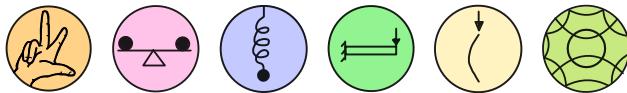




der erste  
**Mechanik Escape Room**



**Begleitheft**



---

## Hallo!

Schön, dass ihr es aus dem ersten Mechanik Escape Room geschafft habt. Jetzt seid ihr fit für die Mechanik! :-)

Wir hoffen, dass ihr genauso viel Spaß beim Spielen hattet wie wir bei der Vorbereitung. In diesem Heft findet ihr ein paar Erläuterungen zu den Rätseln und den Mechanik-Hintergründen, etwas Information zu den Wissenschaftler\*innen sowie zum Thema Gleichstellung in der Wissenschaft.

Der Escape Room zur Mechanik wurden im Rahmen des einjährigen Projekts „GAMEchanics – Mechanics meets Gamification“, gefördert durch die Klaus Tschira Stiftung, entwickelt.

Ihr könnt ihn gerne nachbauen, denn weitere Informationen und Open Source zur Verfügung gestellte Unterlagen sind unter dem nebenstehenden Link zu finden. Dort gibt es den Raum und andere Rätsel auch als Computerspiele.



[www.tu.  
berlin/svfs/  
projekte/  
gamechanics](http://www.tu.berlin/svfs/projekte/gamechanics)

Herzlichst,

Antonia Döntz, Ando Jacobi, Franka Kurpjuhn, Eleonora Schütz und  
Christina Völlmecke

## Danke

Wir danken Melanie Bittner sehr herzlich für die umfangreiche Beratung zu den Themen Gender, Diversity und Antidiskriminierungskultur und deren inhaltliche Aufbereitung für diese Broschüre (<https://melaniebittner.de>). Für die tolle Unterstützung bei der physischen Umsetzung danken wir Arion Juritza. Ein Dank geht auch raus an David Brodmann, die Stimme von Leonhard Euler im physischen Spiel, und der anonym verbleibenden Sprecherin von Sophie Germain.

---

# Die Mechanik hinter den Rätseln

Die Mechanik ist ein Teilgebiet der Physik, welches sich mit der Bewegung und Verformung von Körpern sowie den dabei wirkenden Kräften befasst. Die klassische oder auch Newtonsche Mechanik entwickelte sich ab dem 17. Jahrhundert in Europa. Heute wird u.a. diese als Technische Mechanik an den Universitäten in den Ingenieurwissenschaften gelehrt. Bei den GAMEchanics Spielen wird ausschließlich die Festkörpermechanik betrachtet. Es gibt aber beispielsweise auch Fluidmechanik, Quantenmechanik etc.

**Achtung: Spoiler-Alarm!!! Falls ihr den Raum noch nicht gespielt habt und es noch vorhat, bitte erst auf Seite 8 weiterlesen.**



## Rechte-Hand-Regel: Das Bezugssystem

Zu Spielbeginn musstet ihr die Rechte-Hand-Regel verwenden, um das richtige Passwort für den Computer zu finden. In der Mechanik wird diese Regel benutzt, um die positive Orientierung des Koordinatensystems festzulegen. Das ist wichtig, damit alle Größen ein Bezugssystem haben. Das Lösungswort war *Statik* und die damit bezeichnete Fachrichtung beschreibt die Lehre von Kräften an Körpern, welche sich im Gleichgewicht befinden.





