**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 Stoppbremsung 4

2.1.5 Der maximale Bremsweg bei Stoppbremsung 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 Stoppbremsung 14

3.6.1 Einmalige Stoppbremsung 15

3.6.2 Gehäufte Stoppbremsung 15

3.7 Darstellung und Bewertung des Temperaturmessverfahrens 17

3.7.1 Darstellung des gemessenen Temperaturverlaufs 17

3.7.2 Bewertung der Temperaturmessverlaufen (Versuchsreihe 1) 20

3.8 Berechnung der zu erwartenden Temperatur 21

3.9 Bestimmung der Parameter 22

3.9.1 Der Gesamt-Federsteifigkeit des ‚Antriebsstrangs‘ 22

3.9.2 Bestimmung des Durchmessers 23

# Abbildungsverzeichnis

[Abbildung 1‑1 Schema eines Hubwerks 1](#_Toc31205841)

[Abbildung 1‑2 Bremsenprüfstand - Bremse nicht montiert 2](#_Toc31205842)

[Abbildung 3‑1 Pendelrahmen zur Messung des Bremsmoments 5](#_Toc31205843)

[Abbildung 3‑2 Doppelbackenbremse 6](#_Toc31205844)

[Abbildung 3‑3 Messstelle M1: Drehzahl 7](#_Toc31205845)

[Abbildung 3‑4 Messstelle M2: Bremsmoment 8](#_Toc31205846)

[Abbildung 3‑5 Messstelle M3: Zugstangenkraft 8](#_Toc31205847)

[Abbildung 3‑6 Messstelle: M1 Drehzahl 9](#_Toc31205848)

[Abbildung 3‑7 Messstelle M2: Bremsmoment 9](#_Toc31205849)

[Abbildung 3‑8 Messstelle M3: Zugstangenkraft 10](#_Toc31205850)

[Abbildung 3‑9 Drehzahl bei Bremsvorgang bei Versuchsreihe 1 10](#_Toc31205851)

[Abbildung 3‑10 Drehzahl bei Bremsvorgang bei Versuchsreihe 2 11](#_Toc31205852)

[Abbildung 3‑11 Bremsmoment bei Versuchreihe 1 11](#_Toc31205853)

[Abbildung 3‑12 Bremsmoment bei Versuchreihe 2 12](#_Toc31205854)

[Abbildung 3‑13 Zugkraft bei Bremsvorgange bei Versuchsreihe1 13](#_Toc31205855)

[Abbildung 3‑14 Zugkraft bei Bremsvorgange bei Versuchsreihe 2 13](#_Toc31205856)

[Abbildung 3‑15 Bremsbelage DIN 15435-110 14](#_Toc31205857)

[Abbildung 3‑16 Kennlinienfelder für Bezugstemperatur  *und*  15](#_Toc31205858)

[Abbildung 3‑17 Kennlinienfelder für 16](#_Toc31205859)

[Abbildung 3‑18 Kennlinienfelder für  *und*  16](#_Toc31205860)

[Abbildung 3‑19 Kennenlinienfelder für 17](#_Toc31205861)

[Abbildung 3‑20 Temperaturverlauf von Versuchsreihe 1 18](#_Toc31205862)

[Abbildung 3‑21 Temperaturverlauf von Versuchreihe 1 19](#_Toc31205863)

[Abbildung 3‑22 Temperaturverlauf von Versuchsreihe 2 19](#_Toc31205864)

[Abbildung 3‑23 Temperaturverlauf von Versuchsreihe 2 20](#_Toc31205865)

[Abbildung 3‑24 Temperaturverlauf von Versuchsreihe 2 20](#_Toc31205866)

[Abbildung 3‑25 Analyse der Schwingung 1 22](#_Toc31205867)

[Abbildung 3‑26 Analyse der Schwingung 2 22](#_Toc31205868)

# Tabellenverzeichnis

[Tabelle 3‑1 Messdaten von dem Kalibrieren 5](#_Toc31205776)

[Tabelle 3‑2 Bremsmoment aus Gleichung 11](#_Toc31205777)

[Tabelle 3‑3 Temperaturverlauf von Versuchsreihe 1 18](#_Toc31205778)

# Grundlagen

## Hubwerk

*图片包含 文字

描述已自动生成*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 ‑ Schema eines Hubwerks

*M* Motor

*B* Bremse

*G Getriebe*

*T Seiltrommel*

*m Lastmasse (in Zeichnungsebene geklappt)*

*J Massenträgheitsmoment*

*i Übersetzungsverhältnis*

*η Wirkungsgrad*

## Bremsenprüfstand

Abbildung ‑ 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 Fahrantrieben 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.

