Łukasiewicz
PORT
Polski Ośrodek
Rozwoju
Technologii

KRÄFTEDREIECK

1. Elemente, die zur Durchführung des Experiments benötigt werden:

Erforderliche Elemente:

- Forschungsstation für Seile
- Federkraftmesser: 1 N, 5 N, 10 N, 20 N, 30 N
- Gewichte
- Winkelmesser
- Waage zur Bestimmung des Gewichts

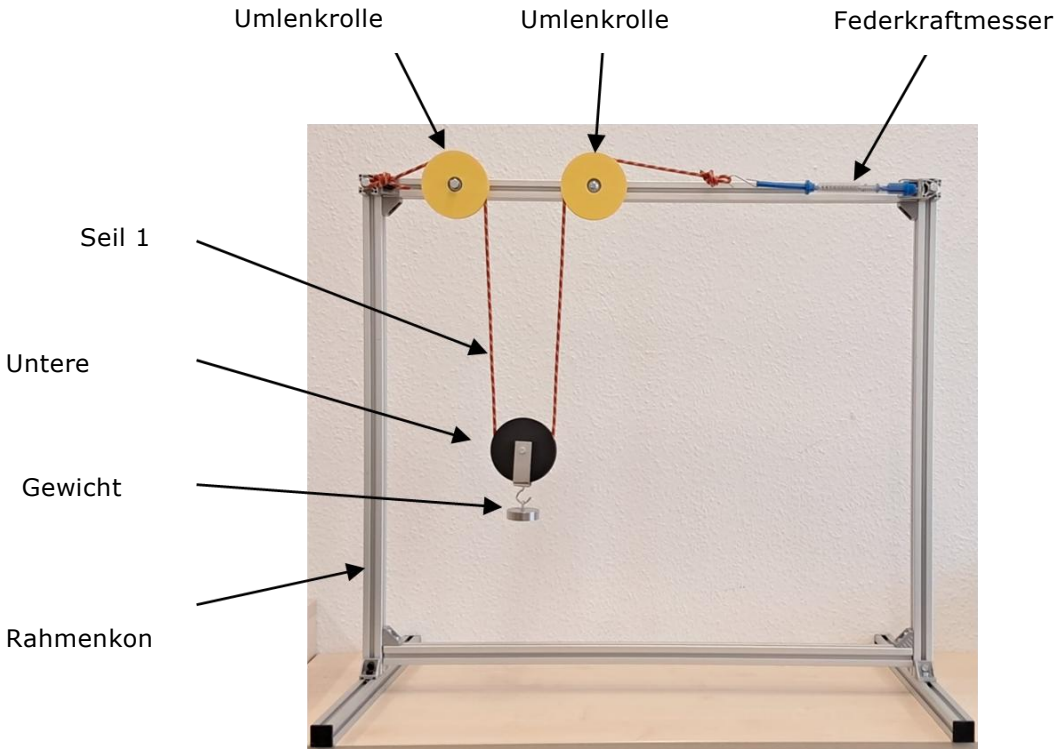


Abbildung1. Versuchsstand für Seile mit Kraftmessung im Kraftdreieck.

Technische Anforderungen:

- Abmessungen des Prüfstands (B × H × T): ca. 600 × 400 × 150 mm
- Anzahl der Umlenkrollen: 2
- Rollendurchmesser: ca. 30 – 50 mm
- Seil – Material: Polyamid (kaum dehnbar)
- Seil – Durchmesser: ca. 1 – 2 mm
- Seil – Länge: ca. 1000 mm
- Federkraftmesser (Anzahl / Messbereiche): 5 Stück: 1 N, 5 N, 10 N, 20 N, 30 N

Interreg
Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ
Polska – Saksonia

Das Projekt wird von der Europäischen Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung im Rahmen des Kooperationsprogramms INTERREG Polen-Sachsen mitfinanziert.
2021-2027 auf der Grundlage eines Vertrags Nr. PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Łukasiewicz-Forschungsnetz - PORT Poland Technology Development Centre
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-Mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | Steuernummer NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Bezirksgericht für Wrocław - Fabryczna in Wrocław, 6. Handelsabteilung des Landesgerichtsregisters,
KRS-Nr.: 0000850580