## Kräfte und ihre Wirkung: Hebelgesetz

Im nächsten Rätsel wurde ein statisches System, die Wippe im Gleichgewicht, betrachtet. Um mit den unterschiedlich schweren Getränkepackungen das Gleichgewicht herzustellen, mussten diese korrekt positioniert werden. Die Getränke üben, aufgrund ihrer Masse und der Erdanziehung, eine zum Boden gerichtete Gewichtskraft auf die



Wippe aus. Durch das von Isaac Newton beschriebene Gravitationsgesetz lässt sich diese Kraft bestimmen. Da die Getränke nicht in der Mitte der Wippe positioniert sind, üben deren Gewichtskräfte ein Drehmoment auf

die Wippe aus. Das Drehmoment in Bezug zur Mitte berechnet sich aus der Gewichtskraft multipliziert mit dem (senkrechten) Abstand zum Bezugspunkt. Dieser Abstand wird Hebelarm genannt. Je länger der Hebelarm, desto größer wird das Moment. Die Wippe befindet sich im Gleichgewicht, wenn die Momente (nicht Kräfte!) auf beiden Seiten der Wippe gleich groß sind.



*Das Hebelgesetz ist z.B. beim Wippen auf dem Spielplatz zu spüren: wippen Erwachsene mit Kindern, so macht es am meisten Spaß, wenn die erwachsene Person etwas vorrückt. Bleibt sie am Ende der Wippe sitzen, so hat das Kind keine Chance den Boden zu berühren. Versucht doch auch mal das Gleichgewicht zu finden.:-(*



## Materialgesetz: Zugversuch

Bei diesem Rätsel musste durch Ziehen an verschiedenen Federn deren Steifigkeit erfühlt werden. Anders als in der ersten Station sind die Körper nun nicht mehr starr, sondern verformen sich. Wie stark die Verformung ist, hängt vom Material ab. Dabei verhält sich das Material elastisch<sup>1</sup>. Das bedeutet, dass die Feder in ihre ursprüngliche Form zurückkehrt, nachdem nicht mehr an ihr gezogen wird.

Bei sehr kleinen Verformungen weisen viele Materialien für technische Anwendungen einen linearen Zusammenhang zwischen Kraft und Dehnung auf. Diese Beziehung wird heutzutage als HOOKEsches Gesetz bezeichnet und bildet die Grundlage der Elastizitätstheorie.



Es gilt sowohl für eine Zug-, als auch für eine Druckbelastung.



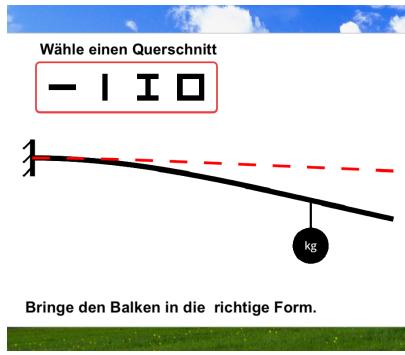
Im Alltag nutzen wir Hookes Erkenntnis vom linearen Zusammenhang zwischen Federkraft und Längenänderung beispielsweise bei Kugelschreibern oder Tastschaltern, welche häufig in Treppenhäusern verwendet werden.

<sup>1</sup>Um die Dehnung der Federn im Spiel spürbar zu machen, mussten diese ausreichend groß sein. Dieses Materialverhalten ist in diesem Fall hyperelastisch.



## Elastostatik: Balkenbiegung

Beim Rätsel zur Balkenbiegung hing das Gewicht am Querbalken. Die Belastung erfolgte nun also senkrecht zur Längsachse des Balkens und wird durch Zug- (Oberseite) und Druckkräfte (Unterseite) abgetragen. Für den Balken wird das Materialverhalten nach dem HOOKEschen Gesetz angenommen. Wie stark sich der Balken durchbiegt, hängt nun maßgeblich von dessen Querschnittsform und nicht vom Material ab. Den Einfluss unterschiedlicher Geometrien habt ihr im virtuellen Spiel, beim Nachstellen der Biegelinie, festgestellt. Den entscheidenden Parameter dabei nennt man das Flächenträgheitsmoment, welches sich aus der Geometrie des Querschnitts berechnet. Ist es groß, so ist es schwieriger den Balken zu biegen. Hier wurde das einfachste Modell eines Biegebalkens, der Euler-Bernoulli-Balken, betrachtet.



