

Tribologie

D-MATL V10

Praktikum 1

Gruppe 9

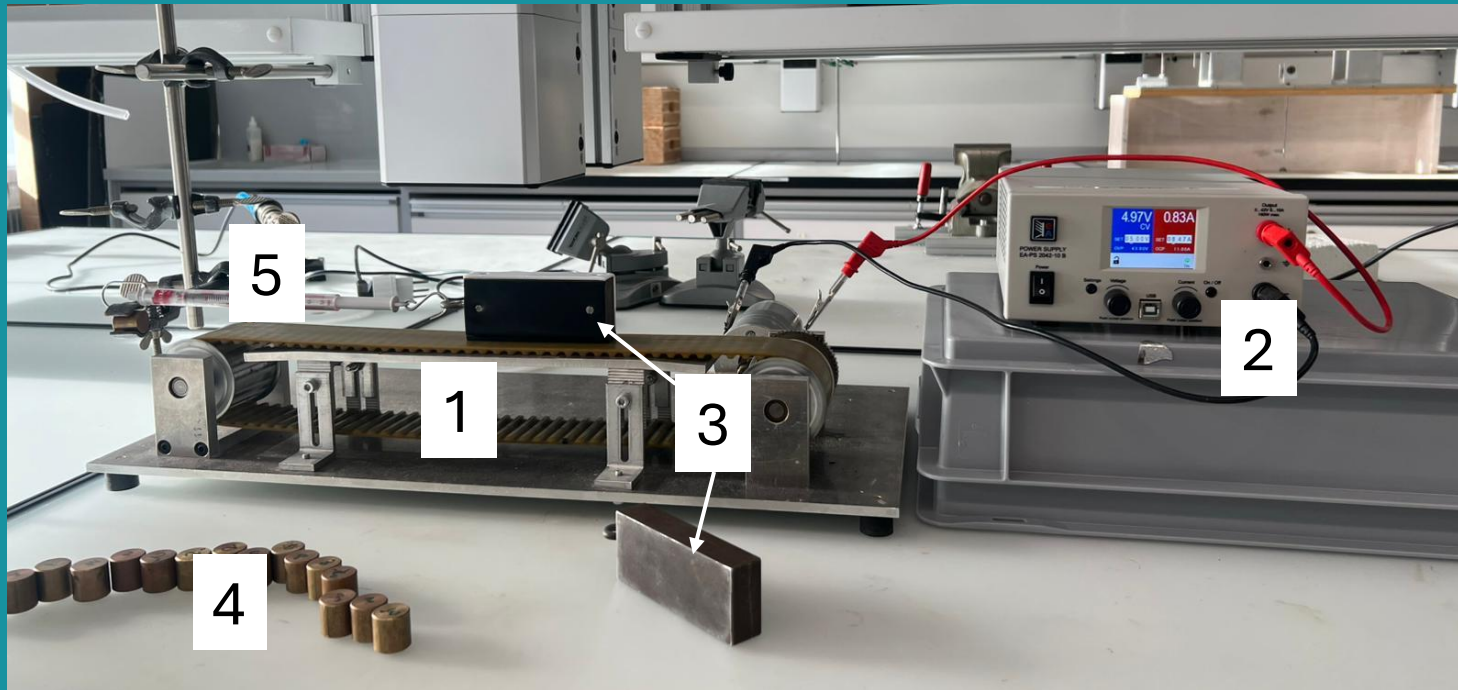
Runji Dong, Grishma Ponnada, Jeanne Cathérine Mungo

24.11.2025

Inhalt

1. Versuchsaufbau
2. Ergebnisse
3. Fehlerrechnung
4. Diskussion
5. Anhang

Versuchsaufbau



Material:

