



Statik

Unterrichtsplanung für TGTM-J1

Inhaltsverzeichnis

Lehrplan.....1

Literaturverzeichnis.....2

Allgemeines.....2

GFS.....

ProMan Präsentationen.....

Ideen / Themen.....

Register 1

Einführung

Statik.....3

Definition, Zweck.....

Vereinfachungen für die Schule.....

Darstellungen von Kräften.....

Rechnen mit Kräften in der Statik.....

Gleichgewichtsbedingungen (allg.).....

Die Hauptachsen im Raum.....

Gleichgewichtsbedingungen 3D/2D.....

Aufgabe lösbar in der Ebene?.....

Aufgabe lösbar am Punkt?.....

Das Reaktionsprinzip und seine Folgen.....

Register 2

Statik I: Zentrales Kräftesystem

Kräfte am Punkt zeichnerisch ermitteln.....4

Zusammensetzen von Kräften.....

0. Lageplanskizze.....

1. Lageplan.....

2. Kräfteplan.....

3. Resultierende F_R / Gegenkraft F

Zerlegen von Kräften.....

4. F_R auf 2 Wirklinien verteilen.....

Lösungsgedanke bei grafischen Lösungen.....

Kräfte am Punkt berechnen.....5

Zusammensetzen – systematische Lsg.....

1. Lageplanskizze.....

2. Koordinatensystem festlegen.....

3. Tabelle der Kräfte erstellen.....

4. Kräfte in Komponenten zerlegen.....

5. Komponenten addieren.....

6. Betrag $|F_R|$ der Resultierenden.....

7. Richtung α_R der Resultierenden.....

Zerlegen - individuelle Lösung.....

Rechtwinklige Dreiecke.....

Beliebige Dreiecke.....

Systematische Lösung – Zerlegen.....

8. Kräftegleichgewichte $\Sigma F_x = 0$ und $\Sigma F_y = 0$

Klassenarbeit Statik I
Register 3

Freimachen

Freimachen von Körpern.....7

Zweck.....

Vorgehensweise.....

1. Baugruppe wählen.....

2. Alle Kräfte eintragen.....

3. Bekannte Kräfte mit Richtung.....

4. Unbekannte Kräfte.....

5. Lösbarkeit prüfen.....

6. Lageplanskizze anfertigen.....

Hinweise auf Richtungen von Kräften.....

Seile, Ketten usw.....

Zweigelenkstäbe (Pendelstützen).....

Berührflächen.....

Rollkörper.....

Lose und feste Lager.....

Einwertige Lager (Loslager).....

Zweiwertige Lager (Festlager).....

Dreiwertige Lager.....

Statik II: Allgemeines Kräftesystem

Auflagerkräfte in der Ebene berechnen.....9

Arbeitsplan.....

1. Freimachen + Lageskizze erstellen.....

2. Richtungen für unbekannte Kräfte annehmen (s.o.).....

3. Gleichgewichtsbedingungen ansetzen + Gleichungssystem lösen.....

mögliche Vereinfachungen.....

4. Momentengleichgewicht $\Sigma M =$

5 Kräfte in Bemaßungsrichtung zerlegen.....

6. Kräftegleichgewichte $\Sigma F_x = 0$ und $\Sigma F_y = 0$

7. ggf. zusätzliche Gleichungen.....

8. Gleichungssystem lösen.....

9. Betrag und Richtung ermitteln.....

10. Plausibilität prüfen.....

Klassenarbeit Statik II

Wiederholung

Wiederholung Statik → ME.....10

Nicht explizit unterrichten

Notizen.....11

Grundoperationen der Statik.....12

1. Kräfteparallelogramm.....

2. Längsverschiebung.....

3. Erweiterungssatz.....

4. Parallelverschiebung.....

(Kraft-)Moment einer Einzelkraft.....

Definition.....

Kräftepaare.....

Lehrplan

Richtziele des Unterrichts in Jahrgangsstufe 12

Die Statik als physikalisch-mathematische Grundlage jeder technischen Konstruktion stellt Lösungsverfahren zur Ermittlung von Bauteilbelastungen bereit.

| | | |
|----|--|-------------------------|
| 25 | Statik I | 15 Stunden |
| | Die Schülerinnen und Schüler analysieren und beschreiben Kräfte und deren Wirkungen auf Systeme. Im zentralen und allgemeinen Kräftesystem berechnen sie unbekannte Kräfte. Sie wenden Kräfteaddition und Kräftezerlegung auf technische Fragestellungen an. | |
| | Kraft | |
| | Reibung an ebenen Flächen | |
| | Drehmoment | |
| | Freischneiden von Bauteilen und Baugruppen | Nur Statik in der Ebene |
| | Resultierende Kraft | |
| | Berechnung von Stützkräften | |



Literaturverzeichnis

BadZtg: , Badische Zeitung,

Böge Aufg.: Alfred Böge ua., Aufgabensammlung Technische Mechanik, 1999

Böge Technologie: Alfred Böge, Technologie/Technik für Fachgymnasien und Fachoberschulen, 1994

Böge, Techn. Mechanik: Alfred Böge, Technische Mechanik Statik - Dynamik - Fluidmechanik - Festigkeitslehre, 2009

EuroRBM: , Europa Rechenbuch Metall,

Ganten 2003: Detlev Ganten ua., Naturwissenschaft - Alles, was man wissen muss, 2003

Gross 2015: Dietmar Gross u.a., Technische Mechanik 3, 2015

Kurrer 2002: Karl-Eugen Kurrer, Geschichte der Baustatik, 2002

Müller-Breslau I: Heinrich F.B. Müller-Breslau, Die graphische Statik der Baukonstruktionen, 1901

Müller-Breslau III: Heinrich F.B. Müller-Breslau, Die graphische Statik der Baukonstruktionen - Band II Zweite Abtheilung, 1908

Schneider21: Andrej Albert ua., Bautabellen für Ingenieure, 21.Auflage,, 2014

SdW: wechselnde Autoren, Spektrum der Wissenschaft,

Skolaut 2014: Werner Skolaut (Hrsg.), Maschinenbau - Ein Lehrbuch für das ganze Bachelor-Studium, 2014

Varignon 1725: Pierre Varignon, Nouvelle mecanique ou statique, 1725

Allgemeines

GFS

- Pflicht ist eine in E und weitere insgesamt 3 in J1/J2
- In J1/J2 kann eine GFS eine Klassenarbeit ersetzen (pro Fach /Semester muss mind. 1 KA geschrieben werden)

Beschluss TG 28.06.11

- In den ersten 3 Semestern der Jahrgangsstufen muss je 1 GFS geschrieben werden.
- Überprüfung in der Notenkonferenz
- GFS soll im Niveau einer KA entsprechen
- GFS-Plan muss für alle 3 Semester bis Herbstferien J1 vorliegen
- Jede GFS muss in einem anderen Fach erfolgen

Ideen / Themen

- Stromtransport: Welche Bedeutung haben die Spannungsebenen (20kV, 110kV, 380kV)
- Biographie eines Ingenieurs / Technikers
- Übersicht über bedeutende Ingenieure (Wissenschaftler, Mathematiker ..) aus der Region
- Übersicht über die Wasserkraftwerke an der Wiese
- Industrialisierung des Wiesentals
- BHKw für Einfamilienhaus
- Solaranlage für Einfamilienhaus
- Abreißblock für Ausreden
- Einsatzgebiete eines Planetengetriebes
- kurze Filme aus dem Metalllabor, z.B. Fräsen, Drehen, Zugversuch...
- Vorbild: 3D-Druck in 3 Minuten
- QR-Code zum Film

ProMan Präsentationen

- Welche Genehmigungen sind erforderlich
- Welche Institutionen unterstützen
- Technische Alternative
- grobe technische Planung einer Alternative
- Grundflächenbedarf
- Anschluss an die Infrastruktur

tg_TA_Allgemeines.odt



Einführung

Statik

Definition, Zweck

Statik ist die Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte in Körpern, die in Ruhe oder konstanter geradliniger Bewegung sind. Ihre Ergebnisse sind Grundlage der Festigkeitsrechnung.

Vereinfachungen für die Schule

- alle Körper sind starr
- Reibung wird meist vernachlässigt
- nur 2D-Probleme (in der Ebene)
- Krafteingriff wird auf Punkte reduziert

Darstellungen von Kräften

Kräfte sind Vektoren und gekennzeichnet durch

- Betrag und
- Richtung (Wirklinie WL und Richtungssinn)

$F=10\text{N}$ nur Betrag ohne Richtungsangabe
zeichnerisch, Betrag wird durch die Länge dargestellt, Richtung durch sich selbst.

$$\vec{F} = \begin{bmatrix} 3\text{N} \\ 4\text{N} \end{bmatrix} = [53,1^\circ; 5\text{N}]$$

Rechnen mit Kräften in der Statik

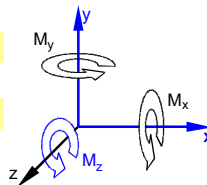
Aus $F = m \cdot a$ und $a=0$ (Statik!) folgt:

Gleichgewichtsbedingungen (allg.)

$$\Sigma F = 0$$

Die Hauptachsen im Raum

(Pfeilrichtung ist +)



Gleichgewichtsbedingungen 3D/2D

Aus $F = m \cdot a$ und $a=0$ (Statik!) folgt (2D bzw. 3D):

| | | | |
|------------------|------|------------------|------------------|
| $\Sigma F_x = 0$ | bzw. | $\Sigma F_x = 0$ | $\Sigma M_x = 0$ |
| $\Sigma F_y = 0$ | | $\Sigma F_y = 0$ | $\Sigma M_y = 0$ |
| $\Sigma M = 0$ | | $\Sigma F_z = 0$ | $\Sigma M_z = 0$ |

Gelten für jedes Teil und jedes Koordinatensystem.

