

M4 - KRAFTMESSTECHNIK

Murray, Alex

`alexander.murray@students.fhnw.ch`

Noah Huesser

`noah.huesser@students.fhnw.ch`

May 30, 2017

1 Arbeitsgrundlagen

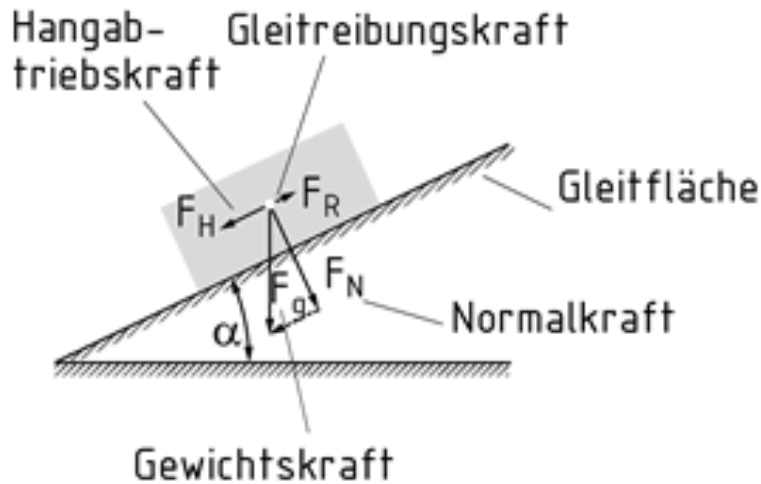


Figure 1: Die Verschiedenen Kräfte, die auf ein Objekt Wirkung haben.

Ein Objekt mit der Masse m wird mit $g \approx 9.81 \text{ m s}^{-2}$ gegen Erde beschleunigt. Die *Gewichtskraft* F_g ist somit:

$$F_g = m \cdot g \quad (1)$$

Falls das Objekt sich auf einer ungeraden Ebene befindet mit Winkel α , wird die Gewichtskraft F_g in zwei auf sich senkrechte Vektoren aufgeteilt: Die *Normalkraft* F_N und die *Hangabtriebskraft* F_H (siehe auch Abbildung 1). Je nach Winkel α wird die Normalkraft stärker oder schwächer.

$$F_N = F_G \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

$$F_H = F_G \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

Je nach Material des Objekts und Material der Fläche entsteht eine bremsende Kraft, die sogenannte *Reibungskraft* F_R , welche in die entgegengesetzte Richtung der Hangabtriebskraft F_H wirkt. Ist F_R grösser als F_H , dann bleibt das Objekt stehen. Ist sie kleiner, dann rutscht das Objekt mit zunehmender Geschwindigkeit die Fläche hinunter.

Die Reibungskraft wird unterteilt in eine *Grenzhafkraft* F_{H0} und eine *Gleitreibungskraft* F_{gl} . Wenn das Objekt stillsteht, dann wirkt eine Reibungskraft, die genau gleich gross ist wie die Hangabtriebskraft F_H , die das Objekt stillhält. Diese Kraft wirkt solange, bis sie grösser wird als die Grenzhafkraft F_{H0} . Danach beginnt das Objekt zu rutschen, und es wirkt die Gleitreibungskraft F_{gl} .

In der Abbildung 2 ist dieser Vorgang visualisiert.

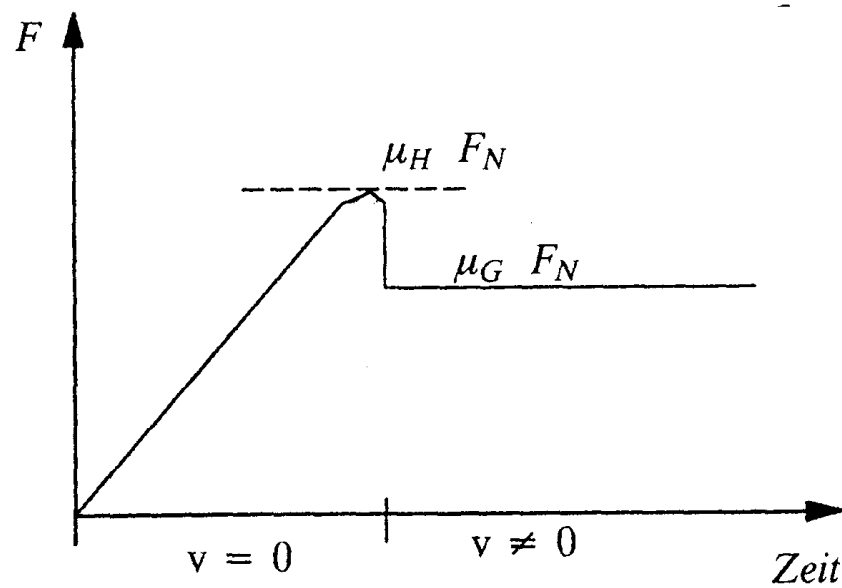


Figure 2: Übergang eines stillstehenden Objektes zu einem rutschenden Objekt.

Die beiden Reibungskräfte können mit den folgenden Formeln berechnet werden.

$$F_{H0} = \mu_H \cdot F_N \quad (4)$$

$$F_{gl} = \mu_G \cdot F_N \quad (5)$$

Wobei μ_H und μ_G materialabhängig sind. Weiter ist interessant zu beachten, dass die Reibungskräfte geschwindigkeitsunabhängig sind. Natürlich wird F_{H0} immer grösser sein als F_{gl} .

2 Durchführung

In diesem Versuch werden zwei verschiedene Materialien (Teppich und Plastik) mit konstanter (einstellbarer) Geschwindigkeit über eine Gleitbahn von ≈ 2 m gezogen. Ein geregelter Motor treibt ein Schlepper an, der eingebaut ein Biegebalken-Kraftmesser hat, damit die Reibungskraft direkt gemessen werden kann.