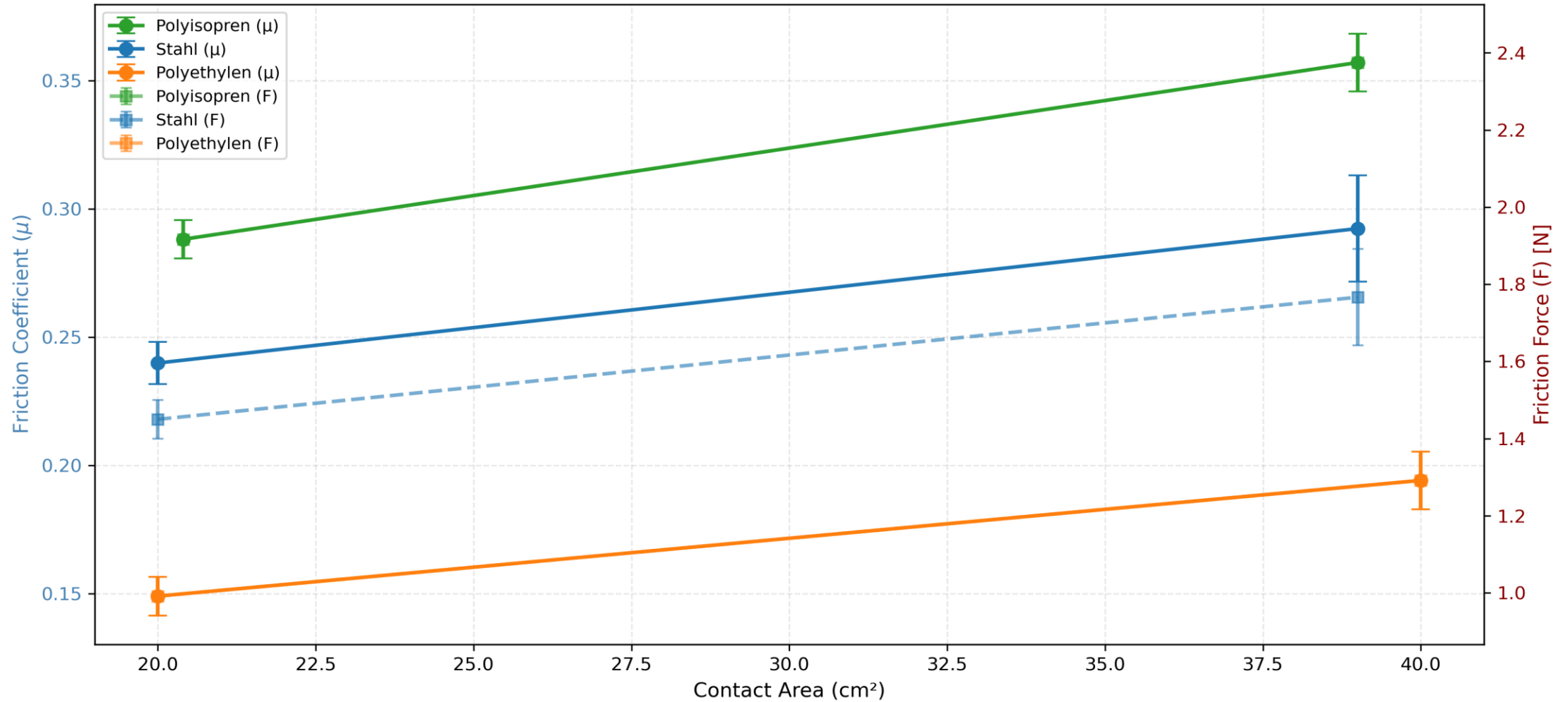
1. Laufband
2. Veränderbare Spannungsquelle
3. Klötze aus verschiedenen Materialien (Stahl, Polyethylen, Polyisopren)
4. Zusätzliche Gewichte
5. Newtonmeter

Reibungskoeffizient $\mu = F/(m \cdot g)$
 F = Reibungskraft gemessen mit Newtonmeter
 $m \cdot g$ = Normalkraft
 m = Masse