- Gewichte: Set mit aufsteigenden Gewichten (z. B. 50 g, 100 g, 200 g, 500 g, 1000 g)
- Winkelmesser: 1 Stück, Messbereich 0° – 180°
- Gewicht: zur Bestimmung der genauen Masse der Gewichte

2. Ziel der Übung

Das Hauptziel des Unterrichts besteht darin, die Kräfte in Seilen an einem Versuchsstand bei variierender Belastung, Neigung und Reibung zu untersuchen. Die Schüler sollten das Prinzip des Kraftdreiecks als Grundlage für industrielle Dehnungsmessstreifen verstehen und den Zusammenhang zwischen der hängenden Last, dem Schwenkwinkel und der resultierenden Kraft in der Seileachse erkennen. Insbesondere sollten die Schüler folgende Ziele erreichen:

- Sie sind in der Lage, Kräfte mit Federkraftmessern unterschiedlicher Messbereiche zu messen und den geeigneten Kraftmesser für den jeweiligen Messbereich auszuwählen.
- Sie können am Versuchstisch mit Hilfe eines Winkelmessers Winkel bestimmen.
- Sie können das Kräftegleichgewicht in einem Kraftdreieck erkennen, ein Kraftparallelogramm skizzieren und die Kräfte in den Linien berechnen.
- Sie können den Einfluss der Reibung an den Umlenkrollen auf die Messergebnisse qualitativ beschreiben und ihn mit einfachen Methoden (Abklopfen) nachweisen.
- Sie sind in der Lage, Messunsicherheiten abzuschätzen und den Einfluss der Wahl der Messtechnik auf die Genauigkeit der Ergebnisse zu beurteilen.

3. Kurze theoretische Einführung

Das Kraftdreieck vermittelt den Schülerinnen und Schülern grundlegende Kenntnisse zur Bestimmung der Kräfte in Seilen anhand von Kraftmessungen am Seilprüfstand. Das zentrale didaktische Ziel ist die Untersuchung der Kräfte in Seilen bei veränderlicher Belastung, verändertem Winkel und unterschiedlicher Reibung. Dabei lernen die Schüler, Kräfte mit einem Federkraftmesser (Federwaage) zu messen, Winkel zu bestimmen, ein Kraftparallelogramm zu skizzieren und zu berechnen sowie Messunsicherheiten abzuschätzen.

Das Modul knüpft an die Lehrpläne für die Fächer Physik und Mathematik verschiedener Schultypen an und behandelt Themen wie Kräfte und ihre Wirkung, Reibung, Newtonsche Bewegungsgesetze, Grundlagen der Statik sowie Vektorgeometrie (Klassen 6–13). Das Dreiecksprinzip bildet die Grundlage für viele industrielle Dehnungsmessstreifen, die in der Faserverbundtechnologie zur Bestimmung der Kräfte in den Fasern eingesetzt werden. Die Kräfte in den Fasern haben einen erheblichen Einfluss auf die Qualität von Verbundwerkstoffteilen, beispielsweise bei der Pultrusion oder beim Wickeln. Das Modul stellt somit eine direkte Verbindung zwischen schulischem Grundwissen und der industriellen Anwendung her.

Die Bestimmung der Kräfte in den Fasern ist für viele Technologien im Bereich der Faserverbundwerkstoffe von grundlegender Bedeutung, da diese Kräfte einen erheblichen Einfluss auf die Qualität der Verbundbauteile haben. Zur Messung der Kräfte in Fäden werden häufig sogenannte Dehnungsmessstreifen verwendet, wie in Abb. 1 dargestellt. Das Funktionsprinzip dieser Messgeräte für Fäden basiert auf der Bestimmung der Kräfte eines Kraftdreiecks.

