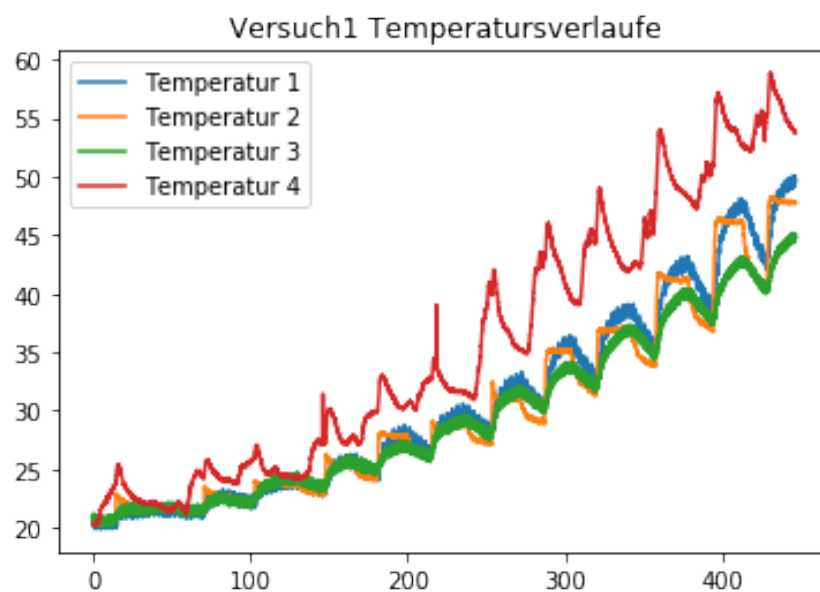


Abbildung 3-20 Temperaturverlauf von Versuchsreihe 1

Daten von Abbildung 3.20 wird aus M4 von Thermoelement durch PC gesammelt

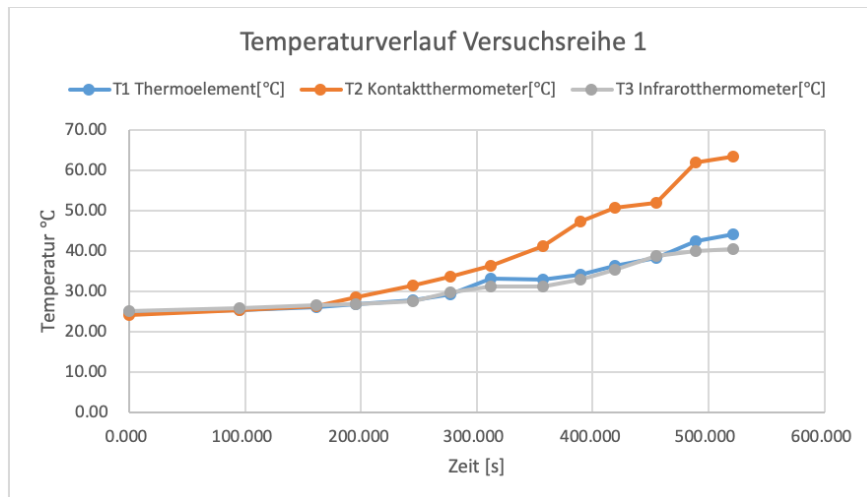


Abbildung 3-21 Temperaturverlauf von Versuchsreihe 1

Messdaten von Abbildung 3-21 wurden manuell gesammelt

Drehzahl n [U/min]	$T1[^\circ\text{C}]$	$T2[^\circ\text{C}]$	$T3[^\circ\text{C}]$
0	40.7	57.4	36.6
750	42.9	58.9	38.9
	45.8	67.3	41.1
	47.9	67.8	39.4
1000	49.4	66.6	38.0
	52.4	73.0	38.2
	51.8	75.2	43.3
1250	57.3	88.2	48.0
	61.3	89.7	53.0
	64.4	93.7	61.8
1500	77.8	104.5	72.9
	82.5	120.5	74.3
	88.9	127.5	79.4