Die Bahn ist horizontal, was heisst dass die Normalkraft gleich ist wie die Gewichtskraft.

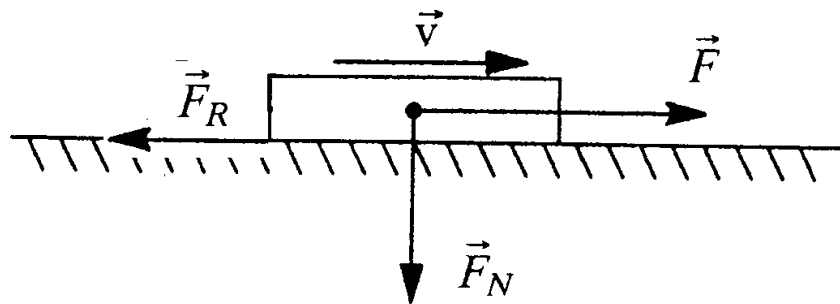


Figure 3

2.1 Kalibrationsmessung

Für die Kalibrationsmessung wurde ein Faden an den Kraftsensor angebracht, über ein Rad gespannt und verschiedene Normgewichte wurden am anderen Ende angehängt. Der Aufbau ist in Abbildung 4.

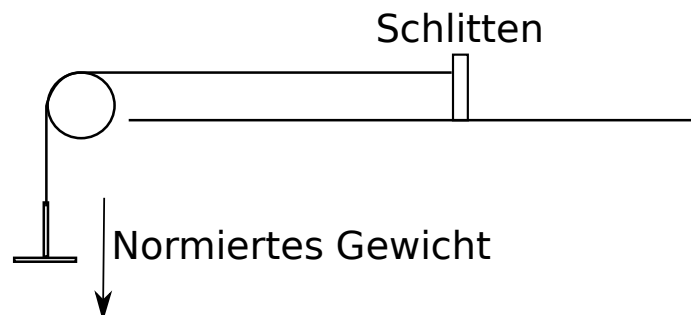


Figure 4: Aufbau der Gewichts-Kalibrationsmessung.

Die Geschwindigkeit des Schlittens musste auch kalibriert werden. Dabei wurde der Schlitten bei verschiedenen Einstellungen des Potentiometers zeitlich gemessen, um zu sehen, wie lange sie braucht, um eine Strecke von 1 m zurückzulegen. Diese Messung wurde mit einer Stoppuhr und einem auf der Bahn angebrachten Massstab durchgeführt.

2.2 Gleitreibungskraft

Ein 1 kg wiegendes Objekt wurde einerseits bei verschiedenen Geschwindigkeiten und konstantem Gewicht, andererseits mit verschiedenen Zusatzgewichten und konstanter Geschwindigkeit über die Bahn gezogen.

Das Objekt ist ein Klotz der aus Holz besteht. Auf einer Seite ist ein Teppichausschnitt angebracht, auf der anderen Seite ist Plastik angebracht. Die beiden Materialien können also getestet werden indem der Klotz umgedreht wird.

In der Abbildung 5 ist der Messaufbau zu sehen.

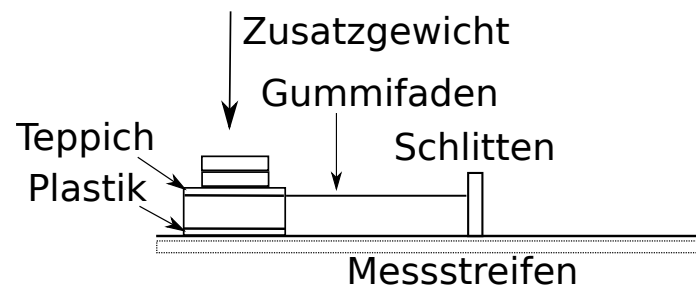


Figure 5: Aufbau für beide Messungen

3 Auswertung

3.1 Kalibration der Anlage

Die Anlage wurde für Masse kalibriert. Dafür wurden als Normobjekte mehrere auf der Mettlerl-Waage kontrollierte Wägestücke verwendet. Die Gewichten wurden mehrmals angehängt, um zu sehen, wie sich der Nullpunkt verschiebt.

Nenngewicht (kg)	Nullpunkt (kg)
1	-0.002
1.5	-0.004
2	-0.005
2.5	-0.009
3	-0.012
3.5	-0.02
4	-0.022
4.5	-0.024

Table 1: Abweichungen vom Nullpunkt nach abhängen jedes Nenngewichts

Es ist zu sehen, dass sich der Nullpunkt um 24 g verschiebt.

Die verschiedenen Nenngewichte in funktion der gemessenen Gewichte ist in Abbildung 6 zu sehen. Die Punkte wurden mit der linearen Funktion $y = m_0 + xm$ gefittet. Es gab eine Fehlmessung bei 3 kg Nenngewicht, deshalb wurde dieser Punkt beim Fitten ignoriert.