 Ihr selber habt Biegung bestimmt bei alten Dielenböden schon einmal erlebt. Wenn ihr darüber lauft, biegen sich die Dielen durch, dort wo keine Unterstützung ist. Ist hingegen ein Querbalken untergelegt, merkt ihr nichts. Der Grund, dass der Querbalken sich nicht durchbiegt, ist sein größeres Flächenträgheitsmoment.



## Stabilitätstheorie: Knicken

Bei diesem Rätsel musstet ihr verschiedene Stäbe knicken, die Belastung ist nun also in Richtung der Stabachse ausgeübt worden. Ab einer gewissen Druckkraft, der sogenannten Eulerschen kritischen Last, sind die Stäbe in unterschiedliche Formen ausgeknickt. Diese (großen) Auslenkungen nennt man Eigenformen und sie hängen vom Material, Flächenträgheitsmoment und der Stablänge sowie Lagerung ab. Nach dem Knicken gibt es zwei Gleichgewichtslagen bei der selben Belastung, also z.B. beim Stab entweder nach links oder nach rechts.



 Auch im Alltag treten Stabilitätsphänomene häufig unerkannt auf, beispielsweise nutzen wir sie bei einem Regenschirm. Spannt ihr den Regenschirm auf, befindet sich die zuvor gerade Strebe in einer ausgelenkten, aber stabilen Gleichgewichtslage. Kommt nun ein starker Windstoß, so haben wir uns alle schon einmal geärgert, wenn der Schirm umschlägt und wir nass werden. Der Schirm springt dabei in die zweite Gleichgewichtslage, die bei derselben Kraft besteht. Da hilft nur, den Schirm immer schön in Windrichtung halten. :-)



## Dynamik: Plattenschwingung

Für das letzte Rätsel mussten Muster verschiedener Chladnischer Klangfiguren erfüllt und richtig zugeordnet werden. Die Klangfiguren entstehen, wenn eine dünne, mit feinem Sand bestreute Metall- oder Glasplatte in Schwingung versetzt wird. Dabei ist die Platte in ihrer Mitte eingespannt. Die Schwingung wird erzeugt, indem man mit einem Geigenbogen am Rand der Platte entlang streicht. Eigenmoden sind die verschiedenen periodischen Bewegungen eines schwingfähigen Systems, wenn dieses nach Anregung (z.B. durch den Geigenbogen) sich selbst überlassen ist. Dort wo die Auslenkung der Eigenmoden Null sind, bewegt sich die Platte nicht und der Sand bleibt liegen. Diese Linien heißen Knotenlinien. Sophie Germain forschte u.a. zu Platten-schwingungen.



Schwingungen von Saiten, Membranen und Platten sind wichtig für die Erzeugung von Tönen. Beispielsweise in Instrumenten, wie bei Gitarrensaiten oder bei Lautsprechern, deren Membran schwingt und so Schall erzeugt, welcher sich auch in andere Teile des Lautsprechers ausbreitet.

---

## Wissenschaftler\*innen

Die Geschichten im Spiel orientieren sich an wahren Begebenheiten, sind aber fiktiv interpretiert. Alle hier erwähnten Wissenschaftler\*innen waren europäisch. In der Geschichte der Mechanik haben wir nur eine Frau gefunden.



**Isaac Newton** (1643-1727) schaffte mit seinen Bewegungsgesetzen die Grundlage der klassischen Mechanik. Seine große Leidenschaft war aber die Chemie und Alchemie.

**Robert Hooke** (1635-1703) stellte durch Untersuchung verschiedener Federn das Gesetz für linear-elastische Materialien auf. Heutzutage wird häufig der lineare Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung, das Elastizitätsgesetz, als HOOKEsches Gesetz bezeichnet.