Aufgabe lösbar in der Ebene?

Für TG liegen alle Kräfte in einer Ebene:

→ es gelten 3 Gleichgewichtsbedingungen

$$\Sigma F_x = 0; \Sigma F_y = 0; \Sigma M = 0$$

Nur 3 unbekannte Größen (Kraftbeträge, Kraftrichtungen, Momente) können gelöst werden.

Wer mehr Unbekannte hat, muss weitere Informationen suchen oder die Aufgabe überspringen

Aufgabe lösbar am Punkt?

Im zentralen KS wirken alle Kräfte durch einen Punkt

→ ohne Hebelarme wirken keine (Dreh-)Momente

→ es gelten nur noch 2 Gleichungen

$$\Sigma F_x = 0; \Sigma F_y = 0$$

Im zentralen KS sind nur noch 2 Größen lösbar, z.B.

– eine Kraft nach 1 Betrag und 1 Richtung oder

– 2 Kräfte mit bekannter Richtung

Das Reaktionsprinzip und seine Folgen

Kräfte treten IMMER paarweise auf (actio = reactio)

Um mit Kräften rechnen zu können, muss man die Kräftepaare auftrennen → Freimachen

Vertiefung: keine

FTM, TG:ja; MVK: entfällt

FO Steinmetz-Meisterprüfung, Nürnberg ca. 1570 ([SdW] 11/91)

FO Freiburger Münster [BadZtg] 30.11.2014

- 1) Welche Fachgebiet muss man heutzutage dazu beherrschen? Statik
Verfahren der Alten: Erfahrung und Ästhetik (=Theorie?) wurden in Regeln umgesetzt.
- 2) Warum lassen wir am TG die konstante geradlinige Bewegung nicht zur Vereinfachung weg?

Konstante geradlinige Bewegung kann man von Ruhe gar nicht unterscheiden – z.B. fliegen wir ziemlich schnell um die Sonne.

- 3) Was wird in der Statik betrachtet? Kräfte.

- 4) Welche Wirkungen haben Kräfte?

Bewegungs- (Thema der Kinetik, wie Statik ein Teilgebiet der Dynamik) oder Formänderungen (meist vernachlässigt): Ideal starre Körper erfahren keine Formänderung durch Kräfte, sodass sich die Kraftangriffspunkte nicht verschieben.

Ursache für Kräfte? $F = m \cdot a$; $F = E \cdot \Delta x / \epsilon$; Reibung (meist vernachlässigt) usw.

- 5) Was muss man von einer Kraft wissen, wenn man mit ihr rechnen will?
Auf den Tisch setzen ($\approx 1\text{kN}$), Tisch schieben, am Tisch ziehen.

Der Angriffspunkt der Kraft ist zwar auch wichtig, aber keine der Kraft innewohnende Eigenschaft. Wirklinie ist die Verlängerung des Kraftvektors in beiden Richtungen, Richtungssinn ist die Richtung des Kraftvektors auf der WL.

Bedeutung der Kraftrichtung: Man möge versuchen, ein Auto seitwärts anzuschieben.

Müsste genauer $|F| = 10\text{N}$ heißen! Einheit Newton $[N] = \text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$

vektoriell, schließt die Richtung ein

- 1) Um wie viele Prozente wird die Rechnung von vereinfacht bei der Reduktion von 3D auf 2D?

FO Flieger

3D bedeutet 3 Kräfte und 3 Momente, 2 D nur 2 Kräfte und 1 Moment, d.h. die Vereinfachung beträgt 50%.

In der Ebene fallen F_z , M_x und M_y weg: Danach ist die Indizierung von M nicht mehr nötig, weil keine Verwechslungsgefahr mehr besteht.

Dreifingerregel: Koordinatensystem mit Daumen (x-Achse), Zeigefinger (y-Achse) und Mittelfinger (z-Achse) der rechten Hand aufspannen.

Rechtehandregel: Daumen der rechten Hand in Richtung der Drehachse, und die Finger weisen in positiver Drehrichtung.

- 2) Wie lauten die Gleichgewichtsbedingungen?

Die zentralen Lösungen beruhen auf denselben Gleichgewichtsbedingungen!

Drehen um die Querachse: Nicken, Stampfen, früher auch Galoppieren ([SdW] 08/2015 S.111)

Im Einzelfall kann es sinnvoll sein, auch andere Kraftrichtungen oder Drehpunkte außerhalb des betrachteten Körpers zu wählen.

- 3) Wie viele Unbekannte können mit 6/3 Gleichungen gefunden werden?

Mit 3 Gleichungen kann man 3 unbekannte Kräfte ermitteln (statische Bestimmtheit).

Als statisch bestimmtes ebenes System bezeichnet man einen Körper, der so gelagert ist, dass nur drei unbekannte Auflagerreaktionen angreifen.

Beispiel: Eine Lagerung mit Fest- und Loslager ist statisch bestimmt, eine Lagerung mit 2 Festlagern ist überbestimmt.

Statisch überbestimmte System (mehr Auflagerreaktionen möglich) erfordern weitere Gleichungen zur Lösung (z.B. Dehnung durch Kraft oder Wärme bei zwei Festlagern).

Weniger Auflagerreaktionen heißt einfach, dass das Teil lose ist.

Die statische Bestimmtheit muss in jeder Raumrichtung erfüllt sein.

Fundsachen

Deckenlasten: [Schneider21] S.3.22f: Es werden nicht nur Flächenlasten (Schnee, Wind, Lagergut, ...) berücksichtigt, sondern ggf. Faktoren bei Hubschrauberlandeplätzen, Regelbetrieb bei Gegengewichtsstaplern, Böengeschwindigkeitsdruck ... S.3.49: Schneelast: Lörrach gehört zur Zone 2 (Hochschwarzwald 2a = höchste Stufe). Formel (A = Geländehöhe in [m]):

$$S_v = 0,25 + 1,91 \cdot \left(\frac{A + 140}{760} \right) \geq 85 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Brücken: [Schneider21] S.3.59: Anpralllasten (Fahrzeuanprall an Brückenpfeiler), S.3.63 Schwingungsbeiwert für Hauptspur.

Erdbeben: [Schneider21] S.3.66f: Lörrach gehört zur höchsten Erdbebenzone 3v

- 4) Tauziehen mit je 5kN (500kg): Zugkraft im Tau?

Die Zugkraft beträgt 5kN und nicht etwa das Doppelte, denn Kräfte treten IMMER paarweise auf (actio = reactio). Die Kräftepaare addieren sich nicht, sondern heben sich auf, und erfüllen so die Gleichgewichtsbedingung trivial und nutzlos. Um die Gleichgewichtsbedingungen anwenden zu können, muss man die Kräftepaare auftrennen und betrachtet dann alle Kräfte, die von außen auf eine beliebige Baugruppe wirken. Das Verfahren heißt Freimachen und wird unten behandelt.



Statik I: Zentrales Kräftesystem

Kräfte am Punkt zeichnerisch ermitteln

Statik I → Zentrales Kräftesystem → alle Kräfte wirken durch einen Punkt → keine Hebelarme
→ Es treten keine Momente auf → Gleichgewichtsbedingung $\sum M = 0$ entfällt → nur 2 un-
bekannte Größen sind lösbar.
[Skolaut 2014] S.24: „Ebenes Kräftegleichgewicht am Punkt“

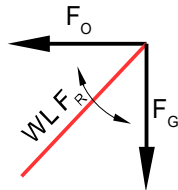
Zielgruppe: alle
Angewendet werden die statischen Grundoperationen Parallelogramm, Erweiterungssatz,
Verschiebesatz. Die ausgeführten Beispiele stammen aus der ersten Quelle:
ulrich-rapp.de/stoff/statik/Statik_Ub_zentral.pdf
[Müller-Breslau I] S.1: „Die graphische Statik lehrt die Zusammensetzung und Zerlegung der
Kräfte auf geometrischem Wege und entwickelt in gleicher Art die Bedingungen, unter denen
sich die auf einen Körper wirkenden Kräfte im Gleichgewicht befinden.“

Zusammensetzen von Kräften

TG: Aufg. 1a, Oberleitungsrolle; MVK: [EuroRBM]; FTM: [Böge Aufg.] Aufgabe 29 (Richtung definieren)
LS Seilrolle

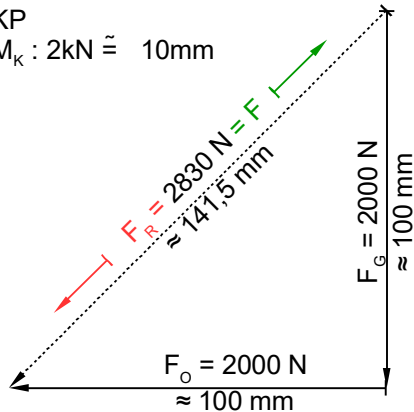
LP Seilrolle

M_L : noch nicht nötig



KP

$M_K = 2kN \hat{=} 10mm$



Arbeitsplan

Ergebnis abschätzen

0. Lageplanskizze

= Lageplan ohne formelle Regeln
→ hält den Kopf frei für das Problem

1. Lageplan

Geeignete Baugruppe auswählen, nennen und alle auf die Baugruppe wirkenden Kräfte einzeichnen
– Wirklinien winkeltreu
– Richtungen: wie wirkt RdW auf BG
– Angriffspunkte lagetreu (Lagemaßstab): (nur wenn zeichn. Lösungen für das allg. Kräftesystem im Lehrplan stehen)

2. Kräfteplan

Kräfte eintragen
– maßstabsgerecht (Kräftemaßstab)
– hintereinander als Pfeilkette
– winkeltreu (Parallelverschiebung)

3. Resultierende F_R / Gegenkraft F

F_R (Ersatzkraft) ist die 'Abkürzung im KP' und ersetzt die gegebenen Kräfte F schließt das Kräfteck und hält die gegebenen Kräfte im Gleichgewicht.

