

# Blitz und Donner

Prof. Dr.-Ing. Albert Claudi



Manuskript zur Vorlesung der Kinder-Universität  
vom 5. November 2004 an der

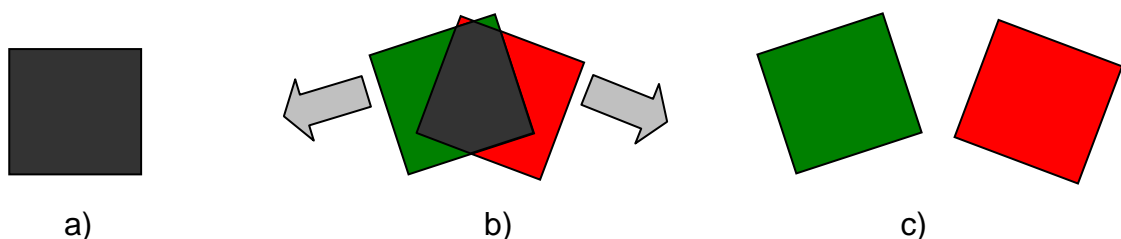
Mensch U N I K A S S E L  
Umwelt V E R S I T Ä T  
Kunst  
Technik

## Einleitung

Wohl jeder hat schon einmal Blitze beobachtet und das etwas mulmige Gefühl aus einer Mischung von Angst und Faszination verspürt. Das war auch schon in der Vergangenheit so, und weil man sich diese Phänomene nicht erklären konnte machte man die Götter dafür verantwortlich. Zumeist handelt es sich um mächtige und beeindruckende Götter, wie z.B. den Blitze schleudernden Zeus. Inzwischen sind wir etwas schlauer geworden und haben herausbekommen, dass Blitz und Donner natürliche Ursachen haben. Aber wie entsteht nun so ein Blitz eigentlich? Wie lang und wie heiß kann er werden? Wie viel Energie steckt in einem Blitz? Und wie kann man sich vor Blitzen schützen? Diese und andere Fragen wollen wir in dieser Vorlesung beantworten.

## Die Welt der Ladungsträger

Um die Entstehung von Blitzen erklären zu können, müssen wir etwas ausholen. Wir müssen uns in die Welt der Ladungsträger begeben, denn Blitze haben etwas mit elektrischen Ladungen und Spannungen zu tun. Und am Anfang müssen wir verstehen, wie solche Spannungen entstehen.<sup>1</sup> Ladungsträger gibt es nun in allen Gegenständen, die wir kennen, Schuhe, Pullover, Autos...alles besteht unter anderem aus Ladungsträgern. Und zwar aus genau zwei Arten von Ladungsträgern. Nennen wir sie mal die Roten und die Grünen. Manche nennen sie auch Positive und Negative Ladungen, und ganz schlaue Leute sprechen von Ionen und Elektronen, aber sie meinen alle das Gleiche. Nun sind normalerweise immer gleich viele rote und grüne Ladungen in den Gegenständen und daher machen sie sich auch nicht bemerkbar, denn sie heben sich gegenseitig auf, man sagt auch sie sind im Gleichgewicht.



**Abbildung 1 Ein Beispiel für ein Quadrat mit gleich viel 'Roten' und 'Grünen' Ladungen**  
 a) Ladungen im Gleichgewicht.  
 b) Ladungen werden getrennt  
 c) Ladungen sind getrennt

Wenn es uns gelingt die Ladungen zu trennen, so wie das in Abbildung 1 dargestellt ist, dann entsteht eine elektrische Spannung zwischen ihnen und sie versuchen, sofort wieder zusammenzukommen, denn sie möchten nicht getrennt bleiben. Wie bringt man nun diese Ladungen auseinander? Offensichtlich geht das, denn es gibt ja Batterien, da stecken Ladungen drin. Und an einer Seite der Batterie steht ein + für die roten und am anderen Ende ein – für die grünen Ladungen. Und dann steht da noch 1,5 Volt oder 9V darauf, daß ist die Spannung dieser Batterie. Aber auch jeder

<sup>1</sup> Genau genommen handelt es sich um elektrostatische Spannungen

von uns kann Ladungen trennen, und jeder hat das bestimmt schon einmal gemacht. Wenn man zum Beispiel den Pullover über den Kopf zieht, dann knistert es manchmal ganz gewaltig in den Haaren, besonders im Winter, oder wenn man über den Teppich ‚schlurft‘ - übrigens eine Spezialität von Kindern – und dann eine Türklinke anfasst, bekommt man manchmal einen kleinen elektrischen Schlag. In beiden Fällen ist es uns gelungen, die roten und die grünen Ladungen durch Reibung am Kopf oder am Teppich zu trennen, wir laden uns auf und es entsteht eine Spannung, die so hoch ist, dass kleine Funken entstehen. Und die hört man dann knistern und im Dunkeln kann man sie sogar sehen.