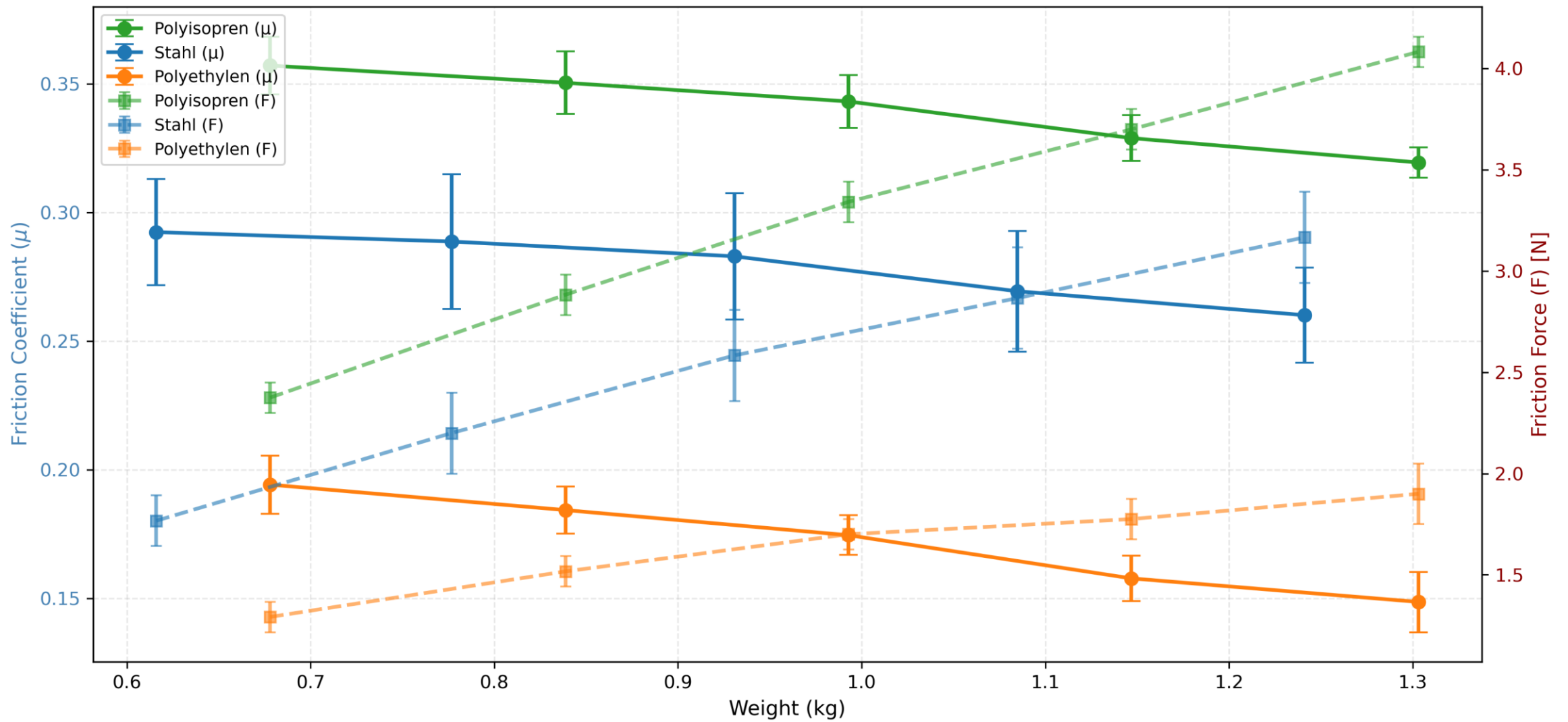
Experimentelle Beobachtung

- Beim Newtonmeter konnten keine definierten Einzelmesswerte abgelesen werden, weil es ständig Schwankungen/Schwingungen gab. Als Messwerte wurden dann die Schwankungsintervalle notiert.
- Diese Schwankungen werden als systematischer Fehler betrachtet, der in der Unvollkommenheit des Versuchsaufbaus begründet liegt. Deshalb wurden die Fehlerbalken in der Auswertung nicht über statistische Grössen bestimmt.

