

## STEM Statics– Aufgaben Sekundarstufe

STEM Statics ermöglicht einen ersten Zugang zu wichtigen statischen Grundlagen für den Unterricht in der Sekundarstufe. Ziel ist es, das eigene Denken beim Problemlösen zu kontrollieren, reflektieren und zu bewerten und so neues Wissen aufzubauen. Es wird spielerisch und praxisnah konstruiert, erforscht und zum Reflektieren angeregt. Selbständig oder im Team bauen Schüler\*innen einfache Modelle.

### Lernziele

- Inhaltsbezogene Kompetenz: Das Anwenden physikalischer Denk- und Arbeitsweisen, Grundgesetze der Statik, die zweidimensionale Bestimmung von Zug- und Druckkräften, Kräfte im Gleichgewicht ruhender Körper, Hookesches Gesetz, Kraftkomponenten, schiefe Ebene, Gleichgewicht, Drehmoment, Hebelgesetz, Schwerpunkt, Gleichgewichtsarten, zweiseitiger Hebelarm,
- Prozessbezogene Kompetenz: Problemlösen/ kreativ sein.
- Mathematische Kompetenz: Logisches und strategisches Denken.
- Personale und soziale Kompetenz: gemeinsam im Team Lösungen finden.
- Sprachlich-kommunikative Kompetenz: Erarbeitung von Fachbegriffen.

### Zeitaufwand

In der Regel sollten einzelne Themen innerhalb einer Schulstunde behandelt werden können. Der Zeitbedarf für das Experimentieren, Bewerten und Diskutieren wird individuell ergänzend auf ca. 45 Minuten geschätzt.

### Bezug Curriculum

Land	Stufe/Fächer	Bezüge
BW	SEK1	7/8/9 PH-3.2.7 Mechanik: Dynamik (5)(9), S. 22 ff.; 7/8/9 T-3.2.3.3 Bautechnik (3) S.26; GYM 8/9/10 NWT-3.2.3.2 Statische Prinzipien in Natur und Technik (1)(2), S.21
BY	SEK1	SEK1 RS-KL.7 Physik 7 (I)-1 Mechanik, S.809; RS-KL.8/9 Physik 8 (I)-1 Mechanik und Energie, S.812; Physik 9 (II/III)-1 Mechanik und Energie, S.824
BE	SEK1	5/6 Nawi-3.1 Von den Sinnen zum Messen, S. 23; 5/6 Nawi-3.9 Technik, S. 32; 7-10 Nawi-3.1 Forschen, S. 28 7/8 Physik-3.2 Wechselwirkung und Kraft S. 32; 7-10 Nawi-3.6 Mensch – Bewegung – Gesundheit, S. 39 (Wechselwirkungs-Konzept)

BB	SEK1	5/6 Nawi-3.1 Von den Sinnen zum Messen, S. 23; 5/6 Nawi-3.9 Technik, S. 32; 7-10 Nawi-3.1 Forschen, S. 28 7/8 Physik-3.2 Wechselwirkung und Kraft S. 32; 7-10 Nawi-3.6 Mensch – Bewegung – Gesundheit, S. 39 (Wechselwirkungs-Konzept)
HB	SEK1	SEK1 OS 7/8 NW-Alles in Bewegung, S. 14; SEK1 GYM 7/8 Physik-Kräfte und Bewegung, S.50
HH	SEK1	OS 6 WAT-3.1 Prozessbezogene Kompetenzen, S. 10; OS 9/10 WAT-3.3 Prozessbezogene Kompetenzen, S. 15; SEK1 Stadtteil 8/9 PHYSIK-3.1.1 Bewegung und Kraft S. 22; Stadtteil 9/10 NWT-3.2.2 Physik/Bewegung und Kraft S. 51; SEK1 Stadtteil 7-10 AuB-Kompetenzbereich Analysefähigkeit, S. 21
HE	SEK1	GYMG8 8 PHYSIK-8G.1 Mechanik 1, S. 13; SEK1 GYMG8 8 PHYSIK-8G.3 Von Druck und Auftrieb, S. 15; RS 10 PHYSIK-10.1 Mechanik-2, S. 12
MV	SEK1	IGS 5/6 NaWi-Themenfeld 6 - Mensch und Bewegung, S.20; IGS/RegS 7/8 PHYSIK-5.1 Masse, Kraft, S.21
NI	SEK1	RS 5-8 T-3.3 HB1 TF:Planen, Konstruieren und Herstellen, S.16, S.34; IGS 7/8 NaWi-Themenfeld 6 - Mobilität , S.31; GYM 7/8 NaWi-Physik 2.3.2 Mechanik , S.28
NW	SEK1	GS 5/6 PHYSIK-2.5.2 (3) Kräfte und Körper, S. 100; SEK1 GS 7-10 PHYSIK-2.5.3 (8) Bewegungen und ihre Ursachen, S. 106; GYM 7-10 PHYSIK-2.3 (7) Inhaltsfeld 7: Bewegung, Kraft und Energie, S.36
RP	SEK1	SEK 7-9 LP NaWi Fächer TF 4: Dynamische Phänomene, S. 106
SL	SEK1	GS 8 NaWi-Bewegung in Natur und Technik II, S.19; SEK1 GS 9 Physik (9) -1 Mechanik, S.15; GYM 8 PHYSIK (8) -Wahlthema Bogen- und Brückenbau, S.72
SN	SEK1	SEK1 OS 6 TC-LB1 Konstruieren technischer Objekte, S.10; GYM 5/6 TC-LB2 Konstruieren technischer Objekte, S.6; OS RS/7 PHYSIK-LB1 Kraft und ihre Wirkungen, S.25; SEK1 OS RS/7 PHYSIK-WB3 Körper im Gleichgewicht, S.28; SEK1 GYM 7 PHYSIK-LB1 Kräfte, S.15
ST	SEK1	GYM 7/8 PHYSIK-5.2.3 Thema: Energie in Natur und Technik, S. 42
SH	SEK1	5-10 FA PHYSIK- Mechanik, S. 29
TH	SEK1	SEK1 GYM 5/6 MNT-2.4 Modul 4 Hebel in Alltag und Technik, S. 19; SEK1 GYM 5/6 MNT-2.6 Modul 6 Bionik, S. 22

Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

## Lösungsblatt Modell 1

### Tisch

#### Thematische Aufgabe

Der Tisch kippt, sobald die resultierende Kraft außerhalb der „Fußfläche“ liegt. Die resultierende Kraft ergibt sich aus der Gewichtskraft des Tisches und der Belastung. Je nach Verhältnis von Belastung „außerhalb“ der Fußfläche zum Gewicht des Tisches kippt der Tisch relativ leicht. Liegt die Resultierende der Belastung hingegen innerhalb der Fußfläche, kippt der Tisch nicht und steht stabil. Einzig die Verwindung der Beine führt zu einem „Versagen“ der Struktur.

#### Modell nach Bauanleitung gebaut:

Der Tisch kippt nicht, da die Resultierende aus der Belastung und der Gewichtskraft des Tisches innerhalb der Fußfläche liegt. Die Versteifungen führen zu einer sehr stabilen Struktur, der Tisch kann aus statischer Sicht als starrer Körper in Form eines Quaders betrachtet werden.

In der Praxis hat ein Tisch dieser Bauart den Nachteil, dass die Verstrebungen den Nutzern oft im Weg stünden.

#### Experimentieraufgabe

Versuche einen Tisch zu konstruieren, der eine Fußfläche hat, die der Tischfläche entspricht und trotzdem Beinfreiheit erlaubt. Das kannst Du auf mehrere Methoden erreichen: schmale Beine ganz außen. Ohne Verstrebungen ist hier das Risiko des Verbiegens, darum muss entweder durch die richtige Wahl des Materials und/ oder Querschnittes der Beine das Problem berücksichtigt werden. Oder eine Platte am Boden, die der Tischfläche entspricht, welche durch eine sehr stabile Konstruktion mit der Tischplatte verbunden ist. Das heißt, es muss eventuell durch einen sehr breiten Querschnitt eines Mittelfußes ein großes Biegemoment aufgenommen werden können.

Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

## Modell 2

### Turm

### Konstruktionsaufgabe

Konstruiere den Turm gemäß der Bauanleitung und lass' hierbei die grausilbernen Statikstreben zuerst einmal weg, sodass der Turm zunächst nur aus der Plattform und den Beinen besteht.