### **DURCH REIBUNG KANN MAN ALSO ELEKTRISCHE LADUNGEN TRENNEN UND ELEKTRIZITÄT ERZEUGEN.**

Das Ganze kann man auch mit einem Plastikstreifen erreichen, den man kräftig an einem Wollpullover reibt. Danach zieht der Plastikstreifen Papier - Schnipsel an, weil er jetzt ‚aufgeladen‘ ist.



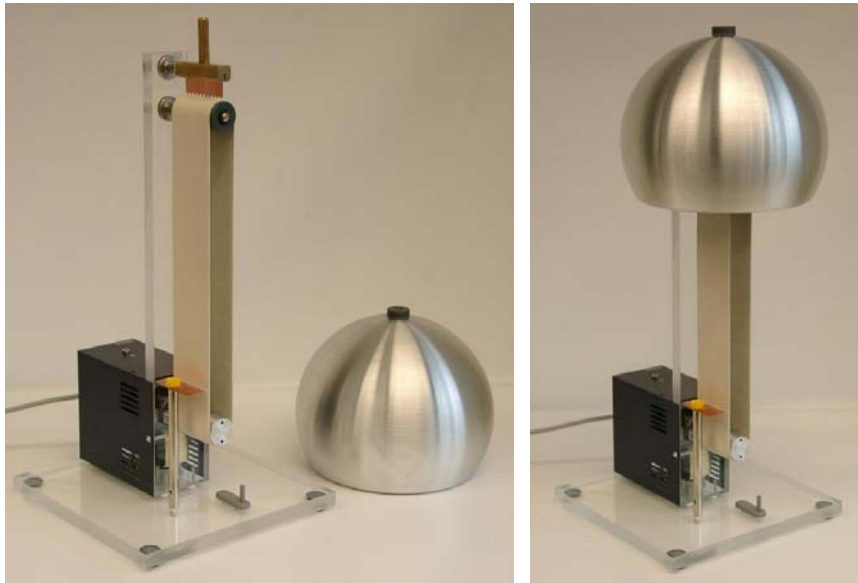
**Abbildung 2 Das Experiment mit der Plastikfolie**

Damit wir armen Wissenschaftler nun nicht den ganzen Tag über den Teppich schlurfen müssen, um Elektrizität zu erzeugen, haben wir eine Maschine gebaut, die Teppich-Schlurf-Maschine (TSM). Nun gut, eigentlich heißt die Maschine Bandgenerator oder Van-de-Graaf-Generator, aber sie benutzt das selbe Prinzip, wie unser Teppich–Schlurfen.

### **Experimente mit der Teppich-Schlurf-Maschine**

Ein Stück Teppich oder ein Kunststoffband ‚schlurft‘ über zwei Drehachsen an einer großen Kugel vorbei und trennt dabei die Ladungen, das heißt, die Kugel bekommt z.B. rote Ladungsträger ab, und der Boden, auf dem die Maschine steht, bekommt grüne Ladungen. Jetzt ist die Kugel, die gut isoliert vom Boden ist, also aufgeladen

und je mehr Ladungen wir auf die Kugel transportieren, umso höher wird die Spannung. Das Band kann man über eine Kurbel drehen, oder -noch bequemer- man lässt das einen Motor machen.

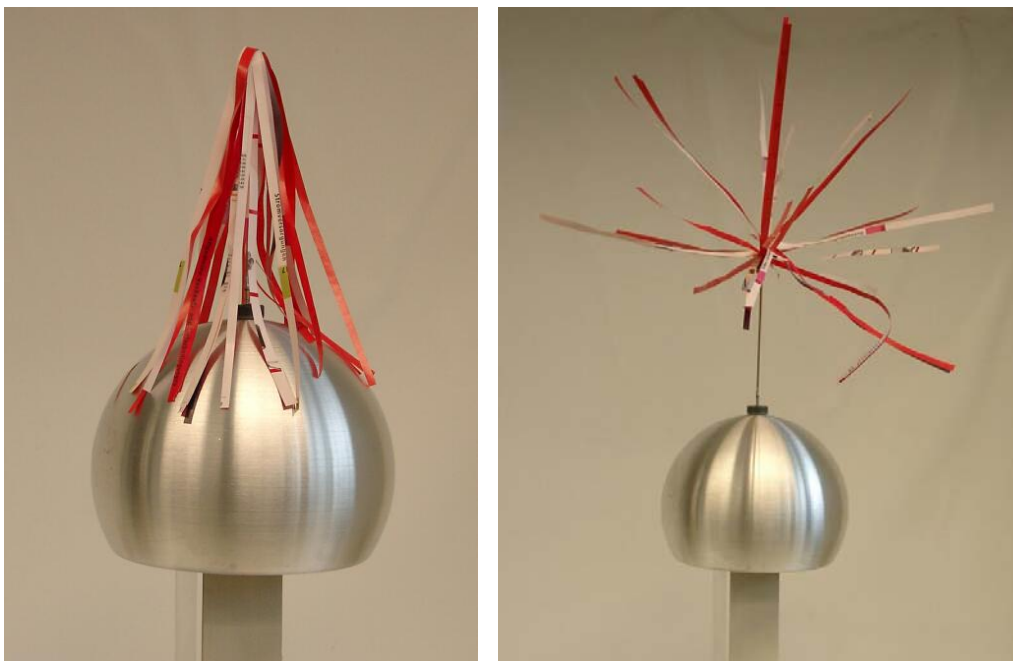


**Abbildung 3** Die Teppich-Schlurf- Maschine, links ohne aufgesetzte Kugel

Mit dieser Maschine können wir nun ein paar schöne Experimente machen.

