

ERSTER AKT

# SPINTRONICS

BAUE MECHANISCHE  
SCHALTKREISE



DIE REISE IN DIE WELT DER ZEITLÄUFER  
BEGINNT

RÄTSELBUCH

Von Paul Boswell

Illustrationen von Aleksandar Zolotic

Geschichte von Paul Boswell und Alyssa Boswell

Verpackungsdesign von Mackey Creative Brand & Strategy (mackeycreative.com)

Version 1.21

Deutsches Übersetzungsteam: Supertext, Florian Wollenschein, Verena Britz und Allison Gahlon.



Upper Story Ltd., 2022



© 2022 by Upper Story Ltd. Dieses Werk wurde veröffentlicht unter der Lizenz „CC BY-NC-SA 4.0 International“. Den Inhalt dieser Lizenz findest du hier: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.de>

**WARNUNG!** Erstickungsgefahr durch Kleinteile.

Nicht geeignet für Kinder unter 3 Jahren.

Dieses Produkt enthält kleine Magnete. Falls Magnete verschluckt oder eingeatmet werden, muss umgehend ein Arzt aufgesucht werden.

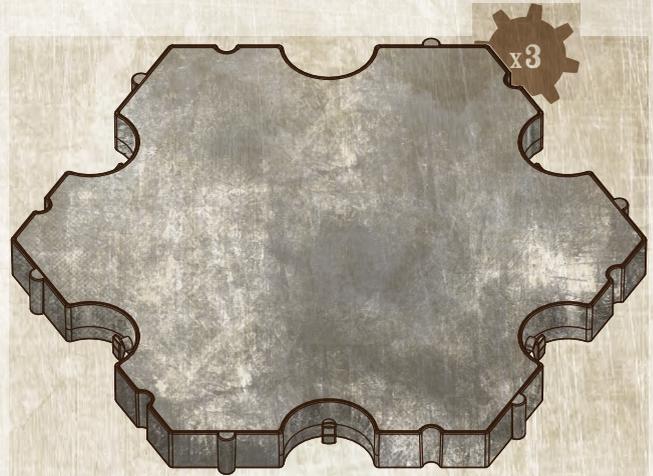
❧ Für Oliver, Finley und Henry ❧

Für euch vergeht die Zeit nur langsam  
Für uns verfliegt sie rasend schnell  
Als wir hiermit begannen  
Hatten wir euch auf dem Schoß  
Nun umarmen wir uns im Stehen  
Und müssen uns ganz schön anstrengen  
Um uns an jeden Moment mit euch zu erinnern  
Wir lieben euch, egal wie alt ihr seid  
Und wir hoffen, dass ihr stolz seid auf unser Werk

# INHALT



BATTERIE (7 V, 0,3 mÅh)



BASISPLATTE



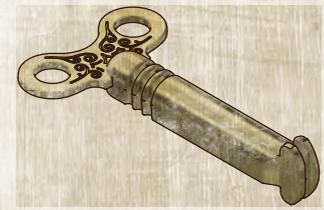
STROMMESSGERÄT



SCHALTER



KNOTENPUNKT



VERBINDUNGSTOOL



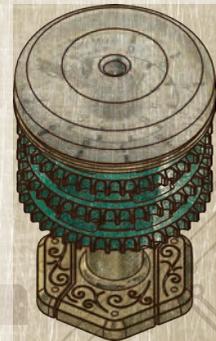
WIDERSTAND (200 Ω)



WIDERSTAND (500 Ω)



WIDERSTAND (1000 Ω)



KONDENSATOR (1,2 mF)



KETTENGLIED



VERBINDUNGSSTÜCK

# AUFGEPASST!

Spintronic-Bauteile sind robust. Sie sind aber auch analog. Das heißt, dass selbst kleinste Unebenheiten das Geschehen in Spintronic-Schaltkreisen beeinflussen können. Pass also gut auf deine Bauteile auf, damit sie lange wie neu bleiben.



Wichtig ist:

1. Spintronics-Bauteile dürfen nicht in Kontakt mit Wasser kommen.
2. Binde langes Haar immer zusammen und halte es von den Bauteilen fern.
3. Zerlege die Widerstände nicht, da sonst das Silikonöl austreten und den Widerstand verändern könnte.
4. Schiebe die Schnur nicht in die Batterie. Lasse die Batterie die Schnur immer selbst einziehen.
5. Setze die Bauteile niemals Temperaturen über 65 °C aus.
6. Das Öffnen der Batterie erfolgt auf eigenes Risiko. Achtung: Die Feder speichert eine Menge Energie. Wenn du im Inneren etwas reparieren möchtest, halte dich immer an die folgenden Anleitungen:  
<http://spintronics.com/troubleshooting>.



# VORWORT

In der Elektronik dreht sich alles um reine Energie. Es geht darum, Energie zu teilen, zu speichern, zu vervielfältigen, umzukehren – kurz: sie nach deinen Vorstellungen zu formen. Genauso wie du flachen, formlosen Sand zu einer Sandburg formst, wird auch in der Elektronik eine einfache Kraft in komplexe Signale umgewandelt, die dann Musik abspielen, 3D-Drucker steuern oder Videos auf einem Bildschirm wiedergeben.

In diesem Buch lernst du, mit Energie etwas zu bauen. Strom brauchst du dafür aber nicht. Stattdessen benutzt du – das erste Mal in der Geschichte der Menschheit – mechanische Schaltkreise, die sich genauso wie elektronische verhalten. Außerdem greifen wir auf eine ganz natürliche Fähigkeit deines Gehirns zurück: alles zu verstehen, was du sehen und anfassen kannst.

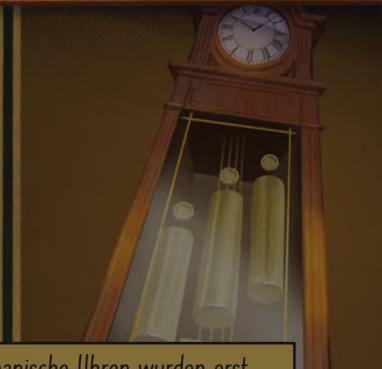
Mathematische Gleichungen findest du in diesem Buch keine. Die Idee dahinter, also die Konzepte der Elektronik, sind viel wichtiger und spannender als die mathematischen Gleichungen dazu. Und wenn du die Konzepte verstanden und eine gewisse Intuition entwickelt hast, *dann* ist die Mathematik dazu auch kein Problem mehr.

**VIEL SPASS AUF DEINER REISE**

# ERSTER AKT



...gen, Wasseruhren,  
...hren.



Mechanische Uhren wurden erst  
von Wasser, dann von Gewichten  
und Zahnrädern angetrieben.