Welche Mängel weist ein Turm auf, der auf diese Weise gebaut ist?

---

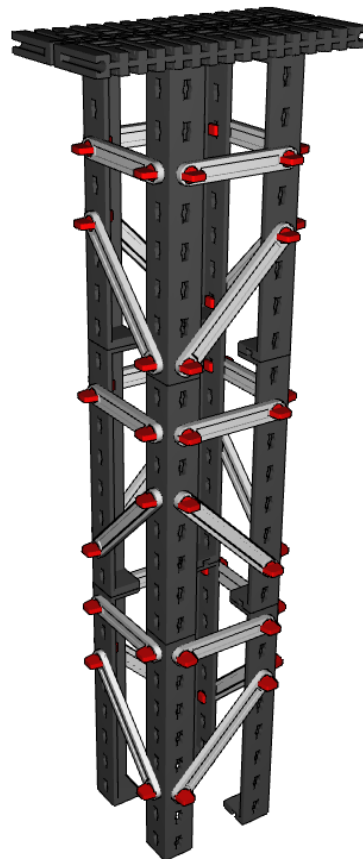
---

---

---

## Thematische Aufgabe

Ergänze nun den Turm gemäß der Bauanleitung mit den Verstrebungen:



Teste nun, welche der beobachteten Mängel mit Hilfe der Versteifung durch die Statikstreben behoben worden sind.

---

---

---

## Experimentieraufgabe

Bei den diagonalen Aussteifungen gibt es einen Spezialfall, der auf den ersten Blick nicht ersichtlich ist: Baue die diagonalen Streben auf zwei gegenüberliegenden Seiten so um, dass sie gleich ausgerichtet sind wie auf den anderen beiden Seiten:

Es entsteht eine Spirale aus Streben. Welche Eigenschaft verliert der Turm dadurch?

---

---

---

**Tipp:** Nimm' den Turm in beide Hände und teste, wie sich das Modell verformen lässt (aber bitte nicht so kräftig, dass das Material beschädigt wird) 😊

Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

## Lösungsblatt Modell 2

### Turm

#### Konstruktionsaufgabe

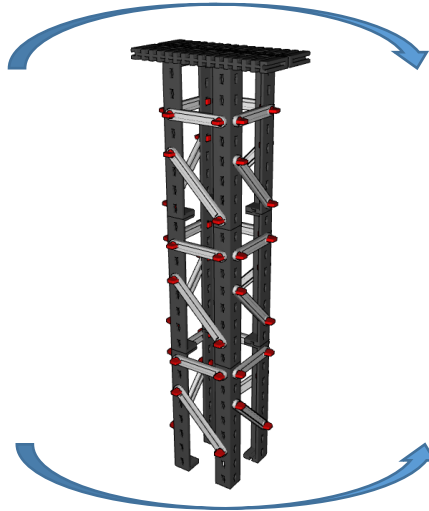
Bei der entsprechenden Belastung **verwinden** sich die Winkelträger des Turmes. Dies resultiert aus den im Verhältnis zur Länge sehr schmalen Profilen. Das **Biegemoment** in einem Bein ergibt sich aus dem horizontalen Anteil der Kraft, die auf den Turm wirkt. Das kann eine Wind- oder Verkehrslast sein, je nach Einsatzgebiet eines solchen Turmes. Du wirst auch bei Vertikaler Belastung feststellen, dass die Beine schon bei relativ niedrigem Druck wegnicken möchten.

#### Thematische Aufgabe

Die Statikstreben verhindern das Verwinden der Winkelträger des Turmes.

Durch die Versteifung mit Statikstreben können sowohl horizontale als auch vertikale Kräfte in allen vier ebenen Fachwerken aufgenommen werden. Der Turm wird in sich stabil und kann als ein Quaderförmiger Balken betrachtet werden. Die in einem solchen Balken entstehenden Kräfte sind an den äußersten Fasern die Kräfte am größten, die dem Biegemoment entgegenwirken. Genau da ist bei einem Fachwerkturm das Material. Wenn es aus Stahl ist, können in gleicher Weise Zug- und Druckkräfte aufgenommen werden.

## Experimentieraufgabe



Während das Tragwerk immer noch vertikale und horizontale Kräfte aufnehmen kann, ist durch die spiralförmige Anordnung eine Torsion möglich, wenn Du den Turm unten festhältst und obere Platte um ihren Mittelpunkt verdrehst, wirst Du sehen, dass die Struktur des Turmes dieser Belastung nachgibt. Für einen echten Turm würde das in der Regel keine Gefahr darstellen, da eine Beanspruchung dieser Form auf einen Turm eher nicht auftritt.

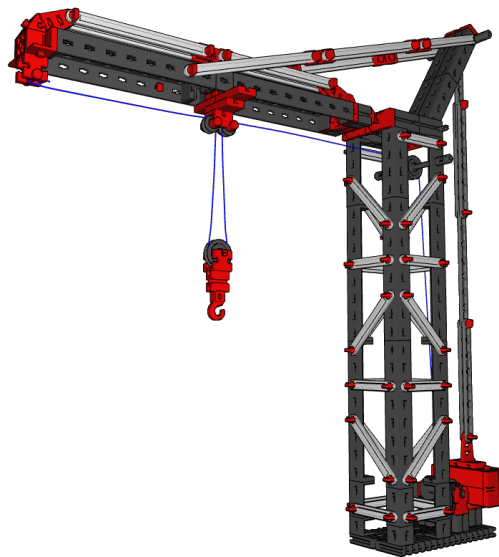


Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

## Modell 3

### Kran



### Konstruktionsaufgabe

Konstruiere den Kran gemäß der Bauanleitung.

### Thematische Aufgabe

Die Aufgabe eines Kranes ist es, schwere Lasten zu bewegen. Meist begegnen sie uns auf Baustellen, wo Lasten in Bereiche der Baustelle gehoben werden, die anders nur schwer oder gar nicht dorthin bewegt werden könnten. Je nach Größe und Gewicht der Lasten muss der Kran im Vorfeld ausreichend dimensioniert werden.

Der häufigste Krantyp auf Baustellen ist der Turmdrehkran. Dieser ist schnell aufgebaut, kostengünstig und auch einfach und schnell wieder abzubauen, wenn er nicht mehr benötigt wird.

Jedoch hat er einen Nachteil:

Er kann nicht in jedem Bereich seiner Nutzfläche die gleichen Maximallasten heben. Aufgrund des langen Auslegers entstehen im Betrieb zwei relevante Momente, die für die Dimensionierung und nachher für den Betrieb zu beachten sind: das Biegemoment im Ausleger und Turm und das Kippmoment, welches den Kran im Gesamten aus dem Gleichgewicht bringen könnte. Unser Fischertechnik-Kran wiegt mit Gegengewicht 558 Gramm. Das Gegengewicht wiegt 152 gr.

1. Wenn die Laufkatze ganz außen am Ausleger ist, soll der Kran 50 Gramm heben können: wie schwer muss das Gegengewicht sein, damit der Kran ohne Einfluss weiter Kräfte nicht kippt?

---



---



---



---

### Experimentieraufgabe

1. Trage in die Tabelle die Maximalkräfte, bei denen der Kran kippt und berechne das größtmögliche Hubgewicht an der jeweiligen Stelle:

Abstand $s_n$	Kraft aus Last $F_L$	Gewicht ( $F_L/g$ )
16 cm		
22 cm		
28 cm		

2. Warum muss das Gegengewicht bei einem „echten Kran“ deutlich höher sein als das Grenzwert, bei dem der Kran ins Kippen kommt?

---



---



---

3. Wie könntest Du Dein Modell theoretisch umbauen, damit es bei  $s = 25 \text{ cm}$   $300 \text{ gr}$  heben kann?

**Tipp:** Verwende für die Versuche die Federwaage, um die Kräfte abzulesen

Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

## Lösungsblatt Modell 3

### Kran

#### Thematische Aufgabe

1. Der Kran kippt ziemlich genau bei der äußeren Maximalstellung der Laufkatze ( $s = 28 \text{ cm}$ ) das Gegengewicht müsste also nur minimal erhöht werden. Sobald die Laufkatze außen zu stark gebremst wird, könnte der Kran aber immer noch kippen.