### *1. Der Versuch mit dem Papierbüschel*

Wir bringen einen Papierbüschel auf die Spitze der Kugel und lassen den Motor und das Band laufen. Nach kurzer Zeit erheben sich die Papierfahnen und stellen sich wie ein Strauß Blumen auf, denn sie sind jetzt genauso aufgeladen wie durch unsere Folie, die wir am Pullover aufgeladen haben.



**Abbildung 4** Der Versuch mit dem Papierbüschel, links ohne Aufladung, rechts mit Aufladung

## 2. Der Versuch mit der geerdeten Kugel

Bringt man eine kleine Metallkugel<sup>2</sup> in die Nähe der großen, so gibt es einen kleinen ‚Miniblitz‘ zwischen den Kugeln. In diesem Fall ist die Spannung zwischen den Kugeln so groß geworden, dass sich die Ladungen über die Luft ausgleichen.

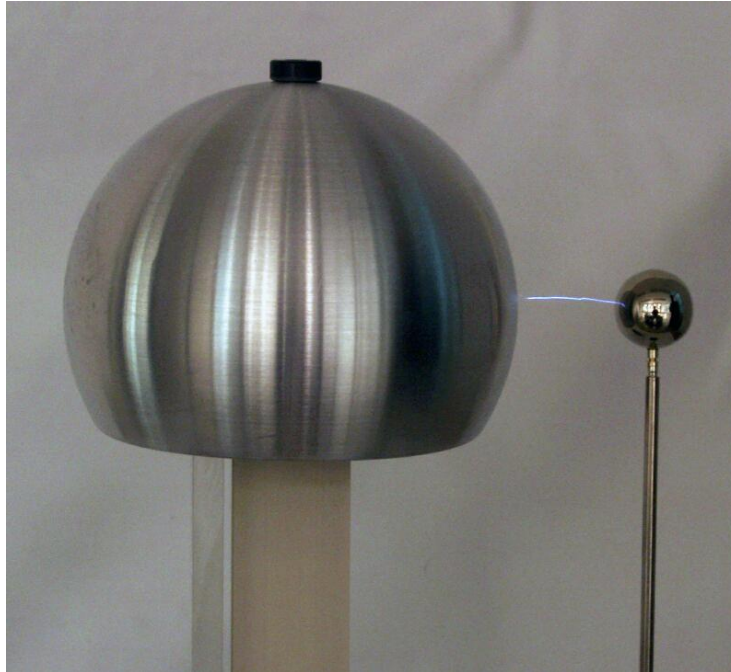


Abbildung 5 Der Versuch mit der geerdeten Kugel

## 3. Die Ping-Pong Maschine

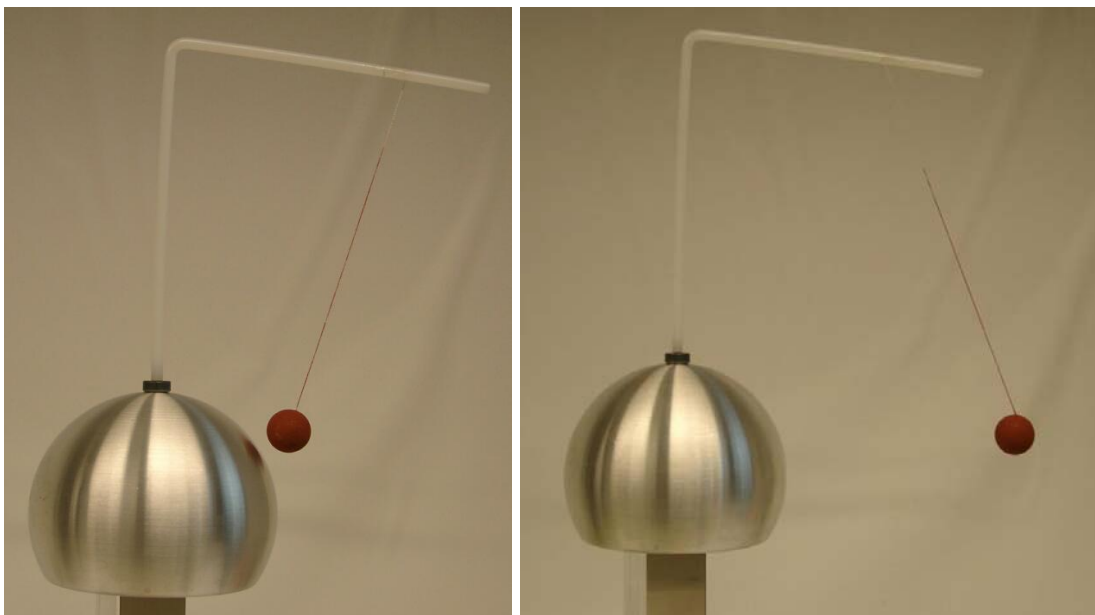


Abbildung 6 Die Ping-Pong Maschine:

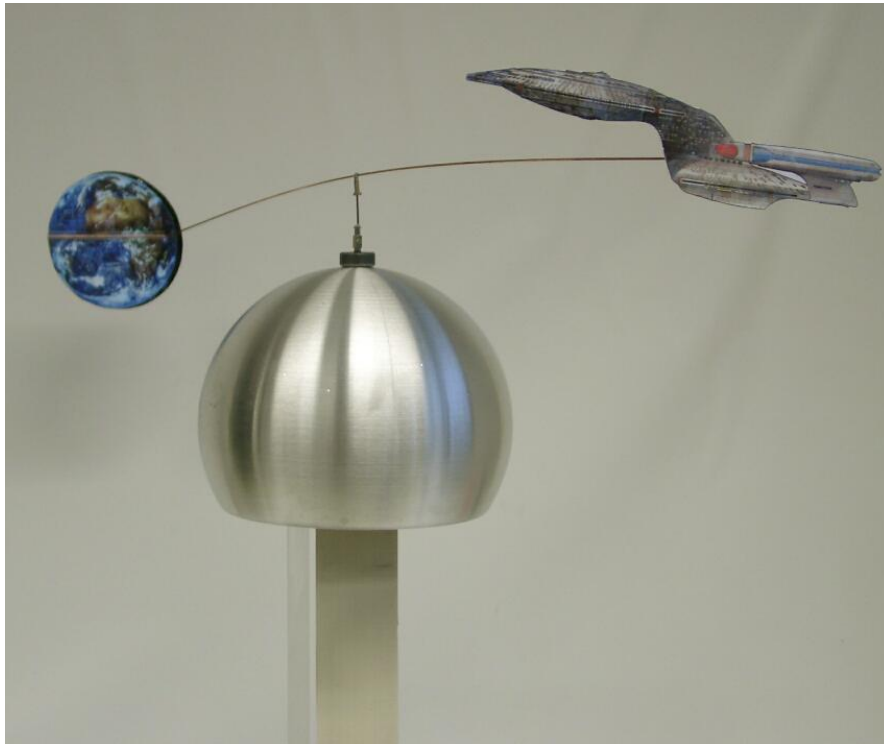
**Auf dem linken Bild wird der Ball angezogen, im rechten Bild wird er abgestoßen**

<sup>2</sup> die kleine Kugel muß geerdet sein.

Ein Tischtennisball an einer Schnur wird von der großen Kugel angezogen, solange er ungeladen ist. Hat er die Kugel berührt, dann wird er abgestoßen.<sup>3</sup>

#### 4. Der Ionen Antrieb

Ein Draht, der an den Enden rechtwinklig abgebogen ist und auf einer Nadel auf der Kugel liegt, beginnt zu rotieren. Die Ladungen (Ionen) treten jetzt am Ende des Drahtes aus und beschleunigen den Draht. Dies ist das Prinzip des Ionen-Antriebes, welches für Raumschiffe der Zukunft verwendet wird.