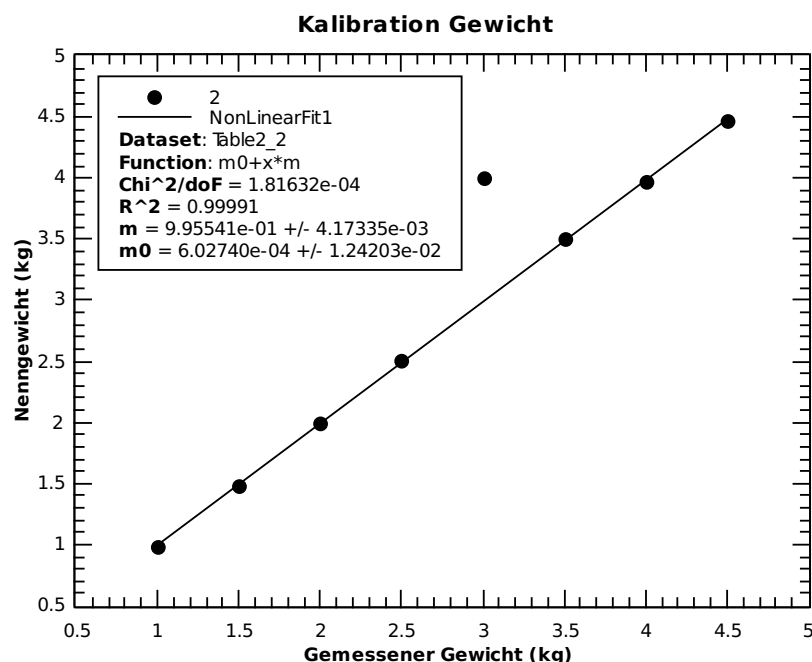
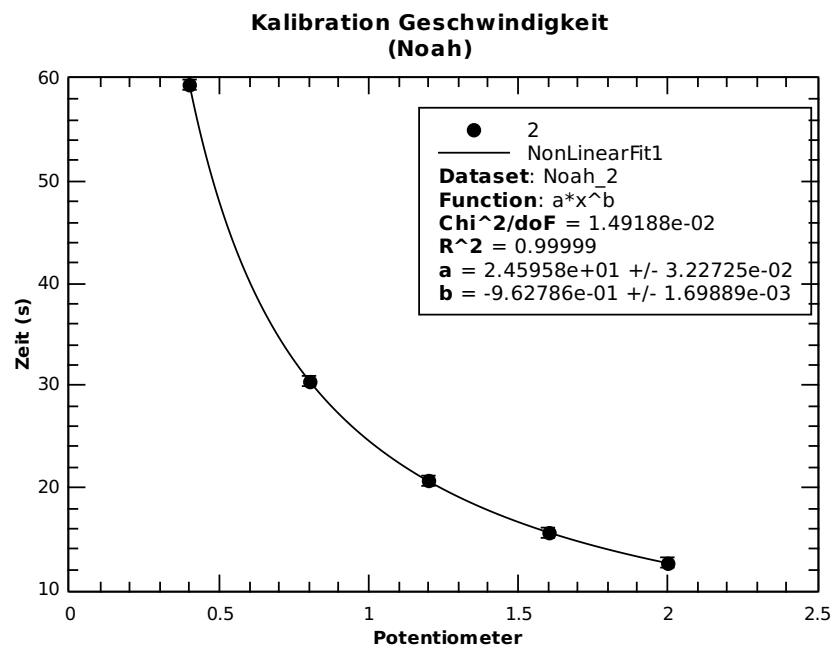


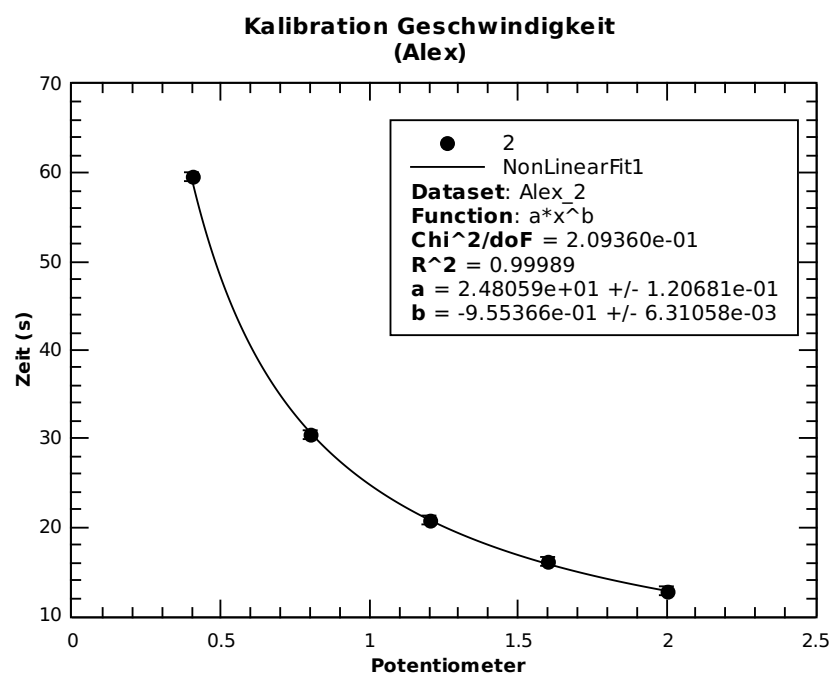
Figure 6: Verschiedene Normobjekte wurden angehängt und das Gewicht wurde gemessen. Ein Ausreisser bei 3 kg wurde beim Fitten ignoriert.

Weiter wurde die Anlage für Geschwindigkeit kalibriert. Dafür wurde bei verschiedenen Einstellungen des Potentiometers die Zeit gemessen, die das Objekt brauchte, um 1 m zurückzulegen. So kann die

Geschwindigkeit in funktion der Potentiometereinstellung ausgedrückt werden. Diese Messung wurde zwei mal durchgeführt, ein mal von Alex und ein mal von Noah.



(a) Die Zeit Über eine Strecke von 1 m wurde bei verschiedenen Potentiometereinstellungen mit einer Stoppuhr von Noah gemessen.



(b) Die Zeit Über eine Strecke von 1 m wurde bei verschiedenen Potentiometereinstellungen mit einer Stoppuhr von Alex gemessen.