Doch Hooke kannte die Begriffe Spannung oder Elastizitätsmodul noch gar nicht. Diese wurden nach seinem Tod erstmalig beschrieben. Hooke und Newton waren keine Freunde. Er warf Newton vor, seine Ergebnisse zum Gravitationsgesetz übernommen zu haben, ohne ihn dabei auch nur zu erwähnen.



Die Schweizer **Familie Bernoulli** brachte im 17. und 18. Jahrhundert viele bedeutende Mathematiker und Wissenschaftler hervor. Jakob Bernoulli (1655–1705) forschte zum Verformungsverhalten von Balken. Nach ihm ist der Bernoulli-Balken benannt. Er und sein Bruder Johann förderten den jungen Leonhard Euler, welcher in derselben Stadt, in Basel, lebte.



**Leonhard Euler** (1707-1783) führte die Untersuchungen von Jakob Bernoulli über das Verformungsverhalten von Balken fort. Seine Lösung ist heute als Euler-Bernoulli-Balkentheorie bekannt. Euler entwickelte ebenfalls die Theorie zum Knicken von Stäben und hatte 13 Kinder. Er soll wohl ein ausgesprochener Familienmensch gewesen sein.

**Ernst Florens Friedrich Chladni** (1756-1827) erstellte die Chladnischen Klangfiguren. Zeit seines Lebens erhielt er keine Professur, weshalb er unter anderem sein Geld mit der Erfindung neuer Musikinstrumente verdiente. Auch soll er eine originelle Persönlichkeit gewesen sein, die in gefälliger Form Wissen vermittelte. Er war also offenbar damals schon gut in Wissenschaftskommunikation.



**Sophie Germain** (1776-1831) forschte an der Berechnung der Plattenschwingung. Als Frau war es ihr nicht möglich zu studieren, nur durch die Bibliothek ihrer wohlhabenden Eltern eignete sie sich die wissenschaftliche Bildung selbstständig an.

Um in einen wissenschaftlichen Austausch mit Mathematikern ihrer Zeit treten zu können, verwendete sie anfangs ein männliches Pseudonym in ihren Briefen. Sie traute sich als Erste an die Berechnung der Plattenschwingung heran. Zwar kam sie aufgrund mathematischer Fehler zum falschen Ergebnis, dennoch entwickelte sich aus ihrer Hypothese die anerkannte Plattentheorie (heute benannt nach Kirchhoff).

---

# Gleichstellung in der Wissenschaft

## Geschlechterverhältnisse

Der überwiegende Anteil der Mechanik-Professuren ist mit Männern besetzt. Erst im Jahre 2000 wurde die erste Frau auf eine Professur in der Mechanik berufen! Das ist etwa 100 Jahre nachdem Frauen in Deutschland offiziell studieren durften.

Männer<sup>2</sup> sind in der Wissenschaft generell immer noch überrepräsentiert. **Von allen Professuren an deutschen Universitäten und Hochschulen sind etwas über 70 % mit Männern besetzt.**

Bei den Studierenden sind die quantitativen Geschlechterverhältnisse schon lange ausgewogener und liegt seit über 20 Jahren bei einer etwas hälfptigen Verteilung.

Die zahlenmäßigen Geschlechterverhältnisse in den verschiedenen Fächern unterscheiden sich jedoch sehr — in den MINT-Fächern insgesamt waren 66 % der Studienanfänger\*innen männlich, wobei in den Ingenieurwissenschaften der Männeranteil bei den Studienanfänger\*innen bei 74 % lag. Am niedrigsten war der Männeranteil in den Geisteswissenschaften mit knapp 30 % .

Dass in allen Fächern der Männeranteil entlang des wissenschaftlichen Karrierewegs steigt, weil der Wissenschaft an den Übergängen von einer Stufe zur nächsthöheren mehr Frauen als Männer verloren gehen, nennt man **leaky pipeline**. Einige Ursachen hierfür sind nachfolgend aufgeführt.