**Abbildung 7 Der Ionen Antrieb, hier mit dem Raumschiff Enterprise**

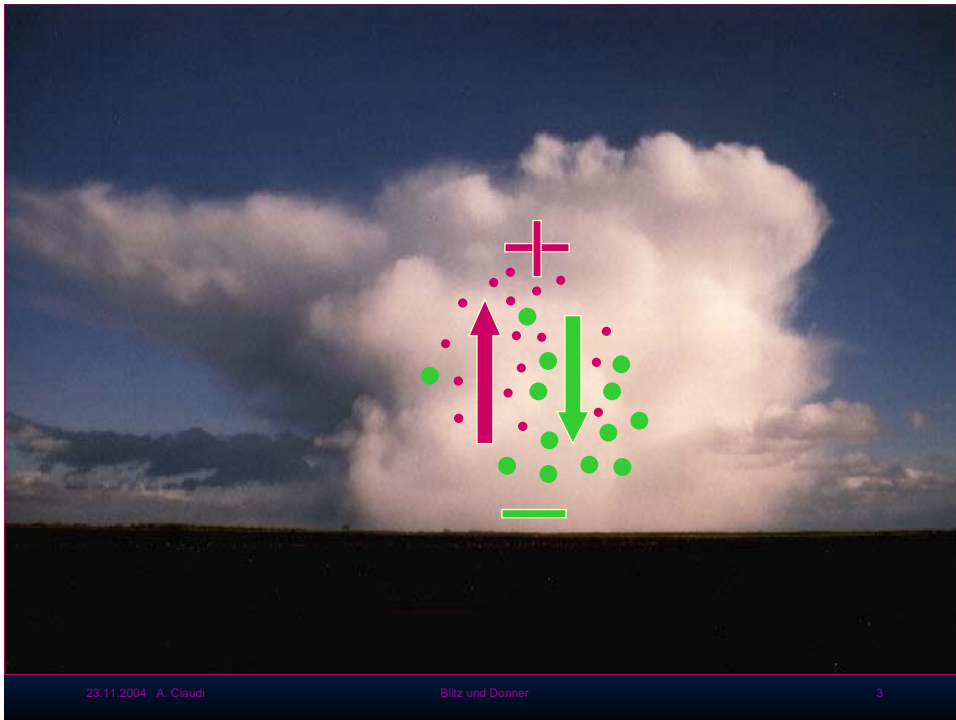
Nun aber zurück zum Thema Blitz und Donner. Was haben denn diese Experimente mit Gewitter und der Entstehung eines Blitzes zu tun? Nun, wie schon im Versuch 2 zu sehen ist, kann die Spannung durch Reibung an der Kugel so hoch werden, dass es zu einer Entladung, dem Miniblitz kommt. Und ganz ähnlich läuft das auch in einer Gewitterwolke ab.

Natürlich gibt es in einer Gewitterwolke kein Band das die Ladungsträger transportiert. Das übernehmen die kleinen Regen- und Eiströpfchen in der Wolke. Da es in einer solchen Wolke drunter und drüber geht und alles ziemlich chaotisch ist<sup>4</sup>, fliegen leichte Regentropfen nach oben, wo es ziemlich kalt ist, schwere fallen herunter in die wärmeren Regionen und dabei stoßen sie gegeneinander oder fliegen nah aneinander vorbei. Dabei findet eine Ladungstrennung statt, wie mit unserem Band. Als Ergebnis lädt sich die ganze Wolke langsam mehr und mehr auf, so wie das unsere Kugel am Bandgenerator auch gemacht hat. Aber die Wolke ist viel

<sup>3</sup> Für dieses Experiment muß der Tischtennis-Ball mit einer leitenden Schicht versehen werden.

<sup>4</sup> Manche Kinderzimmer sind ein gutes Beispiel dafür, wie chaotisch Gewitterwolken sein können.

größer als unsere Kugel, also wird auch die Spannung viel höher werden. Und in der Tat kommen so einige Millionen Volt zusammen.



**Abbildung 8 Eine typische Gewitterwolke mit einer Ladungsverteilung**

Irgendwann ist die Spannung der Wolke so hoch, dass die Luft leitend wird und die Ladungen zur Erde abfließen. Und das tun sie ziemlich schnell, mit einem langen Blitz, der zur Erde schießt. Das ganze geht so schnell, dass die Luft an der Stelle, wo der Blitz vorbeikommt, gar nicht mehr schnell genug Platz machen kann, sondern schlagartig verdrängt wird. Diesen Schlag hören wir dann als Donnerrollen. Wenn wir in die Hände klatschen, passiert das auch, aber der Donner ist natürlich sehr viel lauter.

### Die verschiedenen Blitztypen

Außer dem gerade beschriebenen Blitz von der Wolke zur Erde, dem Wolke-Erde-Blitz, gibt es auch noch den umgekehrten Blitz von der Erde zur Wolke. Da der Blitz schrecklich schnell ist, kann man eigentlich nur mit Hochgeschwindigkeitskameras feststellen, wohin ein Blitz geht. Aber es gibt noch ein anderes Unterscheidungsmerkmal: Verästelt ein Blitz nach unten, dann war es ein Wolke-Erde-Blitz, verästelt er nach oben, dann war es ein Erde-Wolke-Blitz. Leider gibt es aber auch Blitze ohne Verästelungen, da kann man mit bloßem Auge nicht feststellen, welcher Typ es war.



Der Wolke-Erde Blitz

Der Erde-Wolke Blitz

24.11.2004 A. Claudi

Blitz und Donner

5

**Abbildung 9 Der Wolke-Erde-Blitz (links) und der Erde-Wolke-Blitz (rechts)**

Und es gibt noch Blitze zwischen den Wolken, die Wolke-Wolke-Blitze, die können uns nicht gefährlich werden, aber sie können Flugzeuge treffen.