Ausmessen, umrechnen mit M_K .

Plausibilitätsbetrachtung

Arbeitsplan kann auch Algorithmus, Kochrezept, Arbeitsanweisung, Vorgehensweise oder neudeutsch Workflow heißen.

Welche Kräfte wirken überhaupt ?

Die LP-Skizze ist ein Entwurf des LP und an keine Form gebunden. Sie ist keine Pflicht, aber empfehlenswert, denn beim Skizzieren kann man die Aufgabe erfassen ohne sich mit Formalien zu belasten. Ich gebe für eine verständliche Skizze ca. 1/4, 1/3 der Punktzahl. [Gross 2015] S.2 verwendet den Begriff Freikörperbild statt Lageskizze.

Kräfte eintragen, wo sie wirken.

Der Lageplan ist die zeichnerisch-formale Fassung von "Gegeben und Gesucht".
Im allgemeinen Kräftesystem fließen über den Lagemaßstab der Abstand der Kräfte und damit die Momente ein. Beim zentralen System erübrigt sich das Eintragen der Angriffspunkte, da sie alle an einem Punkt angreifen.
Unbekannte WL können wie gezeigt oder für rechn. Lösungen mit x- und y-Komponenten dargestellt werden.
Richtung: Wie wirkt der Rest der Welt auf die Baugruppe.

Kräfte → geschlossener Linienzug.

Der Kräfteplan ist das Lösungsverfahren und sollte streng vom LP unterschieden werden. Deshalb akzeptiere ich auch keine Parallelogramme, die bei 2 Kräften noch möglich wären.
Die Richtungen sollen per Parallelverschiebung übertragen werden, weil es dabei deutlich weniger Fehler gibt. Die gegebenen Kräfte werden richtungsgemäß und maßstabsgerecht so aneinander gereiht, dass sich ein fortlaufender Kräftezug ergibt. Anfangspunkt und Reihenfolge der Kräfte sind beliebig.

Ob die Resultierende oder die Gegenkraft gefragt ist, hängt von der Aufgabe ab. Beide sind gleich groß, aber entgegengerichtet.

Die Resultierende ist die Kraft, die die gegebenen Kräfte ersetzen kann. Beispiel: Wenn auf ein Fahrzeug Antriebskräfte, Luftwiderstand und Rollreibung wirken, kann man diese zusammenfassen und mit der Resultierenden die Beschleunigung zu ermitteln.

Plausibilität: Kann das stimmen?
Vorher Ergebnis abschätzen und nachher Plausibilitätsbetrachtung gehören zu jeder Aufgabe.

Vertiefung

TG: UB Statik zentral; MVK: [EuroRBM],

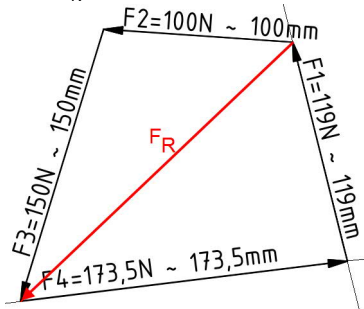
FTM: [Böge Aufg.] Aufg. 30ff (30 definiert Winkelangabe)

Zerlegen von Kräften

TG: Aufg. 4a: Eimerziehen2; MVK: [EuroRBM]; FTM: [Böge Aufg.] Aufgabe 40f (L), 44f

LP siehe Aufgabe

KP $M_K = 100N \hat{=} 100mm$



Arbeitsplan

0-3 wie oben (bek. Kräfte addieren)

4. F_R auf 2 Wirklinien verteilen

– WL einer Kraft parallel verschieben durch den Anfang von F_R und
– WL der anderen Kraft parallel verschieben durch den Endpunkt von F_R .
– Die unbekanntes Kräfte werden durch den Schnittpunkt begrenzt.
– Richtung der Kräfte einheitlich (mit / gegen Uhrzeigersinn)

Ültg: Aufgabe 3 ist grundsätzlich neu, da nicht eine Kraft gesucht wird, sondern zwei.

Zu diesem Verfahren müssen die Krafrichtungen bekannt sein. Hinweise auf die Krafrichtungen hat man bei Seilen, Ketten, Zweigelenstäben, einwertigen Lagern usw. Wenn die Krafrichtungen nicht bekannt sind, müssen die Drehmomente eingerechnet werden, dies geschieht zeichnerisch im Schlusslinienverfahren.
Drei und mehr unbekanntes Kräfte sind ohne Randbedingungen nicht lösbar.

F_R muss im Kräfteplan nicht eingetragen werden.

Vertiefung

TG: UB Statik zentral; MVK: [EuroRBM],

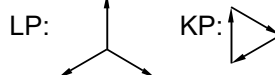
FTM: [Böge Aufg.] Aufgabe 49ff.

Fachwerke ([Böge Aufg.] Aufg. 69ff) können vorläufig gelöst werden, indem man sich von Knoten zu Knoten hangelt. Sobald das allgemeine Kräftesystem behandelt ist, kann das Rittersche Schnittverfahren verwendet werden.

Lösungsgedanke bei grafischen Lösungen

Alle Kräfte, die sich im Lageplan in einem Punkt treffen, ergeben im Kräfteplan einen geschlossenen Linienzug.

Der geschlossene Linienzug aller Kräfte ist der graphische Ausdruck der Gleichgewichtsbedingungen der Statik.



(Stern ↔ Dreieck ;-)



Kräfte am Punkt berechnen

[Skolaut 2014] S.24: „Ebenes Kräftegleichgewicht am Punkt“

FTM, MVK: kein Zerlegen. TG: volles Programm

Zusammensetzen – systematische Lsg.

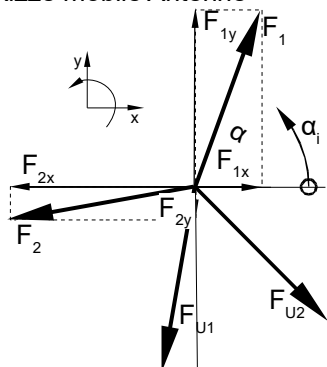
Arbeitsplan:

(ohne KP)

TG; FTM: UB Statik zentral 4a: Mobile Antenne; MVK: [EuroRBM]

Geg: F_1 ; F_2 ; Ges.: F_R ; F_3 ; F_4

Lageskizze mobile Antenne



$$F_{1x} = F_1 \cdot \cos \alpha_1 = 250 \text{ N} \cdot \cos 70^\circ = 85,51 \text{ N}$$

$$F_{1y} = F_1 \cdot \sin \alpha_1 = 250 \text{ N} \cdot \sin 70^\circ = 234,92 \text{ N}$$

$$F_{2x} = F_2 \cdot \cos \alpha_2 = 200 \text{ N} \cdot \cos 190^\circ = -196,96 \text{ N}$$

$$F_{2y} = F_2 \cdot \sin \alpha_2 = 200 \text{ N} \cdot \sin 190^\circ = -34,73 \text{ N}$$

$$F_{Rx} = +F_{1x} + F_{2x} = 85,51 \text{ N} + (-196,96 \text{ N}) = -111,45 \text{ N}$$

$$F_{Ry} = +F_{1y} + F_{2y} = +234,92 \text{ N} + (-34,73 \text{ N}) = 200,19 \text{ N}$$

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = 229,1 \text{ N}$$

$$\alpha'_R = \arctan \frac{F_{Ry}}{F_{Rx}} = \arctan \frac{200,19 \text{ N}}{-111,45 \text{ N}} = -60,9^\circ$$

nach links oben

$$\alpha_R = \alpha'_R + 180^\circ = -60,9^\circ + 180^\circ = 119,1^\circ$$

zur +x-Achse

1. Lageplanskizze

2. Koordinatensystem festlegen

3. Tabelle der Kräfte erstellen

Alle Winkel α von der x-Achse (ccw)!

| | F [N] | α [°] | F_x [N] | F_y [N] |
|-----------------------|--------|--------------|-----------|-----------|
| F_1 | 250,0 | 70,0 | 85,5 | 234,9 |
| F_2 | 200,0 | 190,0 | -197,0 | -34,7 |
| F_R | 229,1 | 119,1 | -111,5 | 200,2 |
| F_{U1} | 76,6 | 260,0 | -13,3 | -75,4 |
| F_{U2} | 176,5 | -45,0 | 124,8 | -124,8 |
| Kontrolle: $\Sigma =$ | | | 0,0 | 0,0 |

4. Kräfte in Komponenten zerlegen

Komponenten = Kraftanteile in Koordinatenrichtungen

$$F_{nx} = F_n \cos \alpha_n; \quad F_{ny} = F_n \sin \alpha_n$$

5. Komponenten addieren

$$F_{Rx} = F_{1x} + F_{2x} + \dots; \quad F_{Ry} = \Sigma F_{ny}$$

6. Betrag $|F_R|$ der Resultierenden

$$|F_R| = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2}$$

7. Richtung α_R der Resultierenden

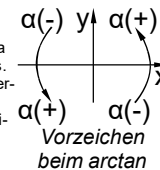
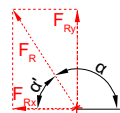
\arctan liefert zwei-deutige Werte \rightarrow Winkel muss präzisiert werden:

– Vorzeichen der Komponenten \rightarrow Skizze !!
oder

– α ab +x-Achse angeben

Für $F_{Rx} \geq 0$ gilt: $\alpha_R = \alpha'_R$

Für $F_{Rx} < 0$ gilt: $\alpha_R = \alpha'_R + 180^\circ$

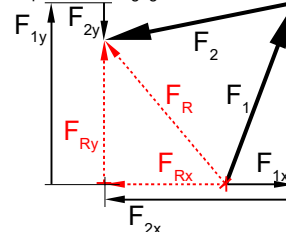


5) Freimachen

Freimachen ist bei allen Statikaufgaben unverzichtbar. Zur Dokumentation genügt eine Skizze. [Gross 2015] S.2 verwendet den Begriff Freikörperbild statt Lageskizze.