---

<sup>2</sup>**Weil Männer auch ein Geschlecht haben und es mehr als zwei Geschlechter gibt!**  
Meistens wird vor allem über Frauen gesprochen, wenn es um Geschlechterverhältnisse in der Wissenschaft geht. Wir haben den Spieß umgedreht und die Überrepräsentation und Privilegierung von Männern dargestellt. Daten zu Menschen mit Geschlechtseintrag divers oder ohne Eintrag enthalten die Statistiken aktuell nicht. Die hier verwendeten Daten sind aktuell von 2021.

---

## Arbeitsbedingungen in der Wissenschaft

Aktuell gibt es, z.B. unter #IchBinHanna und #IchBinReyhan, eine große Debatte um die Arbeitsbedingungen in der Wissenschaft und besonders um die weit verbreiteten Befristungen. Sogar bei den Wissenschaftler\*innen, die nach der Promotion noch in der Wissenschaft arbeiten (aber noch keine Professur haben), haben **nur 40 % unbefristete Arbeitsverträge, darunter mehr Männer als Frauen**. Auch einen Gender Pay Gap gibt es in der Wissenschaft. An der TU Berlin verdienen beispielsweise Professoren auf der höchsten Gehaltsstufe durchschnittlich monatlich 800 Euro mehr als Professorinnen.

## Gründe der strukturellen Ungleichheit

Die Ursachen für die dargestellten Ungleichheiten sind vielfältig und komplex.

**Wissenschaft ist historisch männlich konnotiert:** lange durften nur (ausgewählte) Männer studieren und forschen; historische, literarisch oder wissenschaftlich bedeutenden Frauen wurden erst durch die Frauenforschung sichtbar gemacht, die in den 1970er Jahren entstand. Besonders stark ist die Verknüpfung von Wissenschaft mit Männlichkeit in den MINT-Fächern ausgeprägt.

**Geschlechterstereotype und -vorurteile** führen dazu, dass Männer in Auswahlverfahren oft als „passfähiger“ wahrgenommen werden, dass ihnen mehr Potential zugeschrieben wird als Frauen und dass ihre Motivation auch dann nicht in Frage gestellt wird, wenn sie Kinder haben. Das passiert zum Teil unbewusst.

Frauen sowie trans\*, inter\* und nicht-binäre Personen erleben in der Wissenschaft **individuelle Diskriminierung aufgrund ihres Geschlechts**, die von „lächle doch mehr“ über Kommentare zum Aussehen bis hin zu unerwünschten Berührungen und anderen Grenzverletzungen reichen.

Frauen übernehmen in heterosexuellen Beziehungen immer noch deut-

---

lich mehr **Care-Arbeit**. Die überkommene Norm von Wissenschaft als Berufung, der alles andere zeitlich untergeordnet wird, schadet Frauen deshalb stärker.

## Was kann getan werden?

Die Hauptverantwortung für die Realisierung von mehr Geschlechtergerechtigkeit in der Wissenschaft liegt bei Hochschulleitungen und Führungskräften. Notwendige Gleichstellungsmaßnahmen umfassen beispielsweise **Daten-Monitoring, Abbau und Prävention von Diskriminierung, Weiterbildungen zu Geschlechtergerechtigkeit sowie Geschlechterforschung**.

Männliche Wissenschaftler können sich als **Verbündete gegen Sexismus** stark machen, als sogenannte *male allies*, und z.B. Einladungen zu Podien ohne Beteiligung von Frauen ablehnen und stattdessen zwei Kolleginnen empfehlen.

Studentinnen und Wissenschaftlerinnen sollten **gut über ihre Rechte und unterstützende Angebote informiert sein**. Die **formelle und informelle Vernetzung** untereinander wird oft als empowernd erlebt, weil dann deutlich wird, es liegt nicht an den Frauen, es liegt an den Strukturen!

***Fix the system, not the women!***