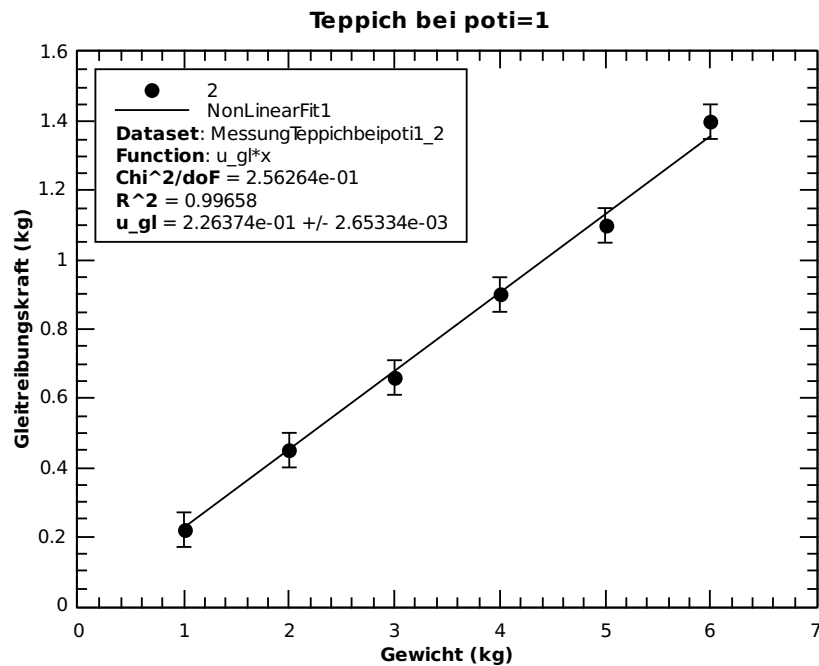
Figure 7

3.2 Gleitreibungskraft Fester Körper

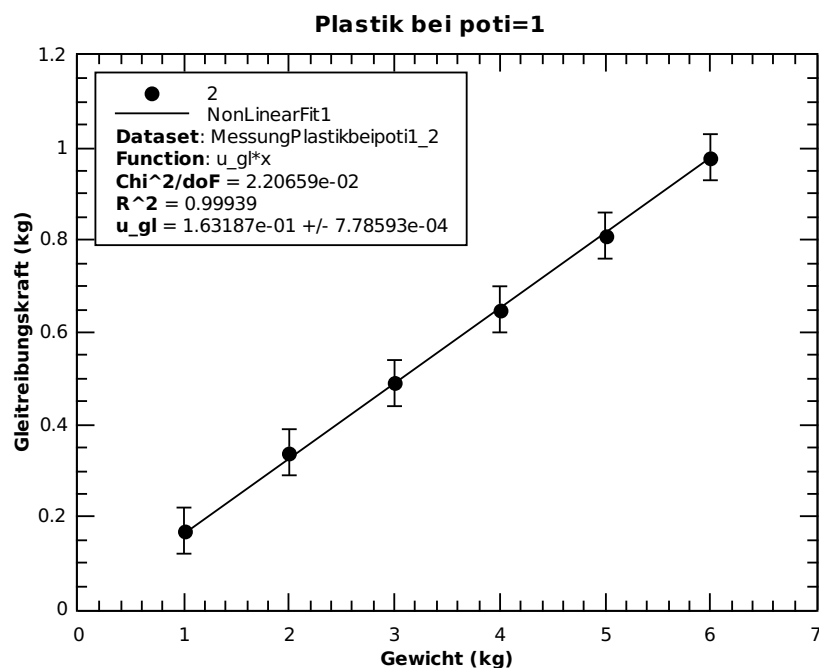
Die Gleitreibungskraft F_{gl} wurde in Funktion der Normalkraft N bei konstanter Geschwindigkeit im Bereich von einigen cm s^{-1} gemessen. Die Unsicherheit der Messwerte wurde aus der Schwankungsbreite der Anzeige bestimmen, welches sich ungefähr zu 50 g herausstellte.

Die Messungen wurden bei der Potentiometereinstellung=1 durchgeführt (siehe Abbildung 7).

Die Abbildungen 8a und 8b stellen die Messungen für die Materialien Teppich und Plastik dar.

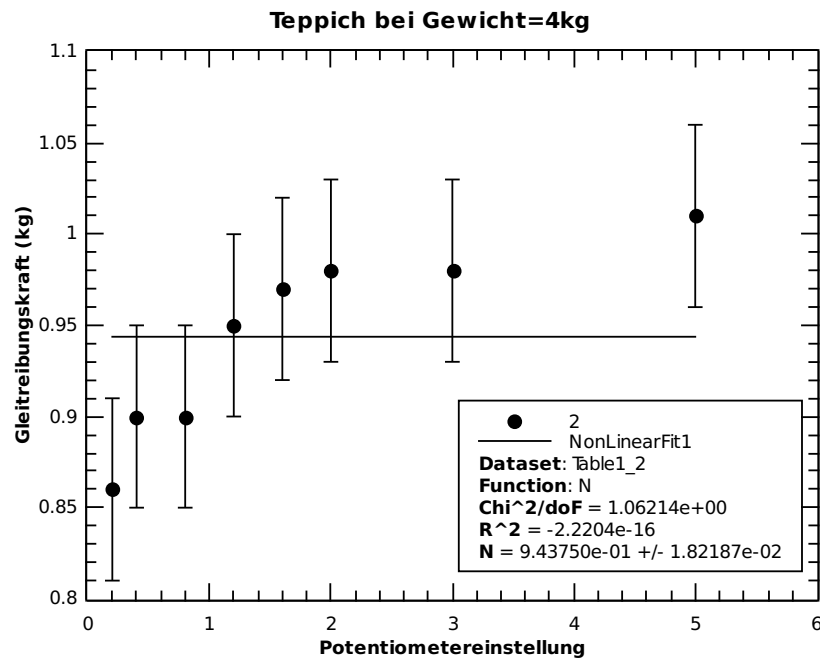


(a) Die Gleitreibungskraft vom Teppich wurde bei konstanter Geschwindigkeit und verschiedenen Normalkräften gemessen.