Der Blitz zwischen Wolken

23.11.2004 A. Claudi

Blitz und Donner

8

**Abbildung 10 Der Wolke-Wolke-Blitz**



## Der Donner

Warum dauert es immer ein paar Sekunden zwischen einem Blitz und dem Donner? Das liegt an der Schallgeschwindigkeit. Verglichen zur Geschwindigkeit mit der das Licht unser Auge erreicht ist der Schall ziemlich langsam, er braucht nämlich ungefähr 3 Sekunden um einen Kilometer zurückzulegen. Wenn also 6 Sekunden zwischen Blitz und Donner liegen, dann ist der Blitz 6 Sekunden dividiert durch 3 Sekunden pro Kilometer, also 2 km entfernt. Das ist sehr nah, und der nächste Blitz könnte schon direkt neben uns einschlagen.

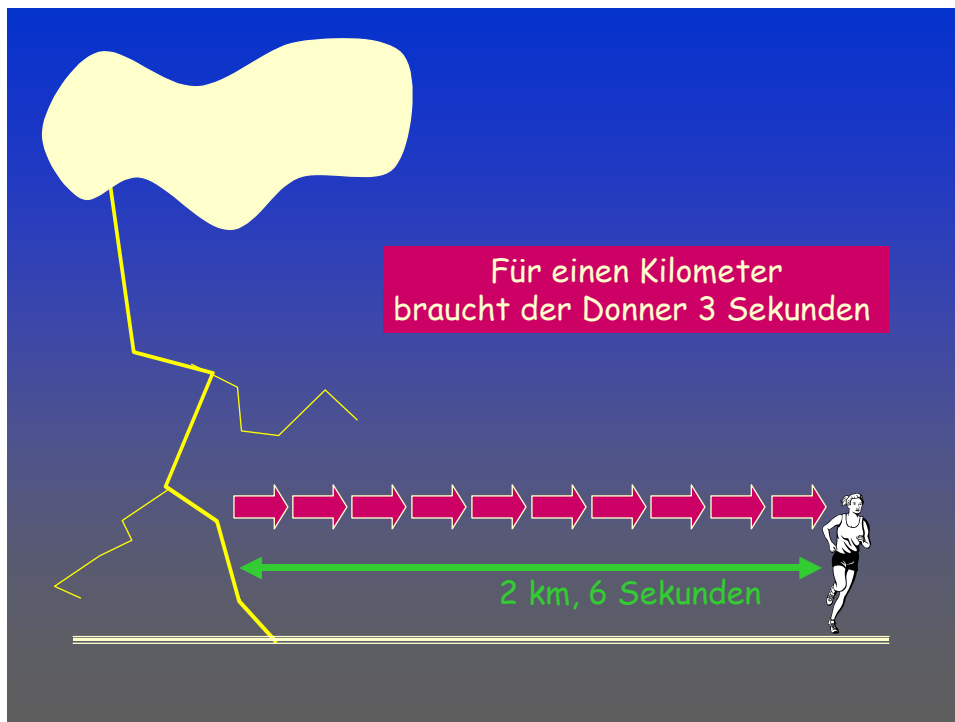


Abbildung 11 Zwischen Blitz und Donner gibt es eine Zeitverzögerung

# Das kleine Blitz Quiz



Jetzt machen wir ein kleines Quiz, um noch mehr über Blitze zu erfahren und um unser Wissen zu testen. Es gibt 5 Fragen mit jeweils vier vorgegebenen Antworten, von denen nur eine richtig ist. Die richtigen Antworten sind am Ende dieses Berichts auf der letzten Seite. Also : Erst die Fragen lesen und ankreuzen und dann nachsehen. **NICHT SCHUMMELN !**

## FRAGE 1

*Wie schnell ist ein Blitz ?*

- |    |                |  |
|----|----------------|--|
| a) | 60 km/h        | So schnell wie Jan Ulrich auf seinem Rennrad.                      |
| b) | 330 km/h       | So schnell wie Michael Schumacher in seinem Ferrari.               |
| c) | 900 km/h       | So schnell wie ein Flugzeug  |
| d) | 4.000.000 km/h | Das ist die Geschwindigkeit vom Raumschiff Enterprise <sup>5</sup> |

<sup>5</sup> Natürlich ohne Warp Antrieb, d.h. nur mit Unterlichtgeschwindigkeit.

**FRAGE 2**

*Die Zeit zwischen Blitz und Donner war 15 Sekunden. Wie weit entfernt ist der Blitz ?*

- a) 1 km
- b) 5 km
- c) 20 km
- d) 100 km

**FRAGE 3**

*Wieviel Energie steckt in einem Blitz  
Wie weit könnten wir im Auto damit fahren?*

- a) Von Kassel bis Baunatal
- b) Bis Frankfurt
- c) Bis Istanbul
- d) Einmal um die Welt (40.000km)

**FRAGE 4**

*Wie heiß ist ein Blitz?*

- |    |            |   |
|----|------------|---|
| a) | 100 Grad   | Bei 100 Grad Celsius verdampft Wasser       |
| b) | 327 Grad   | Bei dieser Temperatur schmilzt Blei         |
| c) | 1540 Grad  | Bei dieser Temperatur schmilzt Eisen        |
| d) | 35000 Grad | So heiß ist es auf der Oberfläche der Sonne |

**FRAGE 5**

*Wie lang kann ein Blitz werden?*

- a) 100 m
- b) 10 km
- c) 140 km
- d) Noch länger

Wer bei diesem Quiz 3,4 oder alle 5 Fragen richtig beantwortet hat, ist schon ein richtiger Experte und kann gleich an der Universität Kassel anfangen zu lernen und zu forschen, um noch mehr über Technik und Blitze zu erfahren. Und wer nun gar keine Frage oder ‚nur‘ ein oder zwei Fragen richtig hat, der sollte erst recht zur Universität kommen, damit er alles lernen kann ☺.

