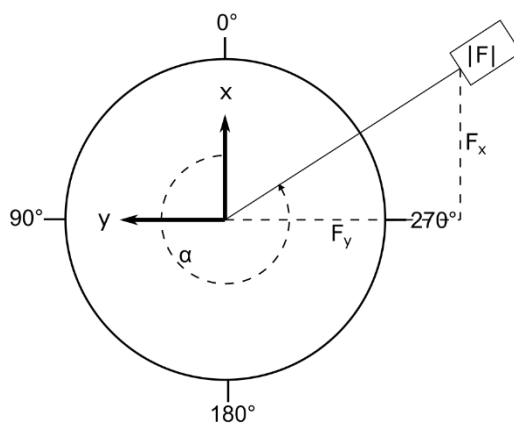


Grundlagen/Einleitung:

In dieser Versuchsreihe sollen Sie die vektorielle Addition von Kräften kennenlernen. Dazu wird die Kraft mittels Waagen gemessen. Beachten Sie, dass die Waagen zwar die Kraft messen, aber die Masse angeben – daraus kann mittels $F = m \cdot g$ die Kraft bestimmt werden. Die vektorielle Aufteilung erfolgt hier nur in zwei Dimensionen in der Horizontalen (Vertikale wird vernachlässigt). Für ein statisches Gleichgewicht muss immer gelten:

$$\sum_k \vec{F}_k = 0 = \begin{pmatrix} \sum F_{k,x} \\ \sum F_{k,y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

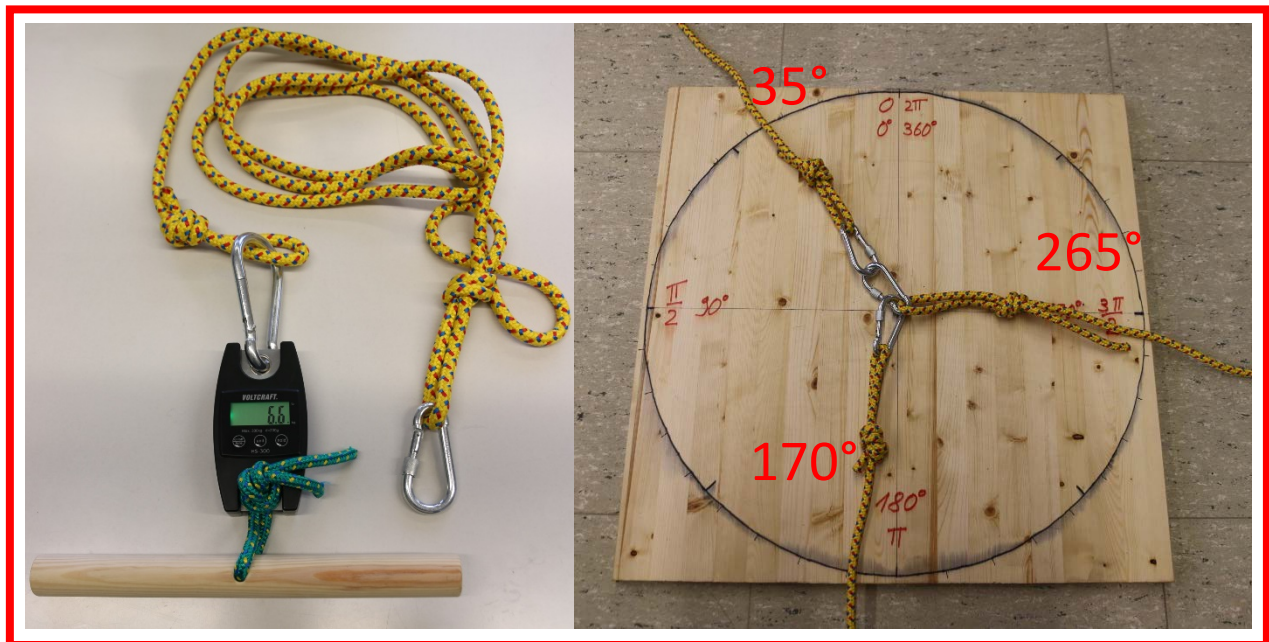
Die Aufteilung macht man wie folgt (Skizze passend zur Winkelscheibe des Experiments):



$$F_x = \cos(\alpha) \cdot |F|$$

$$F_y = \sin(\alpha) \cdot |F|$$

Material: drei gelbe Seile mit Hängewaage und Karabiner, Winkelscheibe



1. Aufgabe: Messen Sie die Kraft, die Sie alleine aufbringen können, indem Sie das Seil mit einem der Betonpfeiler verbinden. Notieren Sie Ihr Ergebnis und das Ihrer Gruppenmitglieder. Überlegen Sie, wo hier die Gegenkraft herkommt!