Antriebsfedern, die Uhren  
tragbar machten ...



...die sie  
...hten.



Und schließlich die Atomuhr, die mithilfe der  
Vibrationen eines Cäsium-Atoms die Zeit so  
genau wie nie zuvor maß.

Über Tausende Jahre hinweg drehte sich das Leben der Uhrmacher um das Messen der Zeit.

Alle hundert Jahre revolutionierte einer von ihnen, ein Meister seiner Kunst, mit einer brillanten Idee das Handwerk.



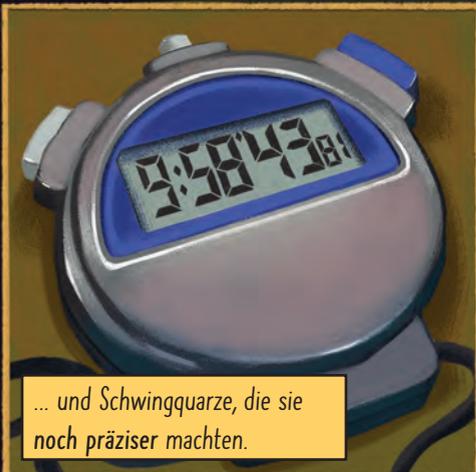
Obelisken, die der Sonne folgten, Wasseruhren, Stundenkerzen und Sonnenuhren.



Mechanische Uhren wurden erst von Wasser, dann von Gewichten und Zahnrädern angetrieben.



Antriebsfedern, die Uhren tragbar machten ...



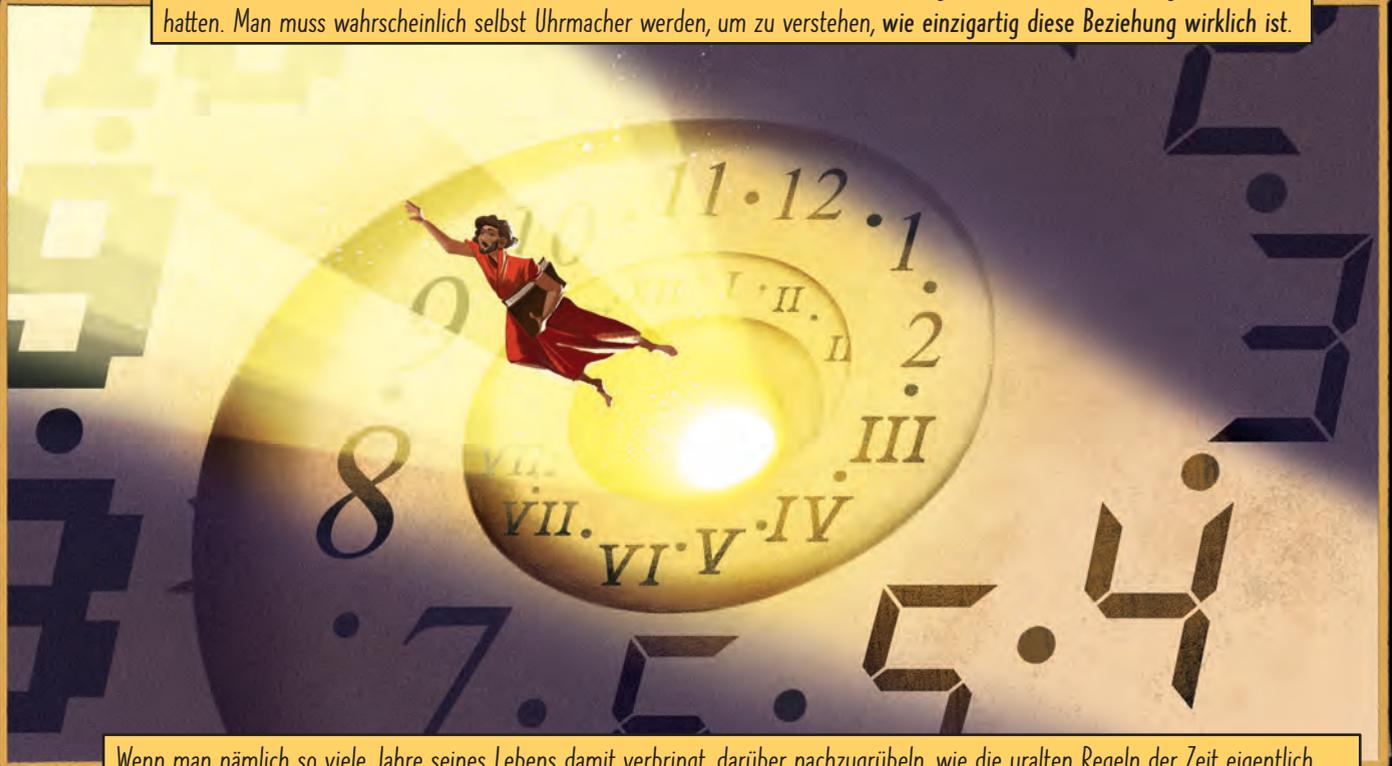
... und Schwingquarze, die sie noch präziser machten.



Und schließlich die Atomuhr, die mithilfe der Vibrationen eines Cäsium-Atoms die Zeit so genau wie nie zuvor maß.

Man könnte sagen, dass Uhrmacher die erfolgreichsten Wissenschaftler in der Geschichte der Menschheit sind: Zeit kann präziser und in einer größeren Bandbreite als jede andere physikalische Eigenschaft im Universum gemessen werden.

Vermutlich überrascht es dich nicht, dass die wahren Meister der Uhrmacherei eine ganz besondere Beziehung zur Zeit hatten. Man muss wahrscheinlich selbst Uhrmacher werden, um zu verstehen, wie einzigartig diese Beziehung wirklich ist.



Wenn man nämlich so viele Jahre seines Lebens damit verbringt, darüber nachzugrübeln, wie die uralten Regeln der Zeit eigentlich funktionieren, fangen die Gedanken an, sich Stück für Stück zu lösen, um sich am Ende vollkommen anders wieder zusammenzufügen.



Diese Uhrmachermeister, von denen es zu einer bestimmten Zeit immer nur eine Handvoll gibt, verstehen etwas, was Wissenschaftler gerade erst beginnen, zu verstehen: dass Zeit nicht mehr ist als eine riesige Illusion.

Wahre Meister erlangen eine unglaubliche Fähigkeit, die man nicht genau erklären kann. Man kann sich das vorstellen wie ein Beschleunigen des Zeitlaufs. Sie können, wann immer sie wollen, den Zeitlauf beschleunigen, wodurch für sie selbst die Zeit viel langsamer vergeht. So dehnen sie eine Stunde, wenn sie wollen, ganz einfach auf zwei aus. Die mächtigsten Uhrmacher konnten eine einzige Stunde auf einen ganzen Tag ausdehnen.