#### Experimentieraufgaben

1.

Abstand $s_n$	Kraft aus Last $F_L$	Gewicht ( $F_L/g$ )
16 cm	1,25 N	125 gr
22 cm	0,75 N	75 gr
28 cm	0,5 N	50 gr

2. In der Realität gibt es weitere Faktoren, die auf den Kran einwirken können, als die Kraft, welche sich aus der statischen Last ergibt. Wenn z.B. die Laufkatze auf dem Weg nach vorne gebremst wird, entsteht zusätzlich zur vertikalen Last eine horizontale, welche ein Moment erzeugt, welches in die gleiche Richtung wirkt wie das Kippmoment, welches aus der Last resultiert.

Zudem können Wind und Schneelasten zusätzliche Kräfte auf den Kran ausüben, und das Kippen begünstigen. Darum werden bei allen Berechnungen immer Sicherheitswerte angesetzt, die auch bei starken Winden, Schnee und schnell gebremster Laufkatze bei Maximallast den Kran sicher stehen lassen.

3. Es gibt mehrere Wege:

- Man könnte das Gegengewicht erhöhen. Mit einem Gesamtgewicht von 558 gr und dem Wissen, dass der Kran mit 50 gr Last bei  $s = 28$  cm kippt, ergibt sich aus der Momentensumme um den Kippunkt ein Abstand der Schwerachse vom Kran von ca. 2,5 cm.

Last soll = 300 gr

$S_{\text{soll}} = 25$  cm

$$F_{\text{plus}} * 9 \text{ cm} + M_{\text{Kran}} = M_{\text{Last}} \rightarrow F_{\text{plus}} = (M_{\text{Last}} - M_{\text{Kran}}) * 9 \text{ cm}$$

$$F_{\text{plus}} = 6,78 \text{ N}$$

Wenn man vereinfacht als Ortsfaktor  $10 \text{ m/s}^2$  ansetzt müssten noch 678 gr auf das bestehende Gegengewicht draufgepackt werden. Es ist jedoch fraglich, ob der Kran in sich eine solche Belastung aushalten würde.

- Man könnte stattdessen Kippunkt des Kranes unten mit Hilfe von Auslegern Richtung Last verlegen. Die Schwerachse des Krans liegt ca. 2,5 cm hinter dem Kippunkt und liefert so einen Hebel, der 1/10 der geforderten 25 cm entspricht. Wir stellen wieder die Momentensumme um den Kippunkt auf:

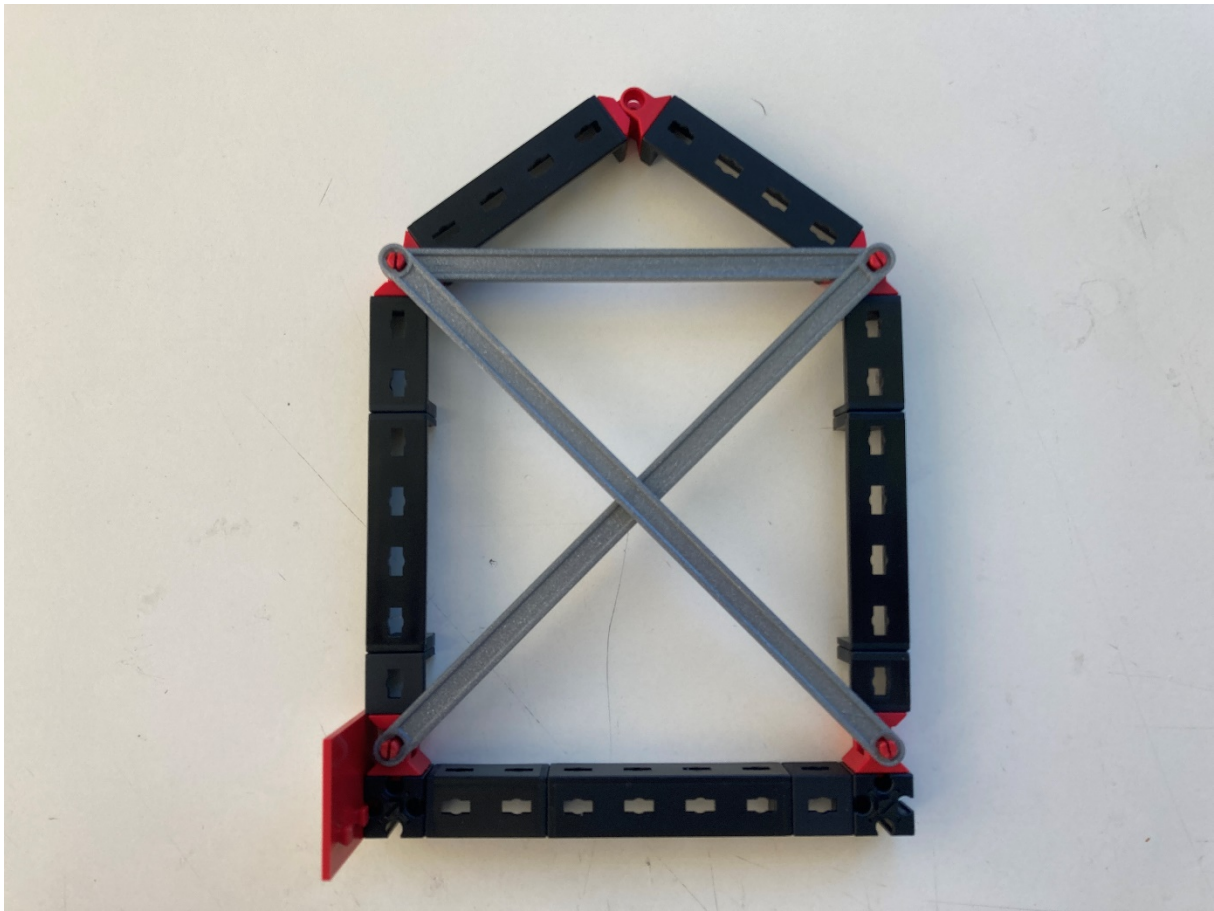
$$M_{\text{Kran}} = F_{\text{soll}} * 25 \text{ cm} \rightarrow G_{\text{Kran}} * (2,5 + x) = F_{\text{soll}} * (25 \text{ cm} - x)$$

$$x = (25 \text{ cm} * F_{\text{soll}} - 2,5 \text{ cm} * G_{\text{Kran}}) / (G_{\text{Kran}} + F_{\text{soll}}) \sim 7,12 \text{ cm}$$



Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

## Modell 4 Fachwerk



### Konstruktionsaufgabe

Konstruiere zunächst das einfache Fachwerkmodell.

## Thematische Aufgaben

Ein Fachwerk ist genau dann statisch bestimmt, wenn sich alle in ihm auftretenden Stabkräfte berechnen lassen. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn es sich um ein einfaches Fachwerk handelt.

1. Ermittle die statische Bestimmtheit durch Ausprobieren.

Tipp: ist die Baugruppe in sich beweglich, ist sie statisch unterbestimmt, kann ich eines oder mehrere Elemente weglassen und sie bleibt starr, ist die überbestimmt.

Ergebnis:

2. Baue die Baugruppe nun so um, dass sie statisch bestimmt ist. Und skizziere hier Dein Ergebnis:



3. Belege nun mit der Knotenformel, dass Deine Variante tatsächlich statisch bestimmt ist.

---

---

---

### Experimentieraufgabe

Baue mit den vorhandenen Teilen 3 weitere Baugruppen, die jeweils statisch bestimmt sind und begründe dies mit der Knotenformel.

