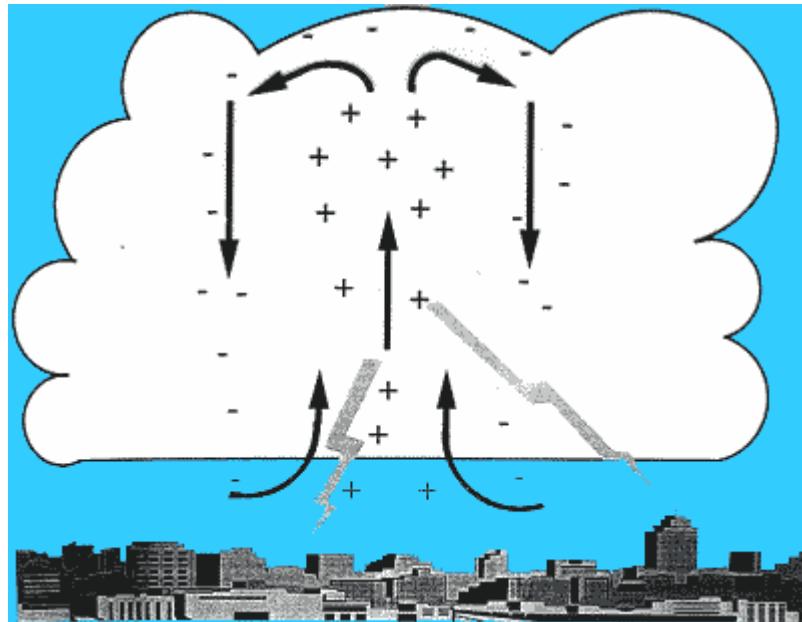


Gewitter und Blitze

Ladungstrennung

Konvektionshypothese



Grenet und Vonnegut vermuteten, dass Auftriebsbewegungen innerhalb der Wolke (*Konvektion*) verantwortlich sind für die Entstehung der Ladungsverteilung. Positive Ladungsträger, die in der Nähe des Erdbodens entstehen, werden durch warme Luftströmungen in einer Konvektionszelle nach oben getragen. Oberhalb der positiven Ladungen gibt es bereits freie negative Ladungen. Dabei handelt es sich um Elektronen, die aus der aus dem Weltall einfallenden Höhenstrahlung stammen. Diese Ladungen lagern sich an Tröpfchen und Eiskristalle an. Abwinde und die Schwerkraft transportieren die negativen Ladungen nach unten. Wie beim Niederschlagmodell sammeln sich die negativen Ladungen in Bodennähe, positive Ladungen bleiben in großer Höhe zurück.

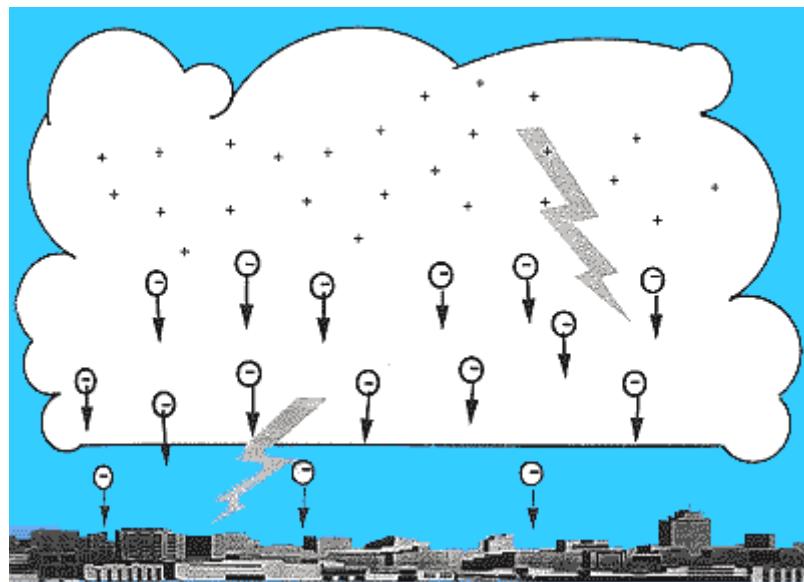
Aber wie die *Niederschlaghypothese* erklärt auch die *Konvektionshypothese* nicht vollständig die komplizierte Ladungsverteilung. Bereits Franklin berichtet, wie oben erwähnt, dass bei seinen Messungen die Unterseite der Gewitterwolke meist negative, manchmal aber auch positive Ladung getragen habe.

