

Bauanleitung

# *Das Wirbelstrom-Rohr*



AstroMedia 

Bastelspaß der Wissen schafft

# Das Wirbelstrom-Rohr

## Bausatz für ein Magnetkugel-Fallrohr zur Demonstration von Induktion mit Wirbelstrom-Bremseffekten

### Wirbelströme:

#### Wie sie entstehen und wie man sie nutzt

Ein Magnet ist immer von einem Magnetfeld umgeben. Bewegt er sich in der Nähe eines elektrisch leitenden Drahtes, z.B. durch eine Drahtschleife oder -spule hindurch, dann erzeugt das sich bewegende Magnetfeld in dem Draht einen Stromfluss. Das nennt man **elektromagnetische Induktion**. Entdeckt wurde es etwa 1831 von den Physikern Michael Faraday (England), Joseph Henry (USA) und Hans Christian Ørsted (Dänemark). Nach diesem Prinzip arbeiten **Stromgeneratoren**.

Das lässt sich aber auch umkehren: Verändert sich der Stromfluss in einem Draht, entsteht um ihn für die Dauer der Veränderung ein Magnetfeld. Nach diesem Prinzip arbeiten **Elektromotore**, denn bei geschickter Anordnung, z. B. als Spule mit einem Eisenkern, ruft dieses Magnetfeld in dem Eisen Ströme mit wieder eigenem Magnetfeld hervor, das mit dem Magnetfeld des Drahtes anziehend oder abstoßend wechselwirkt.

Bewegt sich ein Magnet entlang einer ausgedehnten leitenden Fläche, z. B. so wie in diesem Bausatz durch ein Rohr, dann erzeugt sein Feld auch in diesem einen Stromfluss. Aber weil es sich um eine Fläche und nicht um einen Draht handelt, entstehen in ihr Ströme, die sich im Kreis bewegen, und das sind die **Wirbelströme**. Die Drehrichtung dieser Wirbelströme ist dabei so, dass das von ihnen erzeugte Magnetfeld mit seinen Polen den gleichnamigen Polen des bewegten Magneten immer entgegen gerichtet ist, wodurch es zu einer Abbremsung kommt. Dieses Phänomen hat der deutsche Physiker Emil Lenz 1833 genauer untersucht und in der so genannten **Lenzchen Regel** als Gesetz formuliert. Es besagt:

*Ein Magnetfluss (ein sich bewegendes Magnetfeld) ruft in einem Leiter durch Induktion eine elektrische Spannung hervor. Der dadurch fließende Strom ist so gerichtet, dass sein Magnetfeld der Bewegung des verursachenden Magnetfeldes entgegengesetzt wirkt.*

Das gilt auch für die mit Drahtspulen arbeitenden Generatoren oder Motoren, weshalb man ja auch mechanische bzw. elektrische Energie zur Überwindung dieses Bremswiderstandes aufwenden muss, um sie zu betreiben.

Der Bremsseffekt durch Wirbelströme in flächigen Leitern hat übrigens als verschleißfreie **Wirbelstrombremse** eine wichtige technische Anwendung gefunden, z.B. in Lastkraftwagen, Bussen und Schienenfahrzeugen.

### Dieser Bausatz enthält:

- 2 Stanzbögen aus 0,65 mm starkem Konstruktionskarton
- 1 Unterlegscheibe Messing, Ø außen 16 mm, Ø innen 8,4 mm, H 0,16 mm
- 2 Aluminiumrohre Ø außen 20 mm, Ø innen 16 mm
- 1 Neodym-Kugelmagnet Ø 15 mm
- 1 Edelstahlkugel Ø 15 mm
- 1 Stück Schleifpapier Körnung 150

### Bastelutensilien, die du noch für den Zusammenbau benötigst:

- Eine feste, ebene **Schneideunterlage**, am besten eine **Schneidematte**, bei der sich die Einschnitte wieder schließen
- Ein scharfes **Messer** z.B. das Bastelmesser von AstroMedia oder ein Skalpell zum Durchtrennen der Haltestege in den Kartonplatten und zum Durchschneiden der Schnittlinien von sehr schmalen Schlitzern, die aus technischen Gründen nur angestanzt werden können
- Einen guten **Alleskleber**. Lösungsmittelhaltiger Alleskleber ist besser geeignet als wasserbasierter lösungsmittelfreier Kleber: Er trocknet schneller und wellt den Karton nicht. Am saubersten lässt sich der Kleber mit einer sogenannten Nadelflasche verteilen, z.B. der Klebstoff-Nadelflasche von AstroMedia
- *Optional: Eine für Aluminium geeignete Politurmasse für eine Glanzpolitur der Aluminium-Rohre (gibt es im Drogerie- oder Baumarkt)*
- *Optional: Einen schwarzen und einen goldenen **Filzstift** zum Einfärben von Kartonkanten*

**Diese und weitere Bastelutensilien findest du auch in der gleichnamigen Rubrik in unserem [astromedia.de-Onlineshop](https://www.astromedia.de)**

## Bitte vor Beginn durchlesen:

### Tipps für einen erfolgreichen Zusammenbau

Diese Bauanleitung wurde in zahlreiche Schritte gegliedert. Das sieht zwar zunächst nach recht viel Text aus, macht aber den Zusammenbau übersichtlich und den Bauerfolg viel sicherer. Bitte lies jeden Schritt vor seiner Durchführung ganz durch und gönn dir genügend Zeit. Du wirst am Ende ein selbst gebautes Präzisionsgerät in der Hand halten, auf das du stolz sein kannst.

**1** Jedes Teil ist mit seinem Namen beschriftet sowie mit einer Teilenummer, die aus einem Buchstaben für den Bauabschnitt und einer Zahl für die Reihenfolge im Zusammenbau besteht, z. B. [A2] oder [B4\*4]. Das [\*4] bedeutet, dass es von diesem Teil vier identische gibt, alle mit derselben Teilenummer.

**2** Löse die ausgestanzten Teile am besten immer erst dann aus den Kartonplatten, wenn sie benötigt werden. Du kannst die kleinen Stege, mit denen die Teile und der Kartonbogen verbunden sind, vorher mit einem scharfen Messer durchtrennen.

**3** Zu verklebende Flächen sind hellgrau bedruckt. Auf den Klebeflächen findet sich ein Klebesymbol, z.B. [A2]. Es gibt an, welches andere Teil (hier: das Teil A2) auf diese Stelle geklebt werden soll. Die Klebeflächen sind etwas kleiner als das, was darauf geklebt wird, damit es nicht zu unerwünschten „Blitzern“ kommt (schmalen überstehenden Rändern).

**4** Aus technischen Gründen können schmale Schlitze manchmal nur angestanzt werden. Diese Linien müssen vor der Verarbeitung erst noch ganz durchgeschnitten werden.

**5** Lasse alle Teile vor der Weiterverarbeitung gut trocknen. Basteltipp für kleinere Flächen: Trage einseitig eine nicht zu dünne Schicht Alleskleber auf und drücke die Teile zusammen, so dass er sich auf beiden Seiten flächig verteilt. Ziehe die Teile wieder auseinander, entferne ggf. Klebstofffäden und blase dann zwei bis drei Mal darüber. Drücke dann die Teile passgenau und kräftig zusammen – die Klebung hält sofort.

**6** Mit „**Option:**“ sind Hinweise gekennzeichnet, die Sie ausführen können, wenn Sie dem Karton ein perfektes Aussehen geben wollen, aber nicht müssen, da sie für die eigentliche Funktion nicht nötig ist.

## Bauanleitung

**Bitte lies jeden Schritt vorher ganz durch.**

### A: Die Grundplatte

Die Grundplatte besteht aus 4 Lagen Karton von 0,65 mm Stärke, so wie alle anderen mit ihr verklebten Elemente auch. Dieses 2,6 mm starke Laminat verfügt über eine Steifigkeit, die sich fast mit Sperrholz messen kann.

Die beiden oberen Lagen der Grundplatte unterscheiden sich von den unteren durch ein Loch, das direkt unter dem Fallrohr liegt und in das die Unterlegscheibe aus Messing geklebt wird. Sie erzeugt beim Aufprall der Kugel einen gut wahrnehmbaren Ton und signalisiert damit das Ende des Fallvorgangs.

#### Schritt 1

Löse das Oberteil [A1] und das Unterteil der Grundplatte [A4, beide Bogen 1] aus dem Kartonbogen, ebenso die beiden Mittelteile [A2] und [A3, beide Bogen 2]. Löse die gestanzten Schlitze und Löcher aus dem Karton.

#### Schritt 2

Klebe das Oberteil [A1] und das Mittelteil 1 [A2] aufeinander und folge dabei wie auch bei allen folgenden Klebevorgängen den Angaben der Klebesymbole. Klebe dann darunter das Mittelteil 2 [A3] und das Unterteil [A4]. Achte gut darauf, dass alle Kanten und alle Schlitze genau übereinander liegen, z. B. durch Aufstoßen der Kanten auf der Arbeitsfläche. Gut trocknen lassen. **Option:** Die weißen Kanten der Grundplatte golden einfärben.

#### Schritt 3

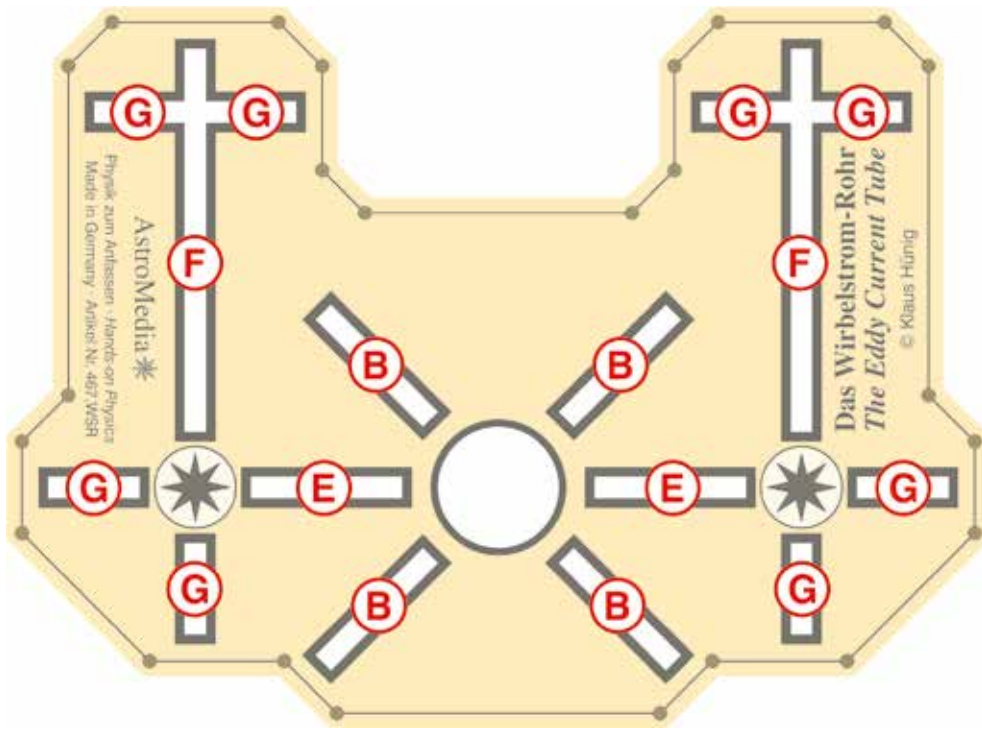
Klebe die Unterlegscheibe in das Loch, das sich in den beiden oberen Lagen befindet. Verwende dabei viel Kleber, da sie sich ansonsten durch die Wucht des Aufpralls der Edelstahlkugel schnell wieder löst.

### B: Die Rohrstützen

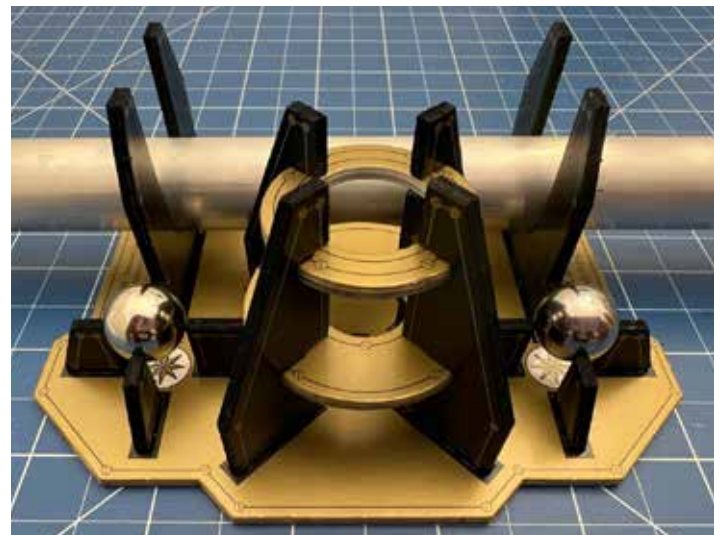
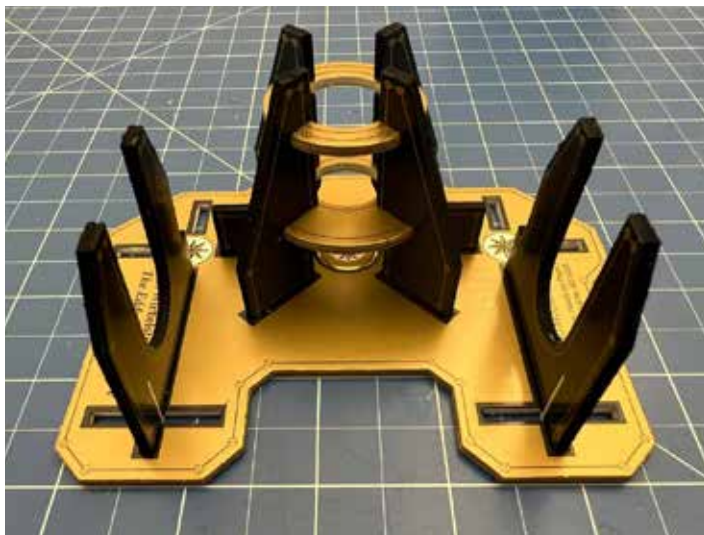
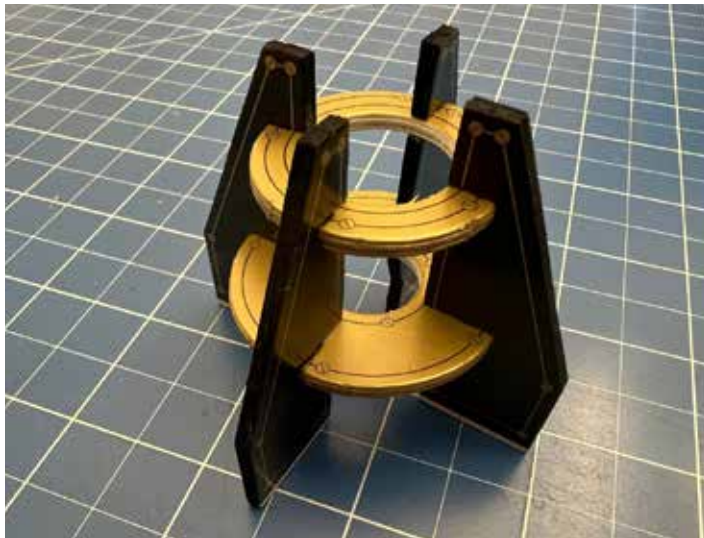
Das Rohr wird von vier Stützen gehalten, die durch zwei Stützringe (Abschnitte C und D) miteinander verbunden sind. Diese werden dafür in die Schlitze gesteckt, die sich an der geraden Kante der Stützen befinden.

Die vier Teile, aus denen eine Stütze zusammengeklebt wird, tragen die gleiche Nummerierung [B1\*4], [B2\*4] usw. An ihren Füßen tragen die Rohrstützen eine schmale graue Klebemarkierung, dort werden sie in die Grundplatte geklebt, aber erst nach dem Zusammenbau mit den Stützringen.





**Montageskizze:** Zuordnung der Bauteile zu den Schlitz in der Grundplatte



#### Schritt 4

Klebe die vier Rohrstützen jeweils aus einem Vorderteil [B1\*4, Bogen 1], den beiden Mittelteilen [B2\*4] und [B3\*4, beide Bogen 2] sowie der Rückseite [B4\*4, Bogen 1] zusammen. Achte darauf, dass alle Kanten genau übereinander liegen.

**Option:** Die Kanten der Stützen schwarz einfärben, auch die Unterkante. Sie wird nach dem Einkleben in die Grundplatte sichtbar sein.

#### Schritt 5

Prüfe, ob sich die Füße der Rohrstützen in die mit **(B)** gekennzeichneten Schlitz in der Grundplatte stecken lassen (s. Montageskizze). Falls sie zu breit sind, kannst du z.B. mit der Rundung eines Löffels auf beiden Seiten kräftig über die Unterkante fahren und sie auf diese Weise etwas zusammendrücken.

*Lege die Stützen beiseite, sie werden jetzt noch nicht festgeklebt.*

### C: Der große Stützring

*Der große Stützring hat vier kurze Schlitz auf der Außenseite, in welche die Rohrstützen mit ihren unteren Schlitzen gesteckt werden. Seine Öffnung ist kleiner als der Außendurchmesser des Aluminiumrohrs, damit dieses darauf aufsitzen kann, wenn es in die Halterung hineingesteckt wird.*

#### Schritt 6

Klebe den großen Stützring aus der Oberseite [C1, Bogen 1], den beiden Mittelteilen [C2] und [C3, beide Bogen 2] sowie der Unterseite [C4, Bogen 1] zusammen. Achte darauf, dass die Schlitz genau übereinander liegen. **Option:** Die Kanten golden einfärben.

### D: Der kleine Stützring und der Zusammenbau von Rohrstützen und Stützringen

*Auch der kleine Stützring hat vier Schlitz auf der Außenseite. Sie greifen in die oberen Schlitz der Rohrstützen ein. Seine Öffnung ist gerade so groß, dass das Aluminiumrohr hindurchpasst. Das verleiht ihm einen guten Halt.*

#### Schritt 7

Klebe den kleinen Stützring aus der Oberseite [D1, Bogen 1], den beiden Mittelteilen [D2] und [D3, beide Bogen 2] sowie der Unterseite [D4, Bogen 1] zusammen. Die Schlitz müssen wieder genau übereinander liegen. **Option:** Die Kanten golden einfärben.

*Jetzt können die vier Rohrstützen und die beiden Stützringe zusammengebaut und in die Grundplatte montiert werden:*

#### Schritt 8

Stecke zunächst zur Probe den kleinen Stützring mit einem seiner Schlitz in den oberen Schlitz einer Rohrstütze. Schiebe ihn so weit darauf, bis die Kante der Stütze bündig mit dem Innendurchmesser des Ringes ist und sich die Endkanten der beiden Schlitz berühren. Stecke dann den großen Stützring in gleicher Weise in den unteren Schlitz der Rohrstütze. Ziehe die Stützringe wieder heraus, bringe etwas Klebstoff auf den grauen Klebemarkierungen an und klebe die Rohrstütze und die beiden Ringe zusammen.

#### Schritt 9

Klebe in gleicher Weise die anderen drei Rohrstützen auf die beiden Stützringe. Es entsteht ein stabiles kleines Gestell auf vier Beinen. Gut trocknen lassen.

#### Schritt 10

Stecke und klebe die Füße der vier Rohrstützen in die mit **(B)** markierten Schlitz der Grundplatte. Drücke die Stützen so tief in ihre Schlitz, bis sie bündig mit der Unterseite der Grundplatte sind. **Wichtig:** Die Stützen müssen alle gleich tief in ihren Schlitz stecken, sonst steht das Aluminiumrohr nicht gerade.

### E: Die rechteckigen Kugelhalter

*Die Magnet- und die Stahlkugel haben rechts und links von den Rohrstützen jeweils eine Halterung, die die Kugel sicher an ihrem Platz fixiert. Auf der Montageskizze sind sie durch Stern gekennzeichnet, und wie man schon an den Schlitz sieht, bestehen sie aus vier im Kreuz angeordneten Elementen: Einem Vorsprung an der Rohrhalterung **[F]**, zwei kleinen Stützen **[G]** und den rechteckigen Kugelhaltern **[E]**. Diese sorgen auch dafür, dass die durch das Rohr fallenden Kugeln nach dem Ankommen nicht seitlich herausrollen können, sondern nur nach vorne oder hinten.*

#### Schritt 11

Klebe die beiden rechteckigen Kugelhalter jeweils aus einer Vorderseite [E1\*2, Bogen 1], den beiden Mittelteilen [E2\*2] und [E3\*2, beide Bogen 2] und der Rückseite [E4\*2, Bogen 1] zusammen. Achte darauf, dass die schmalen grauen Klebemarkierungen auf der Vorder- und Rückseite in die gleiche Richtung zeigen. **Option:** Die Kanten schwarz einfärben.

#### Schritt 12

Drücke, falls nötig, wie bei den Rohrstützen die unteren Kanten zusammen, damit sie gut in die Schlitz passen. Klebe dann die beiden Kugelhalter in die mit **(E)** gekennzeichneten Schlitz. Wieder müssen die Unterkanten bündig sein mit der Unterseite der Grundplatte.



## F: Die Rohrhalterung

Die beiden Aluminiumrohre werden bei Nichtgebrauch in einer Halterung aufbewahrt, die aus den beiden Rohrhaltern **[F]** besteht. Zwei kleine Stützen **[G]** sorgen dafür, dass sie zuverlässig gerade stehen.

### Schritt 13

Klebe die beiden Rohrhalter jeweils aus ihrer Vorderseite [F1\*2, Bogen 1], den beiden Mittelteilen [F2\*2] und [F3\*2, beide Bogen 2] und der Rückseite [F4\*2, Bogen 1] zusammen. **Option:** Die Kanten schwarz einfärben.

### Schritt 14

Drücke, falls nötig, wieder die unteren Kanten zusammen, damit sie gut in die Schlitz passen. Klebe dann die beiden Rohrhalter in die mit **(F)** gekennzeichneten Schlitz, wobei die Seite mit der kleinen rechteckigen Stufe zum Stern hin zeigt, der Mitte der Kugelhalterung. Die vertikalen Klebmarkierungen befinden sich dann dort, wo im nächsten Abschnitt die kleinen Stützen hinkommen **[G]**.

## G: Die kleinen Stützen

Von den acht kleinen Stützen werden vier für die Kugelhalterungen benötigt und die anderen vier für die Rohrhalter.

### Schritt 15

Klebe die acht kleinen Stützen jeweils aus einer Vorderseite [G1\*8, Bogen 1], den beiden Mittelteilen [G2\*8] und [G3\*8, beide Bogen 2] und der Rückseite [G4\*8, Bogen 1] zusammen. Drücke, falls nötig, wieder die unteren Kanten zusammen, damit sie gut in die Schlitz passen. **Option:** Die Kanten schwarz einfärben.

### Schritt 16

Klebe dann je zwei kleine Stützen neben die beiden Rohrhalter in die mit **(G)** gekennzeichneten Schlitz und klebe sie gleichzeitig auch an den Rohrhaltern fest.

### Schritt 17

Klebe dann bei den beiden Kugelhalterungen jeweils zwei Stützen in die mit **(G)** markierten Schlitz, und zwar so, dass die geraden Kanten der kleinen Stützen zum Stern hin zeigen.

Jetzt sind alle Teile mit der Grundplatte verklebt und du kannst schon die Kugeln in die Kugelhalterungen und die beiden Rohre übereinander in die Rohrhalterung einlegen. Damit ist das Wirbelstrom-Rohr in seiner kurzen Version mit nur einem Rohr bereits voll einsatzfähig.

## H: Die Aluminiumrohre

Schon der Versuch mit nur einem der beiden 30 cm langen Rohre zeigt sehr klar die Bremskraft der Wirbelströme. Mit einem 60 cm langen Rohr ist er aber noch viel eindrucksvoller. Dafür kann man die beiden Rohrstücke mit einer Steckmanschette verbinden. Sie wird aus dem Papierstreifen gewickelt, der sich auf der vorletzten Seite dieser Bauanleitung befindet.

### Schritt 18

Entferne mit dem Sandpapier eventuell vorhandene Schnittgrate an den Enden der Aluminium-Rohre. **Option:** Poliere die Rohre mit einer für Aluminium geeigneten Politurpaste, bis sie den gewünschten Glanzgrad haben. Das Ergebnis zum Vorzustand ist eindrucksvoll!

### Schritt 19

Schneide die Rohrmanschette [H] aus dieser Bauanleitung aus und ziehe den Papierstreifen mit seiner Rückseite über eine Kante, so dass er sich wölbt und leichter wickeln lässt. Wickel den Streifen zunächst ohne Klebstoff zur Probe so um das Ende des einen Aluminiumrohres, dass erst die schmale graue Fläche am einen Ende der Rückseite und dann der Rest des Streifens um das Rohr gewickelt wird. Es entsteht eine Papierröhre, die zur Hälfte fest auf dem einen Aluminiumrohr sitzt und zur anderen innen schwarzen Hälfte eine Hülse bildet, in welche das zweite Rohr gesteckt werden kann.

### Schritt 20

Klebe den Papierstreifen so wie ausprobiert mit dem einen Ende am Aluminium fest und wickel und verklebe dann kantengenau die ca. vier Lagen mit sich selbst zu einer stabilen Hülse.

Jetzt kannst du bei Bedarf das 30 cm lange Rohr um weitere 30 cm verlängern.

**Das Wirbelstrom-Rohr ist damit fertig – herzlichen Glückwunsch!**

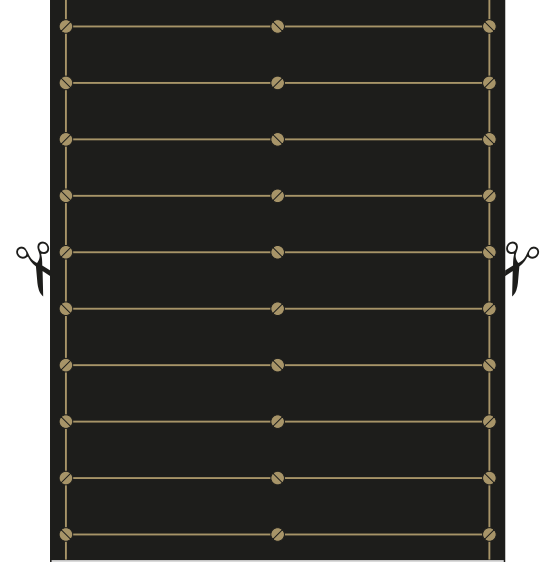
**Wir wünschen dir noch viel Spaß damit.**



### Tipps zur Benutzung:

- Wenn du jemanden zum Staunen bringen willst, verrate am besten vorher nicht, was es mit dem Versuch auf sich hat. Gib ihr oder ihm zuerst die nichtmagnetische Stahlkugel zum Einwerfen in das Rohr und vertausche sie dann unbemerkt mit dem Kugelmagneten. Messe mehrmals die Zeit vom Loslassen bis zum Auftreffen auf die Unterlegscheibe. Da heute jedes Handy über eine Stoppuhrfunktion verfügt, ist das sehr einfach.
- Wenn du den Kugeln dabei zusehen willst, wie sie durch das Rohr fallen, und du eine Bohrmaschine mit einem Metallbohrer hast, kannst du an einer Seite der Rohre Löcher anbringen. Ziehe dafür mit Bleistift und Lineal einen Strich auf beide Rohre und markiere z.B. alle 3 cm die Stelle für ein Loch (man kann, aber muss nicht, auch den Bereich der Manschette mit einbeziehen). Ein Lochdurchmesser von 3 oder 4 mm sollte genügen, er lässt sich bei Bedarf problemlos vergrößern. Du musst aber damit rechnen, dass sich dadurch die Fallzeit leicht verringert, denn die Löcher verursachen kleine Störungen in den Magnetfeldern der Wirbelströme.

© Klaus Hünig



Hier wird am Schluss  
das schwarz bedruckte  
Ende drübergeklebt.

Rohrmanschette



# Voll funktionstüchtige und lehrreiche **Karton-** **bausätze** aus **Astronomie** und **Technik**.



## DAS NEWTON- SPIEGELTELESKOP

### Ein Kartonbausatz für den Himmel

Trete in Newtons Fußstapfen und baue dir ein voll funktionstüchtiges Spiegelteleskop mit 30-facher Vergrößerung.



## DIE DAMPF- MASCHINE

### Der faszinierende Klassiker

Ein Teelicht-Antrieb mit raffinierter Dampfführung ermöglichen eine funktionstüchtige Maschine aus Karton.

Dieses Ende wird mit der grauen Fläche  
am Rohrende festgeklebt.  
Die schwarze Fläche steht über und ist  
der Beginn der gewickelten Hülse, in die  
das zweite Rohr gesteckt wird.