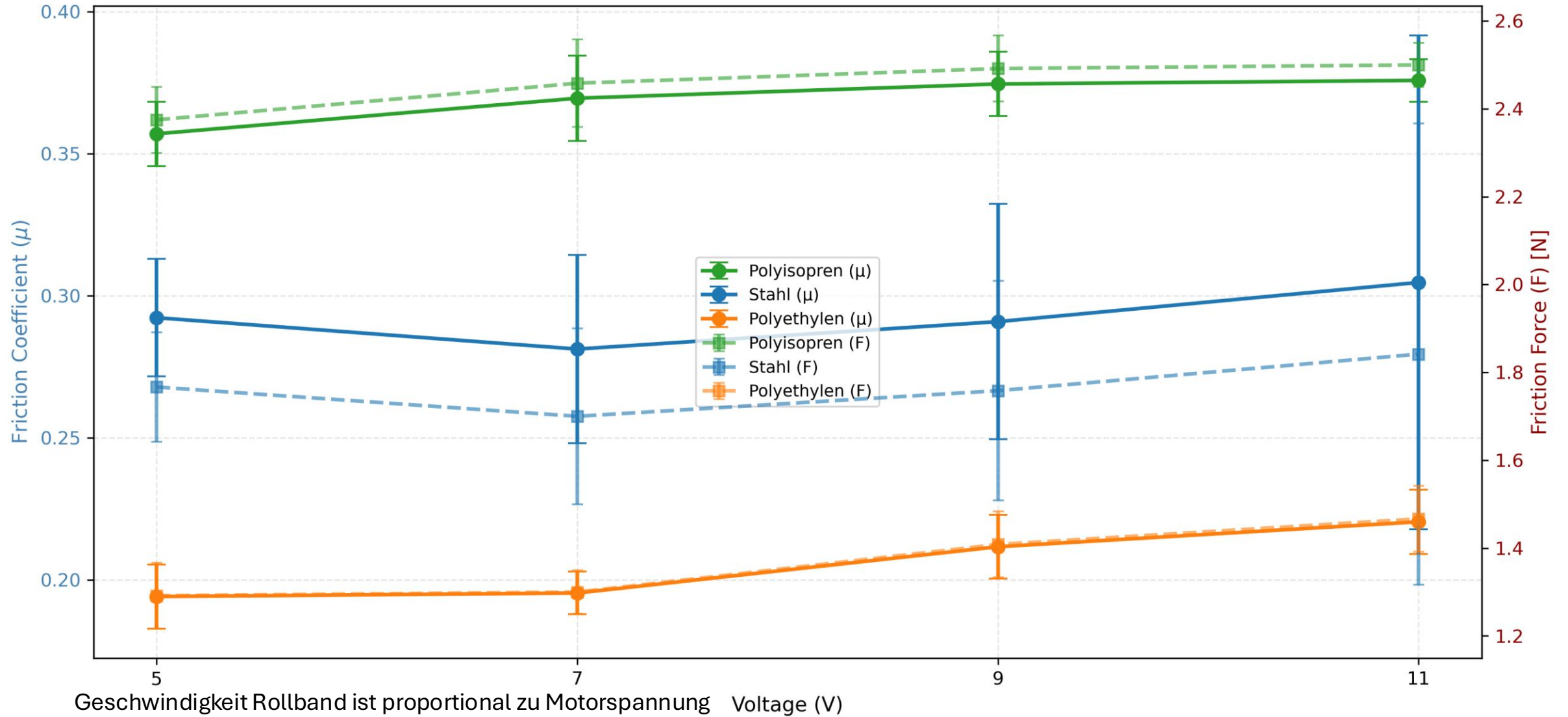
Friction Coefficient vs Contact Area (5V)



Friction Coefficient vs Weight (5V, Large Area)



Friction Coefficient vs Voltage (Large Area, Block B)



Theoretische Fehlerfortpflanzung

$$\mu = F/(m \cdot g)$$

Δg von der Erdbeschleunigung g wird hier der Einfachheit halber nicht betrachtet.

$$\Delta\mu = \sqrt{\left(\frac{\partial\mu}{\partial F} \Delta F\right)^2 + \left(\frac{\partial\mu}{\partial m} \Delta m\right)^2} \longrightarrow \Delta\mu = \sqrt{\left(\frac{\Delta F}{mg}\right)^2 + \left(\frac{F\Delta m}{m^2 g}\right)^2}$$

Hinweis für die Berechnungen

Fluctuation range von F : $[F_{\text{links}}, F_{\text{rechts}}]$

Mean friction force: $\langle F \rangle = (F_{\text{links}} + F_{\text{rechts}}) / 2$

Friction coefficient: $\mu = \langle F \rangle / (m \cdot g)$

- Die folgenden Tabellen zeigen 3 Beispiele wie die Fehlerbalken von 3 Messpunkten bestimmt worden sind.

Material = Stahl+1+2

Mass m [kg] = 0.93070

Area A [cm²] = 39.000cm²

Voltage U [V] = 5 V

 $\Delta m = 0,1 \text{ g} = 0,0001 \text{ kg}$

	Measured / read friction force F [N] at newton meter	$F_1 = 2.35 - 2.8$	$F_2 = 2.35 - 2.8$	$F_3 = 2.45 - 2.80$	$F_4 = \text{N/A}$	$F_5 = \text{N/A}$
	Number n of measurements	3				
	Student factor $t_{95} (n-1)$ from tables in literature about statistics (for c_{95})	Nicht betrachtet				
	Mean friction force $\langle F \rangle$ [N]	2.5833N				
ΔF [N] is the largest of	standard deviation σ_{68} [N]	Nicht betrachtet				
	confidence interval c_{95} [N]	Nicht betrachtet				
	error newton meter [N]	0.0500				
	fluctuation range of oscillating newton meter and cuboid on the conveyor belt (if any)	0.2250N				
	Friction coefficient μ or $\langle \mu \rangle = \langle F \rangle / (m g)$	0.2829				
	$[\Delta F / (m g)]^2$	0.0006				
	$[(F \Delta m) / (m^2 g)]^2$	0.0000				
	$\Delta \mu$	0.0246				