Beobachter kamen hinsichtlich der Ladungsverteilung zu unterschiedlichen Ergebnissen. Wilson stellte um 1920 Messungen der Ladungsverteilung an Gewitterwolken an, indem er sie aus großer Entfernung beobachtete. Er kam zu dem Ergebnis, dass diese Wolken die positive Ladung oben und die negative Ladung unten tragen. Zur gleichen Zeit stellte Simpson Messungen unter Gewitterwolken an und kam zu einem umgekehrten Ergebnis.

Gewitter und Blitze

Niederschlaghypothese

Eine erste moderne Erklärung der Ladungstrennung in der Gewitterwolke lieferte die *Niederschlaghypothese* von Julius Elster und Hans Geitel aus dem Jahr 1885. Elster und Geitel entwickelten ein Modell, nach dem in der Luft vorhandenes Wasser in größerer Höhe zu Tröpfchen kondensiert bzw. zu Hagel- und Graupelkörnern gefriert. Alle kleinen schweben in der Luft, die größeren fallen unter dem Einfluss der Schwerkraft nach unten.



Dabei entsteht eine Art Reibung zwischen den niederfallenden schweren Teilchen und den leichten schwebenden Tröpfchen und Eiskristallen. Die Reibung hat eine Ladungstrennung zur Folge. Die schweren Teilchen laden sich negativ auf und wandern nach unten. Weiter oben bleibt ein positiv geladener Dunstschleier zurück. Die negativen geladenen Tropfen und Teilchen verursachen eine negative Ladung am Erdboden.

Die *Niederschlaghypothese* kann zwar die Ladungstrennung erklären, allerdings gibt es auch Gewitter ohne Niederschläge und Blitze innerhalb von Wolken. Deshalb kann die *Niederschlaghypothese* die Ladungstrennung nur in bestimmten Fällen erklären

Gewitterwolke

In der Atmosphäre existiert ständig ein elektrisches Feld zwischen der Erdoberfläche und der *Elektrosphäre* das so genannte *Schönwetterfeld*. Permanent fließt zwischen Erdboden und *Elektrosphäre* ein Strom von Ionen. Dadurch wird das Feld abgebaut. Gewitter und die damit einhergehenden Blitze sorgen im Gegenzug für die Aufrechterhaltung des elektrischen Erdfeldes.