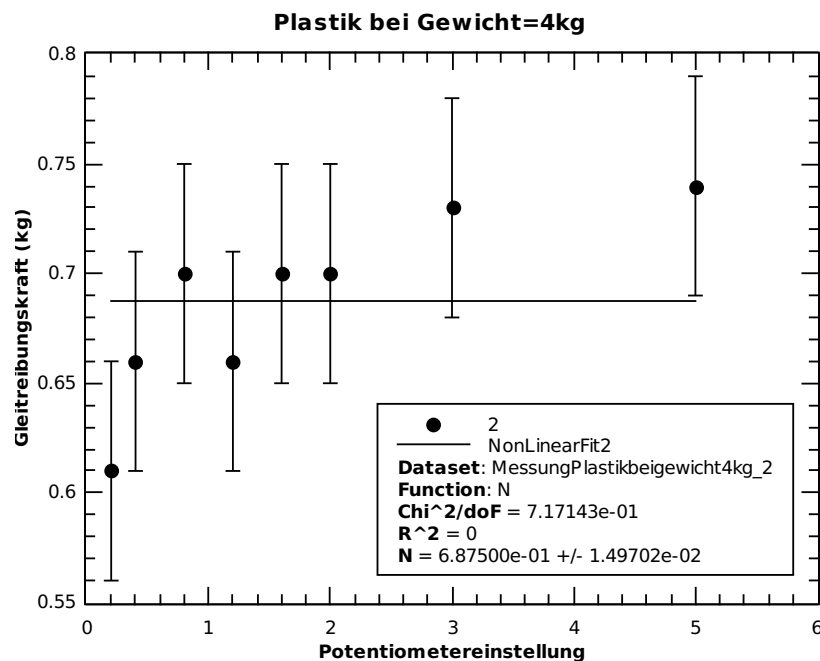


(b) Die Gleitreibungskraft vom Plastik wurde bei konstanter Geschwindigkeit und verschiedenen Normalkräften gemessen.

Die Gleitreibungskraft F_{gl} wurde in Funktion der Geschwindigkeit bei konstanter Normalkraft gemessen. für Normalkraft bzw. die Gewichtskraft wurde 4 kg gewählt. Die messresultate sind in den Abbildungen 9a (Teppich) und 9b (Plastik) zu sehen.



(a) Die Gleitreibungskraft vom Teppich wurde bei konstanter Geschwindigkeit und verschiedenen Normalkräften gemessen.

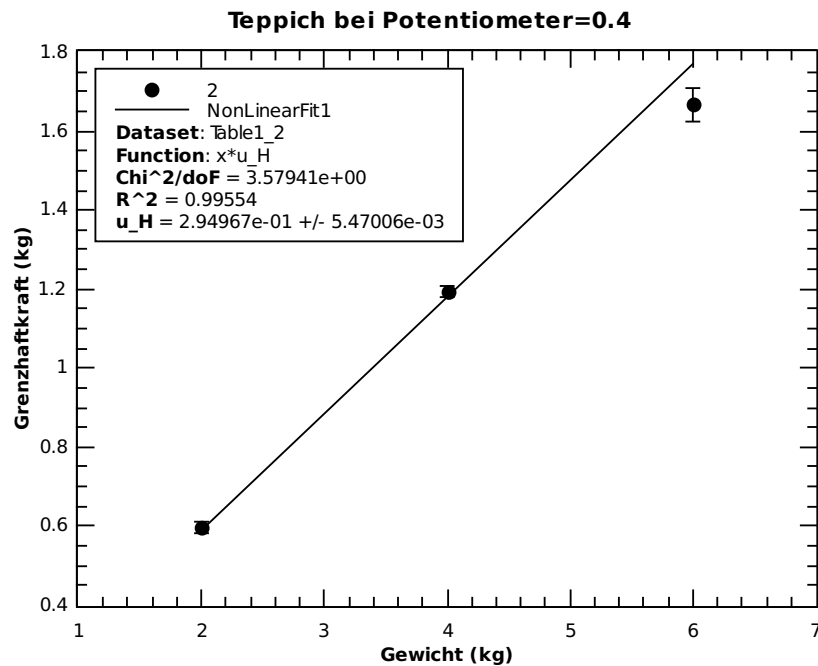


(b) Die Gleitreibungskraft vom Plastik wurde bei konstanter Geschwindigkeit und verschiedenen Normalkräften gemessen.

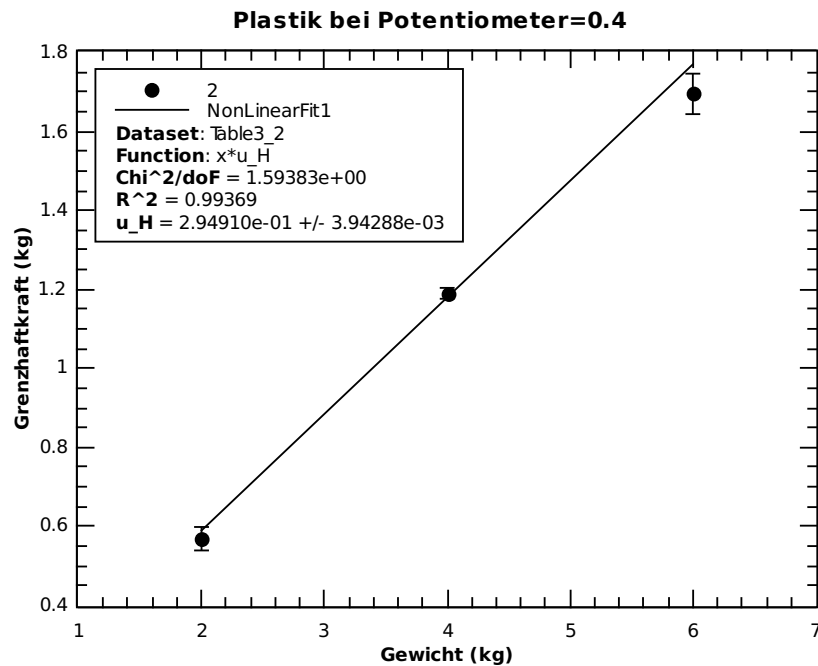
Es wurde darauf geachtet, dass alle Messungen immer an der Gleichen stelle abgelesen wurden. Es entsteht so zwar ein Systematischer Fehler, aber die Streuung der gemessenen Werte werden kleiner sein.