6) Komponenten

Skizze: Die Komponenten von F_R setzen sich aus den Komponenten der gegebenen Kräfte zusammen.



7) Winkelangaben

Alle Winkel α ccw (= counter clock wise = gegen den Uhrzeigersinn) von derselben (x-)Achse \rightarrow Vorzeichen der Komponenten ergeben sich automatisch \rightarrow weniger Fehler.

Für die Zerlegung in Komponenten muss man genau einmal überlegen, ob man sin oder cos einsetzen muss, danach läuft alles automatisch. Alle x-Komponenten erhalten das eine, alle y-Komponenten das andere. Die Vorzeichen der Komponenten ergeben sich wegen des einheitlichen Bezuges des Winkels auf die x-Achse automatisch.

Komponenten addieren ergibt die Komponenten der Resultierenden F_R . F_n meint den Betrag der n-ten Kraft α ist der Winkel von der x-Achse gegen den Uhrzeiger bis zur Kraft. Vorzeichen von F_{nxy} ergeben sich automatisch.

Betrag mit Pythagoras aus den Komponenten berechnen.

Die genaue Richtung α_R bekommt man mit den Komponenten F_{Rx} und F_{Ry} heraus, da rentiert sich kein Algorithmus. Statt Regeln auswendig zu lernen, sollte man das Problem erkennen und nach Plausibilität lösen.

– α ab +x-Achse angeben
Wenn $F_{Rx} \geq 0 \rightarrow \alpha_R$ zählt ab der +x-Achse
Wenn $F_{Rx} < 0 \rightarrow \alpha_R$ zählt ab der -x-Achse

Zerlegen - individuelle Lösung

= Durchwurstein anhand des Kräfteplans

Prinzip:

8. Lageplanskizze

9. Kräfteplanskizze

10. Kräfte mithilfe KP und Winkelfunktionen berechnen

Rechtwinklige Dreiecke

Zerlegen in rechtwinklig zueinander stehende Komponenten.

Winkelfunktionen

$$F_{Rx} = F_R \cdot \cos \alpha_R$$

$$F_{Ry} = F_R \cdot \sin \alpha_R$$

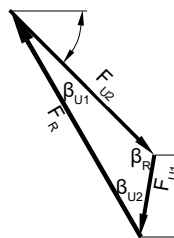
[Böge Aufg.] Aufg. 42f

Beliebige Dreiecke

Kräfteplanskizze mit der bekannten Kraft F_R und den Wirklinien der unbekannt Kräfte F_{U1} und F_{U2}

Sinussatz

$$\frac{F_R}{\sin \beta_R} = \frac{F_{U1}}{\sin \beta_{U1}} = \frac{F_{U2}}{\sin \beta_{U2}}$$



Beispiel:

[Böge Aufg.] Aufg. 51

$$F_{U1} = F_R \cdot \frac{\sin \beta_{U1}}{\sin \beta_R} = 229,1 \text{ N} \cdot \frac{\sin 15,9^\circ}{\sin 125^\circ} = 76,6 \text{ N}$$

$$F_{U2} = F_R \cdot \frac{\sin \beta_{U2}}{\sin \beta_R} = 229,1 \text{ N} \cdot \frac{\sin 39,1^\circ}{\sin 125^\circ} = 176,4 \text{ N}$$

Für einfache Aufgaben braucht man keinen komplizierten Algorithmus. Oft genügt es, den Kräfteplan zu skizzieren und dann die gesuchten Kräfte mit ein paar Winkelfunktionen zu berechnen. Für individuelle Lösungen muss der Arbeitsplan zwangsläufig sehr allgemein gehalten sein

Das Zerlegen in rechtwinklig zueinander stehende Kräfte ist häufig notwendig und muss von jedem Schüler beherrscht werden.

Skizze mit Werten der Beispielaufgabe

Winkel für das Beispiel:
 $\beta_{U1} = 180^\circ - \alpha_R + \alpha_{U2} = 180^\circ - 119,1^\circ - 45^\circ = 15,9^\circ$
 $\beta_{U2} = \alpha_R - (\alpha_{U2} - 180^\circ) = 119,1^\circ - (260^\circ - 180^\circ) = 39,1^\circ$
 $\beta_R = (\alpha_{U1} - 180^\circ) - \alpha_{U2} = (260^\circ - 180^\circ) - (-45^\circ) = 125^\circ$
Kontrolle: $15,9^\circ + 39,1^\circ + 125^\circ = 180^\circ$

Auch die Berechnung der Innenwinkel kann man automatisieren, aber der Aufwand lohnt sich nicht ggü. einer individuellen Lösung. Im Fall der Fälle müssen die Kräfteplanskizze und ein paar Überlegungen genügen.

TG: UB Statik zentral, MVK: [EuroRBM]

FTM: [Böge Aufg.] Aufg. 51ff

Vertiefung



Systematische Lösung – Zerlegen

$$\Sigma F_x = 0 = F_{Rx} + F_{U1x} + F_{U2x} = F_{Rx} + F_{U1} \cdot \cos \alpha_{U1} + F_{U2} \cdot \cos \alpha_{U2}$$

$$\rightarrow F_{U2} = \frac{F_{Rx} + F_{U1} \cdot \cos \alpha_{U1}}{-\cos \alpha_{U2}}$$

$$\Sigma F_y = 0 = F_{Ry} + F_{U1y} + F_{U2y} = \dots \rightarrow F_{U2} = \frac{F_{Ry} + F_{U1} \cdot \sin \alpha_{U1}}{-\sin \alpha_{U2}}$$

$$F_{U2} = \frac{F_{Rx} + F_{U1} \cdot \cos \alpha_{U1}}{-\cos \alpha_{U2}} = \frac{F_{Ry} + F_{U1} \cdot \sin \alpha_{U1}}{-\sin \alpha_{U2}} \rightarrow$$

$$F_{U1} = \frac{-F_{Rx} \cdot \sin \alpha_{U2} + F_{Ry} \cdot \cos \alpha_{U2}}{\cos \alpha_{U1} \cdot \sin \alpha_{U2} - \sin \alpha_{U1} \cdot \cos \alpha_{U2}}$$

$$F_{U2} = \frac{-F_{Rx} \cdot \sin \alpha_{U1} + F_{Ry} \cdot \cos \alpha_{U1}}{\cos \alpha_{U2} \cdot \sin \alpha_{U1} - \sin \alpha_{U2} \cdot \cos \alpha_{U1}}$$

$$F_{U1} = 229,1 \text{ N} \cdot \frac{-\cos 119,1^\circ \cdot \sin(-45^\circ) + \sin 119,1^\circ \cdot \cos(-45^\circ)}{\cos 260^\circ \cdot \sin(-45^\circ) - \sin 260^\circ \cdot \cos(-45^\circ)} = 76,6 \text{ N}$$

$$F_{U2} = 229,1 \text{ N} \cdot \frac{-\cos 119,1^\circ \cdot \sin 260^\circ + \sin 119,1^\circ \cdot \cos 260^\circ}{\cos(-45^\circ) \cdot \sin 260^\circ - \sin(-45^\circ) \cdot \cos 260^\circ} = 176,5 \text{ N}$$

gerechnete Beispiele

[Böge Aufg.] Aufg. 51

Zusammensetzen

$$F_{1x} = F_1 \cdot \cos \alpha_1 = 320 \text{ N} \cdot \cos 35^\circ = 262,1 \text{ N}$$

$$F_{1y} = F_1 \cdot \sin \alpha_1 = 320 \text{ N} \cdot \sin 35^\circ = 183,5 \text{ N}$$

$$F_{2x} = F_2 \cdot \cos \alpha_2 = 180 \text{ N} \cdot \cos 55^\circ = 103,2 \text{ N}$$

$$F_{2y} = F_2 \cdot \sin \alpha_2 = 180 \text{ N} \cdot \sin 55^\circ = 147,4 \text{ N}$$

$$F_{3x} = F_3 \cdot \cos \alpha_3 = 250 \text{ N} \cdot \cos 160^\circ = -234,9 \text{ N}$$

$$F_{3y} = F_3 \cdot \sin \alpha_3 = 250 \text{ N} \cdot \sin 160^\circ = 85,5 \text{ N}$$

$$F_{Rx} = +F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} = 262,1 \text{ N} + 103,2 \text{ N} - 234,9 \text{ N} = 130,4 \text{ N}$$

$$F_{Ry} = +F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} = 183,5 \text{ N} + 147,4 \text{ N} + 85,5 \text{ N} = 416,4 \text{ N}$$

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = 436,3 \text{ N}$$

$$= \sqrt{(130,4 \text{ N})^2 + (416,4 \text{ N})^2}$$

$$\alpha_R = \arctan \frac{F_{Ry}}{F_{Rx}} = \arctan \frac{416,4 \text{ N}}{130,4 \text{ N}} = 72,6^\circ$$

zur positiven x - Achse (nach rechts oben)