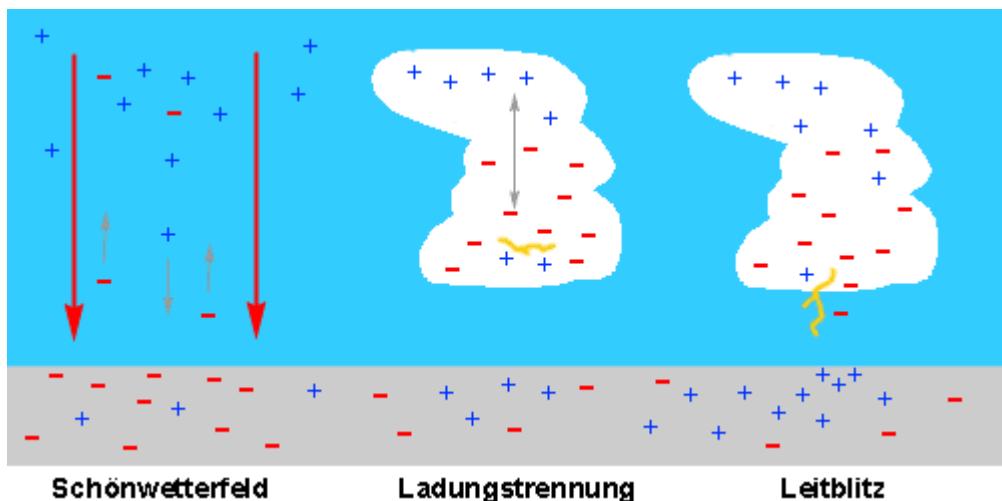
Was passiert in der Gewitterwolke

Innerhalb der Gewitterwolke findet eine Trennung von elektrischen Ladungen statt. Wie das genau funktioniert, ist nicht ganz geklärt. Zwei Hypothesen dazu sind die schon beschriebene *Niederschlaghypothese* und die *Konvektionshypothese*. Festgestellt werden konnte, dass Zusammenstöße zwischen Eis- und Wasserteilchen für eine Ladungstrennung sorgen.

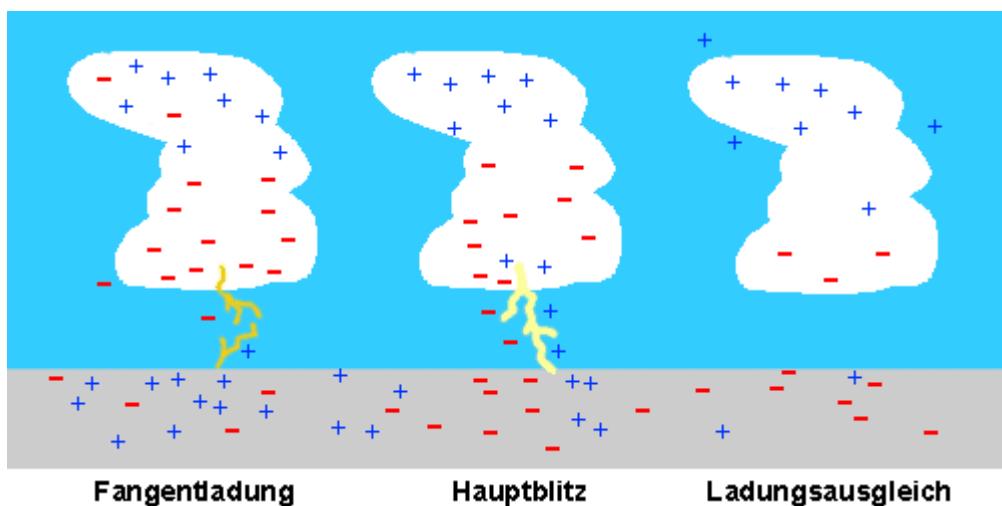
Gewitter und Blitze

Die Trennung der verschiedenen Ladungen erfolgt durch die starken vertikalen Luftströmungen in der Wolke. Dabei sammeln sich die leichten, positiv geladenen Eispartikel oben in der Wolke. Der obere Teil der Wolke lädt sich positiv auf, der untere negativ. Das entstandene elektrische Feld ist andersherum polarisiert als das *Schönwetterfeld*.

Die ersten Blitzentladungen bewegen sich sprungartig vorwärts. Hierbei entstehen auch die typischen Verästelungen des Blitzes. Diese *Leitblitz* mit einer Länge von ca. 50 Metern hinterlassen einen dünnen ionisierten Kanal in der Luft. Dieser ionisierte Kanal ist kurzzeitig leitungsfähig. Wenn nun das entstandene Gewitterfeld so stark wird, dass die Feldstärke einen kritischen Wert überschreitet, kommt es zu blitzartigen Entladungen.



Die Ausbildung eines Blitzes erfolgt in mehreren Phasen. Man unterscheidet *Leit-* und *Hauptblitz*.



Wenn der Blitzkanal geschlossen ist, bewegt sich die Ladung entlang des durch den Leitblitz ionisierten Kanals. Durch den Stromfluss heizt sich der Kanal weiter auf. Dabei wird die Luft ionisiert und somit die Leitfähigkeit erhöht, was wiederum den Strom verstärkt. Nähert sich der *Leitblitz* der Erdoberfläche, kommt es dort zu einer Erhöhung der positiven Ladungsträger. Somit steigt die Feldstärke dort immer mehr an bis zu dem Moment, in dem der Leitblitz eine *Fangentladung* vom Erdboden entgegenspringt.