---

---

---

---

Anlagen  
Fachwerk

Erforderliches Material

Weiterführende Informationen

Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

## Lösungsblatt Modell 4

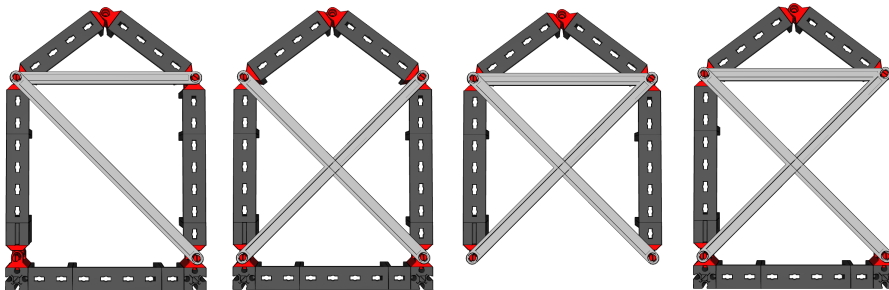
### Fachwerk

#### Thematische Aufgaben

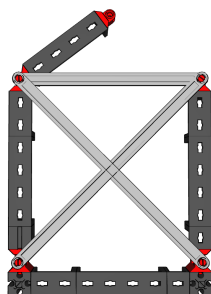
##### Innere statische Bestimmtheit

Ergebnis des Ausprobierens: Man kann jeweils eine einzelne Strebe weglassen und das Modell bleibt trotzdem formstabil. Das gilt für jeden „Stab“ aus dem Rechteck, sowie die Diagonalen. Sobald einer dieser Stäbe entfernt wird, ist das Modell statisch bestimmt. Erst, wenn ein weiterer Stab entfernt wird, werden Teile des Fachwerkhauses beweglich. Das heißt, das Modell ist in seiner Ursprungsform einfach statisch überbestimmt.

1./2. Beispiele von Varianten, die statisch bestimmt sind:



Hier kommt ein Beispiel, bei dem dies nicht zutrifft:



Der oberste Stab ist beweglich und das Rechteck ist statisch überbestimmt.

3. Für die Ermittlung der statischen Bestimmtheit in ebenen Fachwerken gilt:

$n$  = Anzahl der Stäbe

$k$  = Anzahl der Knoten

$n = 2k - 3$  = statisch bestimmt

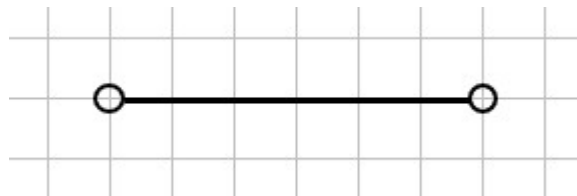
$n < 2k - 3$  = beweglich (unterbestimmt)

$n > 2k - 3$  = statisch überbestimmt

In unserem Beispiel gilt darum  $7 = 2 * 5 - 3$  stimmt - das Haus ist statisch bestimmt. Das Ursprungsmodell hatte  $n = 8$  Stäbe und ebenfalls 5 Knoten.  $8 > 7$

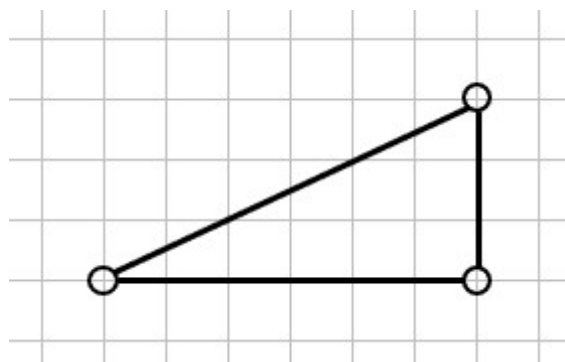
### Experimentieraufgaben

Es gibt einen einfachen „Trick“ einfache innerlich statisch bestimmte Fachwerke zu erstellen: Nimm' zuerst einen einfachen Stab, der rechts und links gelenkig gelagert ist.



Dieser ist statisch bestimmt:  $1 = 2 * 2 - 3$  stimmt

Wenn Du jetzt mit zwei weiteren Stäben den Balken zu einem Dreieck erweiterst, gilt die Formel ebenso:  $3 = 2 * 3 - 3$  stimmt auch



So kannst Du mit jedem Schritt dein Fachwerk um zwei Stangen (= 1 Dreieck) erweitern und jedes Mal wird die Formel stimmen. Dabei spielt es keine Rolle, wie lang die Stäbe im Fachwerk sind. Für eine erste Abschätzung von einem



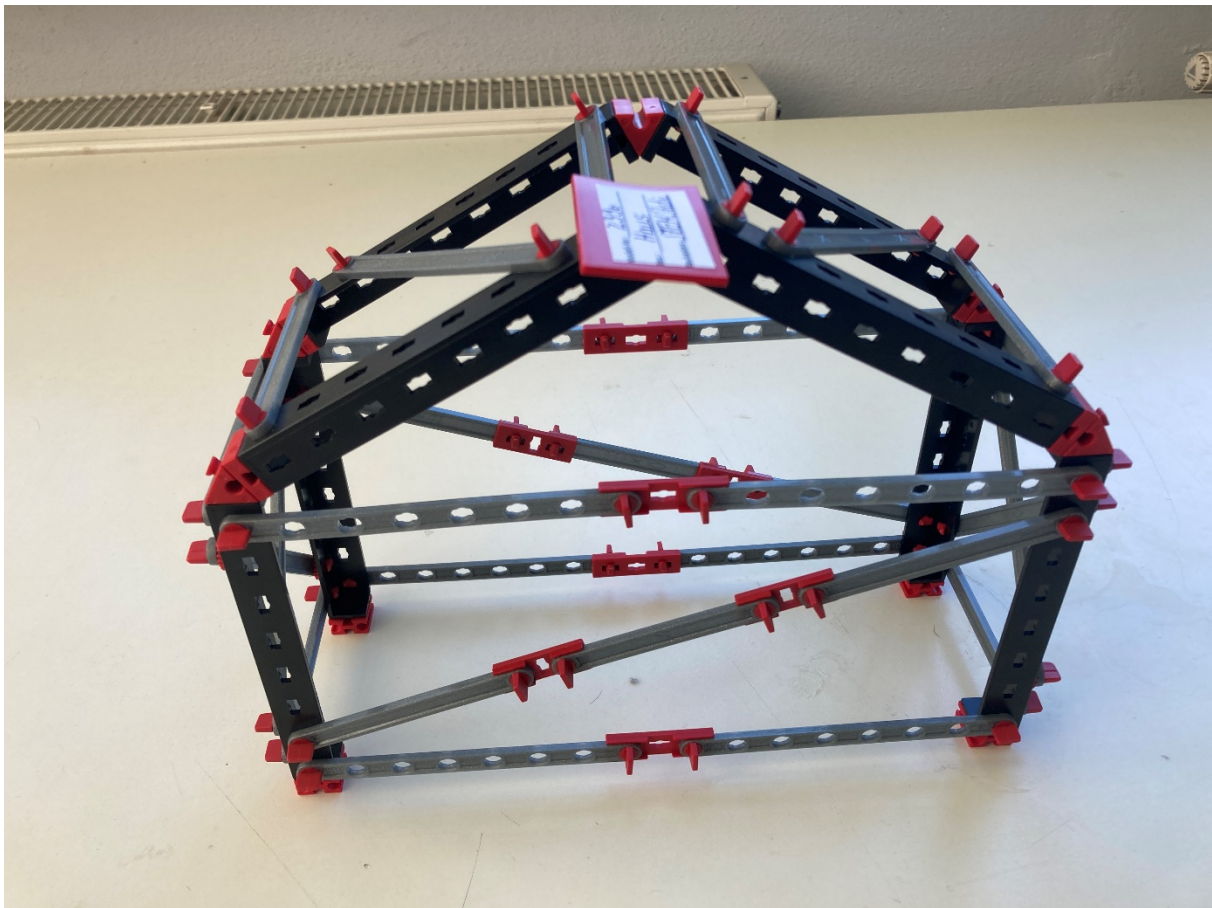
Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

## Modell 5

### Fachwerkhaus

### Konstruktionsaufgabe

Konstruiere das Fachwerkhaus gemäß der Bauanleitung.



### Thematische Aufgabe

In der Praxis tauchen Fachwerke in der Regel nicht zweidimensional, sondern in Form von räumlichen Körpern auf. Schön zu erkennen beim Hallenbau, wo sich auch

heute noch Fachwerke in ihrer reinen Form betrachten lassen. Dieses Modell zeigt beispielhaft, wie z.B. das Tragwerk einer Lagerhalle konstruiert sein kann.

Bestimme mit der Dreiecksmethode vorab, ob dieses Modell statisch bestimmt ist. Betrachte hierzu die Seitenflächen einzeln als ebene Fachwerke.