Material = Polyethylen (weiss)+1+2+3+4

Mass m [kg] = 1.3032 Area A [cm²] = 40.000cm²

Voltage U [V] = 5 V

$\Delta m = 0,1 \text{ g} = 0,0001 \text{ kg}$

	Measured / read friction force F [N] at newton meter	$F_1 = 1.80\text{--}2.05$	$F_2 = 1.75\text{--}2.00$	$F_3 = 1.75\text{--}2.05$	$F_4 = \text{N/A}$	$F_5 = \text{N/A}$
	Number n of measurements	3				
	Student factor $t_{95} (n-1)$ from tables in literature about statistics (for c_{95})	Nicht betrachtet				
	Mean friction force $\langle F \rangle$ [N]	1.9000N				
ΔF [N] is the largest of	standard deviation σ_{68} [N]	Nicht betrachtet				
	confidence interval c_{95} [N]	Nicht betrachtet				
	error newton meter [N]	0.0500				
	fluctuation range of oscillating newton meter and cuboid on the conveyor belt (if any)	0.1500N				
	Friction coefficient μ or $\langle \mu \rangle = \langle F \rangle / (m g)$	0.1486				
	$[\Delta F / (m g)]^2$	0.0001				
	$[(F \Delta m) / (m^2 g)]^2$	0.0000				
	$\Delta \mu$	0.0117				

Material = Polyisopren (schwarz)

Mass m [kg] = 0.6780
 $\Delta m = 0,1 \text{ g} = 0,0001 \text{ kg}$

Area A [cm²] = 39.000cm²

Voltage U [V] = 5 V

	Measured / read friction force F [N] at newton meter	$F_1 = 2.30\text{--}2.45$	$F_2 = 2.30\text{--}2.45$	$F_3 = 2.30\text{--}2.45$	$F_4 = \text{N/A}$	$F_5 = \text{N/A}$
	Number n of measurements	3				
	Student factor t_{95} ($n-1$) from tables in literature about statistics (for c_{95})	Nicht betrachtet				
	Mean friction force $\langle F \rangle$ [N]	2.3750N				
ΔF [N] is the largest of	standard deviation σ_{68} [N]	Nicht betrachtet				
	confidence interval c_{95} [N]	Nicht betrachtet				
	error newton meter [N]	0.0500				
	fluctuation range of oscillating newton meter and cuboid on the conveyor belt (if any)	0.0750N				
	Friction coefficient μ or $\langle \mu \rangle = \langle F \rangle / (m g)$	0.3571				
	$[\Delta F / (m g)]^2$	0.0001				
	$[(F \Delta m) / (m^2 g)]^2$	0.0000				
	$\Delta \mu$	0.0113				

Diskussion

- Wegen Schwankungen (systematischer Fehler) wurden die Standardabweichung, Studentenverteilung und das Vertrauensintervall nicht angewendet
- Das weisse Polyethylen hat eine relativ glatte Oberfläche und ist zudem relativ steif, also schlecht verformbar.
- Stahl ist auch ein eher steifes Material.
- Zuletzt kommt das schwarze Polyisopren. Ein eher weiches Material, welches besser an anderen Materialien haftet.
- Offenbar hat die Oberfläche, sowie das Gewicht einen Einfluss darauf, wie viel Kraft für die Haftreibung aufgewendet werden muss. Je höher desto mehr.
- Die Reibung hängt nicht stark von der Geschwindigkeit bzw. Spannung ab
- Man sieht also, dass die Amontonsschen Gesetze nur Annäherungen sind und nicht die Realität darstellen