Diese Fähigkeit hat jedoch ihren Preis. Es ist wie bei einer Antriebsfeder: Wer Zeit zusammenpresst, muss sie auch wieder freisetzen. Wird eine Stunde auf einen Tag ausgedehnt, muss ein gesamter Tag in eine Stunde gepresst werden.

Die meisten Uhrmacher nutzen diese Fähigkeit absichtlich nicht. Sie haben zu viel Respekt vor der Zeit selbst, um ihren natürlichen Lauf zu manipulieren. Ihrer Meinung nach sollte die Fähigkeit niemals eingesetzt werden.



So mancher ist dabei jedoch weniger zurückhaltend und dehnt die angenehmen Momente im Leben aus, während er die weniger angenehmen verkürzt.



Andere warten ihr gesamtes Leben auf den perfekten Moment, um den Zeitlauf nur ein einziges Mal zu beschleunigen, ohne die Zeit jemals wieder freizusetzen.



Doch Natalias Eltern nutzten ihre Fähigkeit nur, um über die Runden zu kommen. Sie waren einst berühmte Uhrmacher in Moskau.



Ihre Mutter Anya kam aus dem Osten der Stadt. Anyas Uhren waren so pünktlich wie der Sonnenaufgang. Sie waren für ihre unübertroffene Präzision bekannt.



Ihr Vater Viktor kam aus dem Westen der Stadt. Viktors Uhren waren so schön wie ein Sonnenuntergang.

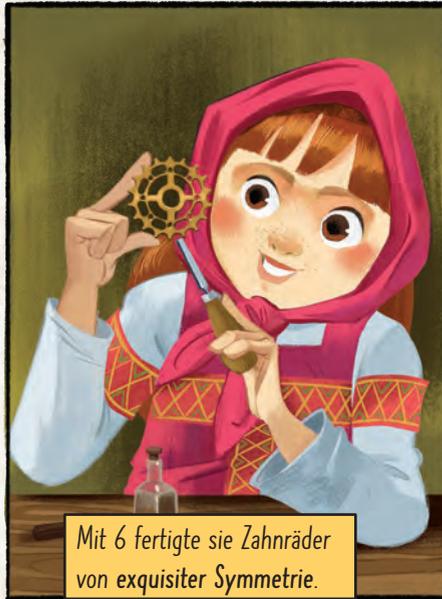


Anya und Viktor machten sich gegenseitig Konkurrenz, bis sie sich ineinander verliebten und begannen, gemeinsam Uhren zu bauen. Diese Uhren waren von einer Schönheit und Präzision, die Russland zuvor nicht gekannt hatte.

Natalia lernte das Handwerk von ihren Eltern, als sie noch sehr klein war.



Mit 4 Jahren konnte sie die kompliziertesten Uhren zusammensetzen.



Mit 6 fertigte sie Zahnräder von exquisiter Symmetrie.



Und mit 9 baute sie Taschenuhren, auf die selbst ihre Eltern mit Neid und auch Stolz blickten.



Doch als Natalia 10 Jahre alt wurde, bestieg ein neuer Zar den russischen Thron und die Uhrmacherei erfuhr ein jähes Ende.



Die Familie packte ihre letzten Habseligkeiten und floh in die Vereinigten Staaten von Amerika. Sie hatten von großartigen Möglichkeiten gehört, die dort nur darauf warteten, ergriffen zu werden.

Nach einer monatelangen Reise erreichten sie Ellis Island und konnten es kaum erwarten, endlich wieder Uhren anzufertigen.



Aber es sollte nicht sein. New York war übersät mit Uhren, die in Massen produziert wurden: billige Uhren, die weder für Schönheit noch Präzision, sondern für simple Effizienz entworfen wurden.



Auf ihrer verzweifelten Suche nach Arbeit verschlug es Natalias Familie in den Westen, wo sie auf bessere Möglichkeiten hofften.



Leider wartete bereits eine dritte große Enttäuschung auf die Familie. Auf halbem Wege gingen der Familie Geld und Lebensmittel aus und sie hatte keine andere Wahl, als sich in einem kleinen, trostlosen Dorf entlang des Weges niederzulassen.



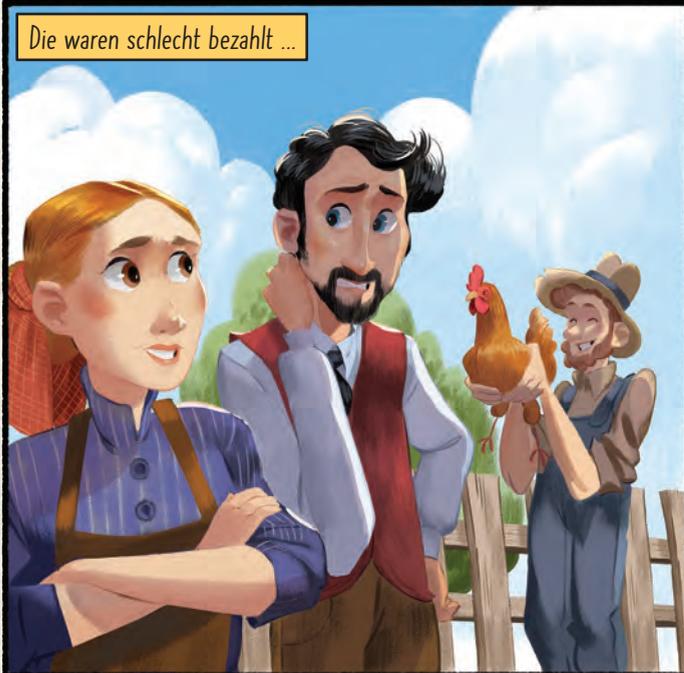
Das Dorf hieß „Little Hope“.



Hier gab es keine Jobs für Uhrmacher. Anya und Viktor übernahmen einfache Handwerkerarbeiten.



Die waren schlecht bezahlt ...



... aber Anya und Viktor fanden langsam Gefallen daran, den Menschen aus dem Dorf zu helfen, wann immer sie konnten.

Natalia dagegen hasste das Leben auf dem Dorf.



Sie hasste das Essen.



Sie hasste die Kleidung, die man dort trug.



Sie hasste die kleine Schule.



Am meisten hasste sie aber, dass sie so viele Aufgaben im Haushalt übernehmen musste - allen voran die Wäsche. Natalia verabscheute es, Wäsche zu waschen.



Jeden Tag fragte Natalia ihre Eltern, ob sie endlich weiter in Richtung Westen ziehen konnten. Ihre Eltern versuchten ihr dabei zu helfen, das Beste aus der Situation zu machen, aber es half nichts.