Abbildung 3-22 Temperaturverlauf von Versuchsreihe 2

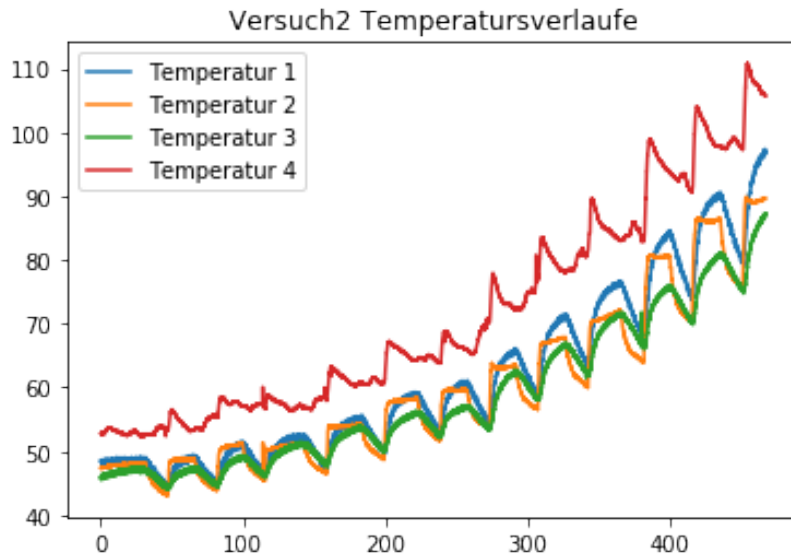


Abbildung 3-23 Temperaturverlauf von Versuchsreihe 2

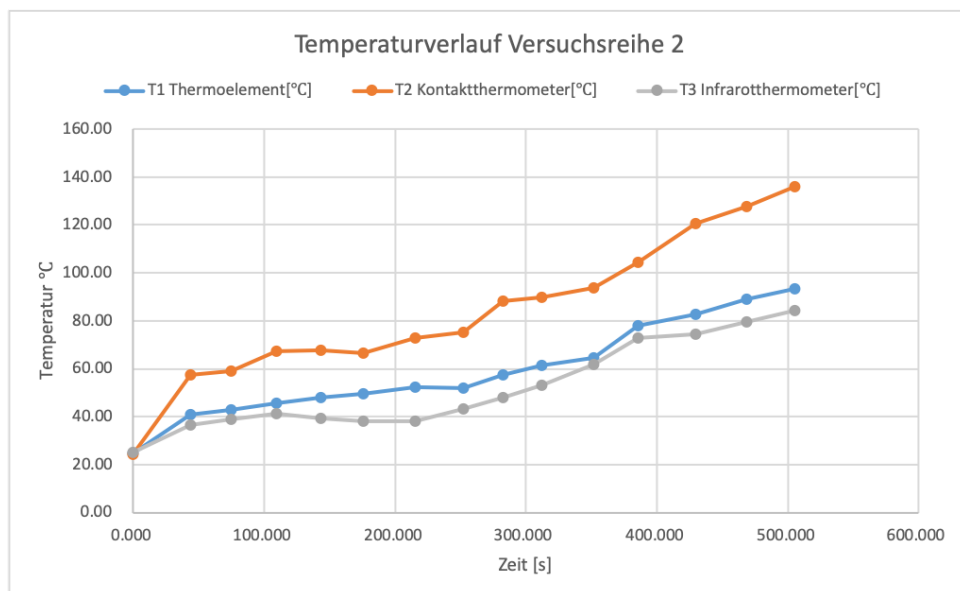


Abbildung 3-24 Temperaturverlauf von Versuchsreihe 2

Messdaten von Abbildung 3-24 wurden manuell gesammelt

3.7.2 Bewertung der Temperaturmessverläufen (Versuchsreihe 1)

In Abbildung 3-21 sind die Daten durch Thermoelement zusammengefasst, daraus kann man den Temperaturverlauf eindeutig und detailliert einsehen, dass die Bremse bei unserem Prüfstand ein gehäufte Stoppbremse ist. Außerdem ist es möglich, man damit weitere Kenngrößen (z.B. T_{gu} und T_{go}) auszulesen oder zu berechnen.

In Abbildung 3-22 bzw. 3-23 ist es offensichtlich, dass die von Kontaktthermometer gemessenen Temperaturen Höhe als die andere zwei Messwerte. Der Kontaktthermometer werden nur gewählt, wenn dessen Kontakt mit dem Messobjekt genug gefahrlos ist oder man kein festes Thermoelement dort einbauen kann.