Anhang

8

VERSUCH 10 - TRIBOLOGIE

$\mu = \frac{F}{N} \rightarrow F_R = \mu N$
 $S = \frac{\eta \cdot v}{N}$

η = Viskos. Schmiermittel
 v = Gleitgeschw.
 N = Normalkraft
 S = Sommerfeldzahl

Weiss: Polyethylen
 Schwarz: Polypropylen

Art, der Reibung

Stahl

STAHL SV

Gewicht	Block + 1+2+3+4	Block + 1+2+3	B+1+2	B+1	B
Kraft/N	3.0 - 3.3	2.6 - 3.1	2.35 - 2.75	2.0 - 2.4	1.65 - 1.9
Messung 1	2.85 - 3.1	2.65 - 3.1	2.35 - 2.8	2.0 - 2.4	1.65 - 1.9
Messung 3	2.95 - 3.4	2.65 - 3.1	2.45 - 2.8	2.0 - 2.4	1.65 - 1.85

Kontaktfläche: 10cm x 3.9cm

WEISS SV

Gewicht	B+1+2+3+4	B+1+2+3	B+1+2	B+1	B
Kraft (N)	1.8 - 2.05	1.65 - 1.85	1.6 - 1.75	1.45 - 1.55	1.25 - 1.35
Mess. 1	1.75 - 2.00	1.7 - 1.85	1.65 - 1.75	1.45 - 1.6	1.25 - 1.35
M 2	1.75 - 2.05	1.85 - 1.85	1.65 - 1.8	1.45 - 1.6	1.2 - 1.35

Kontaktfläche: 10 x 4

SCHWARZ SV

Gewicht	B+...+4	B+...+3	B+1+2	B+1	B
M 1	4.15 - 4.25	3.55 - 3.75	3.25 - 3.4	2.8 - 2.95	2.3 - 2.45
M 2	3.9 - 4.05	3.6 - 3.8	3.25 - 3.45	2.8 - 2.95	2.3 - 2.45
M 3	4.0 - 4.15	3.65 - 3.85	3.25 - 3.45	2.8 - 3.0	2.3 - 2.45

A: 3.9.10

A schwarz: $2 \times 10,2 \text{ cm}^2$
 A weiss: $2 \times 10 \text{ cm}^2$
 A stahl: $2 \times 10 \text{ cm}^2$

Schmale Flächen

kleine Fläche SV

	Stahl	Weiss	Schwarz
M 1	1.4 - 1.5	0.95 - 1.0	1.85 - 1.95
M 2	1.4 - 1.5	0.95 - 1.05	1.85 - 1.95
M 3	1.4 - 1.5	0.95 - 1.05	1.9 - 2.0

Versch. Spannungen auf grosser Fläche

STAHL

	M 1	M 2	M 3
7V	1.5 - 1.9	1.5 - 1.9	1.5 - 1.9
9V	1.5 - 1.95	1.5 - 2.0	1.6 - 2.0
11V	1.45 - 2.5	1.85 - 2.25	1.35 - 2.15

WEISS

	M 1	M 2	M 3
7V	1.25 - 1.35	1.25 - 1.35	1.25 - 1.35
9V	1.35 - 1.45	1.35 - 1.5	1.35 - 1.45
11V	1.4 - 1.5	1.4 - 1.55	1.4 - 1.55