## Woher wissen die das Alles ?

Nun der ein oder andere wird sich jetzt sicher fragen, woher wissen die eigentlich, wie schnell oder wie heiß ein Blitz werden kann. Um das herauszukriegen kann man natürlich auf ein Gewitter warten und dann hoffen, dass der Blitz gerade dahin einschlägt, wo man ihn untersuchen kann. Das hat man im Mittelalter wirklich so gemacht. Aber heute gibt es dafür Forschungslabore, in denen man Blitze künstlich erzeugen kann.



Abbildung 12 Das Hochspannungslabor der Universität Kassel



Abbildung 13 Ein künstlich erzeugter Blitz

Und dort kann man dann ganz bequem Untersuchungen mit Blitzen machen. In unserer Universität benutzen zum Beispiel die Studenten diese Labore für ihre Studien- und Diplomarbeiten.

### Wofür braucht man Hochspannungslabore ?

Hochspannungslabore und künstliche Blitze werden gebraucht, um Geräte und Fahrzeuge „blitzfest“ zu machen. Beispielsweise sollen Flugzeuge nicht abstürzen oder große Öltanks explodieren, wenn sie vom Blitz getroffen werden. Es soll auch nicht jedes mal der Strom ausfallen, wenn ein Blitz eine Stromleitung trifft. All diese Sachen können im Labor erforscht werden. Ein ganz aktuelles Thema, mit dem wir uns z.B. gerade beschäftigen, ist der Blitzschutz von großen Windrädern.

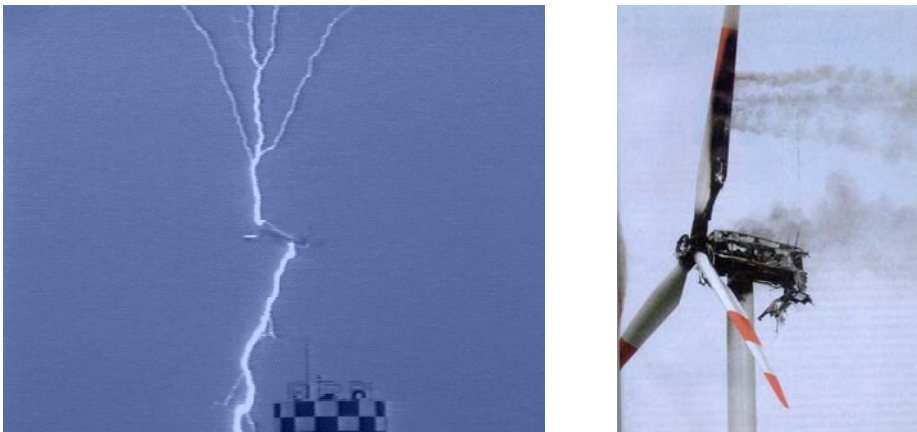


Abbildung 14 Ein Blitz trifft ein Flugzeug beim Start (links) und ein Windrad nach einem Blitzeinschlag

### Was mache ich bei Gewitter ?

Wie schütze ich mich am besten bei Gewitter? Was darf man machen, was darf man nicht machen? Die wichtigsten Regeln bei aufkommenden Gewitter sind:

1. **Ein Gebäude ist in der Nähe.** Dann sollte man sich in dieses begeben. Hat das Gebäude einen Blitzschutz ist man auf jeden Fall im Inneren geschützt. Aber auch ein Haus oder eine Hütte ohne Blitzableiter bietet einen besseren Schutz als gar kein Gebäude.
2. **Ich bin in einem Auto.** Das ist ein guter Schutz vor Blitzen. Selbst wenn das Auto vom Blitz getroffen wird, fließt der Strom außen über das Auto in die Erde ab. Also sollte man unbedingt bei Gewitter im Auto bleiben, oder sich ins Auto setzen, z.B. bei Gewitter über einem Zeltplatz, denn Zelte bieten keinen Schutz vor Blitzen.
3. **Niemals bei Gewitter in einem See oder Freibad baden.** Auch wenn der Blitz nur die Wasseroberfläche trifft, ist in einem großen Umkreis die Spannung tödlich. Also raus aus dem Wasser!