Interreg Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ
Polska – Saksonia

Das Projekt wird von der Europäischen Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung im Rahmen des Kooperationsprogramms INTERREG Polen-Sachsen mitfinanziert.
2021-2027 auf der Grundlage eines Vertrags Nr. PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Łukasiewicz-Forschungsnetz - PORT Poland Technology Development Centre
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-Mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | Steuernummer NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Bezirksgericht für Wrocław - Fabryczna in Wrocław, 6. Handelsabteilung des Landesgerichtsregisters,
KRS-Nr.: 0000850580

Ein Kraftdreieck beschreibt ein mechanisches System, bei dem ein Seil über zwei Umlenkpunkte (z. B. Rollen) geführt und durch eine in der Mitte wirkende Last ausgelenkt wird. Dabei entsteht eine geometrische Dreiecksform, in der die auftretenden Kräfte im Gleichgewicht sind. Die physikalische Grundlage ist das Kräftegleichgewicht: Die in den Seilabschnitten wirkenden Zugkräfte und die Schwerkraft der aufgehängten Last ergeben in der Summe null. Die Kräfte in einer Linie lassen sich grafisch mithilfe eines Kraftparallelogramms darstellen oder unter Verwendung trigonometrischer Beziehungen berechnen. Der Winkel zwischen den Seilabschnitten hat einen wesentlichen Einfluss auf die Größe der Kräfte im Seil – je flacher der Winkel, desto größer sind die auftretenden Zugkräfte.

In der Praxis spielt auch die Reibung an den Umlenkpunkten eine wichtige Rolle: Sie verfälscht die Kraftmessung, da ein Teil der Kraft durch die Reibung an den Rollen absorbiert wird und nicht vollständig in die messbare Kraft in der Seilbahn einfließt. Durch gezielte Verringerung der Haftreibung (z. B. durch Klopfen auf die Rollen) lässt sich dieser Effekt sichtbar machen und messen.
Um das Prinzip dieser Messmethode zu verstehen, führen die Schüler Versuche an einem einfachen Seilversuchsaufbau durch und variieren dabei Parameter wie Belastung, Winkel und Reibung. Die Schüler beschäftigen sich mit dem Kräftegleichgewicht sowie mit der Messung und Berechnung von Kräften. Sie lernen, welchen Einfluss der Versuchsaufbau und die Wahl der Messtechnik auf die Messunsicherheit haben. Außerdem untersuchen sie mit einfachen Methoden den Einfluss der Reibung auf die Kräfte im Seil.



Abbildung 2. Bestimmung der Zugkraft in einem Faden mithilfe des Dehnungsmessers FSB1-10K.

4. Ablauf des Unterrichts

Interreg Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ
Polska – Saksonia

Das Projekt wird von der Europäischen Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung im Rahmen des Kooperationsprogramms INTERREG Polen-Sachsen mitfinanziert.
2021-2027 auf der Grundlage eines Vertrags Nr. PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Łukasiewicz-Forschungsnetz - PORT Poland Technology Development Centre
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-Mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | Steuernummer NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Bezirksgericht für Wrocław - Fabryczna in Wrocław, 6. Handelsabteilung des Landesgerichtsregisters,
KRS-Nr.: 0000850580

Vorbereitung

Der Seilprüfstand wird auf einem stabilen, waagerechten Tisch aufgestellt. Bitte überprüfen Sie, ob das Seil korrekt durch beide Umlenkrollen geführt ist und sich frei bewegen kann. Man bereitet alle erforderlichen Materialien vor: fünf Federkraftmesser (1 N, 5 N, 10 N, 20 N, 30 N), einen Satz Gewichte, einen Winkelmesser, eine Waage sowie ein Arbeitsblatt mit Messtabellen und einem Diagramm.

Vor Beginn der eigentlichen Messungen werden alle Gewichte einzeln auf der Waage gewogen, und die genauen Gewichte in Gramm werden in die erste Spalte beider Messtabellen eingetragen. Anschließend wird der Winkel zwischen den beiden Seilstücken mit einem Winkelmesser gemessen und auf dem Arbeitsblatt notiert.