	Person 1	Person 2	Person 3	Person 4	Person 5
„Masse“	73 kg	50 kg	32 kg	103 kg	61 kg

Kommentar: Da die angezeigte Masse nicht konstant ist, sondern fluktuiert, kann das Ergebnis höchstens auf 1 kg genau angegeben werden (eher ± 5 kg). Auch wenn hier keine „Gegenkraft“ gemessen wird, ist diese vorhanden. Hier kommt diese durch statische Kräfte im Betonpfeiler zustande, die durch seine Bauweise und die sehr großen Masse vorhanden sind.

2. Aufgabe: Verbinden Sie zwei Seile und ziehen von beiden Seiten, so dass sich ein Gleichgewicht einstellt. Messen Sie an beiden Waagen die Kraft und notieren diese. Vergleichen Sie die Ergebnisse. Was bedeutet hier also „Gleichgewicht“?

	Messung 1	Messung 2	Messung 3
Seite 1	34 kg	23 kg	43 kg
Seite 2	32 kg	27 kg	39 kg

Kommentar: Die Gegenkraft zu Seite 1 hier wird durch Seite 2 aufgebracht (und andersrum). Ein Gleichgewicht herrscht dann, wenn an beiden Seite mit der gleichen Kraft gezogen wird. Ist das nicht der Fall, wird das Seil in die Richtung der höheren Kraft „beschleunigt“ (gemäß $Beschleunigung = \frac{\text{resultierende Kraft}}{\text{Masse}}$). Demnach müsste im Gleichgewicht an beiden Seiten die gleiche „Kraft“ gemessen werden. Wie bei Aufgabe 1 fluktuiert das Ergebnis aber etwas, wodurch die Unterschiede zustande kommen. Beachten Sie, dass die Abweichungen der beiden Kräfte kleiner sind als die Messfehler der Waagen (je einige Kilogramm). Deshalb dürfen wir die „Kräfte“ auf den beiden Seiten als „innerhalb der Fehlergrenzen gleich“ bezeichnen.

3. Aufgabe: Verbinden Sie nun das dritte Seil mit den anderen beiden. Ziehen Sie von allen drei Seiten, bis sich wieder ein Gleichgewicht einstellt. Messen Sie nun gleichzeitig die Kraft an jedem Seil-Ende und den Winkel der Seile zueinander (mithilfe der Winkelscheibe). Achten Sie bei der Winkelbestimmung darauf, dass sich der Knotenpunkt genau in der Mitte der Scheibe befindet.

	Messung 1	Messung 2	Messung 3
Masse Seite 1	8 kg	13 kg	17 kg
Winkel Seite 1	240°	235°	250°
Masse Seite 2	15 kg	20 kg	54 kg
Winkel Seite 2	170°	175°	180°
Masse Seite 3	21 kg	29 kg	57 kg
Winkel Seite 3	25°	20°	20°

Kommentar: Auch hier können die Massen auf höchstens ± 1 kg (oder wie bei Aufgabe 1 eher ± 5 kg) genau angegeben werden. Die Winkel ebenso eher nur auf $\pm 5^\circ$. Das Erreichen und Halten eines Gleichgewichtszustands ist hier deutlich schwieriger. Das Ablesen an den Waagen und der Winkelscheibe zeitgleich erfordert echte Teamarbeit!

Bestimmen Sie nun die Komponenten in x- und y- Richtung und addieren diese. Wie müsste das Ergebnis aussehen und warum ist es eventuell anders?

	Messung 1	Messung 2	Messung 3
$F_{x, 1}$	-39 N	-73 N	-57 N
$F_{y, 1}$	-68 N	-104 N	-157 N
$F_{x, 2}$	-145 N	-195 N	-530 N
$F_{y, 2}$	26 N	17 N	0 N
$F_{x, 3}$	187 N	267 N	525 N
$F_{y, 3}$	87 N	97 N	191 N
$F_{x, \text{gesamt}}$	3 N	-1 N	-62 N
$F_{y, \text{gesamt}}$	45 N	10 N	34 N

Kommentar: Die verschiedenen Kraftkomponenten gleichen sich nie perfekt, aber dennoch zu großen Teilen aus. Da schon beim Ablesen der Massen ein Fehler von bis zu ± 5 kg gemacht wird (umgerechnet ± 49 N) bewegen sich die Ergebnisse meist im Bereich dieser abgeschätzten Messunsicherheit. Festzuhalten ist hier also, dass das Wirken der Kräfte in verschiedene Richtungskomponenten im Experiment im Rahmen der Messunsicherheit bewiesen wurde (wobei hier eine z-Komponente in Richtung der Erdanziehung vernachlässigt wurde).