In Abbildung 3-24 kann man klarer vergleichen, dass der Messwert von Infrarotthermometer ein bisschen kleiner als die andere, denn seine Messwerte hängt oft von Messoberflächen, die metallische glänzende Bremsscheibe könnte das Infrarotlicht reflektieren und weiterhin die Messwerte beeinflussen. Außerdem haben die Umgebungsfaktoren (z.B. Staub, Feuchtigkeit) die Möglichkeit, die Messwerte von Infrarotthermometer zu beeinflussen.

Aus diesen Gründen sollt das Thermoelement In diesem Fall die genaueste Messmethode angesehen werden.

3.8 Berechnung der zu erwartenden Temperatur

Ersatzträgheitsmoment für Versuchsreihe 2:

$$J_{ges} = J_1 + J_2 + J_3 + J_B + J_{Gr} \quad 28$$

$$J_{ges} = 0,994 + 1,020 + 2,142 + 4,686 + 0,390 = 8,84 \text{ kgm}^2 \quad 29$$

Mit $d_B = 320 \text{ mm}$ und $n = 737,00 \text{ U/min}$ kann man aus Abbildung 3-16 auslesen:

$$T_{gu0} = 110^\circ\text{C}$$

$$T_{go0} = 155^\circ\text{C}$$

Mit $v_0 = \omega_B \cdot \frac{d_B}{2} = 12,35 \text{ m/s}$ und $BD = ED = 40\%$, bekommt man aus Abbildung 3-17:

$$\varphi_{BD} = 0,98$$

Mit $p\mu = 0,234$ liest man aus Abbildung 3-18:

$$\varphi_{p\mu u} = 1.1$$

$$\varphi_{p\mu o} = 1.2$$

Mit $\frac{b}{d_B} = 0,369$ bekommt man aus Abbildung 3-19:

$$\varphi_b = 0,85$$

$$T_{gu} = T_{gu0} \cdot \varphi_{BD} \cdot \varphi_{p\mu u} \cdot \varphi_b = 100,793^\circ\text{C}$$

$$T_{go} = T_{go0} \cdot \varphi_{p\mu o} + T_{gu0} \cdot \varphi_{p\mu u} \cdot (\varphi_{BD} - 1) = 182,59^\circ\text{C}$$

Mittelwert:

$$T_{char} = \frac{T_{gu} + T_{go}}{2} = 141,6915^\circ\text{C} < 250^\circ\text{C} = T_{zul}$$

3.9 Bestimmung der Parameter

3.9.1 Der Gesamt-Federsteifigkeit des ‚Antriebsstrangs‘

Die Eigenfrequenz des Einmassenschwingers sollte man durch:

$$f_e = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{c_{ges}}{J_{ges}}} \quad 30$$

berechnet.

a) Analyse der Versuch 1 (J_1, J_2, J_{Gr}, J_B berücksichtigt)

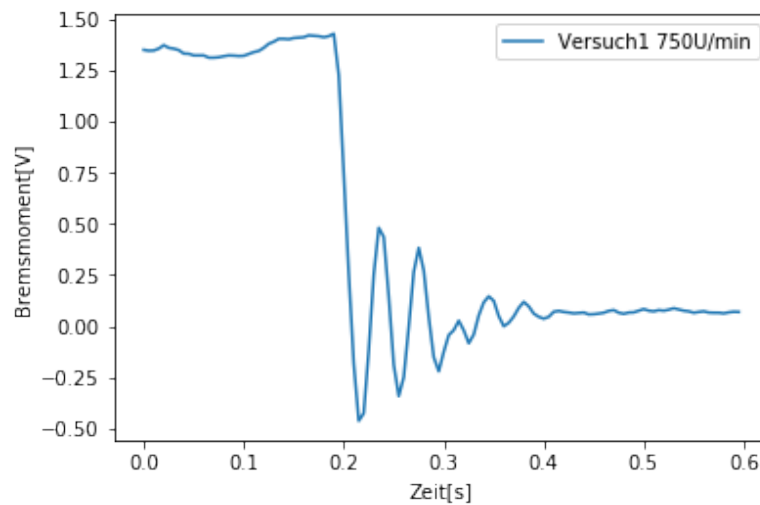


Abbildung 3-25 Analyse der Schwingung 1

Daraus kann man $t_{End} = 0.45 \text{ s}$, $t_{Start} = 0.2 \text{ s}$, $n = 5$ gesammelt.