Gewitter und Blitze

Der so genannte Fangstrahl leitet den *Hauptblitz* ein. Die hohen Temperaturen im Blitzkanal halten die thermische Ionisation noch einige Zeit aufrecht. Dadurch können sich Folgeblitze ausbilden, das typische mehrmalige Aufflackern des Blitzes röhrt daher.



© NOAA Photo Library

Auf diese Weise bleibt der Stromfluss auf einen dünnen Kanal begrenzt, in dessen Zentrum Temperaturen bis 30.000 °C erreicht werden können. Die Stromstärke kann über 100 kA betragen. Das erhitzte Plasma im Blitzkanal dehnt sich explosionsartig aus, es entsteht eine Schockwelle. Diese wiederum verursacht den Donner.

Der Stromfluss hat einen *Ladungsausgleich* zur Folge. Damit sinkt auch die Feldstärke wieder ab und es hört auf zu blitzen. Das Ladungsverhalten der Wolke nähert sich dem des *Schönwetterfeldes* an.

Gewitterarten

Je nachdem, welcher Vorgang zur Auslösung der heftigen Vertikalbewegungen der Luftmassen führt, unterscheidet man verschiedene Gewitterarten.

Sommergewitter:

Entstehen die Gewitter durch sommerliche Überhitzung, spricht man von wärme- oder luftmasseninternen Gewittern. Diese entstehen durch Überhitzung von Teilen des Untergrundes entsprechend dem oben beschriebenen Mechanismus.

Frontgewitter:

Wird die Gewitterentstehung durch labile Umlagerungen an der Grenzfläche zwischen zwei Luftmassen ausgelöst, spricht man von Frontgewittern.

Orographische Gewitter:

Sie werden durch bestimmte Bodenformationen hervorgerufen, z.B. durch Berge, an denen die Luft zum Hochströmen gezwungen wird. Oftmals ist die Zuordnung, um welche Gewitterart es sich handelt, nicht immer genau zu benennen. Häufig werden Frontgewitter durch orographische Effekte verstärkt.

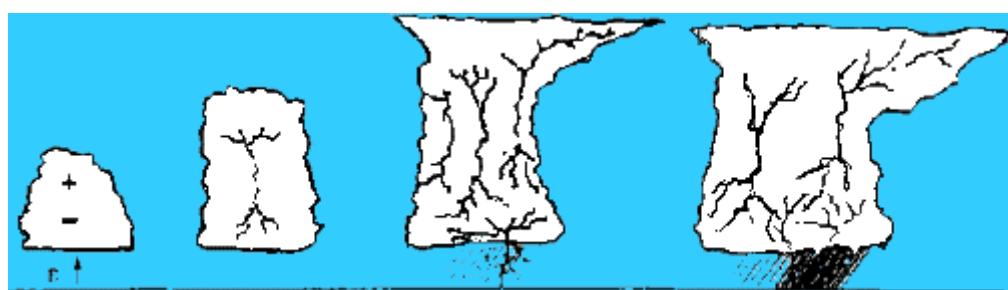
Orographische Gewitter und *Frontgewitter* sind in unseren Breiten während des ganzen Jahres zu erwarten, *Wärmegewitter* bevorzugt im Sommer.

Gewitter und Blitze



© NOAA Photo Library

Die Stadien der Gewitterentwicklung



Beginn der Ladungstrennung

Entstehung der negativen Ladungen in ca. 2- 6 km Höhe, die an unterkühlte Wassertröpfchen gebunden sind. Entstehung der positiven Ladungen in Höhen bis zu 10 km, die an Eiskristalle gebunden sind