SCHWARZ

	M 1	M 2	M 3
7V	2.35 - 2.5	2.35 - 2.55	2.4 - 2.6
9V	2.4 - 2.55	2.4 - 2.55	2.45 - 2.6
11V	2.4 - 2.5	2.45 - 2.55	2.5 - 2.6

Anhang

Material	Voltage_V	Area_cm2	Experiment	Block_Con	Range	Messwert	Messwert	Mass_g_Av	Mass_g_De	Fn_avg	Fn_delta	mu_avg	mu_delta
Stahl	5V	39	Weight_Va	B+1+2+3	3.0-3.3	3.15	0.15	1241.2	0.223607	12.17617	0.002194	0.258702	0.012319
Stahl	5V	39	Weight_Va	B+1+2+3	2.95-3.4	3.175	0.225	1241.2	0.223607	12.17617	0.002194	0.260755	0.018479
Stahl	5V	39	Weight_Va	B+1+2+3	2.95-3.4	3.175	0.225	1241.2	0.223607	12.17617	0.002194	0.260755	0.018479
Stahl	5V	39	Weight_Va	B+1+2+3	2.6-3.1	2.85	0.25	1084.8	0.2	10.64189	0.001962	0.26781	0.023492
Stahl	5V	39	Weight_Va	B+1+2+3	2.65-3.1	2.875	0.225	1084.8	0.2	10.64189	0.001962	0.270159	0.021143
Stahl	5V	39	Weight_Va	B+1+2+3	2.65-3.1	2.875	0.225	1084.8	0.2	10.64189	0.001962	0.270159	0.021143
Stahl	5V	39	Weight_Va	B+1+2	2.35-2.75	2.55	0.2	930.7	0.173205	9.130167	0.001699	0.279294	0.021905
Stahl	5V	39	Weight_Va	B+1+2	2.35-2.8	2.575	0.225	930.7	0.173205	9.130167	0.001699	0.282032	0.024644
Stahl	5V	39	Weight_Va	B+1+2	2.45-2.8	2.625	0.175	930.7	0.173205	9.130167	0.001699	0.287508	0.019167
Stahl	5V	39	Weight_Va	B+1	2.0-2.4	2.2	0.2	776.8	0.141421	7.620408	0.001387	0.288698	0.026245
Stahl	5V	39	Weight_Va	B+1	2.0-2.4	2.2	0.2	776.8	0.141421	7.620408	0.001387	0.288698	0.026245
Stahl	5V	39	Weight_Va	B+1	2.0-2.4	2.2	0.2	776.8	0.141421	7.620408	0.001387	0.288698	0.026245
Stahl	5V	39	Weight_Va	B	1.65-1.9	1.775	0.125	616	0.1	6.04296	0.000981	0.29373	0.020685
Stahl	5V	39	Weight_Va	B	1.65-1.9	1.775	0.125	616	0.1	6.04296	0.000981	0.29373	0.020685
Stahl	5V	39	Weight_Va	B	1.65-1.85	1.75	0.1	616	0.1	6.04296	0.000981	0.289593	0.016548
Weiss	5V	40	Weight_Va	B+1+2+3	1.8-2.05	1.925	0.125	1303.2	0.223607	12.78439	0.002194	0.150574	0.009778
Weiss	5V	40	Weight_Va	B+1+2+3	1.75-2.00	1.875	0.125	1303.2	0.223607	12.78439	0.002194	0.146663	0.009778
Weiss	5V	40	Weight_Va	B+1+2+3	1.75-2.05	1.9	0.15	1303.2	0.223607	12.78439	0.002194	0.148619	0.011733
Weiss	5V	40	Weight_Va	B+1+2+3	1.65-1.85	1.75	0.1	1146.8	0.2	11.25011	0.001962	0.155554	0.008889
Weiss	5V	40	Weight_Va	B+1+2+3	1.7-1.85	1.775	0.075	1146.8	0.2	11.25011	0.001962	0.157776	0.006667
Weiss	5V	40	Weight_Va	B+1+2+3	1.75-1.85	1.8	0.05	1146.8	0.2	11.25011	0.001962	0.159998	0.004444
Weiss	5V	40	Weight_Va	B+1+2	1.6-1.75	1.675	0.075	992.7	0.173205	9.738387	0.001699	0.172	0.007702
Weiss	5V	40	Weight_Va	B+1+2	1.65-1.75	1.7	0.05	992.7	0.173205	9.738387	0.001699	0.174567	0.005134
Weiss	5V	40	Weight_Va	B+1+2	1.65-1.8	1.725	0.075	992.7	0.173205	9.738387	0.001699	0.177134	0.007702
Weiss	5V	40	Weight_Va	B+1	1.45-1.55	1.5	0.05	838.8	0.141421	8.228628	0.001387	0.18229	0.006076
Weiss	5V	40	Weight_Va	B+1	1.45-1.6	1.525	0.075	838.8	0.141421	8.228628	0.001387	0.185329	0.009115
Weiss	5V	40	Weight_Va	B+1	1.45-1.6	1.525	0.075	838.8	0.141421	8.228628	0.001387	0.185329	0.009115
Weiss	5V	40	Weight_Va	B	1.25-1.35	1.3	0.05	678	0.1	6.65118	0.000981	0.195454	0.007518
Weiss	5V	40	Weight_Va	B	1.25-1.35	1.3	0.05	678	0.1	6.65118	0.000981	0.195454	0.007518
Weiss	5V	40	Weight_Va	B	1.2-1.35	1.275	0.075	678	0.1	6.65118	0.000981	0.191695	0.011276
Schwarz	5V	39	Weight_Va	B+1+2+3	4.15-4.25	4.2	0.05	1303.2	0.223607	12.78439	0.002194	0.328526	0.003911
Schwarz	5V	39	Weight_Va	B+1+2+3	3.9-4.05	3.975	0.075	1303.2	0.223607	12.78439	0.002194	0.310926	0.005867
Schwarz	5V	39	Weight_Va	B+1+2+3	4.0-4.15	4.075	0.075	1303.2	0.223607	12.78439	0.002194	0.318748	0.005867
Schwarz	5V	39	Weight_Va	B+1+2+3	3.55-3.75	3.65	0.1	1146.8	0.2	11.25011	0.001962	0.324441	0.008889
Schwarz	5V	39	Weight_Va	B+1+2+3	3.6-3.8	3.7	0.1	1146.8	0.2	11.25011	0.001962	0.328886	0.008889
Schwarz	5V	39	Weight_Va	B+1+2+3	3.65-3.85	3.75	0.1	1146.8	0.2	11.25011	0.001962	0.333333	0.008889
Schwarz	5V	39	Weight_Va	B+1+2	3.25-3.4	3.325	0.075	992.7	0.173205	9.738387	0.001699	0.341432	0.007702