FTM, MVK: kein Zerlegen. TG: nur Ergebnis

Die Herleitung der Formel ist ggü. der Lösung mit Sinussatz zu aufwendig, das Auswendiglernen der Formel nicht sinnvoll → individuelle Lösung mit Sinussatz bevorzugen

1) Herleitung

8. Kräftegleichgewichte $\Sigma F_x = 0$ und $\Sigma F_y = 0$

und die unbekanntenen Kräfte F_{U1} und F_{U2} per Gleichungssystem lösen

2) F_{U2} analog herleiten oder Symmetrie nutzen

3) Allgemeine Formel

4) Man beachte die Symmetrie der Gleichungen, die mehrfach nützlich sein kann:

- Kontrollmöglichkeit

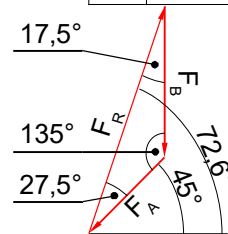
- Analogieschlüsse

- Ästhetik / Spass an Mathe vermitteln

5) Beispiel: Mobile Antenne

Zerlegen

| | F | α | F _x | F _y |
|----------------|--------|-------|----------------|----------------|
| F ₁ | 320N | 35° | 262,1N | 183,5N |
| F ₂ | 180N | 55° | 103,2N | 147,4N |
| F ₃ | 250N | 160° | -234,9N | 85,5N |
| F _R | 436,3N | 72,6° | 130,4N | 416,4N |
| F _A | 184,5N | 225° | -130,4N | -130,4N |
| F _B | 286,0N | 270° | 0 | -286,0N |



$$F_A = F_R \cdot \frac{\sin \alpha_A}{\sin \alpha_R} = 436,6 \text{ N} \cdot \frac{\sin 17,4^\circ}{\sin 135^\circ} = 185 \text{ N}$$

$$F_B = F_R \cdot \frac{\sin \alpha_B}{\sin \alpha_R} = 436,6 \text{ N} \cdot \frac{\sin 27,6^\circ}{\sin 135^\circ} = 286 \text{ N}$$



Freimachen

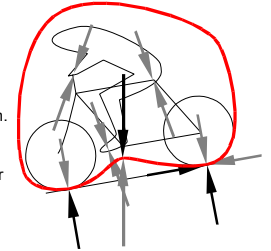
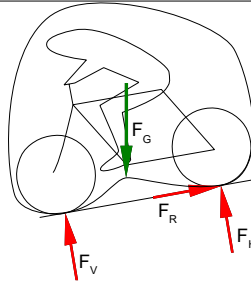
Freimachen von Körpern

= Bauteile durch Kräfte ersetzen

Zweck

- Erkennen aller Kräfte an einer BG
- Voraussetzung für alle Lösungen in der Statik

z.B. tgme HP92/93-1 Mountainbike
Lageskizze Rad + FahrerIn
Ges.: Aufstandskräfte



Vorgehensweise

1. Baugruppe wählen

- Geeignete BG grenzen an gesuchte Kräfte

2. Alle Kräfte eintragen

- An jedem Kontakt zw. der BG und dem Rest der Welt
- \perp rechtwinklig zur Berührfläche (Normalkraft) bzw. \parallel parallel zur Berührfläche (Reibung)
- Gravitation (Gewichtskräfte)

3. Bekannte Kräfte mit Richtung

- Richtungskonvention: Wie wirkt der RdW auf die BG?

4. Unbekannte Kräfte

- Einwertiges Lager: Richtung annehmen
- Zweiwertiges L.: 2 Richtungen eintragen (z.B. F_x , F_y)

5. Lösbarkeit prüfen

- Lösbar sind max. als 3 unbekannte Größen (Beträge und/ oder Richtungen von Kräfte).

Wer zu viele Unbekannte hat, muss Infos suchen:

6. Lageplanskizze anfertigen

- LS dokumentiert die Überlegungen

Hinweise auf Richtungen von Kräften

Seile, Ketten usw.

übertragen nur Zugkräfte in Seilrichtung

Zweigelenkstäbe (Pendelstützen)

= an 2 Stellen drehbar gelagert
übertragen Zug- oder Druckkräfte nur in der Verbindungslinie der Gelenkpunkte.
z.B. Kolben, Gitterstäbe



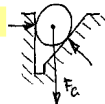
Berührflächen

übertragen Normalkräfte senkrecht und Reibkräfte parallel zur Berührfläche.



Rollkörper

Normalkräfte bei Rollkörper (Kugeln, Rollen) gehen durch ihren Mittelpunkt.



FTM, TG: Erarbeiten anhand der Übungen; MVK: entfällt

"Freimachen" ist das geistig anspruchsvollste Thema, das Technik M am TG zu bieten hat; gleichzeitig ist es die Grundlage zum Lösen von Statikaufgaben. Wer nicht richtig freimacht, braucht gar nicht anfangen zu rechnen... Im zentralen Kräftesystem sind die Aufgaben meist so einfach gestrickt, dass das Freimachen intuitiv möglich ist und seine Bedeutung nicht klar wird. Deshalb führe ich diese Einheit erst danach durch und vertiefe es in den Übungen zum allgemeinen KS. Meine Vorgehensweise: Kurz die Regeln anhand eines Beispiels erklären, dann drillmäßiges Üben [Skolaut 2014] S.8, S.28: verwendet die Begriffe „Freischneiden“ und „Freikörperbild“, letzteres neben Kräften auch mit Maßen u.ä.

1) Im System Rad+FahrerIn findet man zahlreiche Kräfte und Gegenkräfte (Kräftepaare):

Rad drückt gegen Straße und zurück, vorne wie hinten, Reibung vs. Antriebskraft, Hände vs. Lenker, Gesäß vs. Sattel, Erde zieht an Rad+Fahrer und umgekehrt, u.v.a.m.

2) Was kann man damit anfangen?

Nix! Die An/Unzahl der Kräfte ist unhandlich und Kräftepaare, die sich per se aufheben, bieten keinen Ansatz für die Gleichgewichtsbedingungen.

3) Gesucht ist ein Verfahren, um die Kräftepaare zu reduzieren und aufzusprengen

→ Freimachen: Man entscheidet sich für eine BG und zieht einen symbolischen Kringel darum. Reduktion: Alle Kräftepaare, die innerhalb oder außerhalb des Kringels liegen, werden ignoriert. Fraktion: Von den Kräftepaaren, die an der Grenze der BG liegen bzw. von der Systemgrenze zerschnitten werden, betrachtet man nur die Kräfte, die von außen auf die BG wirken.

[Böge, Techn. Mechanik] einarbeiten,

Im Prinzip muss man nur die gesuchten Kräfte eintragen und hat schon einen Teil der Grenze der geeigneten Baugruppe. Auf die BG dürfen beliebig viele bekannte Kräfte wirken. Sonstige Kräfte möglich (Schule nur im Einzelfall), sie zählen aber zu den unbekanntem Kräften.

Gewichts- und Reibungskräfte werden berücksichtigt, wenn es verlangt wird.

Vom freizumachenden Körper werden alle Berührstellen entfernt und durch die zugehörigen Kräfte ersetzt. Am Besten denkt man sich eine Linie um die gewählte Baugruppe und sucht alle Kräfte, die diese Linie überschreiten.

Schüler setzen Kräfte oft nach Wunschenken ein, z.B. "da brauche ich noch eine Kraft" oder auf Verdacht "Da bewegt sich was". Das führt zu vielen Fehlern.

Mit der Vorzeichenregel „Wie wirkt der Rest der Welt (RdW) auf die Baugruppe (BG)“ wirken Schwerkraft nach unten. Es käme auch zu richtigen Ergebnissen, trüge man ALLE Richtungen „falsch“ herum ein (Schwerkraft nach oben!), aber Mischen der Richtungssysteme funktioniert nie.

Bei zeichnerischen Lösungen muss man keine Richtungen für unbekannte Kräfte annehmen, es genügen die WL. Bei rechnerischen Lösungen sind die Richtungen nötig für die Vorzeichen in den Gleichungen. Wenn man eine Richtung „falsch“ angenommen hat, wird das Ergebnis negativ und es stimmt wieder.

Es sind nur 3 unbekannte Kräfte lösbar, weil nur drei Gleichgewichtsbedingungen existieren. Die Anzahl der lösbaren Unbekannten reduzieren sich, wenn nicht alle Gleichungen angewendet werden können, z.B. beim zentralen Kräftesystem (kein Momentengleichgewicht) oder wenn alle Kräfte parallel sind (Kräftegleichgewicht nur in einer Richtung). Wenn man mehr unbekannte Kräfte findet als lösbar sind, muss man weitere Informationen suchen. Ein Lösungsversuch ohne zusätzliche Infos ist sinnlos.

Das Freimachen ist oft der schwierigste Teil einer Statikaufgabe, deshalb gebe ich für eine lesbare LS bereits 1/4 bis 1/3 der Punkte. Umgekehrt gibt es ohne LS nie die volle Punktzahl.

Lösungen in der Statik sind komplex und die Fehlerquote steigt stark an, wenn man wesentliche Lösungsschritte im Kopf jongliert → LS liegt im Eigeninteresse des Schülers.

Kein TA, nur beiläufig einliefern lassen

Gemeinsame Wirkungslinie ist notwendig in der Definition, damit auch gebogenen Teile als Pendelstützen gesehen werden können. Die Form der Pendelstütze spielt keine Rolle.

Wenn die Reibung berücksichtigt werden muss, ist sie gegen die Bewegungsrichtung einzutragen. Die Haftreibung $F_R = \mu \cdot F_N$ ist nicht die tatsächliche Reibkraft, sondern ihr höchstmöglicher Wert. Deshalb ist die Reibkraft in aller Regel unbekannt. Meist wird die Reibung vernachlässigt.

