

Der Bandgenerator (Van-de-Graaff-Generator)

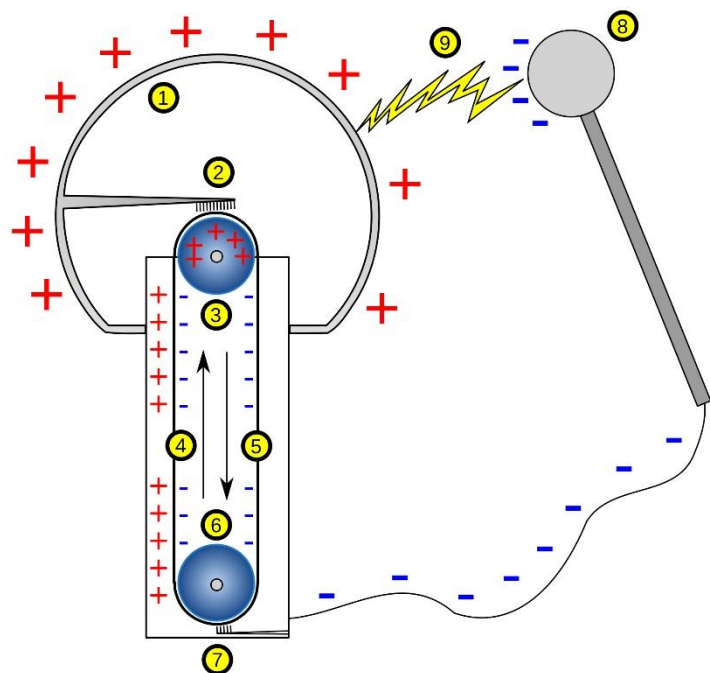
Ein Bandgenerator ist eine Apparatur zur Erzeugung sehr hoher elektrischer Gleichspannungen. Er wurde nach dem amerikanischen Physiker Robert Van de Graaff benannt, der ab 1929 Bandgeneratoren entwickelte. Der Bandgenerator zählt zu den elektrischen Generatoren und wandelt mechanische in elektrische Energie um, allerdings mit sehr geringem Wirkungsgrad. Er ist neben weiteren Geräten das am häufigsten für physikalische Lehrexperimente verwendete Gerät zur Hochspannungserzeugung.

Ein umlaufendes elektrisch isolierendes Band (4) kann durch Reibung elektrisch aufgeladen werden. Die Ladung wird durch die Bewegung des Bandes in das Innere der großen Hohlkugel (1) transportiert und dort durch eine mit der Kugel leitend verbundene "Bürste" (2) vom Band "abgestreift". Die Ladung wandert dann infolge der Feldkräfte an die Oberfläche der Kugel und wird nicht durch das zurücklaufende Band wieder nach außen transportiert. Die Kugel kann dadurch auf immer höhere Spannung gegenüber der Umgebung aufgeladen werden; die Spannung wird nur begrenzt durch Funkenüberschläge (9) bei zu hoch gewordener Feldstärke.

Die im Bild sichtbare zweite, kleinere Kugel (8) ist schwenkbar mit dem Fuß (Erdpotential) verbunden und dient als Gegenpol zur Ermittlung der Schlagweite der Funkenentladung sowie zur gefahrlosen Entladung der Apparatur. Sie hat für die Funktion des Generators selbst keine Bedeutung.

Legende:

1. metallische Hohlkugel (trägt positive Ladung)
2. oberer Abnahmekamm
3. obere Umlenkrolle
4. positiv geladene Bandseite
5. negativ geladene Bandseite
6. untere Umlenkrolle
7. unterer Abnahmekamm
8. Kugel mit negativer Ladung
9. Funkenstrecke



Elektrische Ladungen werden auf dem Band durch Reibungselektrizität (Abrollen des Bandes von der unteren Rolle 6) erzeugt und mit diesem in die Hohlkugel (1) transportiert. Dort werden sie über den im Inneren befindlichen Steg an die Kugel abgegeben. Entscheidend ist dabei, dass das Innere der Kugel wie ein Faradayscher Käfig feldfrei ist, so dass sich die elektrischen Kräfte an jedem Punkt kompensieren. Dann können die transportierten Ladungen auch bei großer Ladung der Kugel in ihrem Inneren leicht an sie abgegeben werden.