Abschätzung nach Dreiecksmethode

1. Vorder-/ Hinterseite:

---

---

---

2. Dachfläche rechts/links:

---

---

---

---

3. Seite rechts/links:

---

---

---

---

## Experimentieraufgaben

1. Entferne nun die Dachkonstruktion und übe mit der Hand leichte Druckkräfte auf das Modell aus und beschreibe, was Dein Eindruck bezüglich der Stabilität ist.

---

---

---

---

---

---

2. Entferne an den Seitenteilen jeweils eine Strebe aus der Auskreuzung und drücke diagonal auf die Ecken der Rahmen der Seitenteile.

Was beobachtest Du zum vorigen Versuch bei den Seitenflächen?

---

---

---

---

---

---



Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

## Lösungsblatt Modell 5

### Fachwerkhaus

#### Thematische Aufgabe

1. Bei der Vorder- und Rückseite sind die Knoten zum Teil nicht als *Gelenke* ausgeführt. Aufgrund der Dreiecke wäre das ebene Fachwerk statisch bestimmt - durch die „starrten Ecken“ sind die Vorder- und Rückseite statisch unbestimmt (überbestimmt).
2. Das Gleiche gilt bei den Dachflächen: wären alle Knoten als *Gelenke* ausgeführt, wäre es statisch bestimmt. Die unteren Ecken sind jedoch jeweils 3-wertig gelagert (Einspannung) und somit statisch überbestimmt.
3. Bei den Seitenflächen ist durch die Auskreuzung eigentlich eine *Strebe* zu viel - also statisch unbestimmt.

#### Experimentieraufgaben

1. Die Rahmen geben in genau der Diagonalen nach, in der eine *Strebe* ist.
2. Bei allen Flächen sind die Diagonalen *Streben* aber so schlank dimensioniert, dass sie in der Praxis nur als „Zugelemente“ funktionieren und nicht wie in einem „idealen Fachwerk“ gleicherweise auf Zug und Druck belastet werden können.

Wenn sie auf Druck belastet werden, knicken sie aus und übertragen so gut wie keine Druckkräfte. In der Praxis sieht man auch oft Auskreuzungen, welche mit Stahlseilen ausgeführt sind.

Achte in der realen Welt darauf, wo Euch überall Fachwerke begegnen und überlegt, ob diese statisch bestimmt sind oder nicht.

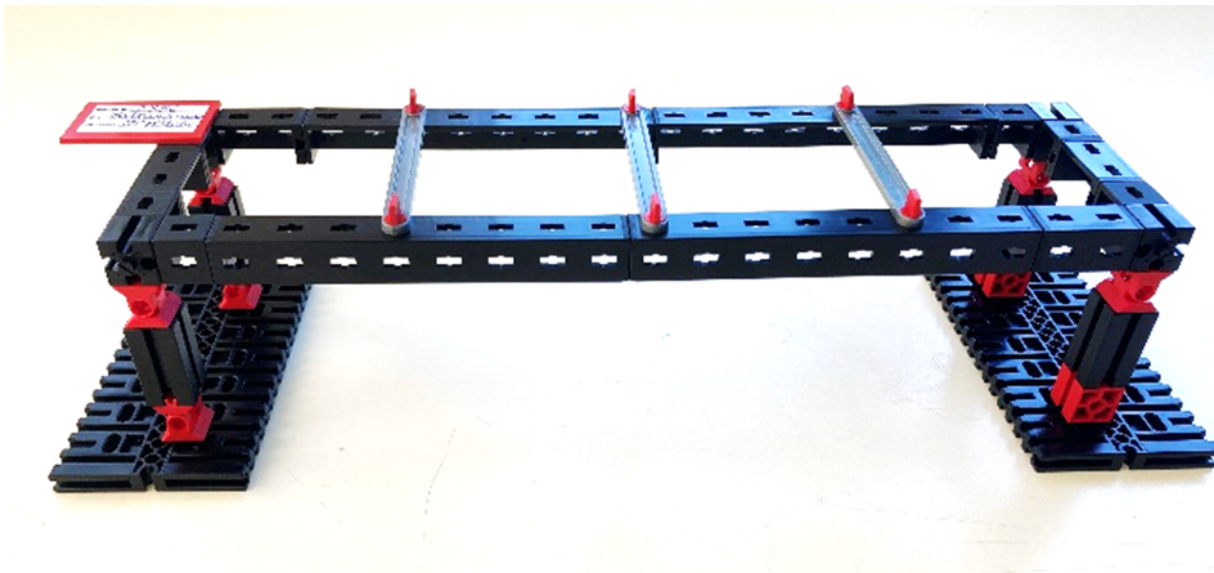
Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

## Modell 6

### Brücke

### Konstruktionsaufgabe

Konstruiere zunächst die Balkenbrücke gemäß der Bauanleitung.



### Thematische Aufgabe

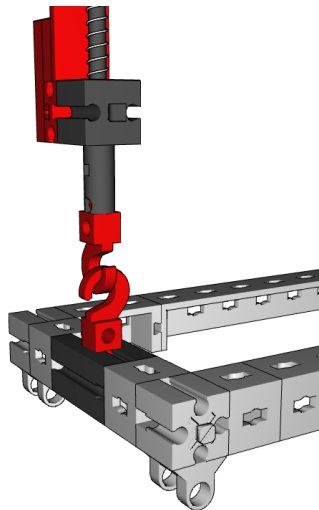
#### Äußerliche statische Bestimmtheit

Ermittle, ob die Brücke äußerlich statisch bestimmt gelagert ist. Tipp: betrachte hierzu das 2-dimensionale schematische Modell der Brücke. Skizziere und trage die relevanten Kräfte in Deine Skizze.

Skizze statisches System Balkenbrücke:

## Experimentieraufgabe

1. Ersetze für das folgende Experiment das einwertige Lager (Loslager/ Gleitlager) durch die Federwaage



und belaste die Brücke an verschiedenen Stellen mit einer Last.

Trage die gemessenen Werte der Federwaage in Abhängigkeit des Abstandes  $s_n$  in die folgende Tabelle ein. Führe diesen Versuch mit 3 verschiedenen Gewichten durch. Beachte, dass die Federwaage nicht nur die Kraft anzeigt, welche aus der Gewichtskraft der Last ( $F_L$ ) resultiert, sondern auch die Hälfte des Eigengewichtes der Brücke ( $130 \text{ gr} / 2 = 65 \text{ gr}$ )

Abstand $s_n$	Lagerkraft $F_n$	Gewichtskraft $F_L$
$s_1 = 75 \text{ mm}$		1 N
$s_2 = 150 \text{ mm}$		1 N
$s_3 = 300 \text{ mm}$		1 N
$s_1 = 75 \text{ mm}$		2 N
$s_2 = 150 \text{ mm}$		2 N
$s_3 = 300 \text{ mm}$		2 N
$s_1 = 75 \text{ mm}$		3 N

$s_2 = 150 \text{ mm}$		3 N
$s_3 = 300 \text{ mm}$		3 N

**Tipp:** Um die Gewichtskraft der jeweiligen Lasten zu ermitteln, kannst Du sie mit der Federwaage wiegen und diese direkt in die Tabelle eintragen, ohne das genaue Gewicht bestimmen zu müssen.

2. Baue nun nacheinander den Fachwerkober- und -unterzug gemäß der Bauanleitung an die Balkenbrücke.

Bestimme, ob der obere Längsträger des Oberzuges auf Zug oder Druck beansprucht wird. Wie sieht es dann beim Unterzug aus?

---



---



---



---

3. Was ist entscheidend, ob eine Brücke als Ober- Unterzugbrücke konstruiert ist?

---



---



---



---

Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

## Lösungsblatt Modell 6

### Balkenrücke

#### Thematische Aufgabe

Ganz einfach betrachtet sieht die Brücke zweidimensional so aus:



Auf der linken Seite ist eine Pendelstütze, welche für den Brückenkörper ein 1-wertiges Lager darstellt. Dieses Lager kann nur Druck- oder Zugkräfte aufnehmen, senkrecht zum Lager. So ein Lager nennt man auch ein Gleit- oder Loslager, da es sich in horizontaler Richtung frei bewegen kann.