Für die Rollreibung im Ruhezustand gilt dasselbe wie für die Haftreibung oben.

Verschiebesatz: Wenn über eine Rolle ein Seil gelegt ist, das in beide Richtungen gleich stark zieht, spielt ihr Durchmesser „keine Rolle“.

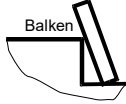
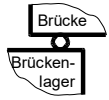


Lose und feste Lager

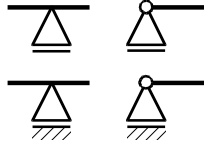
sind in allen Richtungen ($F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z$) außer einer, zwei, drei beweglich:

Einwertige Lager (Loslager)

sind in allen Richtungen außer einer beweglich.
konstruktive Beispiele



Symbole:

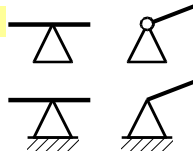


Richtung einer Drehung wird mit der Richtung der Drehachse angegeben. Da wir nur 2-D-Systeme betrachten, entfallen F_z, M_x und M_y , und Index z beim Moment.
Wenn die Reibung ausnahmsweise berücksichtigt wird, zählt diese als Stützkraft.

Ihre Wirklinie ist eindeutig bestimmt. (einwertige Stützkkräfte bzw. Pendelstützen, Seil, usw.) sind beim Lösen von Aufgaben besonders wichtig.

Zweiwertige Lager (Festlager)

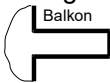
sind in allen Richtungen außer zweien beweglich.



FO Brückenlager

Dreiwertige Lager

sind in allen Richtungen fest.



Vertiefung

FTM, TG: AB Statik_Ub_Abi ([Böge Aufg.] Aufgabe 9..28 sind zu leicht)



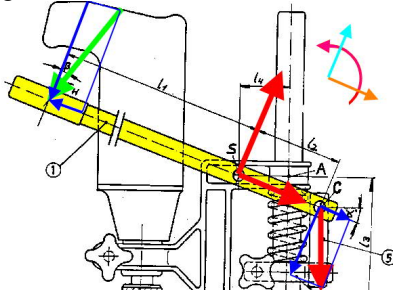
Statik II: Allgemeines Kräftesystem

Auflagerkräfte in der Ebene berechnen

Das grafische Schlusslinienverfahren löst Aufgaben mit komplizierter Bemaßung leichter (→ HP 98/99-2 Zugmaschine mit Anhänger), steht aber nicht mehr im Lehrplan. rechnerische Verfahren sind flexibler, z.B. "Ab welchem .. kippt.."
[Skolaut 2014] S.26: „Statisches Gleichgewicht am ebenen starren Körper“ → die Einschränkungen statisch, eben und starr erfolgten schon bei der Einführung.

TG: HP 94/95-1 Bohrmaschinenständer

Lageskizze Hebel



Im Beispiel kann der Drehpunkt in den Bolzen S oder C liegen. Hier wird S gewählt, da von dort die Bemaßung ausgeht und dies die Rechnung ein wenig erleichtert.

$$\Sigma M_S = 0$$

$$0 = F_{Hy} \cdot l_1 - F_{Cy} \cdot l_2 \rightarrow$$

$$F_C = F_{Hy} \cdot \frac{l_1}{l_2 \cdot \cos \alpha} = 98,48 \text{ N} \cdot \frac{300 \text{ mm}}{90 \text{ mm} \cdot \cos 20^\circ}$$

$$F_C = 349,3 \text{ N}$$

4) Hebelarme und Drehrichtung vertiefen

Das Vorzeichen ist positiv, wenn ein Moment in der Richtung des Koordinatensystems (siehe rotes Symbol) wirkt.

Im Beispiel bekommt man den Hebelarm zu F_H , zwar noch relativ leicht, aber ich will das übertragbare Verfahren zeigen.

$$F_{Hx} = F_H \cdot \sin \beta = 100 \text{ N} \cdot \sin 10^\circ = 17,36 \text{ N}$$

$$F_{Hy} = F_H \cdot \cos \beta = 100 \text{ N} \cdot \cos 10^\circ = 98,48 \text{ N}$$

5) Sorgfältig auf die Vorzeichen eingehen. Jede der 3 GG-Bedingungen gehört zu einer der 3 Koordinatenrichtungen.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$0 = -F_{Hx} + F_{Sx} + F_{Cx} \rightarrow$$

$$F_{Sx} = F_{Hx} - F_{Cx} \cdot \sin \alpha$$

$$F_{Sx} = 98,48 \text{ N} - 349,3 \text{ N} \cdot \sin 20^\circ = -102,1 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$0 = -F_{Hy} + F_{Sy} - F_{Cy} \rightarrow$$

$$F_{Sy} = F_{Hy} + F_{Cy} \cdot \cos \alpha$$

$$= 17,36 + 349,3 \text{ N} \cdot \cos 20^\circ$$

$$F_{Sy} = 426,7 \text{ N}$$

Wenn es ein Festlager gibt:

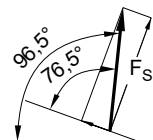
$$F_S = \sqrt{F_{Sx}^2 + F_{Sy}^2} = \sqrt{(-102,1 \text{ N})^2 + (426,7 \text{ N})^2}$$

$$F_S = 438,7 \text{ N}$$

$$\gamma_S = \arctan \frac{F_{Sy}}{F_{Sx}}$$

$$= \arctan \frac{426,7 \text{ N}}{-102,1 \text{ N}}$$

$$= -76,5^\circ$$



Vertiefung

Arbeitsplan

1. Freimachen + Lageskizze erstellen

- Baugruppe wählen (s.o.) und benennen
- alle Kräfte eintragen (s.o.)

2. Richtungen für unbekannte Kräfte annehmen (s.o.)

- für das Vorzeichen in Rechnungen
- „falsche“ Annahme → negatives Ergebnis → stimmt wieder!
- für zweiwertige Lager 2 Richtungen eintragen (z.B. F_x, F_y)

3. Gleichgewichtsbedingungen ansetzen + Gleichungssystem lösen

$$\Sigma M = 0 \quad \Sigma F_x = 0 \quad \Sigma F_y = 0$$

mögliche Vereinfachungen

4. Momentengleichgewicht $\Sigma M = 0$

- Drehpunkt im Schnittpunkt zweier unbekannter Kräfte
- eine Gleichung mit 1 Unbekannten = sofort lösbar.

- Moment = Kraft · Hebelarm (Kraft \perp Hebelarm)

Der Hebelarm ist der kürzeste Abstand zw. Drehpunkt und Wirklinie

5 Kräfte in Bemaßungsrichtung zerlegen

- Nicht Hebelarme berechnen,
- sondern Kräfte rechtwinklig zur Bemaßung zerlegen

- Hilfe: Koordinatensystem in Richtung der Bemaßung legen

- Man kann für jede Kraft ein eigenes Koordinatensystem wählen, z.B. Aufg.4: Hebebühne
- im tatsächlichen Angriffspunkt →

6. Kräftegleichgewichte $\Sigma F_x = 0$ und $\Sigma F_y = 0$

- beliebige Reihenfolge

$\Sigma F_x = 0$: In Kräftegleichgewichten gibt es keine Hebelarme. Das Vorzeichen ist positiv, wenn eine Kraft in Richtung der x-Achse des Koordinatensystems (siehe oranges Symbol) wirkt.
 $\Sigma F_y = 0$: Das Vorzeichen ist positiv, wenn eine Kraft in Richtung der y-Achse des Koordinatensystems (blau) wirkt.

7. ggf. zusätzliche Gleichungen

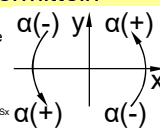
- Für jede Unbekannte eine Gldg.
- im Abi selten, z.B. HP1983/84-2 Hebestation

8. Gleichungssystem lösen

- per Hand oder CAS

9. Betrag und Richtung ermitteln

Achtung: arctan ergibt kein eindeutiges Ergebnis für α (Zählrichtung von α siehe rechts), deshalb muss man den Winkel mit einer Skizze deutlich machen.



Dazu skizziert man die Komponenten F_{Sx} ($\approx -100\text{N}$) und F_{Sy} ($\approx +400\text{N}$) in das gewählte Koordinatensystem und überlegt dann, wo der berechnete Winkel liegt.

10. Plausibilität prüfen

Kompliziertere Aufgaben:
tgme HP1983/84-2 Hebestation
tgme NP201112-5 Salzklappe

- Für alle Probleme der Statik ist Freimachen unverzichtbar. Zur Dokumentation genügt eine unmaßstäbliche Skizze.
- Details siehe Unterrichtseinheit "Freimachen"
- Ich lege Wert darauf, dass die gewählte Baugruppe benannt wird, a) damit ich weiß, welche BG eine Schülerin meint, und b) damit sie es auch weiß :-)
- Details siehe Unterrichtseinheit "Freimachen"
- Man muss die Richtungen nicht kennen, sondern nur annehmen und kennzeichnen. Wenn die Richtung "falsch" angenommen wurde, wird das Ergebnis der Rechnung negativ und stimmt wieder. Es ist auch nicht sinnvoll, die "falsche" Richtungen nachträglich zu korrigieren, weil man dabei die ganze Rechnung korrigieren müsste. Wer sicher gehen will, vermerkt am negativen Ergebnis: „Kraft wirkt entgegen der Annahme.“
- In zweiwertigen Lagern (=Festlager) trägt man für unbekannte Kräfte die Komponenten in x- und y-Richtung ein.