Das Band steht danach wieder zur Aufnahme neuer Ladungen bereit. Durch fortlaufenden Betrieb des Bandes können so große Ladungsmengen in die Kugel transportiert werden, was in einer hohen elektrischen Spannung zwischen Kugel und Umgebung resultiert. Diese Spannungsdifferenz muss von der Ladung auf dem Band beim Weg in die Kugel überwunden werden. Das gelingt, indem beim Drehen mechanische Arbeit gegen die elektrostatische Anziehungskraft verrichtet wird, die zwischen der Ladung und Erdpotential besteht: die Abstandsänderung führt zu steigender Spannung auf dem Band und die Ladung kann als elektrische Feldenergie in der oberen Kugel deponiert werden.

Ähnlich wie bei einem geladenen Plattenkondensator, dessen Platten man voneinander entfernt (Verringerung der Kapazität C), erhöht sich bei gleichbleibender Ladung Q auf dem Band die Spannung U bzw. der Potentialunterschied zum Erdpotential:

$$U = \frac{Q}{C}$$

mit

- U - gegenüber Erdpotential steigender Potentialunterschied
- Q - konstante Ladungen auf dem Band
- C - sich beim Hochlaufen verringernde Kapazität eines Bandabschnittes gegenüber Erde

Das Band steht nach dem Rücklauf wieder zur Aufnahme neuer Ladungen bereit, da sich das Potential beim Rücklauf (Annäherung an das Erdpotential) wieder verringert. Die Arbeit wird als elektrische Feldenergie zwischen oberer Kugel und Umgebung / Erde deponiert.

Bei fortlaufendem Drehen stellt sich in der großen Kugel ein Gleichgewicht zwischen zugeführter Ladung und den durch die Luft und andere Wege abfließenden Ladungen ein. Da der mechanisch erzeugte Ladestrom vergleichsweise klein ist, wird die erreichbare Spannung durch den Entladestrom über die schwach leitende Luft begrenzt. Daher funktionieren Bandgeneratoren in feuchtem Klima nur sehr schlecht.

Die Kugel- oder zumindest abgerundete Form mit glatten Oberflächen minimiert den Verlust der Ladung, indem sie die an scharfen Kanten und Spitzen auftretenden durch Feldemission bewirkten Vorentladungen verringert.

Bandgeneratoren wie der hier ausgestellte, die ohne externe Spannungsquelle für das Aufladen der Hohlkugel arbeiten, benötigen geeignete Materialpaarungen zwischen unterer Rolle und Band, um in diesem beim Abheben von der unteren Rolle (6) genügend Reibungselektrizität zu erzeugen. Dies ist bei unserem Ausstellungsstück Acrylglas, während die obere Rolle (3) aus Teflon besteht. Da die entnehmbaren Ströme sehr klein sind (Kurzschlussstrom $< 10 \mu\text{A}$) ist das Arbeiten mit dem Gerät trotz der hohen Spannung für gesunde Personen ungefährlich.

Gefährdete Personen, z. B. solche mit Herzschrittmacher, dürfen sich nicht in der Nähe des im Betrieb befindlichen Gerätes aufhalten. Daher darf der Bandgenerator nur durch eingewiesenes Personal des Technik-Museums Kassel (Förderverein und Betreibergesellschaft) betrieben werden. In jedem Fall ist die Bedienungsanleitung der Fa. PHYWE Systeme GmbH & Co. KG, die sich unverlierbar bei dem Gerät befinden muss, strikt zu beachten.

Kassel, den 29. Juni 2013

Wolfgang Dünkel
VDE Bezirksverein Kassel e.V.
Öffentlichkeitsarbeit

Quellen: *Wikipedia "Van-de-Graaff-Generator" für Text und Abbildung*
PHYWE "Bandgenerator 07645-97" für Text