3.3 Grenzhafthkraft Fester Körper

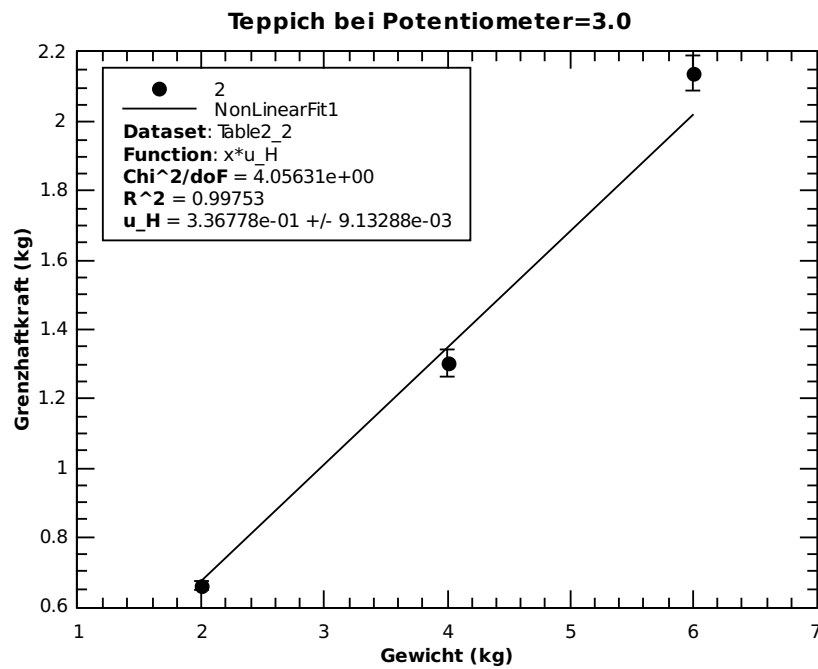
Die Grenzhafthkraft F_{H0} wurde in Funktion der Normalkraft gemessen. Dabei wurde der Körper an 4 verschiedenen Stellen des Bahnes platziert und das Maximum des gemessenen Krafte abgelesen. Der Mittelwert und Fehler dieser Werte wurden berechnet und in den Abbildungen 10a (Teppich, poti=0.4), 10b (Plastik, poti=0.4), 11a (Teppich, poti=3) und 11b geplottet.



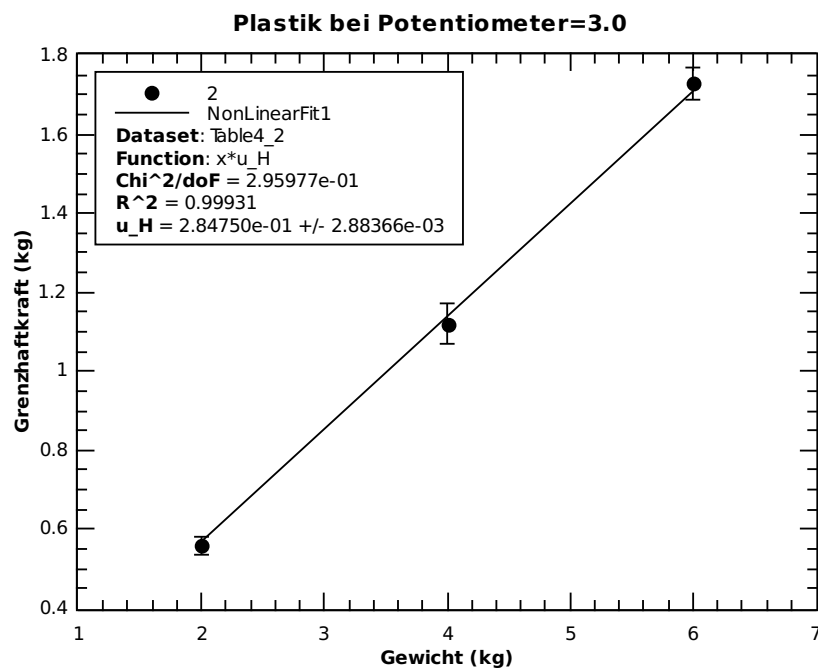
(a) Die Grenzhafthkraft vom Teppich wurde bei verschiedenen Normalkräften an verschiedenen Stellen der Bahn gemessen.



(b) Die Grenzhafthkraft vom Plastik wurde bei verschiedenen Normalkräften an verschiedenen Stellen der Bahn gemessen.



(a) Die Grenzhafkraft vom Teppich wurde bei verschiedenen Normalkräften an verschiedenen Stellen der Bahn gemessen.



(b) Die Grenzhafkraft vom Plastik wurde bei verschiedenen Normalkräften an verschiedenen Stellen der Bahn gemessen.

4 Fehlerrechnung

4.1 Gleitreibungskraft

Bei der ersten Messung, wo die Geschwindigkeit konstant war und die Gleitreibungskraft bei verschiedenen Gewichten gemessen wurde (Abbildungen 8a und 8b), wurden die Messpunkte mit der Formel $m_{gl} = \mu_{gl} \cdot m$ gefittet, wobei m die Masse des Objektes ist (X-Achse) und m_{gl} der Gleitreibungsgewicht, die vom Messgerät direkt abgelesen werden konnte (Y-Achse). Es kann abgelesen werden:

$$\begin{aligned}\mu_{gl,teppich_1} &= (226.374 \pm 2.653)E-3 \\ \mu_{gl,plastik_1} &= (163.187 \pm 0.779)E-3\end{aligned}$$

Bei der zweiten Messung, wo der Gewicht konstant war und die Gleitreibungskraft bei verschiedenen Geschwindigkeiten gemessen wurde (Abbildungen 9a und 9b), wurden die Messpunkte mit einer Konstante N gefittet. Diese entspricht des durchschnittlichen Gleitreibungsgewichts (mitsamt Fehler).