Typ 1: Wahl des Drehpunktes

Idee: Wenn man den Drehpunkt für die Gleichung $\Sigma M = 0$ im Schnittpunkt zweier unbekannter Kräfte wählt, haben diese Kräfte den Hebelarm 0 und fallen aus der Gleichung. Es bleibt also nur 1 Unbekannte → manuell leicht zu lösen!

Mit CAS ist dieser Schritt verzichtbar.

Sonstiges: Einen solchen Schnittpunkt gibt es immer, da Aufgaben mit 3 parallelen unbekannt Kräfte nicht lösbar sind. Bisher waren in den Abi-Aufgaben diese Schnittpunkte immer bemaßt. Wenn dies nicht Fall sein sollte (z.B. [Böge Aufg.] Aufg. 120; 129.), muss man die Maße zum Schnittpunkt ermitteln oder das Gleichungssystem individuell lösen. Nicht von Kraft mal Länge o.s.ä. reden, da dies leicht mit der Arbeit verwechselt wird, aber dort sind Kraft und Weg parallel.

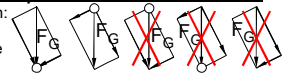
Typ 2: Komponenten statt Hebelarm

Idee: Zur Berechnung der Momente müssen Kraft und Hebelarme rechtwinklig zueinander stehen. Wenn dies durch die Bemaßung nicht gegeben ist, können die Hebelarme zwar berechnet werden, aber das funktioniert in jeder Aufgabe anders, ist deshalb fehleranfällig und nur in einfachen Fällen sinnvoll. Meist ist es einfacher, die Kräfte in Bemaßungsrichtung zu zerlegen und die Komponenten mit den gegebenen Längen zu multiplizieren – das Verfahren funktioniert immer gleich und kann eingebüht werden. Zwanglos funktioniert es, wenn man das Koordinatensystem in Bemaßungsrichtung legt.

Typ 3: Kraftkomponenten skizzieren

Es sind oft Kleinigkeiten:

Kräfte im Angriffspunkt zerlegen, damit man die Hebelarme, nicht verwechselt



Man könnte noch einmal $\Sigma M = 0$ mit einem anderem Drehpunkt ansetzen, aber $\Sigma F = 0$ ist weniger aufwändig.

Vorzeichenregel: Es bekommen die Kräfte ein negatives Vorzeichen, deren angenommenen Richtung entgegen den Koordinatenrichtungen x bzw. y wirken. Achtung: Diese Vorzeichen sind nicht die Vorzeichen des Momentengleichgewichts.

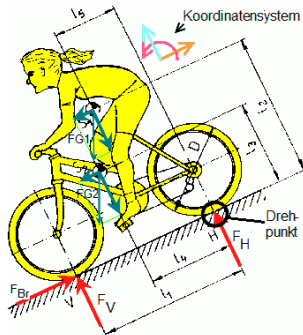
Plausibilität: Ist es plausibel, dass in F_C und F_S ca. 4x größer als F_H sind?

1 [Müller-Breslau I] S.211: „Denn wählt man den Schnittpunkt von irgend zweien der drei Spannkraften zum Drehpunkte und setzt die Summe der statischen Momente sämtlicher Kräfte gleich Null, so erhält man eine Gleichung, in der nur eine unbekannte Spannkraft vorkommt, weil die statischen Momente der durch den Drehpunkt gehenden Spannkraften gleich Null sind.“



Übungen

Beispiel: schiefe Ebene
z.B. HP 92/93-1 Mountainbike
Lageskizze Rad+Fahrerin



$$F_{G1x} = F_{G1} \cdot \sin \alpha = 560 \text{ N} \cdot \sin 15,6^\circ = 151,0 \text{ N}$$

$$F_{G1y} = F_{G1} \cdot \cos \alpha = 560 \text{ N} \cdot \cos 15,6^\circ = 539,3 \text{ N}$$

$$F_{G2x} = F_{G2} \cdot \sin \alpha = 140 \text{ N} \cdot \sin 15,6^\circ = 37,7 \text{ N}$$

$$F_{G2y} = F_{G2} \cdot \cos \alpha = 140 \text{ N} \cdot \cos 15,6^\circ = 134,8 \text{ N}$$

mit $\alpha = \arctan 28\% = 15,6^\circ$

(Dreh-)Moment = Kraft · Hebelarm (Kraft \perp Hebelarm)
Das Vorzeichen ist positiv, wenn ein Moment in der Richtung des Koordinatensystems (siehe rotes Symbol) wirkt.

$$\Sigma M_H = 0$$

$$= \pm F_{Br} \cdot 0 - F_V \cdot l_1 \pm F_H \cdot 0$$

$$+ F_{G1x} \cdot l_2 + F_{G1y} \cdot l_5 + F_{G2x} \cdot l_3 + F_{G2y} \cdot l_4 \rightarrow$$

$$F_V = \frac{F_{G1x} \cdot l_2 + F_{G1y} \cdot l_5 + F_{G2x} \cdot l_3 + F_{G2y} \cdot l_4}{l_1}$$

$$F_V = \frac{+151,0 \cdot 1000 + 539,3 \cdot 426 + 37,7 \cdot 640 + 134,8 \cdot 575}{1044} \frac{\text{N} \cdot \text{mm}}{\text{mm}}$$

$$F_V = 462 \text{ N}$$

In Kräftegleichgewichten gibt es keine Hebelarme.
Das Vorzeichen ist positiv, wenn eine Kraft in Richtung der x-Achse des Koordinatensystems (siehe oranges Symbol) wirkt.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$= +F_{Br} - F_{G1x} - F_{G2x} \rightarrow$$

$$F_{Br} = F_{G1x} + F_{G2x}$$

$$= 151,0 \text{ N} + 37,7 \text{ N} = 189 \text{ N}$$

Das Vorzeichen ist positiv, wenn eine Kraft in Richtung der y-Achse des Koordinatensystems (siehe blaues Symbol) wirkt.

$$\Sigma F_y = 0$$

$$= F_V - F_{G1y} - F_{G2y} + F_H \rightarrow$$

$$F_H = -F_V + F_{G1y} + F_{G2y}$$

$$= -462,0 \text{ N} + 539,3 \text{ N} + 134,8 \text{ N}$$

$$= 212 \text{ N}$$

Beispiel: mit Zusammensetzen

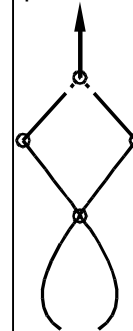
Beispiel: HP 83/84-2 Hebestation
Beispiel Kippaufgabe

FTM

72-82: Resultierende mit Abstand weglassen
83-97: Lagerkräfte (einstufig)
98ff Lagerkräfte (mehrstufig)

Warum Algorithmen? Die Stärke des Menschen ist es eigentlich, sich auf **neue** Probleme einzustellen, während wiederkehrende Spezialaufgaben wie Fliegen fangen besser von Fröschen beherrscht werden [Ganten 2003]. Das sollte auch Schule fördern, also Vielseitigkeit verlangen statt stumpfsinniger Tätigkeiten. Dem gegenüber steht, dass Ingenieure meist Standardprobleme mit Standardmethoden bearbeiten. Und Schüler können in einer 4,5-stündigen Abi-Prüfung nicht dauernd hochkonzentriert arbeiten und brauchen Lösungsmethoden, die eine reduzierte Hirnleistung vertragen: Also doch Algorithmen.

Sprezzange zum Heben von Steinquadern



Statik_TA_allgemein-rechnerisch-Auflager.odt
Klassenarbeit Statik II

Wiederholung

Wiederholung Statik → ME



Nicht explizit unterrichten

Notizen

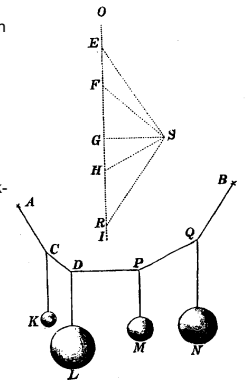
nicht unterrichten, zusätzliche Info

Carl Culmann (1821-1861)

Quellen: [Kurrer 2002]

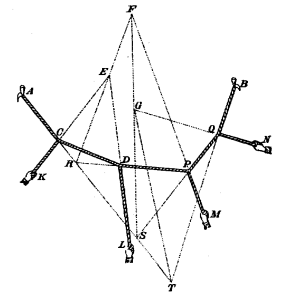
Pierre de Varignon (1654–1722).

P.Varignon führte in seinem 1725 posthum veröffentlichten Werk *Nouvelle Mécanique ou Statique* das Seil- und Kräftepolygon ein. Ein undeformbares, masseloses Seil bestimmter Länge wird an den Punkten A und B aufgehängt und durch die Gewichte K, L, M und N belastet (Bild 6-10). Die sich einstellende Gleichgewichtslage ACDPQB des Seiles wird als Seilpolygon bezeichnet; es wird durch das Kräftepolygon SEFGHRI festgelegt. Das Kräftepolygon ist eine Aneinanderreihung von Kräfte Dreiecken, mit denen nacheinander das Gleichgewicht in den Seilknoten C, D, P und Q erfüllt wird; beispielsweise erfüllt das Kräfte Dreieck SEF das Gleichgewicht im Seilknoten C. Varignon gibt auch die Konstruktion eines Seilpolygons mit beliebig gerichteten Kräften an. Bis auf Poncelet, der in seinen Vorträgen an der Artillerie- und Genieschule in Metz das Seilpolygon für Schwerpunktbestimmungen verwandte, blieb die Anwendung des Seilpolygons auf die Ermittlung von Gleichgewichtslagen von Zug- und Druckgliedern - etwa bei Hängebrücken und Wölbkonstruktionen – beschränkt.
aus [Kurrer 2002] S.223, [Varignon 1725] Band 1, S.190



Wie kommt man auf den Punkt S?