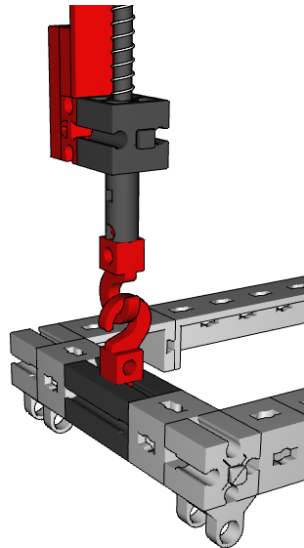
Rechts befinden sich ein Festlager, also eine Auflagerung, die sowohl horizontale als auch vertikale Kräfte aufnehmen kann.

Beide Lager sind mit einem Gelenk versehen, was bedeutet, dass keine Drehung auf die Brücke übertragen werden kann.

Von **äußerer statischer Bestimmtheit** spricht man, wenn ein Bauteil so gelagert ist, dass alle möglichen Bewegungen abgefangen werden. In der zweidimensionalen Fläche ist das die Bewegung in horizontaler und vertikaler Richtung sowie die Drehung. Sind nicht alle Bewegungsrichtungen durch die Lagerkräfte ausgeglichen, kann sich das Bauteil bewegen, man sagt, es ist statisch unterbestimmt. Ist ein Bauteil statisch bestimmt gelagert und man fügt ein weiteres Lager hinzu, spricht man von statischer Überbestimmtheit: Es können dadurch interne Spannungen entstehen, obwohl noch keine weiteren Lasten auf das Bauteil einwirken. Darum versucht man dies - so weit wie möglich - zu verhindern.

## Experimentieraufgabe

### Montagebeispiel für die Federwaage



In unserem Beispiel wirken nur vertikale Kräfte auf die Brücke:

Abstand $s_n$	Lagerkraft $F_n^*$	Gewichtskraft $F_L$
$s_1 = 75 \text{ mm}$	0,75 N	3 N
$s_2 = 150 \text{ mm}$	1,5 N	3 N
$s_3 = 300 \text{ mm}$	3 N	3 N
$s_1 = 75 \text{ mm}$	1 N	4 N
$s_2 = 150 \text{ mm}$	2 N	4 N
$s_3 = 300 \text{ mm}$	4 N	4 N
$s_1 = 75 \text{ mm}$	1,25 N	5 N
$s_2 = 150 \text{ mm}$	2,5 N	5 N
$s_3 = 300 \text{ mm}$	5 N	5 N

\*  $F_n$  nachdem die halbe Gewichtskraft der Brücke abgezogen wurde ( $130 \text{ gr} / 2 = 65 \text{ gr} \sim 0,65 \text{ N}$ )

Man kann diese auch rechnerisch ermitteln, indem man z.B. das Momentengleichgewicht um das rechte betrachtet. Die Brücke bewegt sich nicht, das heißt, dass die Summe aller Momente um dieses Lager muss „0“ sein.

Bitte beachte, dass wir für diese Werte das halbe Gewicht der Brücke vom Messwert abgezogen werden muss. In der Realität ist die Gewichtskraft einer Brücke sehr viel größer im Verhältnis zu den Verkehrs- oder Windlasten, welche auf das Bauwerk wirken.

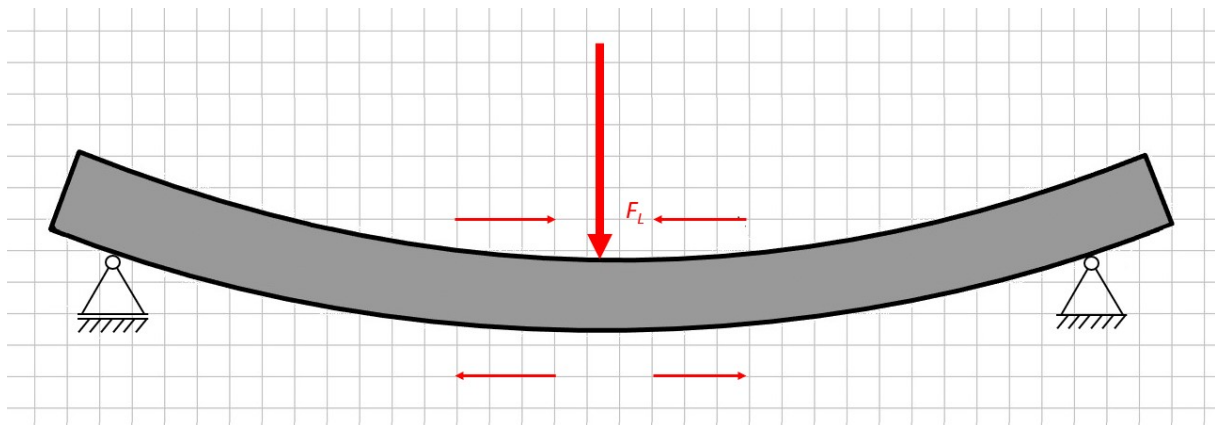
### Innere Statische Bestimmtheit

Aber auch innerhalb eines Bauwerkes kann die Bestimmung von statischer Bestimmtheit interessant sein, speziell bei Fachwerken. Hier sollten aufgrund der Konstruktion keine oder nur minimale Spannungen auftreten, also wäre auch hier eine statische Bestimmtheit wünschenswert. Also genau so viele Balken und Riegel, dass die auftretenden Kräfte aufgenommen werden und mindestens so viele, dass das System nicht „beweglich“ ist.

### Oberzug oder Unterzug?

Um die Stabilität der Brücke zu erhöhen, kann man sich mit einem Fachwerkoberzug oder-unterzug ergänzen. Diese Ergänzung verringert die Durchbiegung enorm. Je weiter der Ober- bzw. Unterzug von der Fahrbahn entfernt ist, desto größer die Wirkung.

Im Unterzug wirken im Träger Zugkräfte, beim Oberzug sind es Druckkräfte, welche der Durchbiegung entgegenwirken.



- Ob bei einem Bauwerk ein Ober- oder ein Unterzug zum Einsatz kommt, wird nicht vom Statiker, sondern vom Architekten entschieden: welchen Zweck soll die Brücke erfüllen? Bei einer Brücke über einen Fluss ist die

Durchfahrtshöhe ein wichtiges Kriterium. Eventuell ist bei der Talüberquerung einer Eisenbahnbrücke das lichte Maß unter der Brücke nicht so relevant, dafür ist die Aussicht für die Bahnreisenden für das Design der Brücke ausschlaggebend.



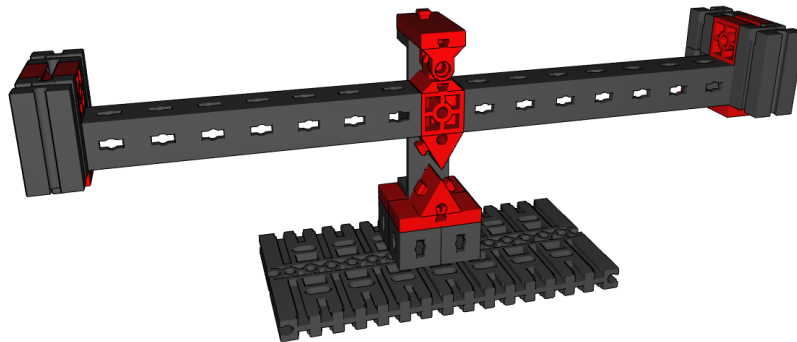
Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

## Modell 7

### Zweiseitiger Hebel

### Konstruktionsaufgabe

Konstruiere zweiseitigen Hebel gemäß der Bauanleitung.



### Thematische Aufgabe

Versieh den zweiseitigen Hebel auf beiden Seiten mit Gewichten gleicher Größe. Positioniere die Gewichte auf beiden Seiten an der jeweils äußersten Stelle und beobachte. Der Hebel sollte nun im Gleichgewicht sein, also exakt horizontal stehen.