Versuch 1 – Kraftmessung ohne Klopfen

Die Messungen beginnen mit dem Kraftmesser mit der geringsten Messkraft (1 N). Es wird am Seil befestigt, und anschließend wird das leichteste Gewicht daran gehängt. Sobald sich das Seil stabilisiert hat und der Zeiger des Kraftmessers zum Stillstand gekommen ist, wird der angezeigte Kraftwert abgelesen und in Tabelle 1 eingetragen. Dabei darf man die Rollen auf keinen Fall berühren.

Anschließend wird die Belastung schrittweise erhöht, wobei jeder Messwert nach dem Abklingen des Systems abgelesen und dokumentiert wird. Wenn die Kraftmessvorrichtung den Anschlag anzeigt (der Zeiger bewegt sich nicht weiter), ist das Gewicht für diese Kraftmessvorrichtung zu schwer – das entsprechende Feld bleibt leer.

Nachdem alle Messungen mit dem 1-N-Kraftmesser abgeschlossen sind, wechselt man zum nächstgrößeren Kraftmesser (5 N) und wiederholt den gesamten Vorgang für alle Gewichte. Dieser Vorgang wird nacheinander für alle fünf Kraftmessgeräte durchgeführt, bis Tabelle 1 vollständig ausgefüllt ist.

Experiment 2 – Kraftmessung mit Klopfen

Der zweite Durchlauf wird genauso wie der erste durchgeführt, mit einem wesentlichen Unterschied: Vor dem Ablesen des Kraftwerts klopft man mit einem kleinen Gegenstand (z. B. einem Kugelschreiber oder Bleistift) leicht gegen beide Umlenkrollen. Erst wenn sich der Zeiger des Kraftmessers nach dem Klopfen wieder vollständig beruhigt hat, wird der Wert abgelesen und in Tabelle 2 eingetragen. Das Klopfen darf bei keiner Messung vergessen werden.

Interreg Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ
Polska – Saksonia

Das Projekt wird von der Europäischen Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung im Rahmen des Kooperationsprogramms INTERREG Polen-Sachsen mitfinanziert.
2021-2027 auf der Grundlage eines Vertrags Nr. PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Łukasiewicz-Forschungsnetz - PORT Poland Technology Development Centre
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-Mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | Steuernummer NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Bezirksgericht für Wrocław - Fabryczna in Wrocław, 6. Handelsabteilung des Landesgerichtsregisters,
KRS-Nr.: 0000850580

Dieser Vorgang wird wie zuvor für alle Gewichte und alle Kraftmessgeräte wiederholt, bis Tabelle 2 vollständig ausgefüllt ist.

Experiment 3 – Auswertung der Ergebnisse

Die Messwerte aus beiden Tabellen werden in das Kraft-Masse-Diagramm übertragen (Diagramm 1). Für beide Kurven werden unterschiedliche Farben verwendet, damit die Ergebnisse klar voneinander zu unterscheiden sind. Es ist eine entsprechende Legende zu erstellen.

Die Schüler beobachten und beschreiben die Unterschiede zwischen den beiden Verläufen. Dabei sollten sie insbesondere den Einfluss der Reibung an den Umlenkrollen auf die gemessenen Kräfte in der Seilbahn erkennen und erklären, warum das Klopfen zu veränderten Messwerten führt. Zusätzlich wird für die ausgewählte Messung ein Kraftparallelogramm unter Verwendung des gemessenen Winkels und der gemessenen Kraft skizziert und berechnet. Abschließend sollten die Schüler beurteilen, welchen Einfluss die Wahl des Kraftmessers auf die Messgenauigkeit hat.

Experiment 4 – Dokumentation der Ergebnisse

Die Schülerinnen und Schüler verfassen einen kurzen Bericht über das Experiment. Darin dokumentieren sie den Aufbau des Experiments, die durchgeführten Messungen sowie ihre Beobachtungen. Anschließend werten sie die Ergebnisse aus und ziehen ihre Schlussfolgerungen hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen Schwerkraft, Linienkraft, Drehwinkel und Reibung. Darüber hinaus befassen sie sich mit möglichen Messunsicherheiten und deren Auswirkungen auf die Versuchsergebnisse.