Der Gleitreibungskoeffizient μ_{gl_2} ist Geschwindigkeitsunabhängig.

$$\begin{aligned}\mu_{gl,teppich_2} &= \frac{N_{teppich}}{m} = \frac{(943.750 \pm 18.218)g}{4000g} = (235.938 \pm 4.555)E-3 \\ \mu_{gl,plastik_2} &= \frac{N_{plastik}}{m} = \frac{(687.500 \pm 14.970)g}{4000g} = (171.875 \pm 3.743)E-3\end{aligned}$$

Die Gleitreibungskoeffizienten der beiden Messungen können dann gewichtet gemittelt werden:

$$\begin{aligned}\overline{\mu_{gl}} &= \frac{\sum_i g_{\mu i} \cdot \mu_i}{\sum_i g_{\mu i}} \quad \text{mit} \quad g_{\mu i} = \frac{1}{s_{\mu i}^2} \\ s_{\mu_{gl}}^2 &= \frac{1}{\sum_i g_{\mu i}}\end{aligned}$$

Es ergeben sich die Gleitreibungskoeffizienten:

$$\begin{aligned}\mu_{gl,teppich} &= 0.2276 \pm 0.0015 \\ \mu_{gl,plastik} &= 0.1636 \pm 0.0009\end{aligned}$$

4.2 Grenzhafkraft

Die Grenzhafkraft wurde an vier verschiedenen Stellen der Bahn mit verschiedenen Zusatzgewichten gemessen. Die vier Stellen wurden gemittelt (mit fehler) und mit QtiPlot wurden diese Mittelwerte linear gefittet.

Die Haftkoeffizienten können jeweils direkt aus den Fits gelesen werden. Diese sind:

$$\mu_{H,\text{teppich}_{0.4}} = (294.967 \pm 5.470)\text{E}-3$$

$$\mu_{H,\text{teppich}_{3.0}} = (336.778 \pm 9.133)\text{E}-3$$

$$\mu_{H,\text{plastik}_{0.4}} = (294.910 \pm 3.943)\text{E}-3$$

$$\mu_{H,\text{plastik}_{3.0}} = (284.750 \pm 2.884)\text{E}-3$$

Die Koeffizientenpaare, die aus den verschiedenen Geschwindigkeitsmessungen entstanden sind, können weiter gewichtet gemittelt werden. Es ergeben sich somit die Grenzhafkoeffizienten:

$$\mu_{H,\text{teppich}} = 0.3106 \pm 0.0018$$

$$\mu_{H,\text{plastik}} = 0.2890 \pm 0.0013$$

5 Resultate und Diskussion

Die berechneten Werte sind als Tabelle nochmals zusammengefasst (Tabelle 2).

Es war schwierig, vergleichbare Reibkoeffizienten zu finden. Hier sind die beiden Gleitreibkoeffizienten verglichen mit zwei Literaturwerten[1]:

Table 2: Zusammenfassung der berechneten Werte

	Gleitreibungskoeffizient	Grenzhaftkoeffizient
Teppich	0.2276 ± 0.0015	0.3106 ± 0.0018
Plastik	0.1636 ± 0.0009	0.2890 ± 0.0013

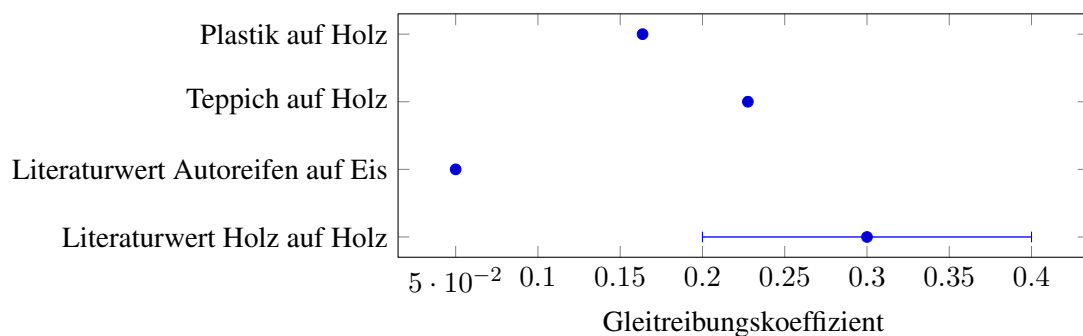


Figure 12: Grafische Darstellung der Grenzhaftkoeffizienten und Vergleich mit ein paar Literaturwerten

Und hier sind die beiden Grenzhaftkoeffizienten nochmals verglichen mit Literaturwerten[1]:

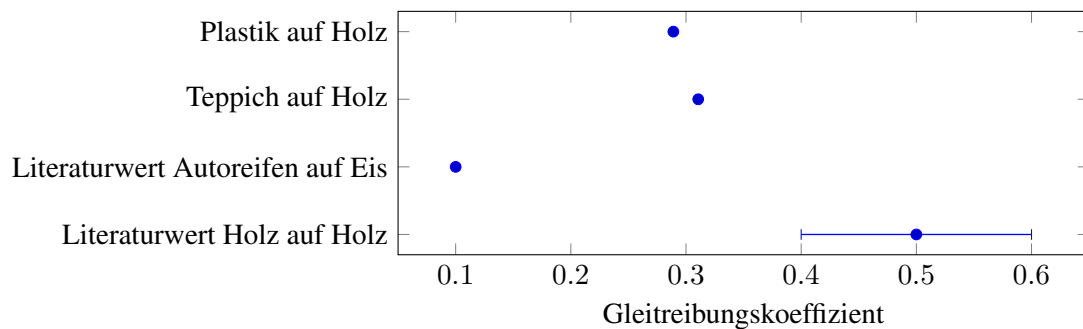


Figure 13: Grafische Darstellung der Gleitreibungskoeffizienten und Vergleich mit ein paar Literaturwerten

Die berechneten Koeffizienten scheinen vernünftig zu sein. Die berechneten Fehler, jedoch, können niemals so genau sein. Es ist offensichtlich ein systematischer Fehler vorhanden, nämlich die spezifische Eigenschaften der Bahn, die Eigenschaften des ausgewählten Teppichs/Plastiks, die Temperatur, Feuchtigkeit, Alter der Vorrichtung usw.