1. Verschiebe ein Gewicht in Richtung Drehachse. Was kannst Du feststellen?

---

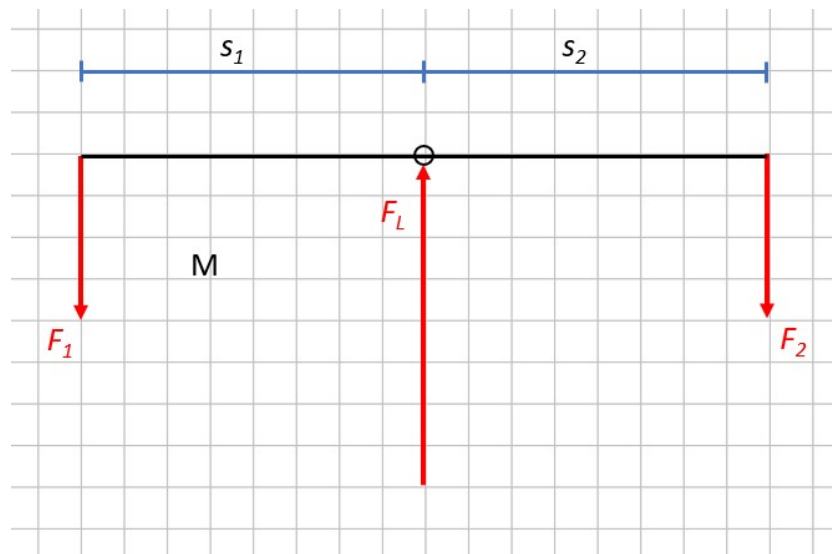
---

---

---

---

2. Gelingt es Dir, den Hebel ins Gleichgewicht zu bekommen, wenn Du auf einer Seite das Gewicht verdoppelst?
  
3. Stelle eine Vermutung auf, wie sich der Abstand  $s$  der Schwerachse des Gewichts zur Drehachse verhält.



4. Berechne die Momente um die Drehachse, welche aus den einzelnen Gewichten entstehen und bilde die Summe. Wann ist der Hebel mathematisch im Gleichgewicht? Was würde das für die Hebellänge bedeuten, wenn das Gewicht auf einer Seite verdoppelt würde?

---



---



---



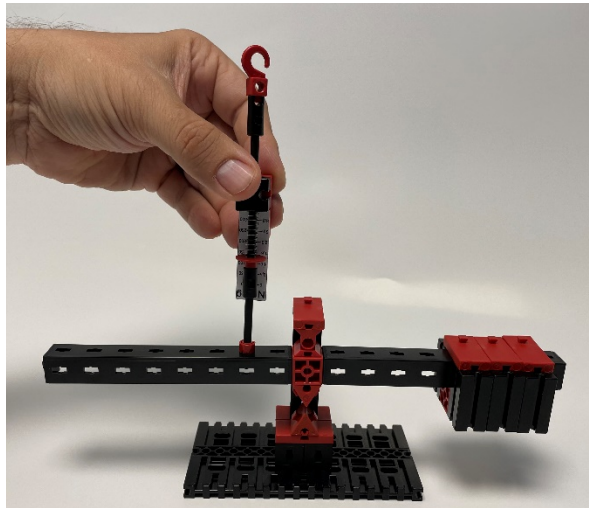
---



---

## Experimentieraufgabe

Halte die Federwaage so an das Modell, dass sie eine vertikale Druckkraft auf den linken Teil des Hebelarmes ausübt. Halte sie so hoch, dass der Hebelarm in exakt in der Gleichgewichtsstellung ist.



Ermittle so das Gewicht der Gegengewichte.

1. Was kannst Du zum Versuchsaufbau sagen?

---

---

---

2. Welche Vorteile hat es, die Waage dicht an der Drehachse zu positionieren?  
Wo liegen die Nachteile?

---

---

---

3. Was spricht für eine Messung weit von der Drehachse entfernt und was dagegen?

---

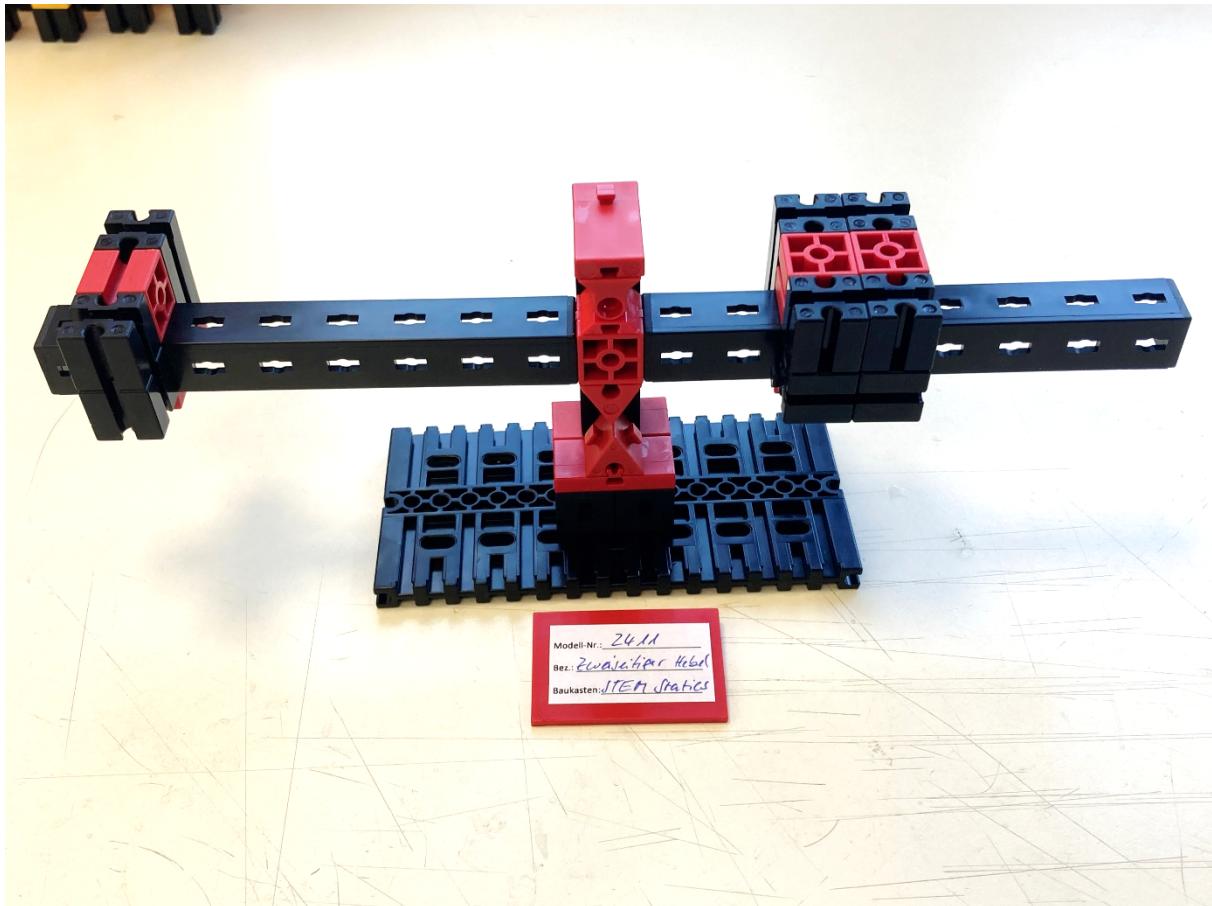
---

---

**Tipp:** Der Hebel muss auf beiden Seiten bei den Experimenten immer exakt gleich beschaffen sein, damit sich das Eigengewicht der beiden Seiten exakt aufhebt. Wenn Du z.B. den Hebel nur auf einer Seite verlängerst, zählt das zugehörige Eigengewicht der Verlängerung zu dem eigentlichen Versuchsgewicht dazu. Auch die Wirkungslinie der Gewichtskraft entfernt sich aus der Drehachse, das resultierende Moment aus dieser Hebelhälfte wird größer.

Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

## Lösungsblatt Modell 7 - Zweiseitiger Hebel



### Thematische Aufgabe

#### 1. Hebel im Gleichgewicht

Durch Verschieben eines Gewichtes in Richtung des Drehpunktes hebt sich der Hebel auf dieser Seite.

2. Wenn das Gewicht verdoppelt wird, befindet sich der Hebel im Gleichgewicht, sobald der Hebel (Abstand  $S$ ) auf dieser Seite genau die Hälfte des Abstandes auf der anderen Seite befindet.

3. Der Abstand des Gewichtes muss umgekehrt proportional zum Gewicht sein: doppeltes Gewicht - halber Hebelarm, dreifaches Gewicht - 1/3 Hebelarm  
Grund dafür ist das aus den Gewichten resultierende Moment. Das Moment entsteht aus dem Produkt des Hebelarmes zum Drehpunkt und des Betrages der Kraft.