4. **Ich befinde mich auf einem großen Feld** ohne Haus und Bäume und habe keine Chance ein Auto oder ein Gebäude zu erreichen. Dann sollte man in die Hocke gehen, die Füße zusammen lassen und das Gewitter vorbeiziehen lassen (siehe Abbildung 15). Der Grund dafür ist: In der Hocke ist man klein genug und wird vom Blitz „übersehen“, wenn er auf die Erde niedergeht. Und den Boden sollte man nur an einem Punkt berühren, damit die Spannung an den Punkten, wo die Erde berührt wird, klein bleibt. Pferde oder Kühe können das leider nicht, weil sie auf vier Füßen stehen.
  
5. **Ein großes Feld und ein einzelner Baum.** Der große Baum kann mit hoher Wahrscheinlichkeit vom Blitz getroffen werden. Dann explodiert er und fängt an zu brennen. Deshalb sollte man nicht direkt neben dem Baum stehen. Aber in einer Entfernung von ungefähr 10 Metern ist man relativ sicher. Der Blitz trifft dort nicht mich, sondern den Baum, und ich bin weit genug weg, und von den Auswirkungen des Blitzes geschützt.<sup>6</sup> Aber auch dort gilt, dass die Beine möglichst nah zusammen bleiben (Abbildung 16 ).



Abbildung 15

<sup>6</sup> Es ist übrigens vollkommen egal, ob es sich um eine Buche, Eiche oder Palme handelt.



**Abbildung 16**

Natürlich gibt es noch viel mehr über Blitze und Gewitter zu berichten. Aber dann würde diese Vorlesung viele Tage dauern und dieses Skript würde schnell ein dickes Buch. Aber wer mehr über Blitze und Elektrizität wissen möchte, und sich für technische Dinge interessiert, der kann ja später einmal ein technisches Studium an der Universität beginnen.



**Abbildung 17** Der Forschernachwuchs in der Vorlesung vom 5. November

## Prof. Dr.-Ing. Albert Claudi



Mit 4 Jahren wollte ich meiner Mutter helfen und durchschnitt die Bügeleisenschnur, die sie beim Wäschebügeln behinderte. (Bitte nicht nachmachen!) Es gab einen kleinen Blitz und einen lauten Knall und dann einige Sekunden später noch mal einen Knall auf meiner Backe. Das war meine erste Begegnung mit der Elektrizität. Später studierte ich Elektrotechnik in Aachen und arbeitete dann als Oberingenieur am Institut für Hochspannungstechnik. Dort knallte es öfters und lauter, aber ich wurde nicht mehr geschlagen dafür. Auch in den

15 Jahren danach in verschiedenen Firmen hatte ich immer mit Hochspannung zu tun und baute in einer Schweizer Firma einen der größten Blitzgeneratoren der Welt mit 6 Millionen Volt. Seit dem Jahr 2000 bin ich nun an der Universität in Kassel als Leiter des Fachgebiets: "Elektrische Anlagen und Hochspannungstechnik".

### Ohne Hilfe geht es nicht

Für die Photos und die Hilfe beim Erstellen und Aufbau der Experimente danke ich den Mitarbeitern des Fachgebietes Herrn Dipl.-Ing. Günther Köhler und Herrn Oliver Schröder.

### Informationen



Homepage der Universität Kassel:

[www.uni-kassel.de](http://www.uni-kassel.de)

Homepage des Fachgebiets Anlagen und Hochspannungstechnik:

[www.uni-kassel.de/fb16/iee-aht/](http://www.uni-kassel.de/fb16/iee-aht/)

email:

[aclaudi@uni-kassel.de](mailto:aclaudi@uni-kassel.de)

---

### Lösungen vom Blitz-Quiz

- |                |                  |  |
|----------------|------------------|--|
| <b>Frage 1</b> | <b>Antwort D</b> | 4 Millionen Kilometer in der Stunde ist ganz schön schnell, aber es ist immer noch weit unterhalb der Lichtgeschwindigkeit (ca. 1000 Millionen Kilometer /in der Stunde. |
| <b>Frage 2</b> | <b>Antwort B</b> | 15 Kilometer geteilt durch 3 Sekunden macht 5 !  |
| <b>Frage 3</b> | <b>Antwort B</b> | Die Energie, die in einem Blitz steckt ist relativ gering, da die Zeitdauer des Blitzes sehr kurz ist. Umgerechnet in Liter Benzin kommt da nicht viel zusammen....      |
| <b>Frage 4</b> | <b>Antwort D</b> | Die hohe Temperatur wird z.B. in Schmelzöfen benutzt, die mit Stromlichtbögen arbeiten, die ein ähnlich heißes Plasma erzeugen, wie es bei einem Blitz auftritt.         |
| <b>Frage 5</b> | <b>Antwort C</b> | Der bisher längste gemessene Blitz hatte eine Länge von 140 km. Es war ein Wolke-Wolke-Blitz und wurde von einem Satelliten der NASA beobachtet.                         |