Zusammenhang mit Schlusslinien- bzw. Seileckverfahren ? Nachvollziehen !

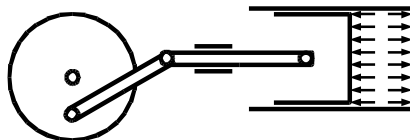


Seil- und Kräftepolygon nach Varignon (1725)

Konrad Zuse (1910-1995)

„Zuse verallgemeinert dieses noch an der Stabstatik orientierte Rechenschema zum Verfahren des Rechenplanes oder Programms. Sein Rechenplan bildete den Aufpunkt für die erste lauffähige programmgesteuerte Rechenmaschine der Welt, der 1941 realisierten Zuse Z3.... In der Computerstatik bleibt das Rechnen außen vor: Der Bauingenieur kann Symbolketten transformieren und manipulieren, ohne auf die Bedeutung der Symbole angewiesen zu sein. ... Man könnte sogar sagen, daß durch die graphische Statik Culmanns die Entwurfsarbeit des Bauingenieurs nicht nur rationalisiert sondern gleichzeitig ästhetisiert wurde, treten doch die Kräfte- und Konstruktionspläne in der doppelten Gestalt sowohl des sinnlichen Bewußtseins als auch des sinnlichen Bedürfnisses auf. Jene Entwicklung erreichte in den 1880er und 1890er Jahren ihren Höhepunkt; prominentes Beispiel hierfür ist der mit Methoden der graphischen Statik durch den Culmann-Schüler Koehlin analysierte Eiffelturm.“
[Kurrer 2002] S452f

Fragen
Verhältnisse bei stehendem Zylinder

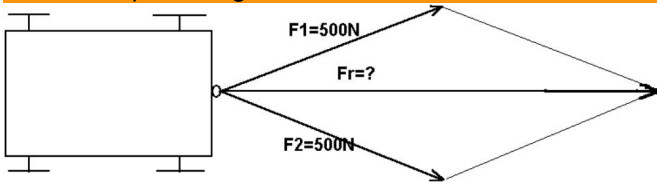


[Müller-Breslau III] S.19 berechnet das maximale Moment $m_{max}M$ (!) mit der Polweite H (in Tonnen!), die grafische Darstellung ähnelt der des Schlusslinien- bzw. Seileckverfahrens mit Pol - Nachvollziehen

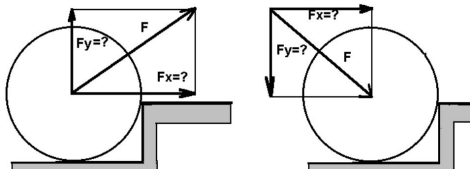


Grundoperationen der Statik

1. Kräfteparallelogramm



Die resultierende Kraft F_r zweier in einem Punkt angreifender Kräfte ist die Diagonale des aus beiden Kräften gebildeten Parallelogramms



2. Längsverschiebung



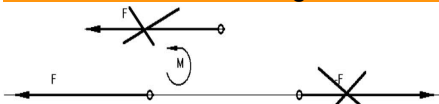
Kräfte können auf ihren Wirklinien frei verschoben werden.

3. Erweiterungssatz



Zwei gleich große, gegensinnige, auf gleicher Wirklinie liegende Kräfte können zu einem Kräftesystem hinzugefügt oder von ihm fortgenommen werden, ohne dass sich die Wirkung des Kräftesystems ändert.

4. Parallelverschiebung



Eine Kraft darf auf eine parallele Wirklinie verschoben werden, wenn ein Moment $M = \text{Kraft} \times \text{Verschiebearm}$ hinzugefügt wird (Versatzmoment).

(Kraft-)Moment einer Einzelkraft

ist das Produkt aus Kraft und Wirkabstand (rechtwinklig zur Kraft gemessen)

Definition

- (+) = linksdrehend
(-) = rechtsdrehend

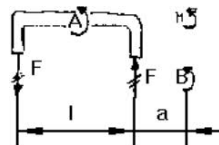
Kräftepaare

bestehen aus zwei gleich großen, parallelen, entgegengesetzt wirkenden Kräften. Sie drehen einen freibeweglichen Körper ohne ihn zu verschieben.

z.B. Fahrradlenker

A: M = F * l/2 + F * l/2 = F * l

B: M = F * (l + a) - F * a = F * l



Das Drehmoment eines Kräftepaars ist an jedem Ort der Ebene gleich und kann deshalb beliebig in der Ebene verschoben werden.

MVK, FTM, TG: nicht unterrichten, nur beiläufig einbringen

Oben wurden schon einige „Rechenregeln“ für Kräfte eingesetzt. Welche weiteren sind bekannt?

Wie der folgende Verschiebesatz vom Meister selbst als Axiom eingeführt (Sir Isaac Newton 1643-1727) [4].

Analytische Berechnung:

- 1 Zerlegen der Kräfte in x- und y-Komponenten F1x, F1y, F2x und F2y
2 addieren der Komponenten Fx=F1x+F2x, Fy analog

3 F = sqrt(F1x^2 + F1y^2 + F2x^2 + F2y^2); alpha = arctan(Fy/Fx)

Zählrichtung beachten

Vektorielle Berechnung ist einfacher, da die Komponenten Fx und Fy explizit vorliegen:

F = F1 + F2 = [F1x, F1y] + [F2x, F2y] = [F1x + F2x, F1y + F2y]

Kräfte müssen, wie alle Vektoren, unter Berücksichtigung ihres Betrages, ihrer Wirklinie und ihrer Richtung addiert werden. Anwendung und Übung siehe unten

Resultierende Kraft ist diejenige gedachte Ersatzkraft, die dieselbe Wirkung auf einen Körper ausübt wie die Einzelkräfte F1, F2 .. zusammen.

Zur Verdeutlichung der Kraftvektoren, ihrer Zerlegung und Zusammensetzung: Umgekehrt geht es auch, Anwendung später.

Auf der Ebene macht es ohne Reibung keinen Unterschied, ob man den Kinderwagen schiebt oder zieht. Am Randstein weiß jeder aus Erfahrung, dass Ziehen günstiger ist. Im Bild erkennt man, dass die aufwärts gerichtete Komponente F, dem Wagen über den Randstein hilft. Tatsächlich ist auch auf der Ebene das Ziehen günstiger, weil es den Wagen entlastet und die Reibung vermindert. Trotzdem schiebt man Kinderwagen wegen des Blickkontaktes zum Kind und weil man sich abstützen kann.

In [Böge Technologie] und im LPE sind der Verschiebe- und der Erweiterungssatz in der Reihenfolge vertauscht.

AM Metallstab, Gummiband schieben und ziehen

Erkenntnis: für starre Körper ist es belanglos, ob eine Kraft „vorne“ oder „hinten“ einfließt (z.B. Heck- oder Frontantrieb). Bei nicht starren Körpern ergeben sich Änderungen (z.B. Krafteingriff in Gewinden, Gummiband unter dem Einfluss von Druckkraft und Reibung). Andere Veränderungen wie Stabilität sind nicht Thema der Statik, siehe Definition.

Folgt aus den Axiomen Parallelogramm und Längsverschiebung.

Welches F, haben diese beiden betragsmäßig gleich großen Kräfte?

Fr= 0, deshalb kann es in jedes System eingesetzt werden.

„Auf gleicher Wirklinie“ folgt aus dem Längsverschiebungssatz.

Folgt aus den vorigen Axiomen und der Momentengleichung.

Vorgehensweise:

- 1 Kraft F oben eintragen
2 Kraft F und -F unten eintragen (Erweiterungssatz)
3 Moment einsetzen, ursprüngliche Kraft F und -F streichen.

Wird die Kraft auf ihrer Wirklinie ersetzt, entsteht kein Moment (Längsverschiebesatz).

Das Versatzmoment wirkt an jeder Stelle des Körpers siehe oben, Kräftepaar am Beispiel Fahrradlenker.

Ültg: Tisch seitlich schieben: welche Wirkung von Kräften muss man auch in der Statik berücksichtigen?

Betrag und Richtung eines Momentes hängt von der Kraft und dem Bezugspunkt ab. Einheit Newtonmeter [Nm], nicht zu verwechseln mit Joule J=Nm: beim Drehmoment stehen Kraft und Weg rechtwinklig, bei der Arbeit parallel zueinander.

Die Richtung der Drehachse steht senkrecht auf der von Kraft und Hebelarm aufgespannten Ebene. In unserem Fall ist sie die z-Achse und kommt aus der Ebene heraus. Es gilt die

Rechtehandregel: Daumen der rechten Hand in Richtung der Drehachse, und die Finger weisen in positiver Drehrichtung.

Ültg: Schüler sollen einen Gegenstand mit einer Kraft drehen.

Geht nicht, immer ist Reibung, Gravitation, Trägheit oä. im Spiel.

Einzelkräfte bewirken keine Drehung. Ohne Reibung, Lager o.ä. würden sie nur eine Verschiebung bewirken.

Wird durch je zwei kurze Striche gekennzeichnet (wie parallele Linien)

Die Differenz der Hebelarme ist an jedem Punkt gleich, deshalb ist das Drehmoment an jedem Punkt gleich. Da die Kräfte sich ansonsten aufheben, kann dieses Kräftepaar durch jedes andere mit gleichem Drehmoment ersetzt werden.

Ein Kräftepaar kann durch ein anderes ersetzt werden, wenn beide das gleiche Drehmoment haben, z.B. doppelter Betrag und halber Abstand; gleiche Kräfte in anderer Ausrichtung.