4.

$$M1 = F1 \cdot s1$$

$$M2 = F2 \cdot s2$$

Ist der Betrag von  $F1$  und  $F2$  gleich groß, müssen auch die Abstände  $s1$  und  $s2$  zur Drehachse gleich groß sein. Wenn wir die Drehung gegen den Uhrzeigersinn als positiv ansehen, ist das resultierende Moment  $M1$  aus  $F1$  in unserem System auch positiv, die Kraft  $F2$  wirkt entgegen der positiven Drehrichtung und ist darum negativ anzusetzen. Die Summe der beiden Momente ist 0, der Hebel ist im Gleichgewicht.

$$0 = M1 + M2 = F1 \cdot s1 - F2 \cdot s2$$

## Experimentieraufgaben

1. Die Federwaage übernimmt die Funktion des Gegengewichtes: da das Gewicht links entfernt wurde, ist der Hebelarm nicht mehr im Gleichgewicht. Das gleicht die Federwaage aus und hält den Hebel im Gleichgewicht.
2. Da der Widerstand der Feder proportional zur Verformung zunimmt, übt sie genau die Gegenkraft auf den Hebel aus, der Benötigt wird, um ihn im Gleichgewicht zu halten. Je nach Befestigungspunkt erzeugt sie ein Moment, welches genauso groß ist, wie das der Gegengewichte ist, jedoch genau entgegengesetzt.
3. Ist der Abstand der Waage gleich groß wie der des Gewichtes, zeigt die Waage genau den Betrag an, welcher der Gewichtskraft des Gegengewichtes entspricht.

Wird die Kraft dicht am Drehpunkt gemessen, ist sie höher - der Federweg ist länger und kann detaillierter abgelesen werden. Eventuell reicht dann aber die Skalierung der Federwaage nicht aus. Wird ganz außen gemessen, ist der Federweg minimal und es kann zu Ablesefehlern kommen. Am genauesten kann man also messen, wenn die Federskala ganz ausgenützt wird und über den Hebel das Gewicht der Gegenseite berechnet wird. Nachteil hier: es ist komplizierter, dafür genauer.

## STEM Statics– Aufgaben Sekundarstufe

STEM Statics ermöglicht einen ersten Zugang zu wichtigen statischen Grundlagen für den Unterricht in der Sekundarstufe. Ziel ist es, das eigene Denken beim Problemlösen zu kontrollieren, reflektieren und zu bewerten und so neues Wissen aufzubauen. Es wird spielerisch und praxisnah konstruiert, erforscht und zum Reflektieren angeregt. Selbständig oder im Team bauen Schüler\*innen einfache Modelle.

### Lernziele

- Inhaltsbezogene Kompetenz: Das Anwenden physikalischer Denk- und Arbeitsweisen, Grundgesetze der Statik, die zweidimensionale Bestimmung von Zug- und Druckkräften, Kräfte im Gleichgewicht ruhender Körper, Hookesches Gesetz, Kraftkomponenten, schiefe Ebene, Gleichgewicht, Drehmoment, Hebelgesetz, Schwerpunkt, Gleichgewichtsarten, zweiseitiger Hebelarm,
- Prozessbezogene Kompetenz: Problemlösen/ kreativ sein.
- Mathematische Kompetenz: Logisches und strategisches Denken.
- Personale und soziale Kompetenz: gemeinsam im Team Lösungen finden.
- Sprachlich-kommunikative Kompetenz: Erarbeitung von Fachbegriffen.

### Zeitaufwand

In der Regel sollten einzelne Themen innerhalb einer Schulstunde behandelt werden können. Der Zeitbedarf für das Experimentieren, Bewerten und Diskutieren wird individuell ergänzend auf ca. 45 Minuten geschätzt.

### Bezug Curriculum

Land	Stufe/Fächer	Bezüge
BW	SEK1	7/8/9 PH-3.2.7 Mechanik: Dynamik (5)(9), S. 22 ff.; 7/8/9 T-3.2.3.3 Bautechnik (3) S.26; GYM 8/9/10 NWT-3.2.3.2 Statische Prinzipien in Natur und Technik (1)(2), S.21
BY	SEK1	SEK1 RS-KL.7 Physik 7 (I)-1 Mechanik, S.809; RS-KL.8/9 Physik 8 (I)-1 Mechanik und Energie, S.812; Physik 9 (II/III)-1 Mechanik und Energie, S.824
BE	SEK1	5/6 Nawi-3.1 Von den Sinnen zum Messen, S. 23; 5/6 Nawi-3.9 Technik, S. 32; 7-10 Nawi-3.1 Forschen, S. 28 7/8 Physik-3.2 Wechselwirkung und Kraft S. 32; 7-10 Nawi-3.6 Mensch – Bewegung – Gesundheit, S. 39 (Wechselwirkungs-Konzept)



BB	SEK1	5/6 Nawi-3.1 Von den Sinnen zum Messen, S. 23; 5/6 Nawi-3.9 Technik, S. 32; 7-10 Nawi-3.1 Forschen, S. 28 7/8 Physik-3.2 Wechselwirkung und Kraft S. 32; 7-10 Nawi-3.6 Mensch – Bewegung – Gesundheit, S. 39 (Wechselwirkungs-Konzept)
HB	SEK1	SEK1 OS 7/8 NW-Alles in Bewegung, S. 14; SEK1 GYM 7/8 Physik-Kräfte und Bewegung, S.50
HH	SEK1	OS 6 WAT-3.1 Prozessbezogene Kompetenzen, S. 10; OS 9/10 WAT-3.3 Prozessbezogene Kompetenzen, S. 15; SEK1 Stadtteil 8/9 PHYSIK-3.1.1 Bewegung und Kraft S. 22; Stadtteil 9/10 NWT-3.2.2 Physik/Bewegung und Kraft S. 51; SEK1 Stadtteil 7-10 AuB-Kompetenzbereich Analysefähigkeit, S. 21
HE	SEK1	GYMG8 8 PHYSIK-8G.1 Mechanik 1, S. 13; SEK1 GYMG8 8 PHYSIK-8G.3 Von Druck und Auftrieb, S. 15; RS 10 PHYSIK-10.1 Mechanik-2, S. 12
MV	SEK1	IGS 5/6 NaWi-Themenfeld 6 - Mensch und Bewegung, S.20; IGS/RegS 7/8 PHYSIK-5.1 Masse, Kraft, S.21
NI	SEK1	RS 5-8 T-3.3 HB1 TF:Planen, Konstruieren und Herstellen, S.16, S.34; IGS 7/8 NaWi-Themenfeld 6 - Mobilität , S.31; GYM 7/8 NaWi-Physik 2.3.2 Mechanik , S.28
NW	SEK1	GS 5/6 PHYSIK-2.5.2 (3) Kräfte und Körper, S. 100; SEK1 GS 7-10 PHYSIK-2.5.3 (8) Bewegungen und ihre Ursachen, S. 106; GYM 7-10 PHYSIK-2.3 (7) Inhaltsfeld 7: Bewegung, Kraft und Energie, S.36
RP	SEK1	SEK 7-9 LP NaWi Fächer TF 4: Dynamische Phänomene, S. 106
SL	SEK1	GS 8 NaWi-Bewegung in Natur und Technik II, S.19; SEK1 GS 9 Physik (9) -1 Mechanik, S.15; GYM 8 PHYSIK (8) -Wahlthema Bogen- und Brückenbau, S.72
SN	SEK1	SEK1 OS 6 TC-LB1 Konstruieren technischer Objekte, S.10; GYM 5/6 TC-LB2 Konstruieren technischer Objekte, S.6; OS RS/7 PHYSIK-LB1 Kraft und ihre Wirkungen, S.25; SEK1 OS RS/7 PHYSIK-WB3 Körper im Gleichgewicht, S.28; SEK1 GYM 7 PHYSIK-LB1 Kräfte, S.15
ST	SEK1	GYM 7/8 PHYSIK-5.2.3 Thema: Energie in Natur und Technik, S. 42
SH	SEK1	5-10 FA PHYSIK- Mechanik, S. 29
TH	SEK1	SEK1 GYM 5/6 MNT-2.4 Modul 4 Hebel in Alltag und Technik, S. 19; SEK1 GYM 5/6 MNT-2.6 Modul 6 Bionik, S. 22