# Hubwerke

## Berechnung

### Der für die Auswahl der Bremse maßgebenden Bremsmoments

Wirkungsgrad des Flaschenzugs:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Gesamte Übersetungsverhältnis:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Lastmoment an Antriebswelle vom bremsenden Antrieb:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

### Erforderliches Bremsmoment

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

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Das Bremsmoment:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

### Ersatzmassenträgheitsmoments

Massenträgheitsmoment auf Motor-(Bremsen) Welle:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Massenträgheitsmoment auf der Getriebeausgangswelle:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Ersatzmassenträgheitsmoment:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |

### Die maximale Bremszeit bei Stoppbremsung

maximale Bremszeit:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

### Der maximale Bremsweg bei Stoppbremsung

Während der Bremszeit legt die Motorwelle den Drehwinkel zurück:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Maximaler Bremsweg:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

### Rechnerisches Ersatzträgheitsmoment

Auf Motorwelle reduziertes Massenträgheitsmoment:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Rechnerisches Ersatzträgheitsmoment mit größter Last:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Rechnerisches Ersatzträgheitsmoment mit Totlast:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

# Bremsprüfstand

## Grafische Darstellung der Kalibrierkurve

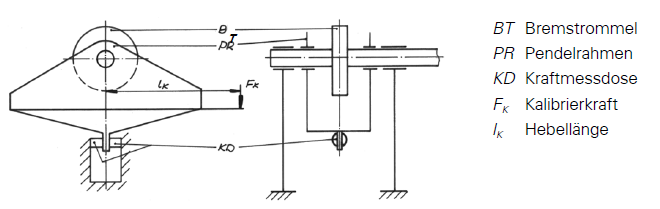


Abbildung ‑ Pendelrahmen zur Messung des Bremsmoments

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 ‑ Messdaten von dem Kalibrieren

Grafik ‑ Kalibrierkurve

Die gelesenen Bremsmomente werden durch 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:

|  |  |
| --- | --- |
| [Nm] |  |

## QQ截图20180828040948.pngGeometrische Größen der Bremse

Abbildung ‑ Doppelbackenbremse

Bremshebel:

Winkelhebel:

## Massenträgheiten Vergleichen

Rechnerisches (Ersatz-) Massenträgheitsmoment bei Stoppbremsung

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |

Vorgegeben ist 2.315

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

## 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.

### Darstellung der Zeitverläufe

Versuchsreihe 1

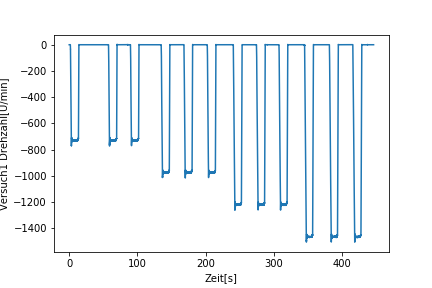


Abbildung ‑ Messstelle M1: Drehzahl

图片包含 物体, 天线

描述已自动生成

Abbildung ‑ Messstelle M2: Bremsmoment

图片包含 物体

描述已自动生成

Abbildung ‑ Messstelle M3: Zugstangenkraft

Versuchsreihe 2:

图片包含 物体

描述已自动生成

Abbildung ‑ Messstelle: M1 Drehzahl

图片包含 物体, 天线

描述已自动生成

Abbildung ‑ Messstelle M2: Bremsmoment

图片包含 物体

描述已自动生成

Abbildung ‑ Messstelle M3: Zugstangenkraft

### Bestimmung des rechnerischen Bremsmoments aus Zeitverlauf

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

, aus Zeitverlauf.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

图片包含 屏幕截图

描述已自动生成

Abbildung ‑ Drehzahl bei Bremsvorgang bei Versuchsreihe 1

图片包含 屏幕截图

描述已自动生成

Abbildung ‑ Drehzahl bei Bremsvorgang bei Versuchsreihe 2

Die Abbildungen 3-9 und 3-10 zeigen die Drehzahlsverläufe 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 |
| s] | 0.62 | 0.825 | 0.97 | 1.24 | 1.149 | 1.47 | 1.845 | 2.135 |
|  | 1.754 | | | | 1.735 | | | |
| Nm] | -207.5 | | | | -123 | | | |