Aufbau des Protokolls:
Ziel des Experiments

- Was soll untersucht werden?
- Welches Thema wird behandelt?

Aufbau des Experiments

- Skizze oder Foto der Konstruktion
- Verwendete Materialien und Messgeräte

Messwerte

- Erfasste Massen, Winkel und Kräfte
- Ausgefüllte Messtabellen

Interreg Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ
Polska – Saksonia

Das Projekt wird von der Europäischen Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung im Rahmen des Kooperationsprogramms INTERREG Polen-Sachsen mitfinanziert.
2021-2027 auf der Grundlage eines Vertrags Nr. PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Łukasiewicz-Forschungsnetz - PORT Poland Technology Development Centre
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-Mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | Steuernummer NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Bezirksgericht für Wrocław - Fabryczna in Wrocław, 6. Handelsabteilung des Landesgerichtsregisters,
KRS-Nr.: 0000850580

Beobachtungen

- Besonderheiten bei der Messung
- Unterschiede zwischen den Messreihen
- Auswirkungen des Klopfens an den Rollen

Analyse

- Darstellung der Ergebnisse in einem Diagramm
- Vergleich der Messwerte mit den theoretischen Erwartungen
- Berechnung oder grafische Darstellung des Kräftegleichgewichts

Diskussion

- Der Einfluss der Reibung auf die Messergebnisse
- Ursachen für mögliche Messabweichungen
- Bewertung der Genauigkeit der verwendeten Messgeräte

Schlussfolgerungen / Zusammenfassung

- Die wichtigsten Ergebnisse in eigenen Worten
- Antwort auf die gestellte Frage
- Bezug zu technischen Anwendungen (z. B. Messung der Fadenfestigkeit in der Faserverbundtechnologie)

Interreg Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ
Polska – Saksonia

Das Projekt wird von der Europäischen Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung im Rahmen des Kooperationsprogramms INTERREG Polen-Sachsen mitfinanziert.
2021-2027 auf der Grundlage eines Vertrags Nr. PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Łukasiewicz-Forschungsnetz - PORT Poland Technology Development Centre
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-Mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | Steuernummer NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Bezirksgericht für Wrocław - Fabryczna in Wrocław, 6. Handelsabteilung des Landesgerichtsregisters,
KRS-Nr.: 0000850580

Tabelle 1: *Messwerte in N für die erste Kraftmessung mit dem Federkraftmesser (FW)*

	Masse [g]	FW 1 N	FW 5N	FW 10N	FW 20N	FW 30N
Gewichtsstück 1						
Gewichtsstück 2						
Gewichtsstück 3						
Gewichtsstück 4						
Gewichtsstück 5						

Tabelle 2: Messwerte *in N für die zweite Kraftmessung mit dem Federkraftmesser (nach dem Klopfen auf die Rollen)*

	Masse [g]	FW 1 N	FW 5N	FW 10N	FW 20N	FW 30N
Gewichtsstück 1						
Gewichtsstück 2						
Gewichtsstück 3						
Gewichtsstück 4						
Gewichtsstück 5						

Interreg
Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ
Polska – Saksonia

Das Projekt wird von der Europäischen Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung im Rahmen des Kooperationsprogramms INTERREG Polen-Sachsen mitfinanziert.
2021-2027 auf der Grundlage eines Vertrags Nr. PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Łukasiewicz-Forschungsnetz - PORT Poland Technology Development Centre
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-Mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | Steuernummer NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Bezirksgericht für Wrocław - Fabryczna in Wrocław, 6. Handelsabteilung des Landesgerichtsregisters,
KRS-Nr.: 0000850580



Interreg
Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ
Polska – Saksonia

Das Projekt wird von der Europäischen Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung im Rahmen des Kooperationsprogramms INTERREG Polen-Sachsen mitfinanziert.
2021-2027 auf der Grundlage eines Vertrags Nr. PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Łukasiewicz-Forschungsnetz - PORT Poland Technology Development Centre
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-Mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | Steuernummer NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Bezirksgericht für Wrocław - Fabryczna in Wrocław, 6. Handelsabteilung des Landesgerichtsregisters,
KRS-Nr.: 0000850580