Und es kam noch schlimmer: Bald mussten Victor und Anya zeitlaufen, um überleben zu können. Sie machten ihre Tage doppelt so lang, damit sie doppelt so viel Arbeit annehmen konnten.



Das bedeutete jedoch, dass sie ihre Abende und Nächte kürzer machen mussten. Auf Natalia, die das Geheimnis des Zeitlaufens noch nicht kannte, wirkten ihre Eltern einfach nur vollkommen erschöpft, wenn sie von der Arbeit nach Hause kamen.



Reichst du mir bitte das Salz, Mama?



Mama?

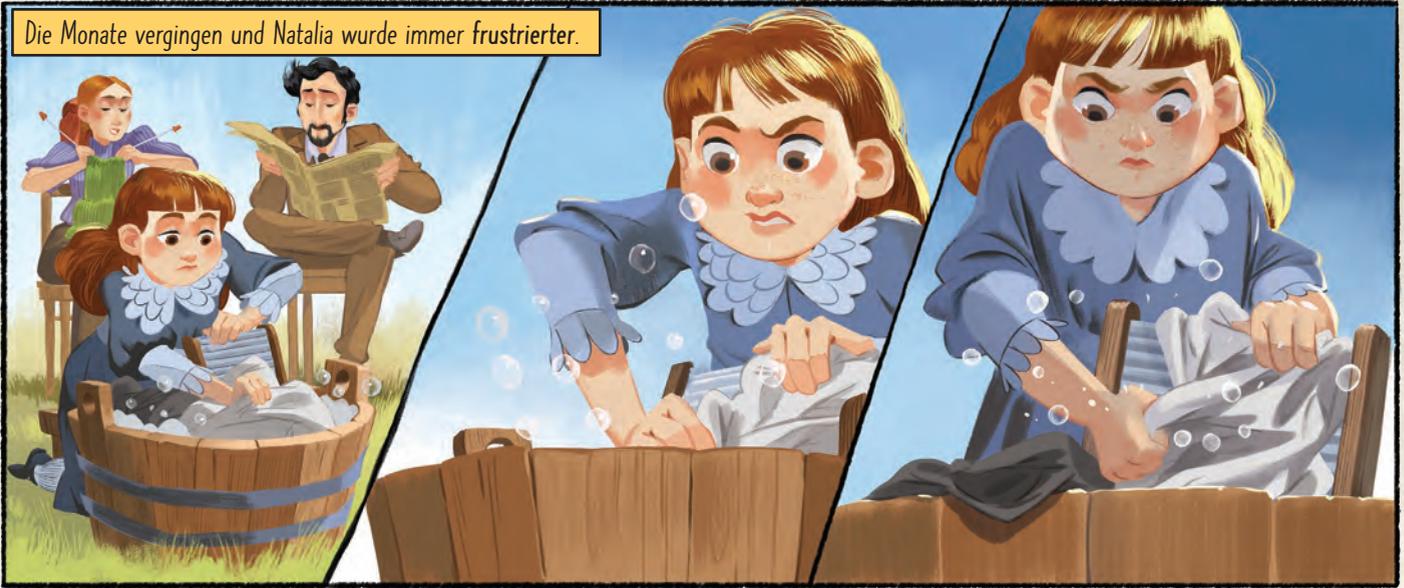
Das Salz?



MAMA!

Hm? Hier, bitte.

Die Monate vergingen und Natalia wurde immer frustrierter.



Papa, warum können wir nicht wieder Uhren machen? Ich liebe die Uhrmacherei.

Schatz, das hab ich dir doch schon hundert Mal gesagt. Nichts wird mehr, wie es einmal war. Wir müssen uns anpassen. Unsere Uhrmacherkünste sind hier nicht gefragt.

Nachdem Natalia den ganzen Vormittag mit der Wäsche verschwendet hatte, ging sie wieder ins Haus und ihr Blick fiel auf ...





Natalia wollte einen Laundromatic - und zwar mehr als alles andere. Doch selbst wenn sie ihn sich leisten konnte ... sie hatten keinen Strom. Davon ließ sich das kluge Mädchen jedoch nicht aufhalten. Eine Idee nahm Gestalt an ...



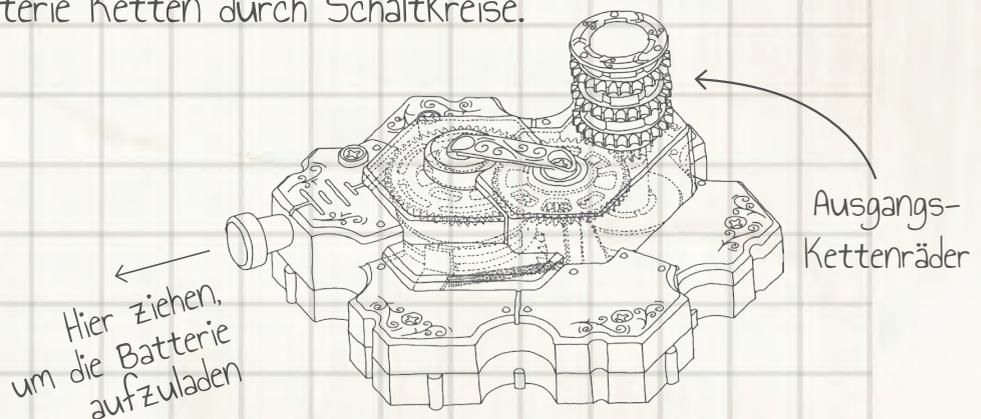


Natalia arbeitete den ganzen Nachmittag und Abend. Geschickt und präzise setzte sie die Uhrmacherwerkzeuge ein, während es in der Scheune langsam nach zu Hause roch.



## Einheit 1: Die Batterie

Die Schaltkreise von Spintronic werden von einer **Batterie** angetrieben. So wie eine elektrische Batterie Elektronen durch Drähte zieht, zieht die Spintronic-Batterie Ketten durch Schaltkreise.



Zieh an der Schnur und lass sie wieder los! Das ging jetzt ein wenig zu schnell, oder? Gut, dass ich eine Sicherung eingebaut habe!

Probier es noch einmal. Aber dieses Mal, nachdem du an der Schnur gezogen hast, fügst du mit deinen Fingern Widerstand an den Ausgangs-Kettenrädern hinzu. Kannst du die gesamte Energie der Batterie freisetzen, ohne die Sicherung auszulösen?