Tabelle ‑ Bremsmoment aus Gleichung

### Bestimmung des Bremsmoments aus Messstelle M2

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

图片包含 屏幕截图

描述已自动生成

Abbildung ‑ Bremsmoment bei Versuchreihe 1

图片包含 屏幕截图

描述已自动生成

Abbildung ‑ Bremsmoment bei Versuchreihe 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:
* Für Versuchsreihe 2:

### Bestimmung der Reibungszahlen

Bestimmung der Reibungszahlen wird durch die nachfolgende Gleichung durchgeführt:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Aus technischen Daten von Anleitung:

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

图片包含 屏幕截图

描述已自动生成

Abbildung ‑ Zugkraft bei Bremsvorgange bei Versuchsreihe1

图片包含 屏幕截图

描述已自动生成

Abbildung ‑ Zugkraft bei Bremsvorgange bei Versuchsreihe 2

Für Versuchsreihe 1:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Für Versuchsreihe 2:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

### Bewertung der Ergebnisse

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

## 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

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

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

## 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.

图片包含 物体

描述已自动生成

Abbildung ‑ Bremsbelage DIN 15435-110

Maße von Bremsbelag:

### Einmalige Stoppbremsung

Wärmestrom

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Belagfläche

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Wärmestromdichte

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

### Gehäufte Stoppbremsung

Mit und kann man aus Abbildung 3-16 und auslesen.

图片包含 文字, 地图

描述已自动生成

Abbildung ‑ Kennlinienfelder für Bezugstemperatur und

Mit und BD =ED = 40%, bekommt man aus Abbildung 3-17 , mit liest man aus Abbildung 3.8 .

图片包含 障子

描述已自动生成

Abbildung ‑ Kennlinienfelder für

图片包含 障子, 文字

描述已自动生成

Abbildung ‑ Kennlinienfelder für und

Mit 0,369 bekommt man aus Abbildung 3.9 .

图片包含 障子, 文字

描述已自动生成

Abbildung ‑ Kennenlinienfelder für

Mittelwert:

## Darstellung und Bewertung des Temperaturmessverfahrens

### 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[◦C] | T2[◦C] | T3[◦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 ‑ Temperaturverlauf von Versuchsreihe 1

图片包含 地图

描述已自动生成

Abbildung ‑ Temperaturverlauf von Versuchsreihe 1

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

图片包含 文字, 地图

描述已自动生成

Abbildung ‑ Temperaturverlauf von Versuchsreihe 1

Messdaten von Abbildung 3-21 wurden manuell gesammelt

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Drehzahl n [U/min] | T1[◦C] | T2[◦C] | T3[◦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 ‑ Temperaturverlauf von Versuchsreihe 2

图片包含 屏幕截图

描述已自动生成

Abbildung ‑ Temperaturverlauf von Versuchsreihe 2

图片包含 文字, 地图

描述已自动生成

Abbildung ‑ Temperaturverlauf von Versuchsreihe 2

Messdaten von Abbildung 3-24 wurden manuell gesammelt

### Bewertung der Temperaturmessverlaufen (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. und ) 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 Messoberfächen, 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.

## Berechnung der zu erwartenden Temperatur

Ersatzträgheitsmoment für Versuchsreihe 2:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |

Mit und kann man aus Abbildung 3-16 auslesen:

Mit und BD =ED = 40%, bekommt man aus Abbildung 3-17:

Mit liest man aus Abbildung 3-18:

Mit 0,369 bekommt man aus Abbildung 3-19:

Mittelwert:

## Bestimmung der Parameter

### Der Gesamt-Federsteifigkeit des ‚Antriebsstrangs‘

Die Eigenfrequenz des Einmassensschwingers sollte man durch:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

berechnet.

1. Analyse der Versuch 1(, , , berücksichtigt)

图片包含 屏幕截图

描述已自动生成

Abbildung ‑ Analyse der Schwingung 1

Daraus kann man , , gesammelt.

Massenträgheitsmoment:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Federsteifigkeit:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Analyse der Versuch 2(, , , , berücksichtigt)

图片包含 屏幕截图

描述已自动生成

Abbildung ‑ Analyse der Schwingung 2

Daraus kann man , , gesammelt.

Massenträgheitsmoment:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Federsteifigkeit:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

### Bestimmung des Durchmessers

Zur Bestimmung der Wellendurchmesser ist eine Vergleichswelle mit Länge auf basis der Steifigkeiten zu verfügen.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

In der Gleichung sind:

Wellendurchmesser

Wellensteifigkeit

Schubmodul (hier )

Wellenlänge (hier )

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |