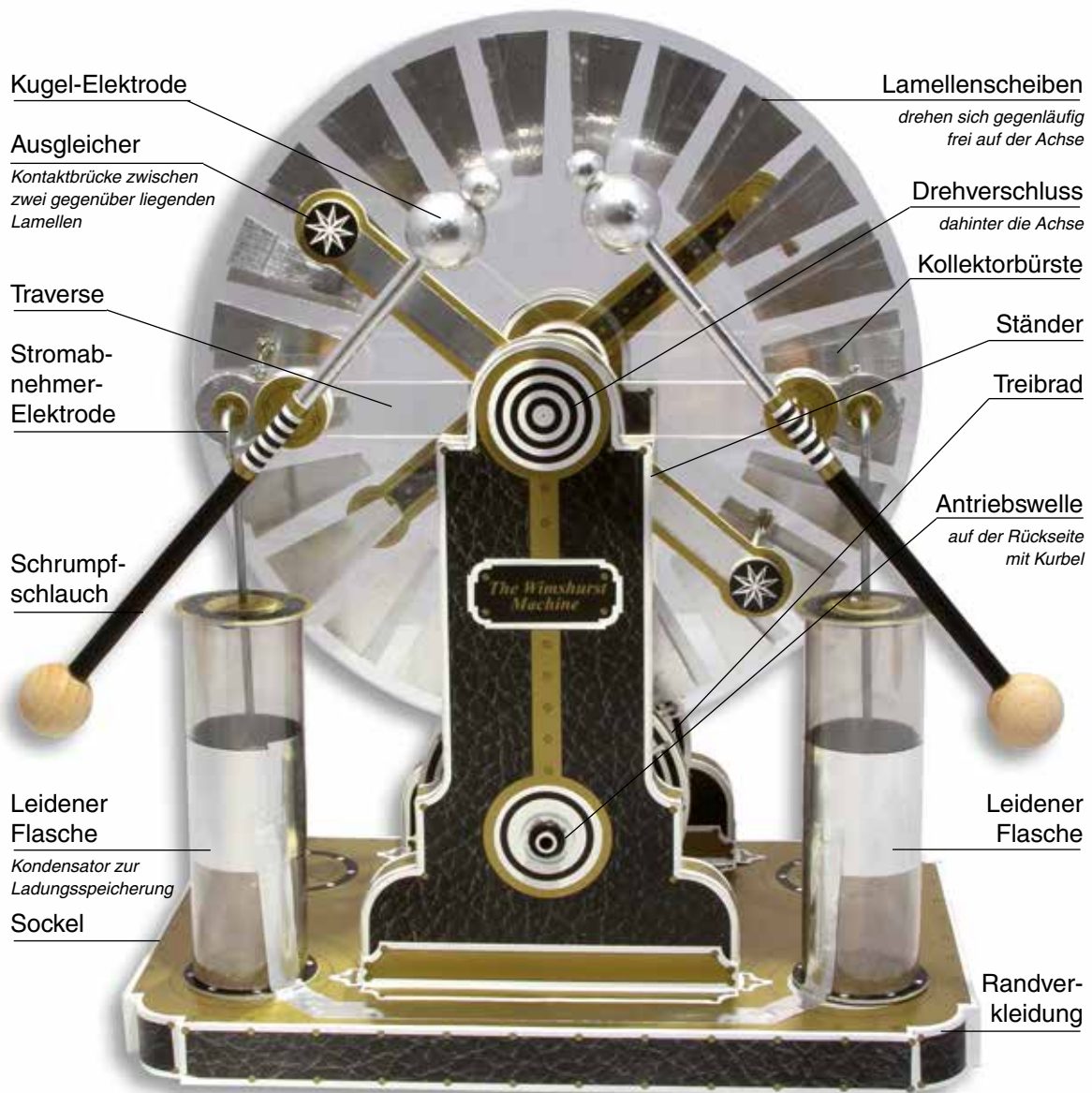


Die Wimshurst-Maschine



AstroMedia 



Die Wimshurst Maschine

James Wimshurst (1832 - 1903) war ein englischer Schiffsbauingenieur und Erfinder, der sich intensiv mit Elektrizität und ihrer Erzeugung befasste. Seine Influenzmaschinen, die er nach 1880 entwickelte, eröffneten erstmals die Möglichkeit, kontinuierliche Ströme mit sehr hoher Spannung zu erzeugen, wie sie z.B. für den Betrieb der ersten Röntgenapparate nötig waren.

Funktion der Wimshurst-Maschine: Die Wimshurst-Maschine ist ein hoch wirksamer Apparat, der aus mechanischer Energie (gegenläufige Drehung der beiden Lamellenscheiben über die Kurbel) statische Elektrizität erzeugt und speichert. Erzeugt wird die Spannung zwischen positiver und negativer Ladung durch Influenz (daher auch: Influenzmaschine), gespeichert wird sie in Leidener Flaschen (benannt nach der holländischen Stadt Leyden) und zum Ausgleich der Spannung kommt es durch Funkenschlag über die Kugelelektroden.

Elektrizität: Als Elektrizität bezeichnet man alle Erscheinungen, die mit ruhender oder bewegter elektrischer Ladung zu tun haben und die deshalb in die Gebiete der statischen Elektrizität und des elektrischen Stroms zusammengefasst werden. Die Phänomene sind seit dem Altertum bekannt, als der griechische Naturphilosoph Thales von Milet um 600 v.Chr. entdeckte, dass Bernstein kleine leichte Teilchen anziehen konnte, wenn man ihn mit einem Fell rieb. So gab dann auch das griechische Wort für Bernstein *elektron* dem ganzen Gebiet seinen Namen.

Die Elektrostatik beschreibt die Wirkung, die Stoffe mit unterschiedlicher oder gleicher elektrischer Ladung aufeinander haben. Dabei stoßen sich gleichnamige Ladungen (Plus / Plus oder Minus / Minus) ab, ungleichnamige (Plus / Minus) ziehen sich an. Kommt es zu einem Ausgleich unterschiedlicher Ladungen, z.B. durch die Verbindung mit einem elektrischen Leiter oder durch Funkenschlag, fließt Strom, und die Spannung zwischen den vorherigen Ladungsträgern fällt auf null. Im Alltag hat man es dabei oft mit zwar sehr hohen Spannungen von Tausenden Volt, jedoch sehr schwachen und damit ungefährlichen Stromstärken zu tun. Bekannt ist das Knistern von Kleidungsstücken aus synthetischen Fasern, die im Dunkel sogar kleine Blitze erzeugen können, oder der leichte elektrische Schlag, den man beim Verlassen eines Autos bekommen kann.

Kondensator (von lat. *condensare* „verdichten“): Kondensatoren bestehen aus zwei elektrisch leitenden, durch einen Isolator getrennten Flächen, den Kondensator-Elektroden, die entgegengesetzt aufgeladenen sind und zwischen denen deshalb eine Spannung besteht. Jede Lamelle einer Lamellenscheibe der Wimshurst-Maschine bildet mit der direkt gegenüber liegenden Lamelle der anderen Scheibe jeweils einen Kondensator. Leidener Flaschen sind auch Kondensatoren, die sogar hochspannungstauglich sind. Ursprünglich waren sie richtige Glasflaschen mit Metallbelägen auf der Innen- und der Außenseite, in diesem Bausatz bestehen sie aus gerollter PVC-Folie mit Innen- und Außenbelägen aus Alufolie. Ohne die Leidener Flaschen wären die gewünschten Funkenentladungen über die Kugel-Elektroden nicht möglich, weil sich keine ausreichende Ladung ansammeln könnte.

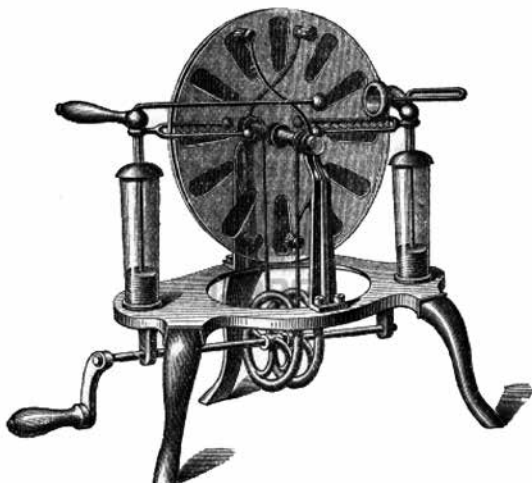
Influenz (von lat. *influentia* Einfluss): Eine Ladung auf einer Lamelle bewirkt durch Influenz auf der gegenüber liegenden Lamelle der anderen Scheibe eine gleiche Ladung mit entgegengesetztem Vorzeichen. Werden die Lamellen durch eine Kraft auseinander bewegt, was bei der gegenläufigen Bewegung der Lamellenscheiben ja fortlaufend geschieht, erhöht sich sowohl die positive Ladung in der einen wie die negative Ladung in der anderen Lamelle.

Ausgleicher (oder Neutralisator): Das ist der Arm mit Kollektorbürsten an den Enden, der schräg vor einer Lamellenscheibe steht und nacheinander jede Lamelle mit derjenigen auf dem gegenüber liegenden Ende der Scheibe verbindet. Der Ausgleicher bewirkt, dass auf der Lamelle am einen Ende des Arms eine Ladung in genau gleicher Höhe entsteht wie auf der Lamelle am anderen Ende, nur mit umgekehrtem Vorzeichen. Auf den entgegen gesetzten drehenden Scheiben kommen dadurch in Höhe der Stromabnehmer Ladungen mit gleichem Vorzeichen an, die sich abstoßen und von den Bürsten der Stromabnehmer-Elektroden aufgenommen und in den Leidener Flaschen gespeichert werden können. - Jede Scheibe hat einen Ausgleicher, der jeweils von links oben nach rechts unten verläuft. Die Ausgleicher sind verstellbar: Stehen sie sehr steil, führt das zu höherer Ausgangsspannung bei geringerem Strom, stehen sie flacher, ist es umgekehrt.

Funkenschlag und Sprühentladungen: Hohe elektrische Spannungen, wie sie die Wimshurst-Maschine erzielt, neigen dazu, sich überall da, wo kleine und kleinste Spitzen und Ecken vorliegen, in die Umgebung zu entladen („Sprühentladung“), was man im Dunkeln als Leuchterscheinungen beobachten kann. Das ist auch der Grund, warum die Entladung der Leidener Flaschen über Kugel-Elektroden erfolgt: Hätten die Elektroden Spitzen statt Kugeln, käme es wegen der ständigen Sprühentladung nicht zu nennenswerten Funkenschlägen. Übrigens: Je höher die Luftfeuchtigkeit, umso eher kommt es zu Sprühentladungen, was das Funktionieren der Wimshurst-Maschine stark beeinträchtigen kann.

Zu diesem Bausatz: Die Wimshurst-Maschine von AstroMedia kann Spannungen bis 70.000 Volt und Funkenschläge bis 5 cm Länge erzeugen, die aber für den Menschen ungefährlich sind. Beachten Sie dazu die weiteren Hinweise am Ende der Bauanleitung und auf unserer Internetseite www.astromedia.de.

Danksagung: Autor und Verlag danken Dieter Hauffe für die Anregung und wichtige konstruktive Vorarbeiten zu diesem Bausatz, der wieder ein schönes Beispiel dafür ist, wie Ideen der AstroMedia-Kunden zu neuen Bausätzen führen können.



Dieser Bausatz enthält:

- 8 Stanzbögen aus Konstruktionskarton 0,5 mm
- 2 Stanzbögen aus Konstruktionskarton 0,65 mm
- 1 Stanzbogen aus Bilderdruckpapier 0,22 mm
- 1 Stanzbogen aus 0,06 mm Aluminiumfolie, selbstklebend (Lamellen und Leiterflächen)
- 2 Biegeteile aus Federstahldraht Ø 2,5 mm (Stromabnehmer-Elektroden)
- 4 Pappnägel (Schieferstifte) Ø 2,5 x 30 mm (Ausgleicher-Elektroden)
- 1 Lüsterklemme, 6-polig (Halterungen Kollektorbürsten)
- 1 Zopflitze aus Kupfer verzinkt, Querschnitt 0,75 mm², Länge 150 mm (Kollektorbürsten)
- 2 Lochscheiben aus Presskork Ø 19,5 x 4 mm, Dicke 5 mm (Halterungen Kugel-Elektroden)
- 5 Scheiben aus Hart-PVC Ø 20 x 6 mm, Dicke 1 mm (Lager Antriebswelle und Laufachse) (Bitte Hinweise in Schritt 12 beachten)
- 2 Scheiben aus Acrylglas Ø 210 x 6 mm, Dicke 2 mm (Lamellenscheiben)
- 1 Traverse aus Acrylglas 190 x 20 mm, Dicke 4 mm (isolierender Querbalken)
- 2 St. Aluminiumrohr Ø 6 x 4 mm, Längen 84 und 127 mm (Laufachse und Antriebswelle)
- 1 Gewindestange M4, Länge 106 mm (Montage Laufachse)
- 4 Karoseriescheiben, Ø 15 x 4,3 mm (Montage Laufachse)
- 2 Muttern M4 (Montage Laufachse)
- 2 Holzkugeln mit Durchgangsloch Ø 20 x 5,3 mm (Kugel-Elektroden)
- 2 Holzkugeln mit Halbloch Ø 20 x 5,3 mm (Kugel-Elektroden)
- 4 Holzkugeln mit Halbloch Ø 10 x 5,3 mm (Kugel-Elektroden)
- 1 Holzrundstab Ø 5 mm, Länge 40 mm (Kurbelgriff)
- 2 Holzrundstäbe Ø 5 mm, Länge 180 mm (Kugel-Elektroden)
- 2 Holzrundstäbe Ø 5 mm, Länge 45 mm (Kugel-Elektroden)
- 1 Schrumpfschlauch schwarz Ø 6,4 mm, Länge 140 mm (Isolierung Kugel-Elektroden)
- 2 O-Ringe Ø 4,5 x 2,5 mm (Arretierungen Antriebswelle)
- 2 St. PVC-Folie glasklar 105 x 297 mm, Dicke 0,3 mm (Leidener Flaschen)
- 2 Gummiringe Ø 90 x 5 mm (Treibriemen)

Das benötigen Sie noch für den Zusammenbau:

- Eine feste, ebene Arbeitsfläche
- Ein Geodreieck oder ein anderes Messgerät mit einem rechten Winkel, um die Justierbank zu kalibrieren
- Normalen lösungsmittelhaltigen Alleskleber, z.B. Tesa oder UHU Alleskleber. Benutzen Sie keinen lösungsmittelfreien Alleskleber auf Wasserbasis oder Weißleim, sie weichen den Karton auf, wellen ihn und haften schlecht an den mit Drucklack geschützten Kartonoberflächen. Alleskleber auf Lösungsmittelbasis bindet auch viel schneller ab. Möglicherweise benötigen Sie auch einen 2-Komponenten-Kleber für die Verbindung von Karton und Alurohren (s. Schritt 68)
- Sekundenkleber in Gelform, z.B. Pattex Sekundenkleber Ultra Gel Matic im Spender, zum Verkleben von Plastikteilen
- Etwas Klebefilm
- Eine Stecknadel, um einige Teile mit Stichmarkierung besonders präzise aufeinander kleben zu können.
- Ein scharfes Bastelmesser (sogen. Cutter-Messer, z.B. das Astro-Media Bastelmesser) oder ein Skalpell mit schlanker Spitze, um die Haltestege der gestanzten Teile durchzuschneiden und die Aluminiumfolie von ihrer Trägerfolie abzuheben
- Etwas mittelfeines Sandpapier zum Abschleifen von Kartonkanten
- Eine Schere u.a. zum Ablängen der Kupferlitze
- Zwei eher kleine Kombizangen, normaler oder besser spitz zulaufer Typ, zum Festziehen der Muttern an der Laufachse für die Lamellenscheiben. Hilfreich kann dabei auch ein kleiner Schraubenschlüssel Gr. 7 sein.
- Einen kleinen, schmalen Schraubendreher, z.B. einen Polprüfer, für die Schrauben der Lüsterklemmen
- Ein paar Wäscheklammern, um Verklebungen zu fixieren

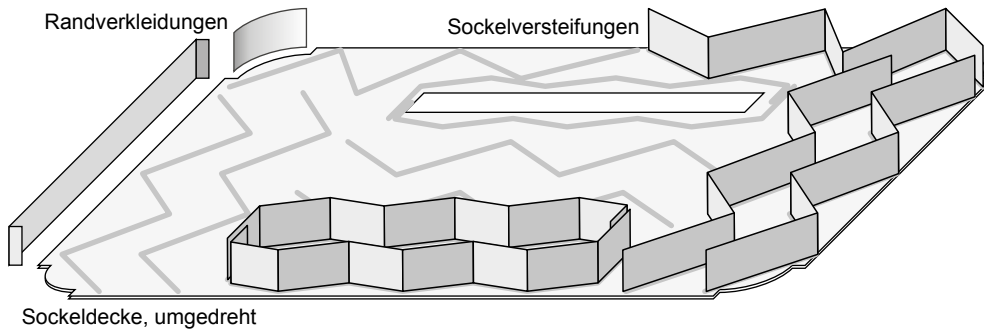
Tipps für einen erfolgreichen Zusammenbau:

Bitte lesen Sie diese Hinweise vor Baubeginn

1. Die Bauanleitung ist in die Abschnitte A bis S und diese wiederum in kleine Schritte mit ausführlicher Beschreibung gegliedert. Das sieht auf den ersten Blick nach viel Text aus, erleichtert und beschleunigt aber den Zusammenbau sehr und hilft Fehler zu vermeiden. Bitte lesen Sie jeden Schritt vorher ganz durch und gönnen Sie sich insgesamt je nach Erfahrung etwa 8 bis 15 Stunden für das Bastelvergnügen. Je sorgfältiger Sie Ihre Wimshurst-Maschine zusammenbauen, umso besser wird sie funktionieren und umso prächtiger wird sie aussehen.
2. Jedes Teil trägt an einer geeigneten Stelle der Vorder- oder Rückseite seinen Namen oder zumindest seine Teilenummer. Diese besteht aus einem Buchstaben und einer Ziffer in einem weißen Rechteck, wobei der Buchstabe für den Bauabschnitt steht und die Ziffer in der Regel der Reihenfolge des Zusammenbaus entspricht: E3. Im Text stehen die Teilenummern in eckigen Klammern.
3. Auch die gestanzten Teile aus selbstklebender Aluminiumfolie haben Namen und Teilenummern, erkennbar an dem Zusatz „-Alu“ nach der Ziffer. Da die Folie selber nicht beschriftet ist, befindet sich am Ende der Bauanleitung eine verkleinerte Abbildung des Aluminium-Stanzbogens, mit dem sich Namen und Nummern den Aluminiumteilen zuordnen lassen.
4. Die Stellen, auf die etwas geklebt werden soll, sind durch graue Flächen gekennzeichnet. Auf jeder Klebefläche steht ein Symbol, das aus einer kursiv gedruckten Teilenummer, einem Pfeil und einem kleinen offenen Rechteck besteht, z.B.: *E3*↗. Es bedeutet, dass das Teil mit dieser Nummer ganz oder mit einer Lasche an diese Stelle geklebt wird. Auf einigen grauen Klebeflächen findet sich auch dieses Symbol: ↖. Hier wird das Teil mit sich selber zusammengeklebt. Bitte beachten Sie, dass die Klebemarkierungen meistens einige Millimeter schmaler und kürzer sind als das darauf zu klebende Teil. Damit wird sichergestellt, dass die graue Markierungsfläche beim Kleben in jedem Fall überdeckt wird.
5. Um die Kanten ganz glatt werden zu lassen, sollten Sie die Teile nicht aus den Kartonbögen reißen, sondern die kleinen Haltestege mit einem Messer sauber durchschneiden. Falls sich Löcher o.ä. in einem Teil befinden, vergessen Sie nicht, vor dem Verkleben die Kartonreste daraus zu entfernen. Manchmal sind diese „Reste“ aber auch als eigene Teile gekennzeichnet, die noch gebraucht werden.
6. Es empfiehlt sich, größere flache Teile, die aufeinander geklebt werden, beim Trocknen auf einer ebenen Fläche etwas zu pressen, damit sie sich nicht wölben.
7. Die Falzlinien sind vorgegenutzt, in einigen Fällen auch durch kleine Schnitte vorbereitet. Im Text bedeutet „nach vorne falzen“ zu mir hin, wenn ich auf die mit Gold und Schwarz bedruckte Vorderseite des Kartons blicke, „nach hinten falzen“ von mir weg. Falze werden besonders gerade, wenn Sie die Nutlinien über eine Kante (Buch, Brett) legen und dann umbiegen.
8. **Wichtig: Die Lamellenscheiben und die Leidener Flaschen dieser Wimshurst-Maschine sind bewusst so dimensioniert, dass die maximale Stärke der Funkenschläge weit unter der gesundheitsgefährdenden Grenze bleibt. Beachten Sie bitte trotzdem die Sicherheitshinweise am Ende der Bauanleitung.**

Bauanleitung

Abschnitt B: Der Ständer 1



Abschnitt A: Der Sockel

Decke und Boden des Sockels bestehen aus je 2 Lagen Karton. Die Gesamthöhe von 18 mm wird durch 12 zickzackgefaltete Karton-Versteifungen erreicht, die mit ihren Kanten stumpf dazwischen geklebt werden. Dadurch erreicht der Sockel trotz seiner luftigen Bauweise fast die Steifigkeit einer Holzplatte. Die rechteckigen Ausschnitte in der Sockeldecke werden später die beiden Ständer aufnehmen.

Schritt 1: Entfernen Sie den Karton aus den Ausschnitten für die Ständer in den beiden Teilen der Sockeldecke [A1, Bogen 1] und [A2, Bogen 2] und kleben Sie die beiden Teile wie durch die Klebesymbole angegeben kantengenau aufeinander. Kleben Sie dann auch die beiden Teile des Bodens [A3, Bogen 3] und [A4, Bogen 4] aufeinander.

Die grauen Zickzack-Linien zeigen an, wohin die Sockelversteifungen geklebt werden. Die 4 etwas kürzeren Versteifungen um die Ausschnitte für die Ständer werden als erstes angebracht. Die Falze sind durch kleine Schnitte vorbereitet.

Schritt 2: Falzen Sie die Versteifungen 1 und 2 [A5, Bogen 1 und A6, Bogen 2] von beiden Enden her zunächst zweimal nach hinten, den Rest im abwechselnden Zickzack. Stellen Sie die Streifen ohne Kleber auf die grauen Klebemarkierungs-Striche rund um die eine Ständeröffnung auf der Unterseite der Sockeldecke [A1+2] und prüfen Sie, ob richtig gefalzt ist. Kleben Sie die Enden der beiden Streifen so aneinander, dass ein faltiges Rechteck entsteht und kleben Sie dann dessen Kanten mit reichlich Klebstoff um den einen Ständer-Ausschnitt herum. Drücken Sie die Streifen bis zum Trocknen des Klebers leicht an, damit sie ohne Spalt auf der Kartonfläche des Deckels sitzen.

Schritt 3: Verfahren Sie mit den Versteifungen 3 und 4 [A7, Bogen 3 und A8, Bogen 4] ebenso und kleben Sie sie auf die grauen Linien um den anderen Ständer-Ausschnitt.

Schritt 4: Falzen Sie die vier Versteifungen 5 bis 8 [A9 bis A12, Bogen 3] zu Zickzack-Streifen, ebenso die Versteifungen 9 bis 12 [A13 bis A16, Bogen 4]. Kleben Sie sie auf die verbliebenen grauen Klebelinien und drücken Sie sie beim Trocknen wieder an,

z.B. indem Sie den Sockelboden darauf legen und mit einem Buch beschweren.

Schritt 5: Bestreichen Sie rasch und großzügig die Kanten aller Versteifungen mit Klebstoff und legen Sie den Sockelboden [A3+4] darauf. Richten Sie Boden und Decke genau gegeneinander aus, indem Sie den Sockel mit allen Kanten auf Ihrer Arbeitsfläche aufstoßen und prüfen, ob er senkrecht steht. Es ist wichtig, dass Decke und Boden kantengenau übereinander liegen. Drehen Sie dann den Sockel um, so dass der frische Klebstoff auf den Boden fließen und ihn mit den Versteifungen verbinden kann und beschweren Sie ihn beim Trocknen etwas.

Jetzt fehlen nur noch die Randverkleidungen des Sockels. Sie befinden sich alle auf Bogen 11 und werden direkt auf die Kanten von Sockeldecke und -boden geklebt. Als erstes werden die runden Kanten an den Ecken beklebt, dann folgen die 4 geraden Ränder mit ihren kurzen abgewinkelten Eckstücken an den beiden Enden.

Schritt 6: Biegen Sie die Randverkleidung 1 [A17, Bogen 11] rund, indem Sie sie um einen runden Stab wickeln, z.B. eines der beiden Alurohre. Setzen Sie sie auf eine der gerundeten Ecken des Sockels und prüfen Sie, ob sie gut anliegt. Falls sie etwas zu lang ist, schneiden Sie einen schmalen Span ab. Bestreichen Sie dann die Randverkleidung auf der Rückseite an den Kanten nicht zu knapp mit Klebstoff und setzen Sie sie so auf die ausprobierte runde Ecke, dass sie die Kanten von Sockeldeckel und -boden gleichmäßig bedeckt. Entfernen Sie ggf. überstehenden Klebstoff, und wenn die Klebung angezogen hat, verfahren Sie mit den drei anderen runden Randverkleidungen 2 bis 4 [A18 bis 20, Bogen 11] ebenso.

Schritt 7: Falzen Sie bei der Randverkleidung 5 [A21, Bogen 11] die beiden Endstücke scharf nach hinten und legen Sie den Streifen auf eine der beiden kurzen Kanten des Sockels. Prüfen Sie, ob er überall genau anliegt und korrigieren Sie falls nötig die Lage der Falze und/oder die Länge der kleinen Eckstücke an den Enden. Kleben Sie die Randverkleidung 5 in gleicher Weise wie im vorangehenden Schritt auf den Kanten von Sockeldecke und -boden fest. Verfahren Sie mit den Randverkleidungen 6 bis 8 [A22 bis 24, Bogen 11] ebenso.

Der Sockel ist damit fertig.

Die beiden Ständer 1 und 2 erreichen ihre große Stabilität nach dem gleichen Prinzip wie der Sockel: Zwischen Vorder- und Rückseite aus je 2 Schichten Karton werden Zickzack-Versteifungen geklebt. In den Vorderseiten beider Ständer befinden sich zwei Ausschnitte, unten für das scheibenförmige Lager der Antriebswelle aus Hart-PVC und oben für den Drehverschluss, mit dem die Verschraubung der Achse jederzeit zugänglich bleibt, z.B. falls einmal ein Treibriemen gewechselt werden muss.

Schritt 8: Lösen Sie die äußere und die innere Vorderseite [B1, Bogen 5] und [B2, Bogen 6] aus dem Kartonbogen. Entfernen Sie aus ihnen die Teile [B22] und [B24] bzw. [B23] und [B25] und legen Sie sie beiseite. Kleben Sie die äußere und die innere Vorderseite aufeinander.

Der Drehverschluss wird zwar erst ganz am Ende nach Abschluss der Montage benötigt, da er aber eventuell noch eingepasst werden muss und das am besten nach diesem Schritt geht, wird er schon jetzt zusammengebaut:

Schritt 9: Kleben Sie die beiden Deckelteile des Drehverschlusses 1 und 2 [B20, Bogen 7] und [B21, Bogen 8] kantengenau aufeinander, ebenso die beiden aus dem Ständer herausgelösten runden Halsteile 1 und 2 [B22 und B23] und die beiden Drehverschlussteile 1 und 2 [B24 und B25].

Schritt 10: Kleben Sie das runde Halsteil auf die Rückseite des Deckels und dann darauf den Drehverschluss. Das geht am genauesten, indem Sie eine Stecknadel durch die Lochmarkierungen in der Mitte der 3 Teile stecken und sie dadurch perfekt zentrieren. Es sollte kein Klebstoff seitlich austreten. Gut trocknen lassen.

Schritt 11: Biegen Sie die „Flügel“ des Riegels etwas hoch, damit sie von innen hinter die Ständerwand greifen können, und stecken Sie den Riegel durch das Loch im Kopf der Ständer-Vorderseite. Wenn er sich nicht locker hindurch stecken und drehen lässt, muss die Öffnung etwas erweitert werden. Das geht mit einem Stück gerolltes Sandpapier oder auch mit einem scharfen Messer, mit dem rundum ein schmaler Span weggeschnitten wird. Evtl ist es auch hilfreich, den Riegel selber etwas abzuschleifen. – Legen Sie danach den Drehverschluss beiseite, er wird erst später benötigt.

Schritt 12: Damit die runde Öffnung unten im Fuß des Ständers die Lagerscheibe aus Hart-PVC aufnehmen kann, wird zunächst die innere Lagerhalterung [B4, Bogen 6] auf die mit dem Klebesymbol gekennzeichnete Stelle aufgeklebt. Dann wird von vorne die Lagerscheibe mit etwas Klebstoff (Sekundenkleber hält besonders gut) in die Vertiefung gedrückt und von außen mit der äußeren Lagerhalterung [B3, Bogen 5] fixiert. **Wichtig:** Der Innendurchmesser der PVC-Lagerscheiben sollte 6 mm betragen.

Produktionsbedingt kann er aber auch etwas kleiner ausfallen. Prüfen Sie deshalb bei allen Lagerscheiben, ob sich die Alu-Rohre ohne Spiel, aber auch ohne Widerstand in dem Loch drehen lassen. Falls nötig, können Sie das Loch problemlos erweitern, indem Sie einen breiten Schraubenzieher, eine kleine zusammengeklappte Schere o.ä. mit leichtem Druck im Loch drehen, bis es passt.

Schritt 13: Entfernen Sie den Karton aus den kleinen Löchern in der äußeren und inneren Rückseite [B5, Bogen 7] und [B6, Bogen 8] und kleben Sie die Teile aufeinander.

Schritt 14: Falzen Sie die Versteifungen 1 bis 8 [B7 bis B14, Bögen 1 und 3] im Zickzack und kleben Sie sie stumpf auf die innere Vorderseite, also die Seite, wo schon die Lagerscheibe eingeklebt ist. Versuchen Sie dabei, möglichst genau auf die grauen Linien zu kleben. Bestreichen Sie nach dem Trocknen die Kanten der Versteifungen rasch mit reichlich Klebstoff, legen Sie die Rückseite des Ständers darauf und richten Sie Vorder- und Rückseite wieder präzise aufeinander aus, so dass Kante genau über Kante liegt. Legen Sie den Ständer mit der Rückseite nach unten auf eine ebene Fläche, beschweren Sie ihn etwas und lassen Sie den Kleber gut trocknen.

Schritt 15: Wölben Sie das bedruckte Ende der Randverkleidung 1 [B15, Bogen 11] nach hinten und setzen Sie sie probeweise auf eine der unteren Kanten des Ständers, so dass sie in der Ecke beginnt, sich eng an die Rundung anschmiegt und dann mit dem Fuß des Ständers abschließt. Kleben Sie sie in dieser Position fest und verfahren Sie dann mit der Randverkleidung 2 [B16, Bogen 11] ebenso.

Schritt 16: Falzen Sie die beiden Endstücke der Randverkleidung 3 [B17, Bogen 11]

scharf nach hinten und wölben Sie den dazwischen liegenden Abschnitt dort, wo er an das längere Endstück grenzt, nach vorne. Damit ist die Randverkleidung an den verbleibenden seitlichen Rand des Ständers angepasst. Korrigieren Sie ggf. die Lage der Falze und die Länge der Endstücke und kleben Sie das Teil auf den Kanten des Ständers fest. Verahren Sie dann mit der Randverkleidung 4 [B18, Bogen 11] ebenso.

Hinweis: Die bogenförmige Randverkleidung [B19, Bogen 11] für den runden Kopf des Ständers wird erst nach Abschluss der Montage angebracht, um die Montage der Achse zu erleichtern.

Abschnitt C: Der Ständer 2

Bis auf die Bogenverkleidung für den Kopf [C19, Bogen 11] ist der Ständer 2 in allen Teilen identisch mit dem Ständer 1. Auch die Nummerierung der Teile ist identisch, nur beginnt sie mit „C“ statt „B“.

Schritt 17: Kleben Sie die innere und äußere Vorderseite [C1, Bogen 5] und [C2, Bogen 6] aufeinander, bauen Sie aus den herausgelösten Hals- und Riegelteilen [C22+C23] und [C24+C25] sowie den Deckelteilen [C20, Bogen 7] und [C21, Bogen 8] den Drehverschluss zusammen. Passen Sie den Drehverschluss in die Öffnung oben an der Ständervorderseite ein.

Schritt 18: Befestigen Sie die Lagerscheibe aus Hart-PVC mit Hilfe der Lagerhalterungen [C3, Bogen 5] und [C4, Bogen 6].

Schritt 19: Kleben Sie die innere und äußere Rückseite [C5, Bogen 7] und [C6, Bogen 8] zusammen, falzen Sie die Versteifungen 1 bis 8 [C7 bis C14, Bögen 2 und 4] und kleben Sie sie auf die innere Vorderseite auf die grauen Linien.

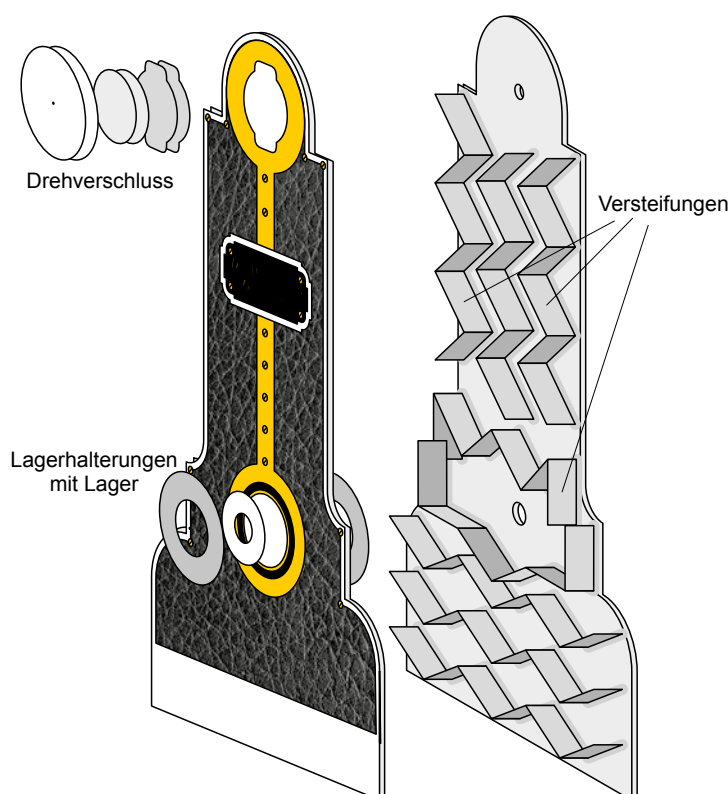


Abb. 2: Ständer

Kleben Sie dann wie beim anderen Ständer die Vorderseite [C1+2] darauf.

Schritt 20: Bekleben Sie die Ränder des Ständers mit den Randverkleidungen 1 bis 4 [C15 bis 18, Bogen 11].

Schritt 21: Stecken Sie die Ständer zur Probe in die dafür vorgesehenen Öffnungen im Sockel, mit den eingebauten Lagerscheiben auf der Außenseite. Sie sollten stramm, aber nicht zu stramm in ihnen sitzen und unten auf dem Boden aufstoßen. Wenn die Öffnungen zu eng sind, schleifen Sie an den Rändern so viel ab wie nötig. Unregelmäßigkeiten, die evtl. dabei entstehen, sind kein Problem, da die Kanten zwischen Ständer und Sockel nach der Endmontage mit einer Manschette überklebt werden.

Abschnitt D: Die Traverse

Die Traverse ist ein Querträger aus 4 mm starkem, isolierendem Acrylglas, das in den Kopf des einen Ständers eingeschraubt wird. An beiden Enden befindet sich eine Rundung mit einem 2,5 mm großen Loch. Dort werden später die Stromabnehmer-Elektroden aus gebogenem Stahldraht hindurchgeführt, die mit ihren Kollektorbürsten aus geflochtener Kupferlitze die Spannung abgreifen und in die Leidener Flaschen leiten werden. In den Rundungen direkt daneben befindet sich ein 5 mm großes Loch für die Achsen der Kugel-Elektroden. Die elektrische Verbindung zwischen beiden wird über ein Stück Aluminiumfolie hergestellt. - Damit die Achsen der beiden Kugel-Elektroden eine eingestellte Position behalten können, wird hinter das 5 mm große Loch in der Traverse eine Korkscheibe mit einem etwas engeren Loch geklebt, in dem sie arretiert werden. - Die Traverse wird erst mit der Endmontage festgeschraubt.

Schritt 22: Um die Lochscheiben aus Kork optisch anzupassen, werden sie am Rand und auf der einen Fläche mit Karton verkleidet. Biegen Sie dazu die Achslagerverkleidung [D3, Bogen 11] rund, kleben Sie sie bündig um den Rand einer Korkscheibe und auf die eine Korkfläche die Achslagerscheibe [D5, Bogen 5]. Verahren Sie mit der anderen Korkscheibe und den Achslagerverkleidungen [D4, Bogen 11] und [D6, Bogen 5] ebenso.

Schritt 23: Ziehen Sie von beiden Seiten der Traverse die Schutzfolie ab. Lösen Sie sie dazu an einer Stelle mit einer Messerspitze. Kleben Sie die beiden Achslager mit ihrer Korkfläche hinter die beiden 5 mm großen Löcher der Traverse. Verahren Sie dazu Sekundenkleber, der auf dem Acrylglas besser haftet. Das Loch im Achslager und das in der Traverse müssen genau übereinander liegen.

Schritt 24: Kleben Sie auf die andere Seite der Traverse die Leiterflächen 1 und 2 [D1-Alu] und [D2-Alu]. Sie passen genau auf die beiden benachbarten Rundungen und verbinden sie elektrisch. Die Löcher werden dabei einfach überklebt. - Zur Verarbeitung der selbstklebenden Alufolie s. die Tipps auf dieser Seite.

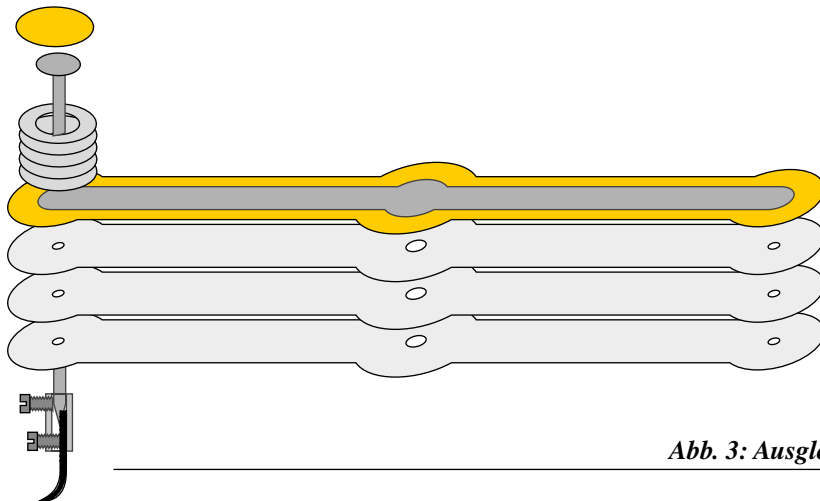


Abb. 3: Ausgleicher

TIPP: So lassen sich die vorgestanzten Stücke aus Selbstklebe-Alufolie gut verarbeiten:

1. Identifizieren Sie das gesuchte Teil mit Hilfe der Übersichtsskizze am Ende der Bauanleitung.

2. Biegen Sie die Trägerfolie an einer der Stanzlinien nach hinten und heben Sie dort das gewünschte Stück Alufolie mit einem spitzen Messer leicht an. Ziehen Sie es dann vorsichtig ab, ohne es dabei zu zerreißen.

3. Ziehen Sie es, falls nötig, glatt und setzen Sie es zunächst nur mit einem kleinen Eck auf. Richten Sie dann den Rest des Teiles aus und streichen Sie es glatt. Falten beeinträchtigen die Funktion nicht, sehen aber nicht so schön aus.

4. Wenn ein Teil zerreißt, muss eine Leiterbrücke über den Riss geklebt werden. Weil nur die Oberfläche der Folie den Strom leitet, nicht aber die darunter liegende Klebeschicht, geht das nur mit einem kleinen Trick: Schneiden Sie sich aus den Resten des Alu-Bogens ein passendes Stück zurecht, heben Sie es von der Trägerfolie ab und falten Sie am Rand einen schmalen Streifen auf sich selbst zurück, so dass dort Klebefläche auf Klebefläche liegt. Wenn Sie jetzt das Teil mit der verbleibenden Klebefläche aufkleben, sorgt der unten liegende umgeschlagene Streifen für eine einwandfreie elektrische Leitung, weil dort Alufolie direkt auf Alufolie liegt.

Abschnitt E: Der Ausgleicher 1

Ausgleicher oder auch Neutralisator nennt man die Arme, die schräg vor den beiden Lamellenscheiben stehen. An ihren Enden sitzen zwei Elektroden mit Kollektorbürsten, die über einen Leiter aus Alufolie miteinander verbunden sind und auf diese Weise die Ladung zwischen jeweils zwei gegenüber liegende Alu-Lamellen auf der Scheibe ausgleichen können. Die Kollektorbürsten sind mit Lüsterklemmen-Einsätzen an den Elektroden befestigt, die aus stabilen Nägeln bestehen. Die Ausgleicher werden erst bei der Endmontage eingebaut. – Da Ausgleicher 1 und 2 identisch sind, können Sie, wenn Sie wollen, den folgenden Abschnitt E gleichzeitig mit diesem ausführen.

Schritt 25: Kleben Sie die Innenteile 1 und 2 [E1 und E2, Bogen 2] gegeneinander und dann darauf die Vorderseite [E3] und die Rückseite [E4]. Gut trocknen lassen und dabei leicht pressen.

Schritt 26: Kleben Sie die Leiterfläche [E5-Alu] auf die gekennzeichnete Stelle und streichen Sie sie flach. Sie bedeckt die beiden Löcher an den Enden.

Schritt 27: Kleben Sie die 4 Nagelhalter [E6 bis E9, Bogen 1] zu einem runden Block aufeinander und dann darauf den ringförmigen Nagelhalter [E10, Bogen 1]. Stecken Sie einen der 4 Pappnägel durch den Block und drücken Sie das Ganze fest auf Ihre Arbeitsplatte, so dass der Kopf des Nagels in die ringförmige Halterung hinein gedrückt wird. Stechen Sie dann den Nagel durch die Alufolie in das Loch am einen Ende des Ausgleichers und kleben Sie die Nagelhalterung dort fest. Die enge Berührung von Nagel und Alufolie sorgt für einen guten elektrischen Kontakt. Kleben Sie zum Abschluss noch die Abdeckung 1 [E11, Bogen 5] auf den Nagelkopf. Achten Sie darauf, dass der Nagel genau rechtwinklig aus dem Ausgleicher herausragt.

Schritt 28: Verfahren Sie dann mit den 5 Nagelhaltern [E12 bis E16, Bogen 1], einem weiteren Pappnagel und der Abdeckung 2 [E17, Bogen 6] ebenso und kleben Sie das Ganze auf das andere Ende des Ausgleichers.

Schritt 29: Entfernen Sie die 6 Messing-einsätze aus der beiliegenden Kunststoff-Lüsterklemme, wozu vorübergehend die kleinen Schrauben entfernt werden müssen. Drehen Sie dazu die Schrauben ganz aus dem Messing-einsatz heraus und hebeln Sie dann den Schraubenkopf mit dem Schraubenzieher aus dem kleinen Kunststoffzylinder, der eigentlich die Aufgabe hat, die Schrauben am versehentlichen Herausfallen zu hindern. Der Messing-einsatz lässt sich dann aus dem Plastik stoßen.

Schritt 30: Drehen Sie die Schrauben wieder in die Messing-einsätze, und zwar die eine jeweils nur ein bisschen, die andere ganz bis zum Anschlag. Schneiden Sie dann die Kupferlitze in 6 gleich große Stücke von ca. 2,5 cm Länge und stecken Sie jedes Stück so tief in einen Messing-einsatz, bis es innen an der eingedrehten Schraube anstößt und noch ca. 17 mm weit herausragt. Schrauben Sie die Litze in dieser Position mit der anderen Schraube fest.

Schritt 31: Damit aus den Zopfplitzen Kollektorbürsten werden, müssen die freien Enden der Litzenstücke mit einer Nadel o.ä. auf einigen mm Länge pinselartig aufgedröselst werden.

Schritt 32: Drehen Sie bei zwei Messinghalterungen die tief sitzende Schraube ein Stück weit heraus und stecken Sie die Halterungen so tief auf die Pappnägel, bis die Nagelspitzen innen an die Litze anstoßen und schrauben Sie sie dort fest. Legen Sie die übrigen Kollektorbürsten auf die Seite. *Damit ist der Ausgleicher 1 fertig.*

Abschnitt F: Der Ausgleicher 2

Der zweite Ausgleicher wird genau auf dieselbe Weise zusammengebaut wie der erste. Die Nummerierung der Teile ist ebenfalls gleich, nur beginnt sie mit einem „F“.

Schritt 33: Kleben Sie die Innenteile 1 und 2 [F1, Bogen 6 und F2, Bogen 8] aufeinander, darauf die Vorderseite [F3, Bogen 5] und die Rückseite [F4, Bogen 7] und auf die Vorderseite die Leiterfläche [F5-Alu].

Schritt 34: Kleben Sie die zwei Nagelhalterungen aus den Teilen [F6 bis F10, Bogen 2] und [F12 bis F16, Bogen 2] zusammen, kleben Sie jede mit einem Nagel an einem Ende des Ausgleichers fest und decken Sie sie mit den Teilen [F11, Bogen 7] bzw. [F17, Bogen 8] ab.

Schritt 35: Montieren Sie auf jeden Nagel eine Messinghalterung mit Kollektorbürste.

Legen Sie die beiden Ausgleicher beiseite, sie werden erst bei der Endmontage gebraucht.

Abschnitt G:

Die Justierbank

Die Justierbank wird benötigt, um die Naben der Lamellenscheiben genau rechtwinklig auszurichten, ebenso die Treibräder an der Antriebswelle.

Schritt 36: Lösen Sie das kleine Quadrat in der Mitte aus der Bodenplatte [G1, Bogen 10] und falzen Sie die Seitenwände 1 und 2 [G2 und G3, Bogen 10] entlang der ersten perforierten Linie scharf nach vorne, alle anderen scharf nach hinten. Legen Sie die Grundplatte auf eine ebene Fläche und kleben Sie die Seitenwände stumpf mit ihren Kanten auf die grauen Klebelinien. Drücken Sie die Seitenwände bis zum Anziehen des Klebers an, damit sie spaltfrei auf der Grundplatte sitzen.

Schritt 37: Bestreichen Sie die Kanten der Seitenwände reichlich mit Klebstoff, legen Sie die Deckplatte 1 [G4, Bogen 10] darauf. (Loch in der Mitte frei machen).

Richten Sie Boden- und Grundplatte möglichst kantengenau aufeinander aus. Drehen Sie dann die Justierbank um, damit der Kleber verfließen kann. Unter leichtem Druck den Kleber anziehen lassen.

Schritt 38: Unter der Grundplatte der Justierbank sind 8 Stellen für die Fußteile markiert. Kleben Sie immer 2 der Fußteile [G6 bis G21, Bogen 10] erst aufeinander und dann auf diese markierten Stellen. Stellen Sie die Justierbank wieder auf ihre Füße.

Schritt 39: Entfernen Sie den Karton aus dem kleinen Quadrat in der Mitte der Deckplatte 2 [G5, Bogen 10] und stecken Sie das längere der beiden Alurohre ein paar cm weit durch das Loch. Es ist absichtlich eng bemessen, damit das Rohr stramm darin klemmt. Stecken Sie dann das lange Ende des Rohrs durch das runde Loch oben in der Justierbank und dann auch durch das kleine quadratische Loch in der Grundplatte. Schieben Sie die lose Deckplatte 2 soweit herunter, dass sie auf der Deckplatte 1 aufliegt, der grauen Klebemarkierung entsprechend um 45°versetzt. Sie wird jetzt noch nicht festgeklebt.

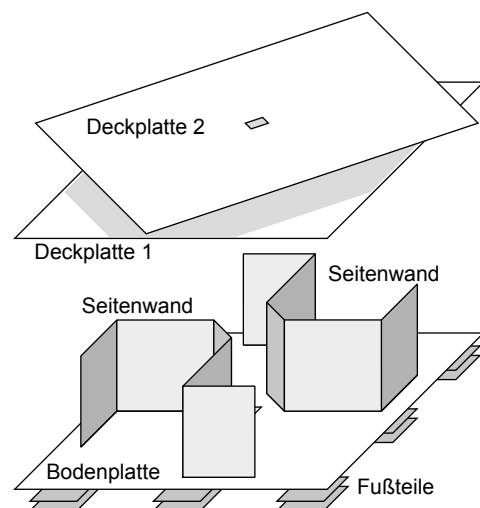


Abb. 4: Justierbank

Schritt 40: Ziel ist es, die obere Deckplatte so lange vorsichtig hin und her zu schieben, bis das Rohr exakt rechtwinklig aus ihrer Mitte herausragt, und sie dann festzukleben. Stellen Sie dazu ein Geodreieck auf die Justierbank und verschieben Sie die obere Deckplatte, bis das Rohr genau parallel zu einem der senkrechten Striche steht. Fixieren Sie die lose Deckplatte in dieser Position mit einer Wäscheklammer, drehen Sie die Justierbank um 90° und wiederholen Sie den Vorgang, und das so oft, bis das Rohr von allen Seiten gemessen senkrecht steht. Fixieren Sie die lose Platte mit ein paar Klammern und geben Sie etwas Klebstoff unter eine freie Stelle. Entfernen Sie nach dem Trocknen die Klammern und kleben Sie die obere Deckplatte auch an anderen Stellen fest. Lassen Sie das Rohr vorläufig in der Justierbank stecken.

Abschnitt H:

Die Lamellenscheiben

Die Lamellenscheiben bestehen aus 2 mm starkem Acrylglas, auf das jeweils 24 Lamellen aus Alufolie aufgeklebt werden.

Schritt 41: Schleifen Sie evtl. noch vorhandene Grate an den Enden der beiden Alurohre ab, auf der Innen- wie auf der Außenseite, und prüfen Sie dann mit dem kürzeren Rohr bei beiden Scheiben, ob es sich durch das Loch in der Mitte stecken und frei darin drehen lässt. Evtl. müssen Sie es mit einem Röllchen aus Schleifpapier vorsichtig und nur ganz wenig erweitern.

Schritt 42: Ziehen Sie bei einer Lamellenscheibe die Schutzfolie auf beiden Seiten ab und fixieren Sie sie mit etwas Klebefilm auf der Schablone, die sich am Ende der Bauanleitung befindet. Die Löcher in der Mitte müssen sich genau decken. Die darunter liegende Schablone für die Leidener Flaschen wird erst in Abschnitt L benötigt.

Schritt 43: Kleben Sie die 24 Lamellen aus Alufolie [H1-Alu bis H24-Alu] über die von der Schablone vorgegebenen Stellen. Streichen Sie die Lamellen möglichst faltenfrei glatt.

Schritt 44: Verfahren Sie mit der anderen Scheibe und den Lamellen [H25-Alu bis H48-Alu] ebenso.

Abschnitt J:

Die Nabe 1

Eine Nabe besteht aus einem rundgebogenen Kartonzylinder, der an einer Seite auf die Lamellenscheibe geklebt wird und an der anderen ein Achslager aus Hart-PVC hat. Auf ihrer Außenseite trägt sie zwei Ringe, die das Laufrad für den Treibriemen bilden. – Die Nabe 2 wird auf identische Weise zusammengesetzt, sie können also, wenn Sie wollen, die Abschnitte J und K parallel ausführen.

Schritt 45: Biegen Sie das Gehäuse der Nabe 1 [J1, Bogen 11] rund und kleben Sie das Verbindungsstück [J2, Bogen 11] zur Hälfte auf den Rand der Rückseite. Es ist schmaler als das Gehäuse und muss nach

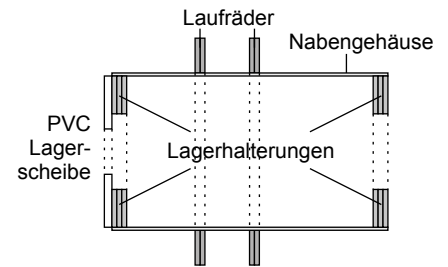


Abb. 5: Querschnitt Nabe

beiden Seiten gleich viel Abstand haben. Kleben Sie nach dem Trocknen die andere Hälfte des Verbindungsstücks unter die andere Kante des Gehäuses, so dass ein Zylinder entsteht. Die verbundenen Kanten müssen spaltfrei aneinander stoßen.

Schritt 46: Kleben Sie das innere und äußere Teil von Laufrad 1 [J9 und J10, Bogen 9] zu einem Ring zusammen, ebenso das innere und äußere Teil von Laufrad 2 [J11 und J12, Bogen 9]. Schieben Sie auf jede Seite des Nabengehäuses einen Ring, bis er auf der grauen Klebemarkierung sitzt und der allseitige Abstand zwischen Ring und Nabensrand auf der einen Seite 11 mm, auf der anderen 17 mm beträgt. Achten Sie darauf, dass die Ringe gerade stehen und kleben Sie sie in dieser Position fest, z.B. mit ein paar Tropfen Sekundenkleber auf der Innenseite.

Schritt 47: Kleben Sie die Lagerhalterungen 1 bis 3 [J3 bis J5, Bogen 9] zu einem dreilagigen Ring zusammen, ebenso die Lagerhalterungen 4 bis 6 [J6 bis J8, Bogen 9]. Stecken und kleben Sie die Ringe in die beiden offenen Enden des Nabengehäuses, und zwar so, dass ihre Oberfläche bündig ist mit dem Rand der Nabe und nirgends tiefer liegt oder heraussteht. Falls ein Ring zu tief herein gerutscht ist oder schräg sitzt, können Sie die Nabe mit dem Ring nach unten auf Ihre Arbeitsfläche stellen und ihn durch das Loch von oben mit einem Bleistift o.ä. zurechtschieben.

Schritt 48: Das Laufrad sitzt ja nicht im Zentrum der Nabe, sondern hat auf einer Seite einen größeren Abstand zum Rand als auf der anderen. Stellen Sie die Nabe so vor sich auf die Arbeitsfläche, dass der größere Abstand nach oben zeigt, der kleinere nach unten. Legen Sie dann eine Lamellenscheibe mittig auf die Nabe, mit den Alu-Lamellen nach unten. Das Loch in der Scheibe liegt dabei genau im Zentrum der Lagerhalterung. Kleben Sie die Scheibe in dieser Position mit Sekundenkleber fest. Wichtig: Die Nabe muss auf derselben Seite der Scheibe befestigt werden, auf der die Lamellen liegen.

Schritt 49: Drehen Sie die Scheibe wieder um und stecken Sie sie auf das Alurohr, das rechtwinklig in der Justierbank steckt. Die Lamellenscheibe liegt auf der Justierbank auf, die Nabe liegt auf ihrer Oberseite und das Rohr ragt oben aus ihr heraus. Stecken Sie eine Lagerscheibe aus Hart-PVC auf das Rohr und kleben Sie sie mit Sekundenkleber auf der Lagerhalterung der Nabe fest. Da das Rohr rechtwinklig steht, sind jetzt beide Lager, das in der Scheibenmitte und die PVC-Lagerscheibe, korrekt ausgerichtet, so dass die Lamellenscheibe beim Drehen keine Taumelbewegung machen wird.

Abschnitt K:

Die Nabe 2

Bauen Sie die Nabe 2 auf gleiche Weise zusammen wie die Nabe 1:

Schritt 50: Kleben Sie das Gehäuse [K1, Bogen 11] mit Hilfe des Verbindungsstücks [K2, Bogen 11] zu einem Zylinder.

Schritt 51: Kleben Sie Laufrad 1 aus den Teilen [K9 und K10, Bogen 9] zusammen, ebenso Laufrad 2 [K11 und K12, Bogen 9] und kleben Sie sie an ihrer Position auf dem Nabengehäuse fest.

Schritt 52: Kleben Sie die Lagerhalterung aus den Teilen [K3 bis K5, Bogen 9] in das eine Ende des Nabengehäuses und in das andere die Lagerhalterung aus den Teilen [K6 bis K8, Bogen 9].

Schritt 53: Kleben Sie die Nabe mittig auf die andere Lamellenscheibe, dort, wo sich die Alu-Lamellen befinden.

Schritt 54: Kleben Sie wie im letzten Abschnitt mit Hilfe der Justierbank eine PVC-Lagerscheibe auf das andere Ende der Nabe.

Abschnitt L:

Das Treibrad 1 und die Vorbereitung der Leidener Flaschen

Die Treibräder sitzen beide auf der Antriebswelle und sind deutlich größer als die Laufräder der Naben, um durch Übersetzung eine höhere Drehgeschwindigkeit zu erreichen. Da die Innenstützen der Treibräder 1 und 2 [L3 und L4, Bogen 9 und M3 und M4, Bogen 9] vor ihrem Einbau als Hilfswerkzeuge benötigt werden, um die Leidener Flaschen zu formen, wird dieser Schritt vorgezogen.

Die Leidener Flaschen bestehen aus einem 105 x 297 mm großen Stück transparentes Hart-PVC, das 0,3 mm stark ist und zu einer Röhre mit 33 mm Außendurchmesser gerollt wird, in dem die PVC-Folie eine dreilagige isolierende Wand bildet. Um aus der Röhre eine Leidener Flasche zu machen, also einen elektrischen Kondensator, müssen auf der Innen- und der Außenseite Elektroden aus Alufolie aufgeklebt werden, die sich genau gegenüber liegen. Die Kapazität des Kondensators, d.h. seine Speicherfähigkeit für elektrische Ladung, bemisst sich aus der Fläche der Elektroden (bzw. der kleineren, falls sie ungleich sind) sowie ihrem Abstand voneinander und beträgt für die zwei zusammengesetzten Leidener Flaschen ca. 20 pF (Picofarad). Bei 70.000 V begrenzt das die maximal speicherbare Energie auf 49 mJ (Millijoule), das sind nur 14% der noch als gesundheitlich unbedenklich eingestuften Obergrenze von 350 mJ.

Schritt 55: Fixieren Sie einen der transparenten PVC-Zuschnitte über der Schablone, die sich unter der Lamellenscheiben-Schablone befindet, und kleben Sie die innere Kondensator-Elektrode [O1-Alu] auf die gekennzeichnete Stelle. Prüfen Sie, ob ihr Abstand

von den Rändern wie angegeben 30 bzw. 35 mm beträgt. Verfahren Sie mit der anderen PVC-Folie und der inneren Kondensator-Elektrode P1-Alu genauso.

Schritt 56: Kleben Sie die Innenstützen 1 und 2 von Treibrad 1 [L3 und L4, Bogen 9] und ebenso die Innenstützen 1 und 2 von Treibrad 2 [M3 und M4, Bogen 9] aufeinander. Diese beiden Ringe ermöglichen es als Hilfswerkzeuge, den Leidener Flaschen einen genau definierten Durchmesser zu geben.

Schritt 57: Rollen Sie die eine PVC-Folie so zu einer Röhre zusammen, dass die Kondensator-Elektrode zugänglich auf der Innenseite der Röhre liegt, also nicht eingewickelt zwischen den 3 Lagen der PVC-Folie, stecken Sie die beiden Ringe darauf und schieben Sie die Ringe bis zum Rand der Kondensator-Elektrode nach innen. Stoßen Sie die Enden der Röhre auf Ihrer Arbeitsfläche auf, damit die Kante der PVC-Folie nirgends übersteht. Falls sich in der Mitte der Röhre der Folienrand etwas nach oben wölbt, ziehen Sie ihn mit einem kleinen Stück Klebefilm nach unten, so dass er glatt an der Röhre anliegt.

Schritt 58: Schieben Sie die Ringe jeweils knapp 1 cm weit nach außen und wickeln und kleben Sie die äußere Kondensator-Elektrode [O2-Alu] auf die Röhre, genau über der inneren Kondensator-Elektrode. Ziehen Sie die Alufolie dabei stramm und glatt. Sie läuft dabei einmal um die Röhre herum. Im Prinzip ist die Leidener Flasche damit schon funktionstüchtig, es fehlen nur noch die Anschlüsse.

Schritt 59: Schieben Sie den einen Ring bis auf ca. 1 cm an den Rand der Röhre heran, den anderen mit etwas Abstand daneben. Da sich sowohl innen wie außen die Ecken der PVC-Folie nicht von selber an die Rundung der Röhre anschmiegen, werden Sie mit je einem kleinen Tropfen Sekundenkleber und ein paar Wäscheklammern fixiert. Schieben Sie die Ringe dann auf die andere Seite und kleben Sie die Ecken auch dort fest. **Vorsicht:** Die Klammer darf nicht mit evtl. herausquellendem Sekundenkleber in Berührung kommen, sie klebt sonst mit fest.

Schritt 60: Verfahren Sie mit der anderen PVC-Folie ebenso. Bekleben Sie sie mit der

der inneren [P1-Alu] und der äußeren Kondensator-Elektrode [P2-Alu] und fixieren Sie die abstehenden Ecken mit Sekundenkleber und einer Wäscheklammer. Legen Sie die beiden Leidener Flaschen dann beiseite.

Jetzt geht es mit dem Treibrad 1 weiter:

Schritt 61: Lösen Sie die Innenseite von Wange 1 [L2, Bogen 5] aus dem Karton und legen Sie die darin enthaltene Bodenplatte 3 der Leidener Flasche 1 [O5] beiseite. Kleben Sie die Wangen-Innenseite auf die Wangen-Außenseite [L1, Bogen 9] und dann darauf die jetzt nicht mehr als Hilfswerkzeug benötigte Innenstütze [L3+4].

Schritt 62: Kleben Sie die zwölf Nabenscheiben 1 bis 10 [L5 bis L14, Bogen 5] und 11 und 12 [L15 und L16, Bogen 7] erst zu einem Block aus 12 Lagen Karton und ca. 6 mm Stärke zusammen und dann in die Mitte von Wange 1 [L1+2] auf die gekennzeichnete Stelle. Damit die Löcher genau aufeinander liegen und rechtwinklig zur Antriebswelle verlaufen, können Sie das Ganze noch bevor der Kleber angezogen hat mit Hilfe der Justierbank ausrichten.

Schritt 63: Biegen Sie die Lauffläche von Treibrad 1 [L17, Bogen 11] rund, z.B. indem Sie den schmalen Streifen über eine Tischkante ziehen, geben Sie Klebstoff in die umlaufende Ecke zwischen der Wange 1 und der dort aufgeklebten Innenstütze und kleben Sie die Treibrad-Lauffläche als stehenden Streifen hinein. Drücken Sie sie gut in die Ecke und kleben Sie das überstehende Stück an sich selbst fest. Von der Seite betrachtet müssten die Oberfläche des Nabensblocks und die Oberkante der Lauffläche etwa gleich hoch sein. Sollte der Nabensblock zu niedrig sein, können Sie noch ein frei zugeschnittenes Stück Papier oder Karton darüber kleben.

Schritt 64: Kleben Sie die Wange 2 aus ihrem Außenteil [L18, Bogen 9] und ihrem Innenteil [L19, Bogen 7] zusammen. Bauen Sie die Wange 2 mit der weitgehend fertiggestellte Wange 1 zum Treibrad 1 zusammen, indem Sie Klebstoff auf die freie Kante der Lauffläche und auf den Nabensblock geben und die beiden Teile so ausrichten, dass das Treibrad rechtwinklig auf der Antriebswelle sitzt. Kleben Sie es aber noch nicht auf ihr fest.

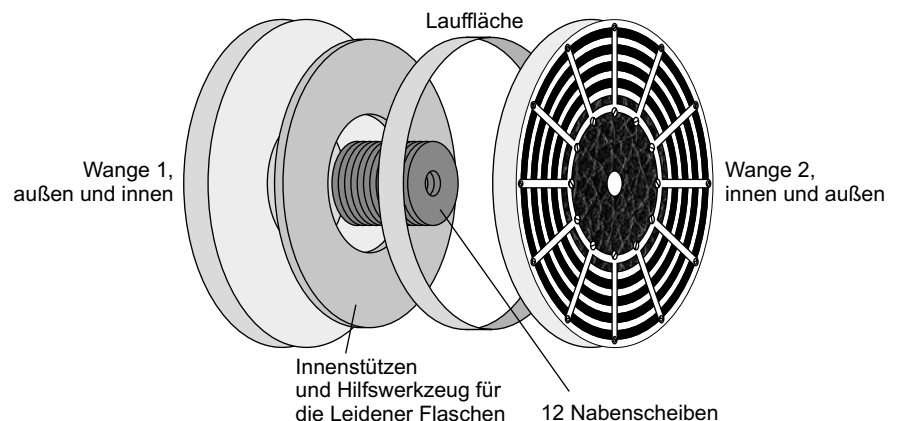


Abb. 6: Treibrad

Abschnitt M:

Das Treibrad 2

Das Treibrad 2 wird auf die gleiche Weise zusammengebaut wie das Treibrad 1:

Schritt 65: Kleben Sie Innenseite [M2, Bogen 6] und die Außenseite von Wange 1 [M1, Bogen 9] zusammen und dann darauf die schon fertige Innenstütze [M3+4].

Schritt 66: Kleben Sie die zwölf Nabenscheiben 1 bis 10 [M5 bis M14, Bogen 6] und 11 und 12 [M15 und M16, Bogen 8] als Block in die Mitte der Wange, dann die Lauffläche [M17, Bogen 11] in die umlaufende Ecke zwischen der Wange und der Innenstütze.

Schritt 67: Kleben Sie das Außenteil [M18, Bogen 9] und das Innenteil von Wange 2 [M19, Bogen 8] zusammen und diese dann auf die Wange 1, achten Sie dabei darauf, dass die Antriebswelle rechtwinklig aus dem Treibrad ragt.

Jetzt sind beide Treibräder fertig und können auf die Antriebswelle geklebt werden:

Schritt 68: Schieben Sie die beiden Treibräder auf das längere der beiden Alurohre, die 127 mm lange Antriebswelle, und zwar so weit, dass der Abstand des einen Treibrads zum Ende der Antriebswelle 38,5 mm beträgt, der des anderen 32,5 mm. Der Abstand zwischen den Rädern beträgt dann ca. 39,5 mm. Kleben Sie die beiden Treibräder in dieser Position fest.

Da Sekundenkleber zu wenig Zeit für Nachkorrekturen lässt, empfiehlt es sich, 2-Komponentenkleber zu verwenden. Die Klebestellen auf dem Rohr sollten vorher mit Sandpapier etwas angeschliffen werden, damit der Kleber besser haftet. Vergewissern Sie sich nach dem Abbinden, dass die Treibräder fest auf dem Alurohr fixiert sind.

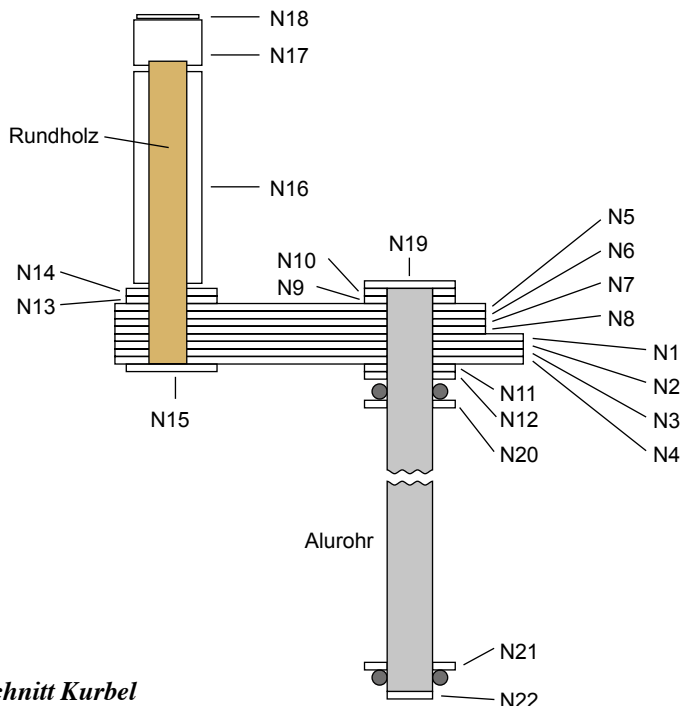


Abb. 7: Querschnitt Kurbel

Abschnitt N:

Die Kurbel

Die Kurbel besteht aus einem Unter- und einem Oberteil mit jeweils 4 Lagen Karton und ist damit besonders stabil.

Schritt 69: Kleben Sie die beiden mittleren Lagen des Kurbel-Unterteils [N2, Bogen 6] und [N3, Bogen 8] kantengenau aufeinander und dann darauf die Teile [N1, Bogen 5] und [N4, Bogen 7].

Schritt 70: Kleben Sie in gleicher Weise die vier Lagen des Kurbel-Oberteils [N6, Bogen 6], [N7, Bogen 7], [N5, Bogen 5] und [N8, Bogen 8] erst aufeinander und dann auf das Unterteil der Kurbel. Achten Sie dabei darauf, dass die Löcher genau übereinander liegen. Das 6 mm große Loch wird später die Antriebswelle aufnehmen, das 5 mm große am Kurbelende die Achse des Kurbelgriffs. Stecken Sie zur Probe eines der Rundhölzer und eines der Alurohre in die beiden Löcher und prüfen Sie, ob beide senkrecht auf der Kurbel stehen.

Schritt 71: Kleben Sie die Verstärkungsringe [N9 und N10, Bogen 7] auf der Vorderseite über das größere Loch und auf der Rückseite die Verstärkungsringe [N11 und N12, Bogen 8].

Schritt 72: Kleben Sie in gleicher Weise die Verstärkungsringe [N13, Bogen 6] und [N14, Bogen 5] auf der Vorderseite über das kleine Loch. Stecken Sie dann das 40 mm lange Rundholz (das kürzeste von allen) so tief in dieses Loch, dass sein Ende bündig mit der Unterseite der Kurbel ist und kleben Sie es in dieser Position fest. Das ist die Achse des Kurbelgriffs. Überkleben Sie anschließend dieses sichtbare Ende der Achse mit der Abdeckung [N15, Bogen 6].

Schritt 73: Biegen Sie die Hülse des Kurbelgriffs [N16, Bogen 11] rund, so dass sie zu einem Rohr gewickelt und verklebt werden kann. Damit sie sich auf der Achse frei dre-

hen kann, muss sie auf einen Kern gewickelt werden, der etwas dicker ist als die Achse. Nehmen Sie dazu eines der langen Rundhölzer, wickeln Sie am einen Ende einen ca. 5 cm breiten dünnen Papierstreifen in 1 bis 2 Lagen herum und fixieren Sie ihn mit einem Stück Klebefilm. Wickeln Sie die Hülle zunächst probeweise ohne Klebstoff so darauf, dass sie stramm auf dem Kern sitzt und das mit kleinen Schrauben bedruckte Ende des Streifens außen auf der Hülse liegt. Die Kanten der gerollten Hülse sollen bündig sein. Kleben Sie die Hülle dann zusammen und achten Sie dabei darauf, dass sie nicht auf der untergelegten Papierschicht festklebt. Ziehen Sie sie nach dem Trocknen vom Rundholz ab und stecken Sie sie auf die Achse des Kurbelgriffs. Die Achse ragt etwa 6 bis 7 mm weit aus der Hülle heraus. Wenn die Hülle beim Wickeln doch etwas schief geworden ist, sind ihre Kanten versetzt und stehen über. Schneiden Sie den Überstand weg, so dass die Kanten wieder glatt sind und die Hülle eine Gesamtlänge von 28 mm hat.

Schritt 74: Biegen Sie den schmalen Streifen der Hülsen-Fixierung [N17, Bogen 11] rund, kleben Sie ihn mit einem Ende auf das überstehende Teil der Achse und kleben und wickeln Sie ihn so fest, dass er mit der Achse abschließt. Die Griffhülse kann nun nicht mehr abgezogen werden, dreht sich aber noch frei. Kleben Sie zum Abschluss die kleine scheibenförmige Abdeckung [N18, Bogen 11] auf das Ende der Achse.

Schritt 75: Nehmen Sie die Antriebswelle mit den zwei aufgeklebten Treibrädern und einen der beiden Ständer. Stecken Sie das längere Ende der Welle in das kleine Loch unten auf der Rückseite des Ständers, so dass es auf der anderen Seite aus der PVC-Lagerscheibe herausragt. Stecken Sie die Gleitscheibe [N20, Bogen 7] darauf und dann einen der beiden O-Ringe. Die Antriebswelle ist damit in diesem Ständer fixiert. Die Gleitscheibe wird verhindern, dass der O-Ring an der PVC-Lagerscheibe reibt.

Schritt 76: Stecken Sie nun die Kurbel so tief auf dieses Ende der Antriebswelle, dass sie bündig mit der Oberkante der aufgeklebten Verstärkungsringe ist und kleben Sie sie in dieser Position mit 2-Komponentenkleber fest. Achten Sie darauf, dass die Kurbel rechtwinklig auf der Welle sitzt und beim Drehen keine Taumelbewegungen macht. Kleben Sie zum Abschluss die Abdeckung [N19, Bogen 5] auf die Kurbel und das offene Ende der Antriebswelle und schieben Sie die Kurbel so nahe an den Ständer heran, dass sie sich gerade noch gut drehen lässt.

Schritt 77: Stecken Sie das andere Ende der Antriebswelle in die Rückseite des anderen Ständers, so dass es auf der anderen Seite aus dem PVC-Lager herausragt, und stecken Sie die Gleitscheibe 2 [N21, Bogen 8] und zuletzt den zweiten O-Ring darauf. Schieben Sie den O-Ring nur so weit auf das auf das Ende des Alurohrs, dass er hält, damit das Ganze noch genügend Spiel für die Montage hat.

Zwischenschritt: Die Montage der fertigen Elemente

Aus den bis jetzt fertiggestellten Elementen wird nun die Grundkonstruktion der Wims-hurst-Maschine zusammengebaut. Eine Gewindestange mit Beilagscheiben und Muttern sorgt dafür, dass die Laufachse fest zwischen den Köpfen der beiden Ständer eingeklemmt wird, ebenso die Traverse und die beiden Ausgleicher. Die Leidener Flaschen und die Kugel-Elektroden werden erst am fertigen Gerät montiert.

Schritt 78: Stecken Sie die beiden lose miteinander verbundenen Ständer ohne Klebstoff in ihre rechteckigen Öffnungen im Sockel. Der Abstand zwischen diesen Öffnungen und dem Sockelrand ist auf einer Seite schmaler als auf der anderen. Dorthin, wo er schmaler ist, kommt der Ständer, an dem die Kurbel angebracht ist. Auf der breiteren Seite ist dann Platz für die Leidener Flaschen (s. Klebmarkierungen für P3 und

O3). Da die Ständer noch nicht festgeklebt sind, lassen sie sich an den Köpfen etwas auseinander schieben, was die Montage der Laufachse sehr erleichtert.

Schritt 79: Entstauben Sie die beiden Lamellenscheiben, insbesondere auf der lamellenfreien glatten Seite, weil die nach der Montage nicht mehr erreichbar ist. Schieben Sie dann das 84 mm lange Alurohr der Laufachse durch die Nabe der einen Scheibe, stecken Sie die letzte PVC-Lagerscheibe auf das Ende des Alurohrs, das auf der Scheibenseite herausragt, und schieben Sie darauf dann die andere Lamellenscheibe so, dass sich die beiden Scheiben mit ihren lamellenfreien Seite ganz knapp berühren, nur durch die PVC-Scheibe auseinander gehalten. Die Laufachse ragt jetzt auf jeder Seite ca. 1 mm über die Naben der beiden Lamel-

lenscheiben hinaus. Legen Sie in die Lauf-räder der beiden Naben in die je einen der Treibriemen aus 3 mm breitem Gummiband.

Schritt 80: Schrauben Sie eine der beiden Muttern so weit auf das eine Ende der Gewindestange, dass sie mit dem Stangenende ungefähr bündig ist. Falls sie sich nicht gut aufschrauben lässt, ist das Gewinde der Stange möglicherweise an der Schnittkante etwas eingedrückt, kann aber leicht mit einem Messer o.ä. gangbar gemacht werden. Kleben Sie die Mutter in dieser Position mit einem kleinen Tropfen Sekundenkleber fest, das erleichtert die Montage.

Schritt 81: Stecken Sie eine der 4 verzinkten Beilagscheiben auf die Gewindestange und führen Sie die Stange ca. 1 cm weit von außen durch den Kopf desjenigen Ständers, an dem die Kurbel befestigt ist. Bringen Sie einen der Ausgleicher so auf der Gewindestange an, dass seine Kollektorbürsten nach innen weisen, und stecken Sie dann eine weitere Beilagscheibe auf die Stange.

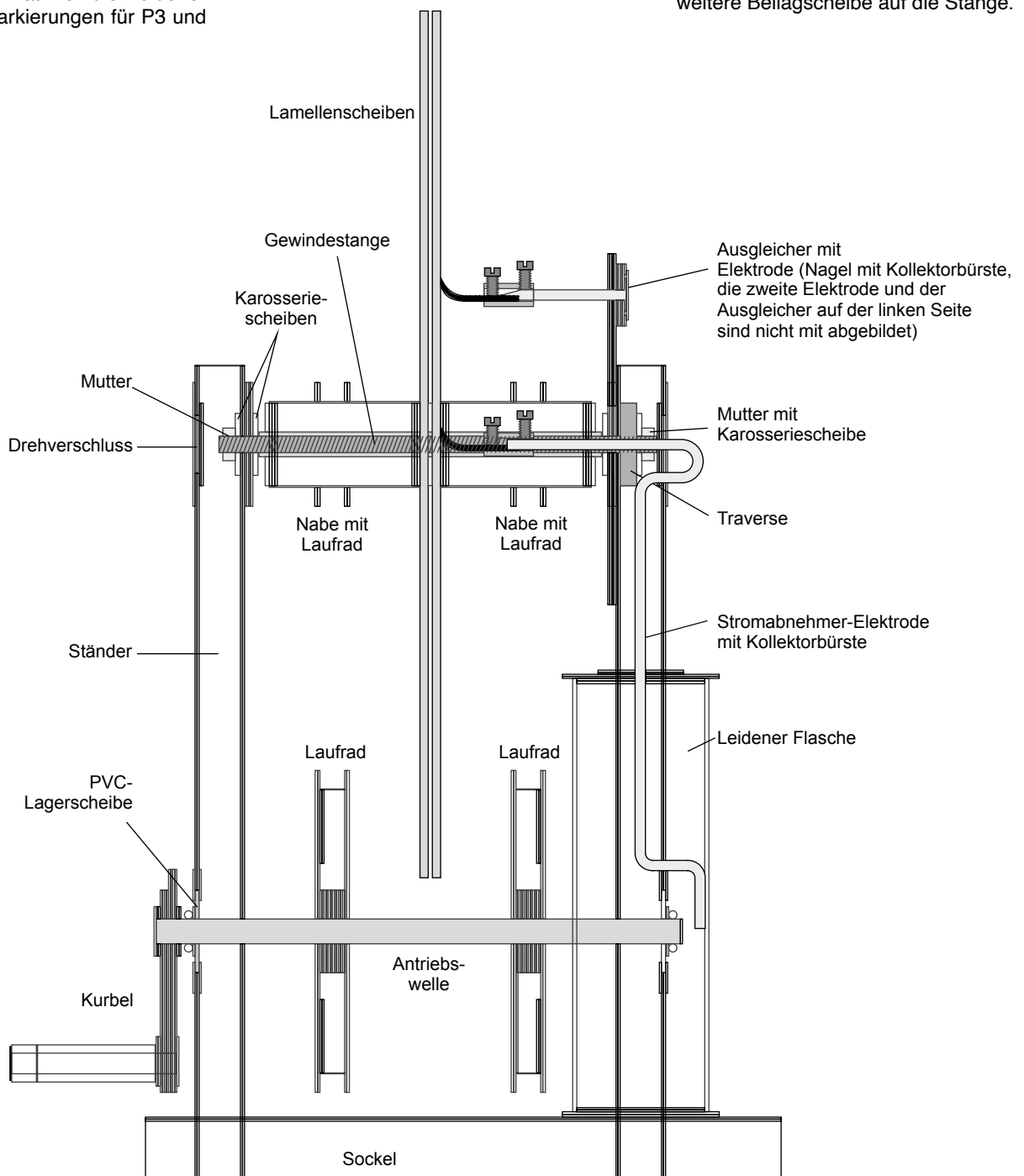


Abb. 8: Gesamtquerschnitt

Schritt 82: Greifen Sie den Verbund aus Lamellenscheiben und Laufachse und halten Sie ihn so zwischen die Köpfe der beiden Ständer, dass Sie das Ende der Gewindestange durch das Alurohr hindurch schieben können, bis es auf der anderen Seite wieder erscheint. Stecken Sie eine weitere Beilagscheibe auf die Gewindestange und dann den anderen Ausgleicher, wieder mit den Kollektorbürsten nach innen. Stecken Sie das dann noch überstehende Ende der Gewindestange durch das kleine Loch im Kopf des anderen Ständers und drehen Sie provisorisch mit ein paar Windungen die andere Mutter darauf, damit die Stange nicht wieder herausrutscht. Benutzen Sie zum Drehen und Gegenhalten am besten die Kombizangen und/oder den Schraubenschlüssel.

Bis auf die Traverse sind jetzt alle Elemente an Ort und Stelle: In der Mitte stehen die beiden sich eng berührenden Lamellenscheiben, auf deren Laufrädern die Gummi-Treibriemen hängen. Ihre Laufachse aus Alurohr stößt auf beiden Seiten auf eine Beilagscheibe, und diese auf einen Ausgleicher, dessen Kollektorbürsten die Lamellen der Lamellenscheiben berühren. Wenn die Muttern angezogen werden, werden die Ausgleicher zwischen den Beilagscheiben und den Ständern eingeklemmt. Es ist wichtig, dass sie dort nicht verklebt werden, sondern in ihrem Winkel verstellbar bleiben. Beachten Sie, dass die Ausgleicher von außen betrachtet immer von links oben nach rechts unten verlaufen und sich auf diese Weise überkreuz gegenüber stehen. Das gilt allerdings nur für eine rechtsläufige Drehbewegung der Kurbel.

Schritt 83: Nun müssen noch die Treibriemen auf die Treibräder gezogen werden. Entfernen Sie dazu den O-Ring und die Gleitscheibe von der Antriebswelle und ziehen Sie diese an der Kurbel so weit heraus, dass ihr freies Ende nicht mehr im Ständer steckt und gerade genug Platz für einen Gummiring lässt. Ziehen Sie jetzt den Treibriemen, der der Kurbel am nächsten liegt, vorsichtig so weit herunter, dass Sie ihn über das Ende der Antriebswelle, über das erste Treibrad und dann auf das zu diesem Laufrad gehörende andere Treibrad ziehen können. Ziehen Sie den anderen Treibriemen über das erste Treibrad, aber verdrehen Sie den Gummiring um eine halbe Umdrehung, bevor sie ihn über die Antriebswelle und das Treibrad ziehen. Das ist sehr wichtig, denn auf diese Weise werden die beiden Lamellenscheiben gegenläufig angetrieben, obwohl beide Treibräder auf derselben Welle sitzen.

Schritt 84: Stecken Sie das Ende der Antriebswelle wieder in den Ständer und sichern Sie es mit Gleitscheibe und O-Ring. Schieben Sie beide O-Ringe so weit auf die Ständer zu, dass sich die Kurbel noch frei drehen lässt und die Treibräder unter ihren Laufrädern stehen.

Jetzt ist eine gute Gelegenheit, um dort etwas Öl aufzubringen, wo die Lagerscheiben und die Lamellenscheiben auf den Alurohren gleiten.

Schritt 85: Entfernen Sie die Mutter vom Ende der Gewindestange und legen Sie die

Traverse so in den offenen Kopf des Ständers, dass die aufgeklebten Lagerscheiben aus Kork nach innen zu den Lamellenscheiben zeigen. Stecken Sie die Gewindestange durch die Traverse, darauf die letzte Beilagscheibe und schrauben Sie dann die Mutter darauf. Ziehen Sie sie Muttern so stramm an, dass sich die Ausgleicher gerade noch verdrehen lassen. Drehen Sie die Kurbel im Uhrzeigersinn und prüfen Sie, ob sich alle beweglichen Teile auch gut bewegen können und nichts blockiert oder schleift.

Schritt 86: Biegen Sie, falls nötig, die gerundeten Wände an den Köpfen der Ständer so zurecht, dass sie parallel stehen, und kleben Sie die beiden Bogenverkleidungen [B19 und C19, Bogen 11] auf die Kanten. Die eine hat die passenden Aussparungen für die Traverse.

Schritt 87: Nehmen Sie die Ständer noch einmal aus dem Sockel, geben Sie durch die Öffnungen reichlich Klebstoff dorthin, wo die Kanten der Ständer auf den Sockelboden stoßen, und stellen Sie die Ständer wieder hinein. Gut trocknen lassen.

Schritt 88: Falzen Sie bei den Fußmanschetten der Ständer [B26 und C26, Bogen 11] die langen Nute nach vorne, die kurzen nach hinten und schmiegen Sie sie zur Probe ohne Kleber um die Füße der Ständer. Die breitere Hälfte der Manschetten kommt auf den Ständer, die schmalere auf den Sockel. Kleben Sie sie in dieser Position fest.

Abschnitt O: Die Leidener Flasche 1

Die Röhren der Leidener Flaschen mit ihren Kondensator-Elektroden sind ja schon fertiggestellt, es fehlt nur noch der Boden, der Deckel und die Stromabnehmer-Elektrode. Boden und Deckel bestehen jeweils aus einer doppelten Kartonscheibe, die größer als der Flaschendurchmesser ist, und einer kleineren, die knapp in die Flasche hineinpasst und auf diese Weise ihren Durchmesser stabilisiert. – Die beiden Leidener Flaschen werden in Reihe geschaltet, so dass jede nur die halbe von der Maschine erzeugte Gesamtspannung erhält. Dazu wird auf dem Sockel eine Leiterbahn angebracht, die mit Hilfe von zwei Leiterbrücken die Flaschen miteinander verbindet.

Schritt 89: Kleben Sie die Leiterbahn [O16-Alu] auf den Sockel in das dafür vorgesehene Klebefeld.

Schritt 90: Kleben Sie die Bodenplatte 1 und 2 [O3 und O4, Bogen 10] aufeinander, ebenso die etwas kleineren Bodenplatten 3 und 4 [O5, Bogen 5 und O6, Bogen 6], und kleben Sie dann diese beiden doppelagigen Scheiben zentrisch aufeinander. Vergewissern Sie sich, dass sich die Röhre der Leidener Flasche so darauf setzen lässt, dass sich die kleinere Doppelscheibe ganz im Inneren befindet.

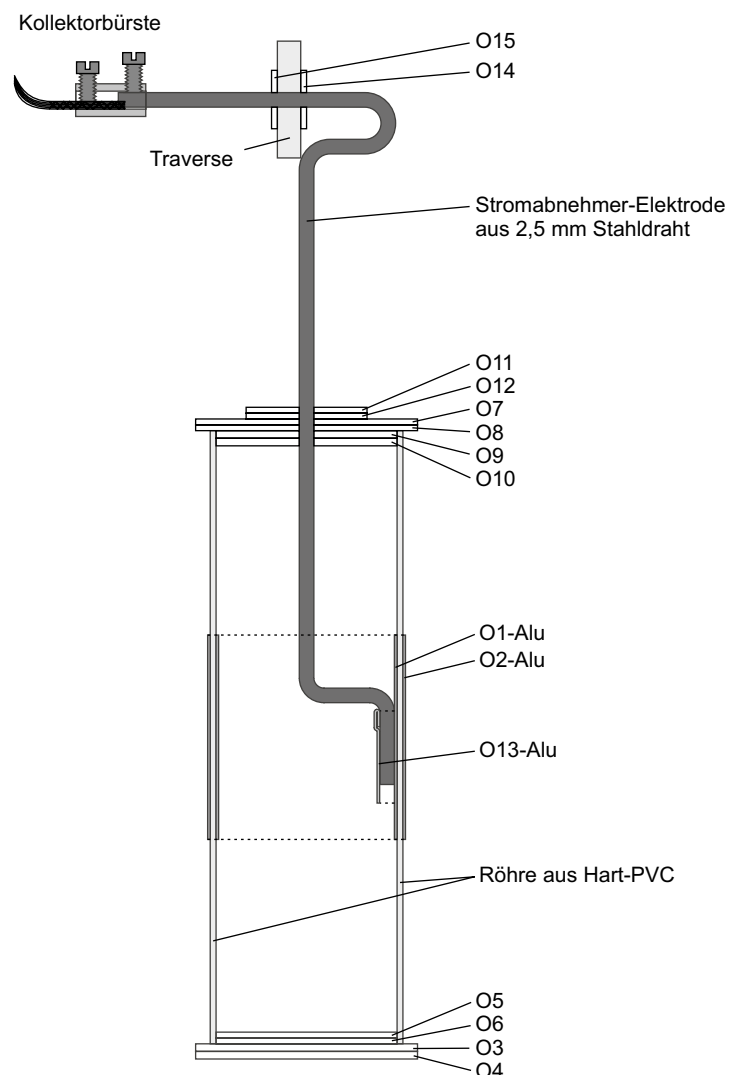


Abb. 9: Leidener Flasche

Schritt 91: Kleben Sie in gleicher Weise die Deckelteile 1 und 2 [O7, Bogen 7 und O8, Bogen 8] aufeinander, auf deren Unterseite die etwas kleineren Deckelteile 3 und 4 [O9 und O10, Bogen 10] und auf die Oberseite die noch kleineren Deckelteile 5 und 6 [O11 und O12, Bogen 5 und 6]. Machen Sie jeweils vor dem Zusammenkleben das kleine Loch mit Hilfe eines der gebogenen Stahl-drähte frei, die später als Stromabnehmer-Elektroden die Spannung in die Leidener Flasche leiten werden. Die Löcher müssen genau aufeinander sitzen. Stellen Sie dann sicher, dass sich der Deckel so auf die Röhre setzen lässt, dass die Deckelteile 3 und 4 ins Innere der Leidener Flaschen einrasten. Die ganz kleinen Scheiben 5 und 6 sitzen dann oben auf dem Flaschendeckel.

Bevor Boden und Deckel aufgeklebt werden können, muss die Stromabnehmer-Elektrode auf der richtigen Höhe in der Leidener Flasche fixiert werden:

Schritt 92: Nehmen Sie einen der beiden Stromabnehmer aus 2,5 mm starkem Stahl-draht zur Hand. Sein kurzes unteres Ende ist durch zwei rechtwinklige Biegungen um ca. 14 mm gegen das lange Mittelteil versetzt. Dieses Endstück muss im Inneren der Lei-dener Flasche auf dem quadratischen Stück Alufolie befestigt werden. Stecken Sie es zu diesem Zweck von oben durch den Deckel und kleben Sie den Deckel mit ein paar Tropfen Sekundenkleber auf einer Seite der PVC-Röhre fest. Achten Sie dabei gut darauf, dass der dafür bestimmte Teil des Deckels auch wirklich im Inneren der Flasche sitzt. Die Stromabnehmer-Elektrode steckt dabei lose im Deckel.

Schritt 93: Stecken Sie auch die Bodenplatte von unten auf die PVC-Röhre, kleben Sie sie aber noch nicht fest. Jetzt hat die Lei-dener Flasche schon ihr endgültiges Aussehen. Drehen Sie die Elektrode im Deckel so, dass ihr Endstück im Inneren der Flasche auf der Kondensator-Elektrode aus Alufolie liegt. Stellen Sie dann die Leidener Flasche so auf den Sockel, dass das waagerechte Oberteil der Elektrode neben dem einen Ende der Traverse liegt. Die dort aufgeklebte Alufolie bedeckt zwei Löcher: das 5 mm große für die Achse der Kugel-Elektrode und das 2,5 mm große für den Stromabnehmer. Ziehen Sie die Elektrode so weit aus dem Deckel bzw. schieben Sie sie so tief hinein, dass ihr waagerechtes Endstück genau auf der Höhe des kleinen Loches liegt, durch das es später hindurch gesteckt werden soll. Kleben Sie dann die Elektrode mit einem Tropfen Sekundenkleber im Deckel fest, so dass sich ihre Höhe nicht mehr verschieben kann. Vergewissern Sie sich aber vor dem Festkleben noch einmal, dass ihr Ende im Inneren der Flasche auf der Alufolie liegt. Das ist sehr wichtig, weil sonst die Spannung nicht in die Leidener Flasche geleitet werden kann.

Schritt 94: Um das Endstück des Strom-abnehmers mit der Kondensatorfläche im Inneren der Leidener Flasche dauerhaft elektrisch zu verbinden, wird die Kontaktsicherung [O13-Alu] darüber geklebt. Damit diese auf beiden Seiten leitet, wird, wie oben im Info-Kasten beschrieben, ein schmaler Randstreifen umgefaltet, so dass das Folien-

stück an dieser Stelle zu einer Leiterbrücke wird. Und so lässt sich die Kontaktsicherung problemlos anbringen: Bringen Sie auf einem Schraubendreher oder einem Löffelstiel ein Klebfilm-Röllchen mit außen liegender Klebeschicht an, legen Sie die Kontaktsicherung mit der Klebeschicht nach oben darauf und drücken Sie es an seine Stelle. Schmiegeln Sie mit dem Finger die Kontaktsicherung fest an das Ende des Abnehmers und die Kondensator-Elektrode an. Kleben Sie dann die Bodenplatte mit etwas Sekundenkleber unter die Flasche.

Wenn Sie sogenannten Leitkleber zur Hand haben (elektrisch leitenden Klebstoff wie z.B. Wire Glue, erhältlich über das Internet) können Sie den Kontakt damit noch zusätzlich herstellen. In der Regel ist diese Maßnahme aber nicht notwendig.

Schritt 95: Bringen Sie dort, wo die Alufolie das kleine Loch in der Traverse überdeckt, einen kleinen Schnitt an, streifen Sie die Drahtfixierung 1 [O14, Bogen 5] auf das lange waagerechte Ende des Stromabnehmers und stecken Sie es durch das Loch hindurch, bis es ca. 26 mm weit auf der anderen Seite der Traverse herausragt. Evtl. muss dazu noch der Schnittgrat am Ende des Stromabnehmers etwas abgeschliffen werden. Prüfen Sie, ob die Elektrode mit ihrem Mittelteil senkrecht und parallel zum Ständer steht und kleben Sie die Leidener Flasche an ihrer Position auf dem Sockel fest.

Schritt 96: Streifen Sie die Drahtfixierung 2 [O15, Bogen 6] auf das Ende des Stromabnehmers. Geben Sie auf beiden Seiten einen Tropfen Sekundenkleber auf den Draht, dort, wo er aus der Traverse austritt, und schieben sie die Drahtfixierungen darauf. Schrauben Sie auf das Ende des Drahtes eine der beiden schon vorbereiteten Kollektorbürsten.

Jetzt muss noch die außen liegende Kondensatorfläche der Leidener Flasche über eine Leiterbrücke mit der Leiterbahn verbunden werden, die sich schon auf dem Sockel befindet:

Schritt 97: Lösen Sie vorsichtig die Leiterbrücke [P16-Alu] von der Trägerfolie. Der Streifen hat an beiden Enden zwei kleine Einschnitte, wodurch in der Mitte kleine Zungen entstehen. Falten Sie diese Zungen nach hinten, so dass Kleber auf Kleber liegt. Der Streifen ist jetzt an diesen Stellen beidseitig leitend. Kleben Sie das eine Ende der Leiterbrücke auf die abgeschrägte Kante der Leiterbahn, das andere Ende reicht dann bis zur Mitte der Leidener Flasche und klebt mit seiner leitenden Zunge auf der Kondensator-Elektrode aus Alufolie.

Die erste Leidener Flasche ist damit fertig eingebaut. Die Montage der anderen folgt genau denselben Schritten, nur beginnen die Nummern der Teile mit einem „P“ statt mit einem „O“.

Abschnitt P: Die Leidener Flasche 2

Schritt 98: Kleben Sie die Bodenplatte aus den Teilen [P3 und P4, Bogen 10] und [P5, Bogen 7 und P6, Bogen 8] zusammen, dann den Deckel aus den Teilen [P7, Bogen 7 und P8, Bogen 8], [P9 und P10, Bogen 10] sowie den Teilen [P11 und P12, Bogen 7 und 8].

Schritt 99: Stecken Sie das Ende der anderen Stromabnehmer-Elektrode durch den Deckel und kleben Sie den Deckel der PVC-Röhre fest. Stecken Sie die Bodenplatte von unten auf die PVC-Röhre, drehen Sie die Elektrode so, dass sie mit ihrem Endstück im Inneren der Flasche auf der Kondensator-Elektrode liegt. Stellen Sie die Höhe der Elektrode so ein, dass ihr waagerechtes Ende durch das 2,5 mm große Loch in der Traverse gesteckt werden kann und fixieren Sie die Elektrode im Deckel mit Sekundenkleber.

Schritt 100: Kleben Sie von unten die Kontaktsicherung [P13-Alu] auf das Ende des Abnehmers und die Kondensator-Elektrode und kleben Sie dann die Bodenplatte unter die Flasche.

Schritt 101: Streifen Sie die Drahtfixierung 1 [P14, Bogen 7] auf den Stromabnehmer, stecken Sie ihn durch sein Loch in der Traverse und kleben Sie die Leidener Flasche auf den Sockel. Stecken Sie die Drahtfixierung [P15, Bogen 8] auf den Stromabnehmer und fixieren Sie ihn mit Sekundenkleber und den Fixierscheiben in der Traverse. Bringen Sie die letzte Kollektorbürste an seinem Ende an.

Schritt 102: Stellen Sie mit der Leiterbrücke [O17-Alu] eine elektrische Verbindung zwischen der Leiterbahn auf dem Sockel und der äußeren Alufolie auf der Leidener Flasche her.

Abschnitt Q: Die Kugel-Elektrode 1

Die Elektroden werden aus hölzernen Rundstäben und Kugeln hergestellt. Um sie elektrisch leitend zu machen, werden sie mit Alufolie überzogen. Die untere Hälfte der Stäbe wird mit einem Stück Schrumpfschlauch isoliert. Die zweite Elektrode ist mit der ersten identisch, nur die Teilenummern beginnen mit „R“ statt mit „Q“. Sie können die Elektroden deshalb auch gleichzeitig zusammenbauen.

Schritt 103: Bekleben Sie den einen 180 mm langen Rundstab mit der Leiterfläche [Q1-Alu]. Beginnen Sie genau am Ende des Stabes, so dass er dann auf ca. 104 mm Länge mit Alufolie überzogen ist. Reiben Sie die Folie glatt, so dass sie überall anliegt.

Schritt 104: Zu jeder Kugel-Elektrode gehören zwei 20 mm große Holzkugeln, die eine mit einer Durchgangsbohrung, die andere mit einem Sackloch. Stecken Sie das freie Ende des langen Holzstabes in die Kugel mit dem Sackloch und markieren Sie, wie weit er hineingeht. Schneiden Sie dann vom Schrumpfschlauch ein Stück ab, das genau vom Ende der Alufolie bis zu dieser Markierung reicht. Stecken Sie den Schlauch auf

den Stab und schrumpfen Sie ihn auf ihm fest, indem Sie ihn in eine Feuerzeugflamme halten und dabei hin und her drehen. Der Holzstab ist jetzt auf der ganzen Länge mit Alufolie oder mit Schrumpfschlauch bedeckt, bis auf das kleine Stück, das ganz am Schluss in die Kugel geklebt wird.

Schritt 105: Bekleben Sie eines der 45 mm langen Rundhölzer mit der Leiterfläche [Q2-Alu], aber so, dass die Alufolie am einen Ende um 2 mm übersteht. Das wird die Achse der Kugelelektrode. Der Überstand dient als elektrische Kontaktfläche und wird auf die Schnittkante des Holzstabs gedrückt. Am anderen Ende bleiben ca. 7 mm Holz frei.

Schritt 106: Um die Achse mit der Elektrode zu verbinden, wird eine stabile Winkelverbindung benötigt. Kleben Sie dazu die 6 Winkelstücke aus dickerem Karton [Q5 bis Q10, Bogen 9] kantengenau zu einem kleinen Block aufeinander.

Hinweis: Die Winkelstücke sind zwar durchnummeriert, Teile gleicher Größe können aber in beliebiger Reihenfolge verklebt werden.

Kleben Sie dann die etwas größeren Winkelstücke aus dünnerem Karton [Q11 und Q12, Bogen 7] auf die beiden Seiten des Blockes, und zwar so, dass sie an den geschwungenen Kanten mit dem Block bündig sind und an den beiden geraden Kanten um 1 mm überstehen. Auf diese Weise ist ein Winkelblock mit Vertiefungen an den geraden Kanten entstanden, in welche dann die Rundhölzer standsicher eingeklebt werden können.

Schritt 107: Kleben Sie in gleicher Weise aus den Winkelstücken [Q13 bis 18, Bogen 9] und den beiden etwas größeren Winkelstücken [Q19 und Q20, Bogen 7] einen identischen Block zusammen.

Schritt 108: Legen Sie die beiden Blöcke nebeneinander, mit den geschwungenen Kanten außen, und zwischen sie die Achse (s. Abb.). Die Achse liegt jetzt in der Vertiefung

der längeren Winkelstück-Kanten. Das Ende der Achse muss genau bündig mit der Vertiefung der kürzeren Kanten sein, damit die mit Alufolie beklebte Schnittkante Kontakt mit der Elektrode hat, die quer darüber geklebt wird. Kleben Sie die Achse in dieser Position mit Sekundenkleber an den Winkelstücken fest. Es darf dabei kein Kleber auf die Alufolie an der Schnittkante der Achse kommen, damit der elektrische Kontakt gewährleistet ist.

Schritt 109: Kleben Sie den langen Elektrodenstab quer darüber in die Vertiefung der kurzen Winkelstückkanten, und zwar so, dass innerhalb der Winkelstücke nur mit Alufolie beklebtes Rundholz in den Vertiefungen liegt und der Schrumpfschlauch erst direkt nach den Winkeln anfängt. Damit die Alufolien der beiden Stäbe in direktem Kontakt miteinander sind, darf an dieser Stelle kein Klebstoff angebracht werden.

Es steht dann auf der einen Seite ein ca. 79 mm langer mit Alufolie beklebter Holzstab über.

Schritt 110: Biegen Sie die Winkelhalterung [Q21, Bogen 11] in der Mitte rund und legen Sie sie zur Probe über den Verbund aus Winkelstücken und Rundhölzern. Sie hält die quer aufgeklebte Elektrode sicher und immer rechtwinklig auf den Winkelstücken und der Achse. Kleben Sie sie in dieser Position fest.

Schritt 111: Kleben Sie nun die Leiterfläche [Q3-Alu] auf die große Holzkugel mit der durchgehenden Bohrung. Die Leiterfläche besteht aus sechs aneinander hängenden Segmenten, die so auf der Kugel angebracht werden, dass ihre Spitzen auf beiden Seiten an den Löchern der Kugel enden und etwas in sie hineinragen. Achten Sie darauf, dass keine offenen Schlitzes zwischen den Segmenten bleiben. Es ist unvermeidbar, dass die Alufolie zunächst kleine Falten bildet. Diese lassen sich aber sehr flach drücken, da die Folie weniger als 0,1 mm dick ist. Le-

gen Sie die Kugel dazu auf einen harten, glatten Untergrund, legen Sie Ihre Handfläche oder ein nicht zu glattes Brett darauf und rollen Sie die Kugel mit etwas Druck hin und her, bis die Oberfläche fast spiegelglatt ist. Je glatter sie ist, umso weniger kommt es zu Sprühentladungen in die Luft, und die Kraft des Funkenschlags zwischen den Elektroden wird stärker. Drücken Sie die Spitzen der Segmente mit einem Rundholz in die Löcher hinein, so dass sie auf der Innenseite ankleben. Damit wird der elektrische Kontakt zur Elektrodenstange sicher gestellt.

Schritt 112: Stecken Sie das mit Alufolie beklebte Ende der Elektrodenstange durch die Kugel, so dass sie 5 mm herausragt. Stecken Sie zur Probe eine der kleinen Holzkugeln mit ihrem Sackloch darauf und vergewissern Sie sich, dass sie an die große Kugel anstößt.

Schritt 113: Kleben Sie nun die Leiterfläche [Q4-Alu] auf die kleine Holzkugel. Die Spitzen der vier Segmente sollen über dem Loch zusammen kommen und dort hinein geklebt werden. Drücken Sie auch hier wieder alle Falten so glatt wie nur möglich. Fixieren Sie die große Holzkugel mit einem Tropfen Sekundenkleber auf der Elektrodenstange, ebenso die kleine Kugel. Geben Sie dazu nur so wenig Klebstoff in ihr Loch, dass ein Teil ihrer Alufolie sicheren Kontakt mit der Alufolie der Stange hat. Kleben Sie dann das andere Ende der Stange in das Sackloch der unbedeckten Holzkugel.

Schritt 114: Kleben Sie die Elektroden-Fixierscheibe 1 [Q22, Bogen 7] auf die 3 anderen Fixierscheiben [Q23, Bogen 1], [Q24, Bogen 6] und [Q25, Bogen 8], stecken Sie den Block auf die Achse der Elektrode und diese dann durch das Loch am einen Ende der Traverse. Dazu müssen Sie vorher mit einer Messerspitze ein paar Schnitte in der Alufolie anbringen. Schieben Sie die Achse so weit durch die Traverse, bis sie auf der Rückseite des Korklagers etwa 10 mm weit herausragt. Kleben Sie eine der kleinen Sackloch-Holzkugeln auf das Ende der Achse, so dass sie nicht mehr aus ihrem Lager herausgezogen werden kann, und ziehen Sie nach dem Trocknen die Achse wieder bis zum Anschlag zurück. Schieben Sie dann den Block aus den 4 Fixierscheiben so weit vor, bis er an der Traverse aufliegt, und fixieren Sie ihn mit einem Tropfen Sekundenkleber auf der Achse (nicht auf der Traverse!). Jetzt ist die Kugel-Elektrode sicher in der Traverse fixiert und doch voll drehbar.

Abschnitt R: Die Kugel-Elektrode 2

Schritt 115: Kleben Sie die Elemente der Kugel-Elektrode 2 in der gleichen Weise zusammen wie die der ersten Kugel-Elektrode und stecken Sie sie in ihr Achslager in der Traverse. Fixieren Sie sie dort mit der letzten kleinen Holzkugel und dem Block aus den vier Fixierscheiben [R22, Bogen 7], [R23, Bogen 2], [R24, Bogen 6] und [R25, Bogen 8].

Jetzt ist Ihre Wimshurst-Maschine fertig. Herzlichen Glückwunsch! Beachten Sie bitte zur Inbetriebnahme die folgenden Hinweise:

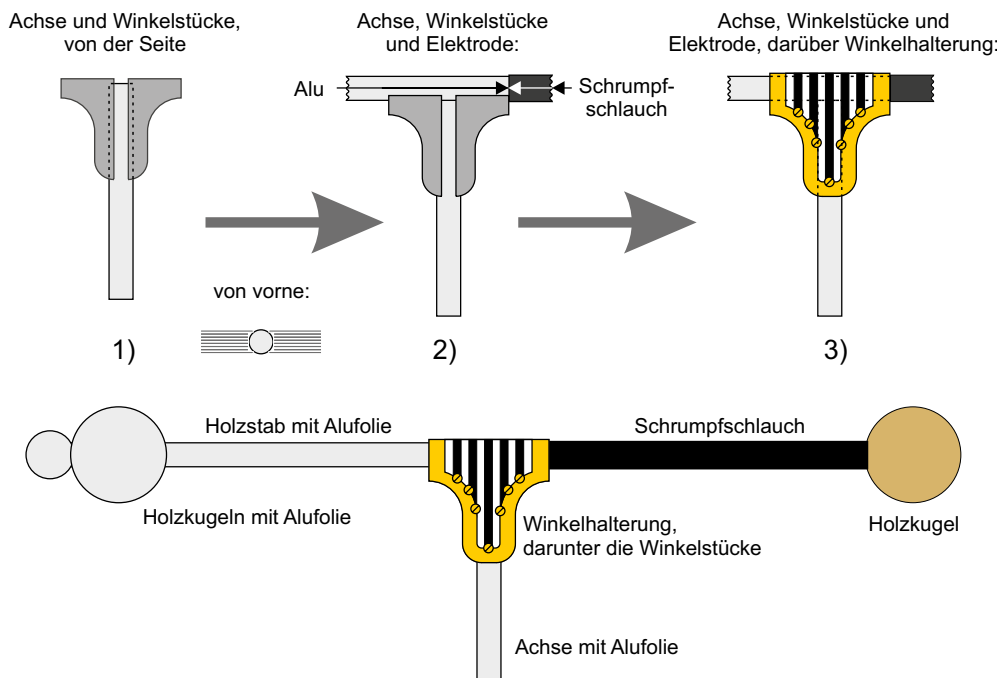


Abb. 10: Kugel-Elektrode

Abschnitt S:

Die erste Inbetriebnahme

1. Prüfen Sie vor jeder neuen Benutzung der Wimshurst-Maschine, ob alle Kollektorbürsten auf den Lamellenscheiben anliegen.
2. Bringen Sie die Kugeln an den Elektroden in eine Entfernung von ca. 1 cm und drehen Sie die Kurbel, bis Blitze zwischen den Kugeln erscheinen. Vergrößern Sie den Abstand und probieren Sie unterschiedliche Stellungen der Kugeln zueinander aus, z.B. auch indem die kleine Kugel einer Elektrode auf die große der anderen gerichtet ist, bis sich die längsten Funken erzeugen lassen. Unter Umständen können auch längere Funken erzeugt werden, wenn Sie die Ausrichtung der Ausgleicher um 90° verstellen und die Drehrichtung der Kurbel umkehren.
3. Lassen Sie die Maschine in möglichst trockener Luft laufen. Feuchte Luft verhindert lange Funkenschläge.

Sicherheitshinweise:

4. Betreiben Sie die Maschine nie in der Nähe von entzündlichen Flüssigkeiten und Gasen, der Funkenschlag könnte eine Explosion auslösen.
5. Kinder dürfen die Wimshurst-Maschine nicht ohne Aufsicht bedienen. Ein auf den Menschen überspringender Funken kann zwar auf Grund der konstruktiven Begrenzung der Stromstärken keine Gesundheitsgefahr darstellen, bei Kindern aber einen unerwartet großen Schrecken auslösen.

Fragen und Antworten:

1. Meine Maschine erzeugt keine Funken. Woran kann das liegen?

- Prüfen Sie, ob alle 6 Kollektorbürsten an der Lamellenplatte anliegen.
- Vergewissern Sie sich, dass alle anderen elektrischen Kontakte auch in Ordnung sind. Zur Überprüfung können Sie fragliche Stellen mit einem Stück Haushalts-Alufolie überbrücken, die Sie mit Klammern o.ä. befestigen.
- Zu feuchte Raumluft führt zu Sprühentladungen. Warten Sie, bis die Luft trocken genug ist.
- Wenn eine kalte Maschine in einen warmen Raum kommt, können sich auf dem Karton unsichtbare Kondensat-Niederschläge aus Wasserdampf bilden, welche die Ströme leiten und zerstreuen. Warten Sie, bis sie warm und trocken ist.
- Manchmal ist es nötig, dass sich die Maschine komplett entlädt. Nach einer kurzen Ruhepause müsste sie wieder funktionieren.

2. Was kann ich alles mit der Wimshurst-Maschine machen?

- Am eindrucksvollsten sind natürlich die hellen, knallenden Funkenschläge. Diese kleinen Blitze bilden sich auf die gleiche Weise wie die großen in einem Gewitter: Eigentlich ist Luft ja ein Isolator, kein elektrischer Leiter. Aber wenn die Spannung zwischen den Kugeln (oder zwischen den Wolken und der Erde) so hoch geworden ist, dass sie sich nicht anders als über die

Luft entladen kann, wird diese in einem dünnen Kanal für Millisekunden ionisiert und damit leitend, und es kommt zu einer „blitz“schnellen Entladung.

- Es gibt einige berühmte Versuche zur statischen Elektrizität, für die sich die Wimshurst-Maschine hervorragend eignet und die sich einfach nachvollziehen lassen, z.B. das Elektroskop, das elektrostatische Pendel, der Nachweis von Ionenwind mittels einer Kerzenflamme oder der elektrostatische Motor, der über Spitzenentladung angetrieben wird. Im AstroMedia Shop werden auf der Seite der Wimshurst-Maschine Anleitungen zum einfachen Nachbau angeboten, ebenso finden sich zahlreiche Anleitungen im Internet auf www.youtube.de.

3. Ich habe noch Ideen für weitere Versuche. Kann ich sie an den Verlag schicken?

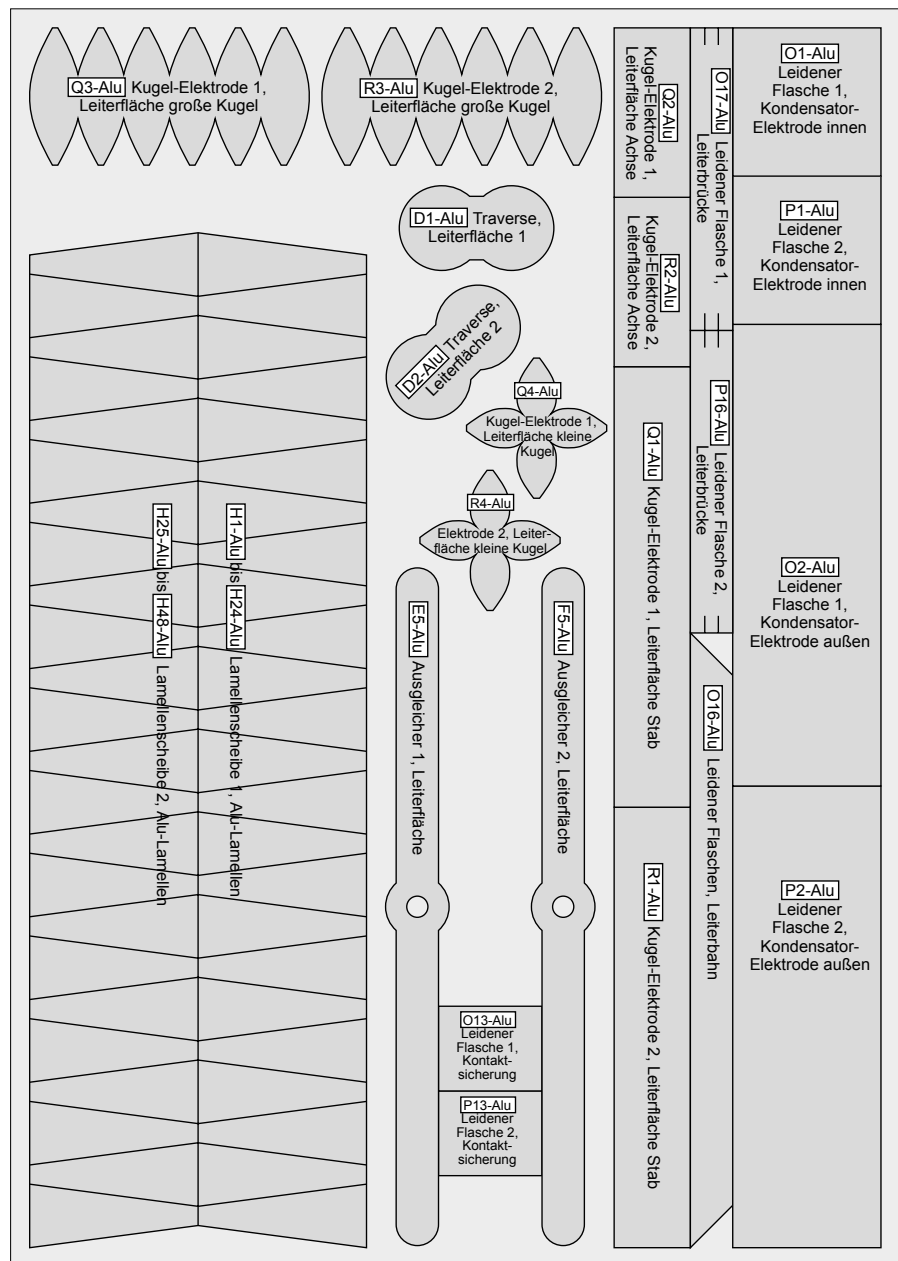
- Unbedingt! Schicken Sie uns eine Email an info@astromedia.de. Wir freuen uns sehr über Ihren Bericht, Ihr Video oder Ihre Zeichnung und veröffentlichen sie gerne in unserem Shop.

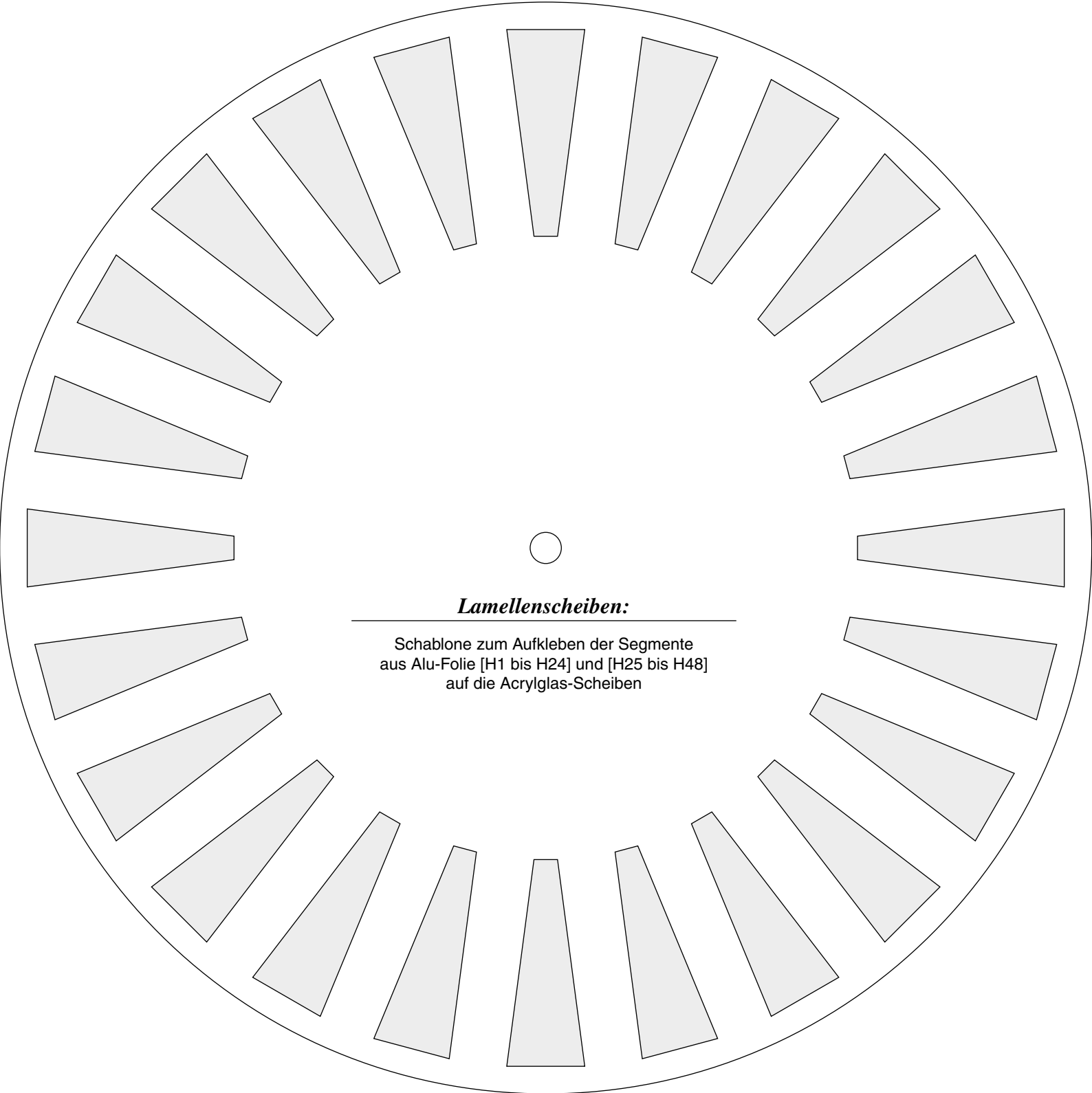
Und noch ein Tipp zum Schluss: Hängen Sie bei Nichtgebrauch die Treibriemen aus

den großen Treibrädern aus, sie halten dann länger.

4. Sind die hohen Spannungen der Wimshurst-Maschine wirklich ungefährlich?

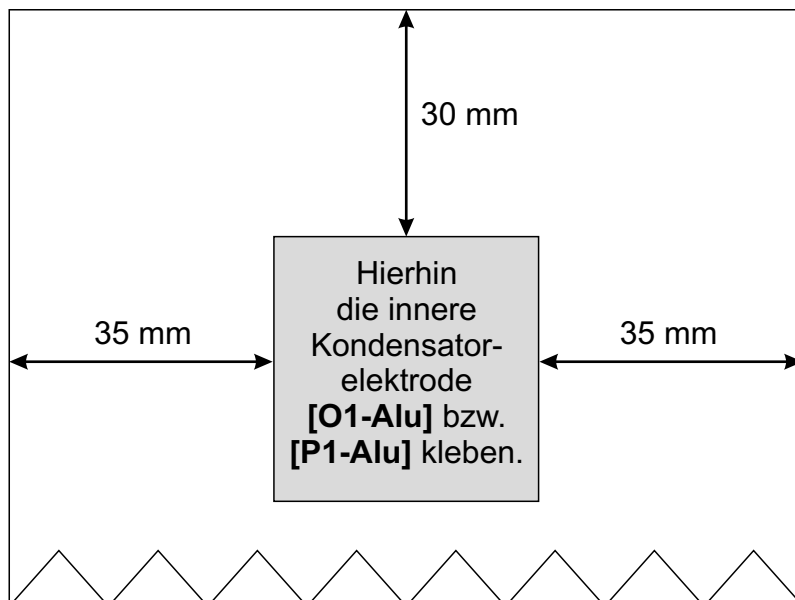
- Ja. Entscheidend sind nicht die hohen Spannungen, die bis zu 70.000 Volt reichen können, sondern die Stärke der Ströme, die bei einer Entladung freigesetzt werden. Laut „Ratgeber zur Gefährdungsbeurteilung“ der Deutschen Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) sind elektrostatische Entladungen über den menschlichen Körper ungefährlich, wenn die übertragene Ladung 50 μC (Microcoulomb, Millionstel Coulomb) oder die Energie 350 mJ (Millijoule, Tausendstel Joule) nicht überschreitet. Konstruktiv bedingt kann diese Wimshurst-Maschine aber nur Maximalwerte von 1,4 μC bzw. 49 mJ erreichen, das sind 3% bzw. 14%. In der Praxis liegen diese Werte aber deutlich niedriger. Die genaue Berechnung finden Sie auf der Seite der Wimshurst-Maschine auf www.astromedia.de. Berücksichtigen Sie aber immer, dass ein elektrischer Schlag, auch wenn er ungefährlich ist, trotzdem unangenehm sein kann.





Lamellenscheiben:

Schablone zum Aufkleben der Segmente
aus Alu-Folie [H1 bis H24] und [H25 bis H48]
auf die Acrylglas-Scheiben



Leidener Flaschen:

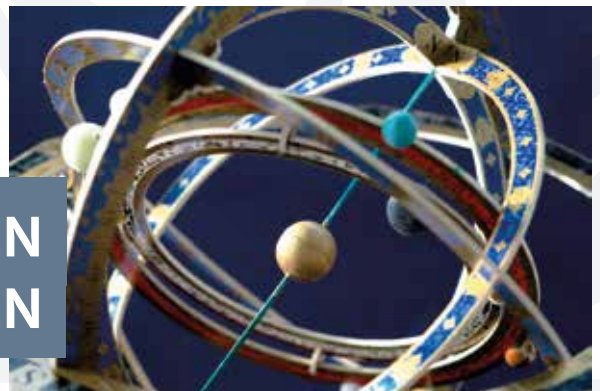
Schablone zum Aufkleben
der inneren Kondensatorelek-
troden [O1-Alu] und [P1-Alu]
auf die PVC-Folien

Der Verlag der Wissenschaft

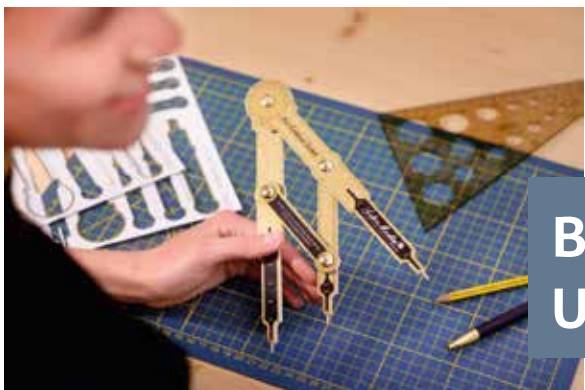
*Naturwissenschaften und Technik erlebbar machen und verstehen. **Voll funktionstüchtigen Kartonbausätzen** für wissenschaftliche und technische Instrumente und Apparate.*



**AUSSCHNEIDEN
UND ENTDECKEN**



**ZUSAMMENBAUEN
UND LERNEN**



**BASTELN
UND BEGREIFEN**