Ab jetzt müssen wir **Kurzschlüsse** vermeiden! Zum Kurzschluss kommt es immer dann, wenn die Batterie einen Weg findet, ihre Energie ohne Widerstand freizusetzen. Doch wie fügt man der Batterie einen Widerstand hinzu, ohne die Finger zu benutzen? Mit dem gleichnamigen **Widerstand**.

# NEUES BAUELEMENT FREIGESCHALTET



## DER SPINTRONIC- WIDERSTAND

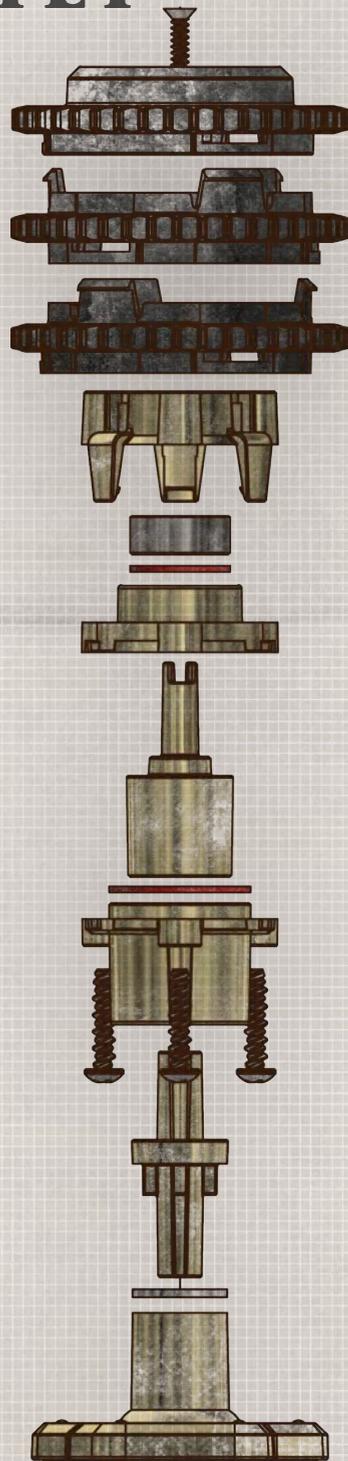
### ZWECK:

WIDERSTÄNDE VERLANGSAMEN DIE BEWEGUNG DER KETTE.

### INFOS:

DEN WIDERSTAND MESSEN WIR IN „SPIN-OHM“. JE MEHR SPIN-OHM, DESTO SCHWIERIGER LÄSST SICH DER WIDERSTAND DREHEN.

DAS SYMBOL FÜR EIN SPIN-OHM IST „ $\tilde{\Omega}$ “.



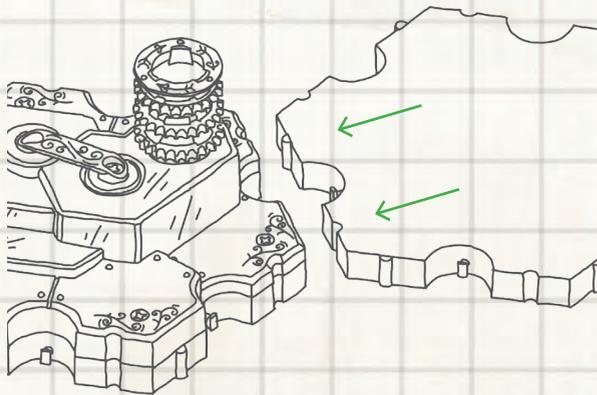
## Einheit 2:

# Baue einen einfachen Schaltkreis

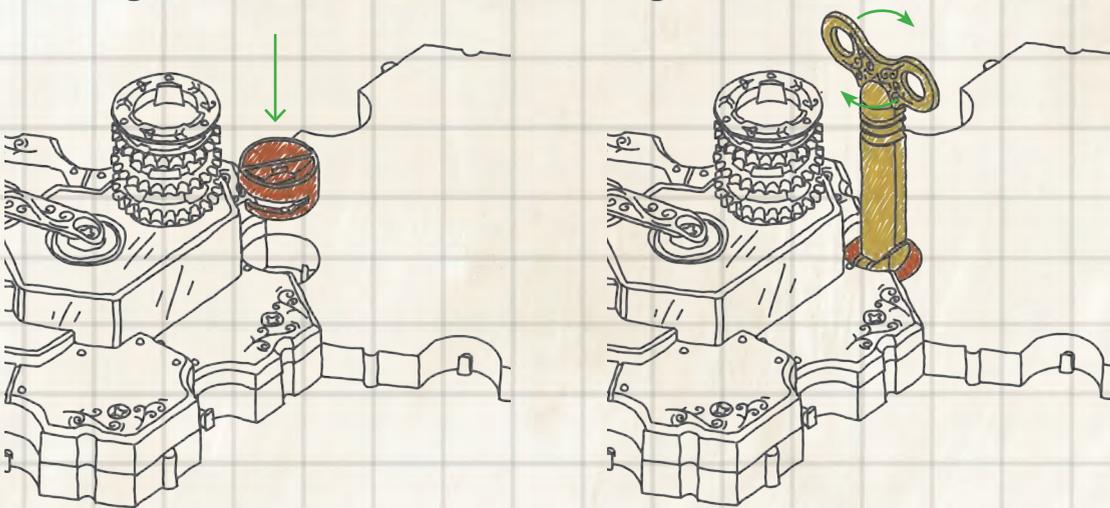
Lass uns einen einfachen Schaltkreis mit Widerstand und Batterie bauen.

Bevor wir das tun können, müssen wir die Arbeitsfläche vergrößern.

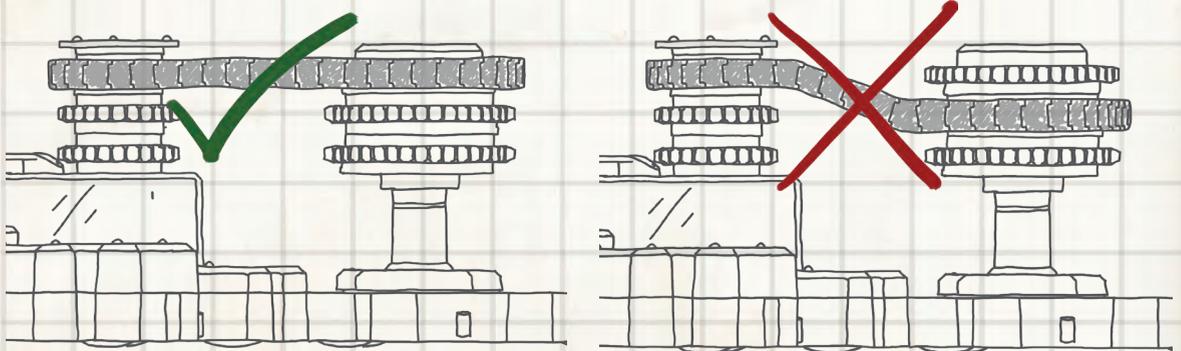
Schritt 1. Lege eine Basisplatte vor die Batterie.