Würde das Experiment mit einer anderen Vorrichtung wiederholt werden, so würden sehr wahrscheinlich ganz andere Koeffizienten entstehen.

References

- [1] *Reibwerte*. <http://www.schweizer-fn.de/stoff/reibwerte/reibwerte.php>.
Abgerufen, 16-11-21 17:40.

Kalibration Gewicht

Nenngewicht	Anzeige	Wieder auf Null
1	0.9885	-0.002
1.5	1.488	-0.004
2	1.99	-0.005
2.5	2.506	-0.009
3	3.998	-0.012
3.5	3.502	-0.02
4	3.98	-0.022
4.5	4.465	-0.024

Kalibration Geschwindigkeit

Noah

Poti	Meter	Zeit	Geschwindigkeit
0.4	1	59.44	0.016823688
0.8	1	30.44	0.032851511
1.2	1	20.68	0.048355899
1.6	1	15.59	0.064143682
2	1	12.68	0.078864353

Alex

0.4	1	59.6	0.016778523
0.8	1	30.44	0.032851511
1.2	1	20.8	0.048076923
1.6	1	16.12	0.062034739
2	1	12.8	0.078125

Messung Teppich bei poti=1, klotz=1kg

ZusatzgewichtFgl	Unsicherheit
0	0.22
1	0.45
2	0.66
3	0.9
4	1.1
5	1.4

Messung Plastik bei poti=1, klotz=1kg

ZusatzgewichtFgl	Unsicherheit
0	0.17
1	0.34
2	0.49
3	0.65
4	0.81
5	0.98

Messung Plastik bei klotz=1kg, Zusatzgewicht=3kg

Poti	Fgl	Unsicherheit
0.2	0.61	0.05
0.4	0.66	0.05
0.8	0.7	0.05

Sheet1

1.2	0.66	0.05
1.6	0.7	0.05
2	0.7	0.05
3	0.73	0.05
5	0.74	0.05

Messung Teppich bei klotz=1kg, Zusatzgewicht=3kg

Poti	Fgl	Unsicherheit
0.2	0.86	0.05
0.4	0.9	0.05
0.8	0.9	0.05
1.2	0.95	0.05
1.6	0.97	0.05
2	0.98	0.05
3	0.98	0.05
5	1.01	0.05

Grenzhafkraft Teppich bei klotz=1kg, poti=0.4

Zusatzgewicht			
Position	1	3	5
0	0.629	1.238	1.752
40	0.598	1.164	1.578
80	0.61	1.176	1.585
120	0.55	1.197	1.75

Grenzhafkraft Plastik bei klotz=1kg, poti=0.4

Zusatzgewicht			
Position	1	3	5
0	0.553	1.22	1.613
40	0.636	1.145	1.658
80	0.48	1.197	1.638
120	0.607	1.198	1.87

Grenzhafkraft Teppich bei klotz=1kg, poti=3

Zusatzgewicht			
Position	1	3	5
0	0.692	1.336	2.272
40	0.641	1.214	2.157
80	0.629	1.247	2.151
120	0.677	1.415	1.987

Grenzhafkraft Plastik bei klotz=1kg, poti=3

Zusatzgewicht			
Position	1	3	5
0	0.525	1.079	1.867
40	0.514	0.991	1.67
80	0.565	1.141	1.671
120	0.63	1.272	1.704

	mittelwert	s	g	g*mittelwert
Uteppich_1	226.374		2.653	0.376931775
uplastik_1	163.187		0.779	1.283697047
Uteppich_2	235.9375		18.218	0.054890767
				12.95079043

Sheet1

Uplastik_2	171.875	14.97	0.066800267	11.48129593
uteppich	227.5896564	1.5217641364		
uplastik	163.6167385	0.8605044836		

	mittelwert	s	g	g*mittelwert
Uteppich_04	294.967		5.47	0.182815356
Uteppich_30	336.778		9.133	0.109493047
Uplastik_04	294.91		3.943	0.253613999
Uplastik_30	284.75		2.884	0.346740638
uteppich	310.628588	1.8496065273		
uplastik	289.0419936	1.2906130886		

Grenzhaftkraft Teppich bei klotz=1kg, poti=0.4

Zusatzgewicht	1	3	5
Mittelwert	0.59675	1.19375	1.66625
Fehler	0.014583274	0.0140729128	0.042394538

Grenzhaftkraft Teppich bei klotz=1kg, poti=3

Zusatzgewicht	1	3	5
Mittelwert	0.65975	1.303	2.14175
Fehler	0.012832454	0.0392826297	0.050763391

Grenzhaftkraft Plastik bei klotz=1kg, poti=0.4

Zusatzgewicht	1	3	5
Mittelwert	0.569	1.19	1.69475
Fehler	0.02969638	0.0137795138	0.051214469

Grenzhaftkraft Plastik bei klotz=1kg, poti=3

Zusatzgewicht	1	3	5
Mittelwert	0.5585	1.12075	1.728
Fehler	0.022717009	0.0511521933	0.040704729