Massenträgheitsmoment: $J_{ges,1} = 4,546 \text{ kgm}^2$

$$f_{e,1} = \frac{n}{t_{End} - t_{Start}} = \frac{5}{0.45 \text{ s} - 0.2 \text{ s}} = 20 \text{ Hz} \quad 31$$

Federsteifigkeit:

$$c_{ges,1} = 4 \cdot \pi^2 \cdot f_{e,1}^2 \cdot J_{ges,1} = 71787.55 \text{ Nm} \quad 32$$

b) Analyse der Versuch 2 ($J_1, J_2, J_3, J_{Gr}, J_B$ berücksichtigt)

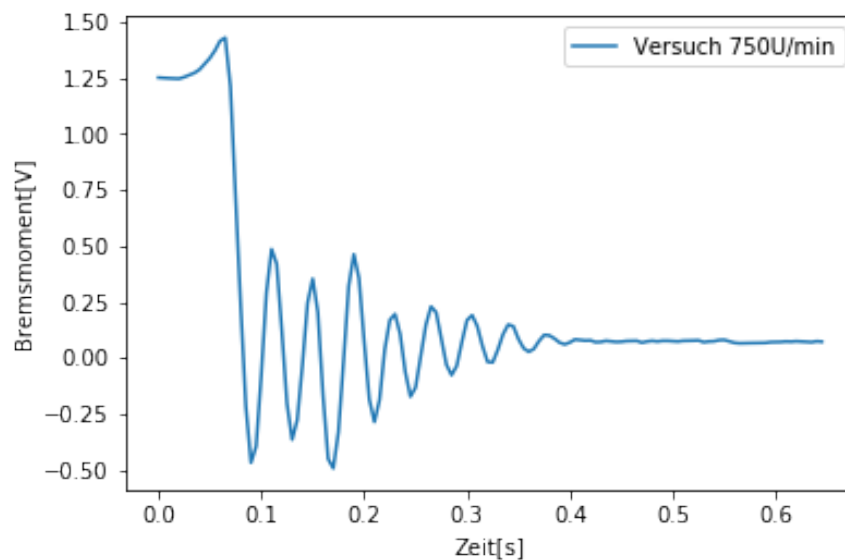


Abbildung 3-26 Analyse der Schwingung 2

Daraus kann man $t_{End} = 0.4 \text{ s}$, $t_{Start} = 0.05 \text{ s}$, $n = 8$ gesammelt.

Massenträgheitsmoment: $J_{ges,1} = 9.232 \text{ kgm}^2$

$$f_{e,1} = \frac{n}{t_{End} - t_{Start}} = \frac{8}{0.4 \text{ s} - 0.05 \text{ s}} = 22.8 \text{ Hz} \quad 33$$

Federsteifigkeit:

$$c_{ges,1} = 4 \cdot \pi^2 \cdot f_{e,1}^2 \cdot J_{ges,1} = 189463 \text{ Nm} \quad 34$$

3.9.2 Bestimmung des Durchmessers

Zur Bestimmung der Wellendurchmesser ist eine Vergleichswelle mit Länge $l = 1 \text{ m}$ auf basis der Steifigkeiten zu verfügen.

$$d = \left(\frac{1}{4\pi^2} \cdot \frac{32 \cdot c_{ges} \cdot l}{G \cdot \pi} \right)^{\frac{1}{4}} \quad 35$$

In der Gleichung sind:

d	Wellendurchmesser
c_{ges}	Wellensteifigkeit
G	Schubmodul (hier $G = 80000 \text{ MPa}$)
l	Wellenlänge (hier $l = 1 \text{ m}$)

$$d_1 = \left(\frac{1}{4\pi^2} \cdot \frac{32 \cdot c_{ges,1} \cdot l}{G \cdot \pi} \right)^{\frac{1}{4}} = \left(\frac{1}{4\pi^2} \cdot \frac{32 \cdot 71787.55 \text{ Nm} \cdot 1 \text{ m}}{80000 \text{ MPa} \cdot \pi} \right)^{\frac{1}{4}} = 69.36 \text{ mm} \quad 36$$

$$d_2 = \left(\frac{1}{4\pi^2} \cdot \frac{32 \cdot c_{ges,2} \cdot l}{G \cdot \pi} \right)^{\frac{1}{4}} = \left(\frac{1}{4\pi^2} \cdot \frac{32 \cdot 189463 \text{ Nm} \cdot 1 \text{ m}}{80000 \text{ MPa} \cdot \pi} \right)^{\frac{1}{4}} = 88.4 \text{ mm} \quad 37$$