Schritt 2. Stecke ein rundes Verbindungsstück in das Loch zwischen den beiden Platten und befestige es mithilfe des Verbindungstools mit einer Vierteldrehung.



Schritt 3. Verbinde den Antrieb über eine Kettenschleife mit einem  $500 \Omega$  Widerstand. Die meisten Bauelemente haben 3 Ebenen. Welche Ebene du benutzt, ist egal. Wichtig ist nur, dass die Ketten die Kettenräder auf derselben Ebene verbinden.



Schritt 4. Nachdem du eine Kettenschleife über die Kettenräder gelegt hast, kannst du die Spannung anpassen, indem du ein Bauelement vom anderen wegschiebst.

Die Kette sollte nur ein klein wenig Spiel haben!!

Ist sie zu straff gespannt, ist der Widerstand zu hoch.

Ist sie zu lose, springt die Kette ab.

Schritt 5. Okay, wir sind soweit! Ziehe an der Schnur und lasse sie wieder los.

Unser erster Schaltkreis!

# RÄTSEL 1: DER WIDERSTAND

BAUE DIE STARTAUFSTELLUNG UND TESTE DEN SCHALTKREIS. DANN VERÄNDERE DEN SCHALTKREIS SO, DASS SICH DIE KETTEN LANGSAMER BEWEGEN.

Unser erstes Rätsel!  
Wie aufregend!!

Lies zuerst das  
Rätsel an der Wand.

Baue danach die  
Startaufstellung auf.

Jetzt finde heraus,  
wie du das Rätsel mit den  
verfügbaren Teilen lösen  
kannst.

## STARTAUFSTELLUNG

## VERFÜGBARE BAUELEMENTE



$R1 = 500 \Omega$



Oh! Ich glaub, ich  
weiß es! Die Bauteile  
kommen hier hin.

SCHWIERIGKEITSGRAD: ★☆☆☆☆

DATUM: 2. JUNI 1892

## RÄTSEL 2: DIE ALTERNATIVE

BAUE DIE STARTAUFSTELLUNG UND TESTE DEN SCHALTKREIS. DANN VERÄNDERE DEN SCHALTKREIS SO, DASS SICH DIE KETTEN LANGSAMER BEWEGEN.

LÖSE DAS RÄTSEL DIESMAL, OHNE DABEL ZUSÄTZLICHE KETTEN ÜBER R1 ZU LEGEN.



Was? Das ist doch dasselbe Rätsel.

Ah, jetzt versteh ich es! Es gibt mehr als eine Lösung.

Wie du Rätsel löst, ist gar nicht so wichtig. Hauptsache deine Lösung funktioniert.

### STARTAUFSTELLUNG

$R1 = 500 \bar{\Omega}$

Keine weiteren Verbindungen zu R1 erlaubt



### VERFÜGBARE BAUELEMENTE

1		1	
	1000 $\bar{\Omega}$		

SCHWIERIGKEITSGRAD: ★☆☆☆☆

DATUM: 10. JUNI 1892

# RÄTSEL 3:

## EINE KETTE, ZWEI WIDERSTÄNDE

LASS BEIDE WIDERSTÄNDE IM UHRZEIGERSINN LAUFEN. DU HAST DAFÜR NUR EINE KETTENSCHLEIFE.

IM UHRZEIGERSINN = 

GEGEN DEN UHRZEIGERSINN = 

Hm ...eine Kettenschleife für zwei Widerstände?

### STARTAUFSTELLUNG



#### VERFÜGBARE BAUELEMENTE

1	 1000 Ω	1	
1	 500 Ω		

SCHWIERIGKEITSGRAD: ★☆☆☆☆

DATUM: 20. JUNI 1892

# RÄTSEL 4: IM UHRZEIGERSINN UND DAGEGEN

SORGE DAFÜR, DASS SICH EIN WIDERSTAND IM UHRZEIGERSINN UND DER ANDERE GEGEN DEN UHRZEIGERSINN DREHT.

IM UHRZEIGERSINN = 

GEGEN DEN UHRZEIGERSINN = 

Gegen den Uhrzeigersinn?!? Ist das überhaupt möglich? Die Batterie dreht sich im Uhrzeigersinn!

Wir müssen wohl über die Schleife hinaus denken.

## STARTAUFSTELLUNG



### VERFÜGBARE BAUELEMENTE



SCHWIERIGKEITSGRAD: ★★☆☆☆

DATUM: 3. JULI 1892

# RÄTSEL 5:

NUR GEGEN DEN UHRZEIGERSINN

SORGE DAFÜR, DASS SICH BEIDE WIDERSTÄNDE  
GEGEN DEN UHRZEIGERSINN DREHEN.

Hm. Manchmal hast du für  
ein Rätsel mehr Bauteile, als  
du brauchst.

## STARTAUFSTELLUNG



### VERFÜGBARE BAUELEMENTE

1	 1000 $\bar{n}$	2	
1	 500 $\bar{n}$		

SCHWIERIGKEITSGRAD: ★★☆☆☆

DATUM: 15. JULI 1892

Natalia verbrachte jeden Abend in ihrer eigenen kleinen Uhrmacherwerkstatt in der Scheune.



Dort legte sich die Frustration, die sich am Tag aufstaute, während Natalia all ihr Können aus der Uhrmacherei für ihre neue Erfindung nutzte.



Jede neue Entdeckung motivierte sie noch mehr.



Natalia wusste, dass sie dabei war, etwas Großes zu entdecken, aber ihr war nicht ganz klar, was es war. Noch nicht.





Natalia hätte am liebsten ihre **gesamte** Freizeit in der Scheune verbracht, doch ihre Eltern bestanden darauf, dass sie erst in die Scheune durfte, nachdem sie ihre Pflichten im Haushalt erledigt hatte, und ins Bett ging, sobald das Öl in ihrer Lampe aufgebraucht war.