Anhang

```
def plot_mu_vs_force(df, output_path):
    """图1: 摩擦系数 vs 法向力 (重量变化实验)
    左Y轴: 摩擦系数  $\mu$ 
    右Y轴: 摩擦力  $F$ 
    """
    fig, ax1 = plt.subplots(figsize=(12, 6))

    # 过滤出重量变化实验的数据
    subset = df[df['Experiment'] == 'Weight_Var'].copy()

    # 聚合 (取均值和最大误差)
    agg_df = subset.groupby(['Material', 'Block_Config']).agg(
        mu_avg=('mu_avg', 'mean'),
        mu_delta=('mu_delta', 'max'),
        messwert_avg=('Messwert_Avg', 'mean'),
        messwert_delta=('Messwert_Delta', 'max')
    ).reset_index()

    # 排序
    block_order = ['B', 'B+1', 'B+1+2', 'B+1+2+3', 'B+1+2+3+4']
    agg_df['Block_Config'] = pd.Categorical(agg_df['Block_Config'], categories=block_order, ordered=True)
    agg_df = agg_df.sort_values('Block_Config')

    # 绘制  $\mu$  (左Y轴)
    materials = agg_df['Material'].unique()
    colors = {'Stahl': '#1f77b4', 'Weiss': '#ff7f0e', 'Schwarz': '#2ca02c'}
    width = 0.25
    x = np.arange(len(block_order))

    for i, mat in enumerate(materials):
        mat_data = agg_df[agg_df['Material'] == mat]
```

```
def calculate_physics(df_row):
    """
    计算法向力 (Fn) 和 摩擦系数 (mu)。
    """
    g = 9.81

    # 1. 计算法向力  $F_n = m * g$ 
    mass_kg = df_row['Mass_g_Avg'] / 1000.0
    mass_delta_kg = df_row['Mass_g_Delta'] / 1000.0

    fn_avg = mass_kg * g
    fn_delta = mass_delta_kg * g

    # 2. 获取摩擦力  $F_r$  (从表格数据)
    fr_avg = df_row['Messwert_Avg']
    fr_delta = df_row['Messwert_Delta']

    # 3. 计算摩擦系数  $\mu = F_r / F_n$ 
    if fn_avg > 0:
        mu_avg = fr_avg / fn_avg
        # 误差传递:  $\Delta \mu = \sqrt{(1/F_n * \Delta F_r)^2 + (F_r/F_n^2 * \Delta F_n)^2}$ 
        term1 = (1 / fn_avg * fr_delta)**2
        term2 = (fr_avg / (fn_avg**2) * fn_delta)**2
        mu_delta = np.sqrt(term1 + term2)
    else:
        mu_avg = np.nan
        mu_delta = np.nan

    return pd.Series([fn_avg, fn_delta, mu_avg, mu_delta],
                     index=['Fn_avg', 'Fn_delta', 'mu_avg', 'mu_delta'])
```


Anhang

Alle Codes(Python) bzw. Daten(csv) sind in [Github Webseite](https://github.com/VittelFreising/v10-fehlerrechnung) verfügbar.

<https://github.com/VittelFreising/v10-fehlerrechnung>