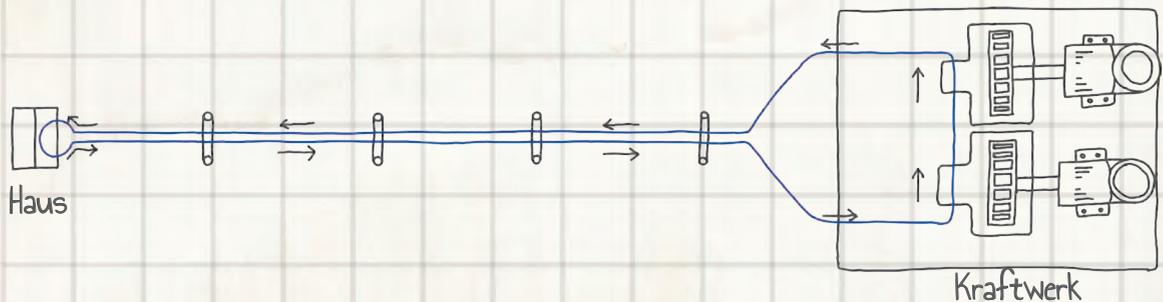


Jedes Mal, wenn das Öl ausging, wünschte sie sich, dass die Nacht ein wenig länger wäre.

Und am Tag, wenn sie in der Schule war oder zu Hause Hausarbeiten erledigte, wünschte sie sich, dass der Tag ein wenig kürzer wäre.

## Einheit 3: Schaltkreise

Elektronische Schaltkreise bestehen immer aus Schleifen. Ein Kraftwerk **produziert** keine Elektronen und schickt sie dann über Drähte in die Häuser. Es schiebt und zieht nur die Elektronen, die sich bereits in den Drähten befinden.



Das ist bei Spintronics auch so. Die Spintronic-Batterie **produziert** keine Kette. Sie zieht nur an Kettenschleifen im Schaltkreis.

Was passiert, wenn du keine Schleife legst?

Bei Spintronics fliegt die Kette heraus, landet auf dem Tisch oder Boden und läuft nicht mehr. In der Elektronik springt zum Glück keines der Elektronen raus und landet auf dem Boden. Das wäre Zuhause sehr gefährlich und dem Kraftwerk würden schnell die Elektronen zum Schieben und Ziehen ausgehen!

a  
b  
c  
d  
e  
f  
g  
h  
i  
j  
k

# NEUES BAUELEMENT FREIGESCHALTET



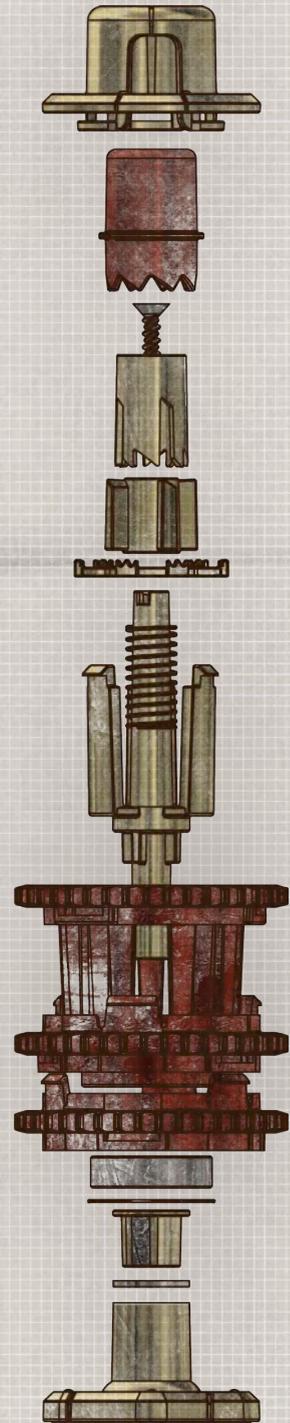
## DER SPINTRONIC-SCHALTER

### ZWECK:

Ein Schalter ist ein riesiger Widerstand, den du an- und ausschalten kannst.

### INFOS:

Ist der Schalter an (also hinuntergedrückt), ist der Widerstand gleich Null. Ist der Schalter aus (also oben), nimmt der Widerstand so weit zu, dass du das Element gar nicht mehr drehen kannst.

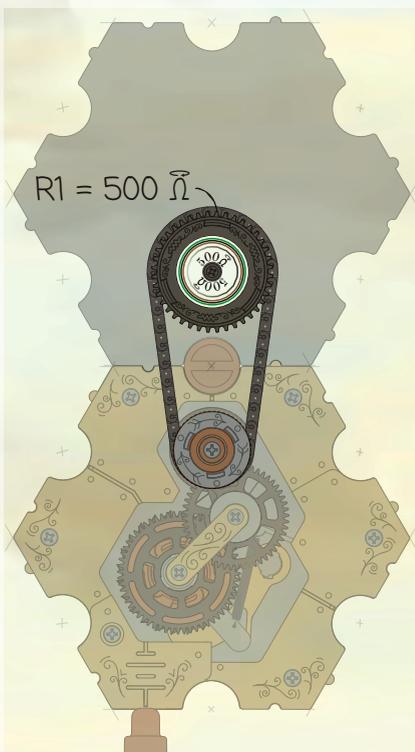


# RÄTSEL 6: DER SCHALTER

BAUE DEN SCHALTER SO EIN, DASS ER DEN  
WIDERSTAND (R1) EIN- UND AUSSCHALTET.



## STARTAUFSTELLUNG



### VERFÜGBARE BAUELEMENTE

	1 
1 	



SCHWIERIGKEITSGRAD: ★☆☆☆☆

DATUM:

5. AUGUST 1892

# RÄTSEL 7:

## EIN SCHALTER IN DER SCHLEIFE

SCHALTE DEN WIDERSTAND (R1) MIT EINEM SCHALTER EIN UND AUS.



### STARTAUFSTELLUNG

$R1 = 500 \Omega$



### VERFÜGBARE BAUELEMENTE

	1 
1 	

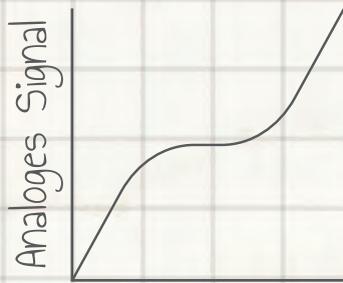
SCHWIERIGKEITSGRAD: ★☆☆☆☆

DATUM:

12. AUGUST 1892

## Einheit 4: Kettenspannung

Spintronic-Schaltkreise sind „analog“. Was das bedeutet? Nun, Dinge, die analog sind, sind **stufenlos**. Diese Kurven zum Beispiel:

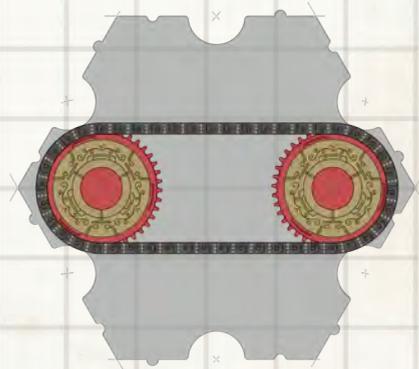


Ist etwas analog, kann es **jeden beliebigen Wert** annehmen (wie in der linken Kurve). Das Gegenteil von analog ist „digital“. Ist etwas digital, kann es **nur bestimmte Werte** annehmen (wie in der rechten Kurve).

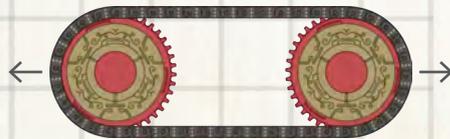
Analog ist ziemlich cool, oder?! Das Problem an analogen Dingen ist, dass **jeder noch so kleine Fehler** Folgen hat. Die Geschwindigkeit, mit der sich ein Spintronic-Widerstand dreht, ist zum Beispiel von Faktoren wie Temperatur, Luftwiderstand, Feuchtigkeit, kleinen Baufehlern und anderen abhängig. Diese Faktoren kannst du kaum kontrollieren.

Wie du Schaltkreise bauen kannst, die kleine Fehler **verzeihen**, schauen wir uns später an. Jetzt werfen wir erst einmal einen Blick auf etwas, das du kontrollieren kannst: die Kettenspannung.

Verbinde zwei Schalter mit einer Kette,  
und zwar so:



Zuerst schiebst du die Schalter  
vorsichtig voneinander weg, damit die  
Kette straff gespannt ist. Achte  
darauf, dass beide Schalter AN sind, und  
drehe sie dann mit deinem Finger. Wie  
einfach lassen sich die Schalter drehen?



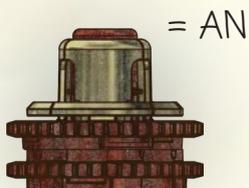
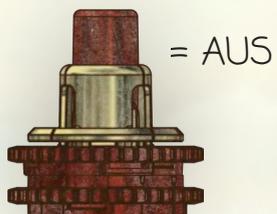
Anschließend schiebst du einen der beiden  
Schalter ein ganz klein wenig auf den  
anderen zu, damit die Kette nur ein kleines  
bisschen Spiel hat. Drehe die Schalter mit  
deinem Finger. Wie einfach lassen sie sich drehen?



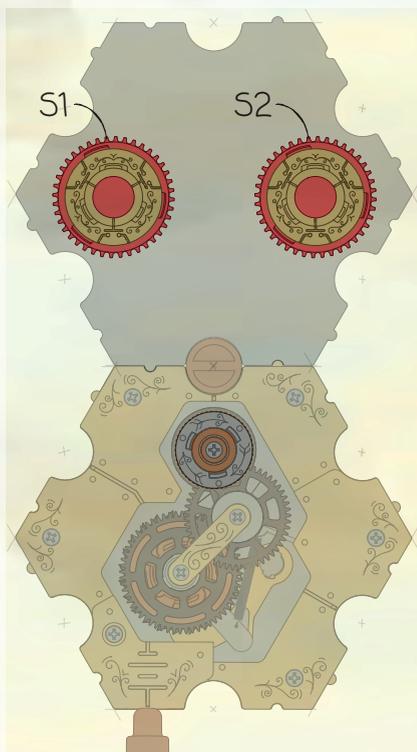
Sind Ketten sehr straff gespannt, verursachen sie einen großen  
Widerstand. Achte also darauf, ein bisschen Spiel zu lassen, wenn du  
die Bauelemente miteinander verbindest.

# RÄTSEL 8: DAS „UND“-GATTER

BAUE EINEN SCHALTKREIS, IN DEM SICH DER WIDERSTAND NUR DANN DREHT, WENN BEIDE SCHALTER S1 UND S2 AN SIND.



## STARTAUFSTELLUNG



### VERFÜGBARE BAUELEMENTE



SCHWIERIGKEITSGRAD:



DATUM:

10. SEPTEMBER 1892

Natalia freute sich den ganzen Tag lang auf ihre Abende in der Uhrmacherscheune.



Die unerträglich langen Tage begannen, sich kürzer anzufühlen.

Sie fühlten sich aber nicht nur kürzer an, sie waren kürzer. Und die Nächte schienen tatsächlich länger zu sein. Natalia arbeitete so konzentriert wie nie zuvor.



Da bemerkte sie etwas Seltsames ...



Was ist los mit dir?



Du tickst viel zu langsam.



Ich habe dich doch vollständig aufgezogen...

... und kaputt bist du auch nicht ...





Allmählich verstand Natalia, was hier vor sich ging, und ihr Herz begann zu rasen.



Sie legte ihre Lieblingsuhr als Maßstab an, um damit den Lauf der Zeit zu messen ...



... und dehnte den Rest der Nacht so weit aus, wie sie konnte.

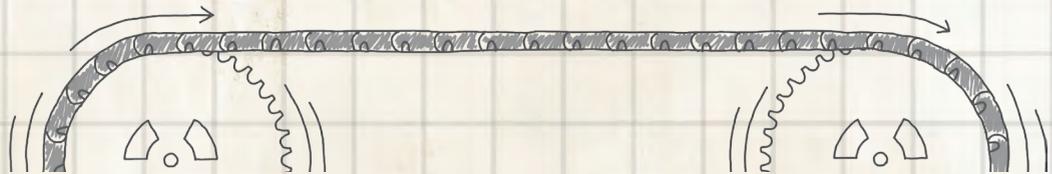
## Einheit 5: Strom

Wie schnell fließt Strom durch Drähte? Unglaublich schnell, oder!?! FALSCH!  
Elektronen bewegen sich eher wie die Ketten in Spintronics-Schaltkreisen.

Wie das möglich ist? Stell dir einen langen Schlauch voller Murmeln vor. Wenn du an einem Ende eine Murmel reinsteckst, rollt am anderen Ende sofort eine Murmel raus, obwohl sich die anderen Murmeln dabei aber gar nicht schnell bewegen.



So ist das auch bei Elektronen in Drähten. Signale lassen sich durch Drähte schnell übertragen. Das geht aber nur, weil die Drähte bereits voller Elektronen sind. Bei Spintronic-Ketten ist das auch so! Ziehst du an einem Ende einer langen Kette, bewegt sich sofort auch das andere, obwohl sich die Ketten selbst nicht schnell bewegen.



Die Bewegung der Ketten (oder Elektronen) durch einen Schaltkreis nennt man „Strom“. Bewegt sich die Kette schnell, ist die Stromstärke hoch. Die Stromstärke messen wir in Spin-Ampere. Das Symbol für ein Spin-Ampere ist „ $\text{Å}$ “.

Wie schnell ist ein Spin-Ampere? Eine Kette mit einer Stromstärke von  $0,001 \text{ Å}$  bewegt sich jede Sekunde so weit:  $\text{—|—|—}$