Gewitter und Blitze

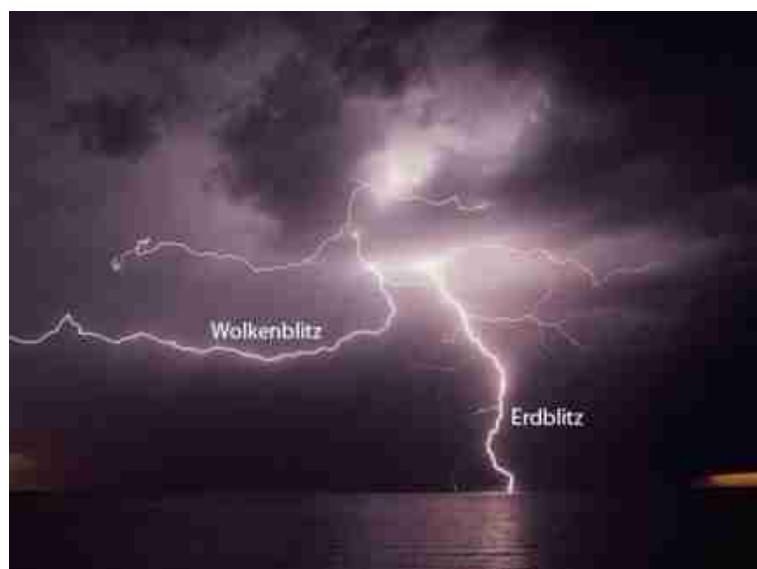
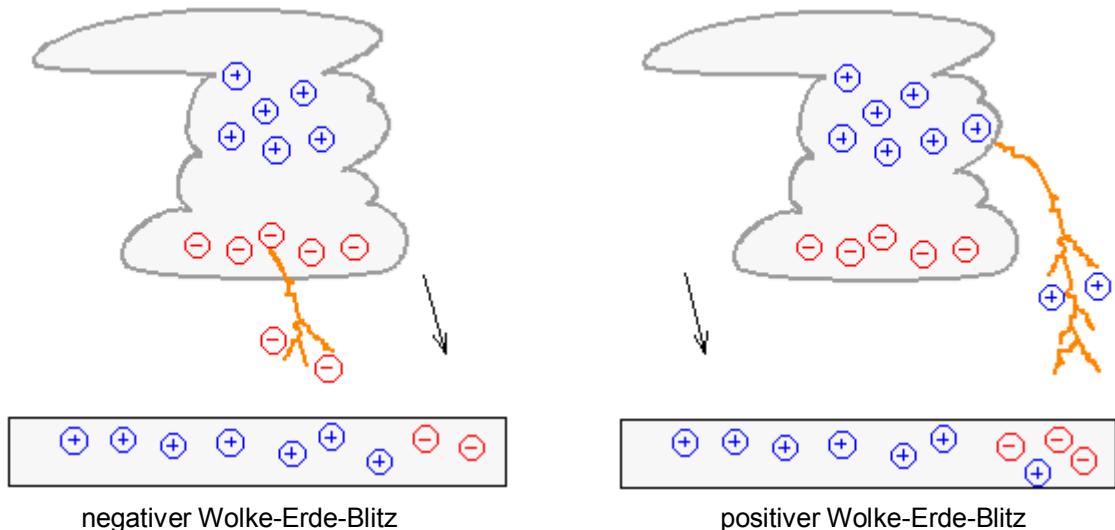
Blitzarten

Wolke-Erde-Blitze (Erdblitze)

Blitzentladungen zwischen Wolke und Erde werden nach der Polarität der zur Erde transportierten Ladung unterschieden. Ein weiteres Unterscheidungskriterium ist die Richtung des Leitstrahls (engl. *leader*). Das hat man durch Hochgeschwindigkeitsaufnahmen festgestellt.

Die am häufigsten vorkommenden Blitze sind die Wolke-Erde-Blitze. Etwa 90% der auf der Erde vorkommenden Blitze sind negative Wolke-Erde-Blitze. Charakteristisch ist, dass die Verästelungen des Leitstrahls von der Wolke ausgehen. Dabei wandert der Leitstrahl von der Wolke aus auf den Erdboden und trifft dort auf die Fangladung.

Je nach Polarität des Leitstrahls nennt man den Blitz dann *negativen Wolke-Erde-Blitz* oder *positiven Wolke-Erde-Blitz*.

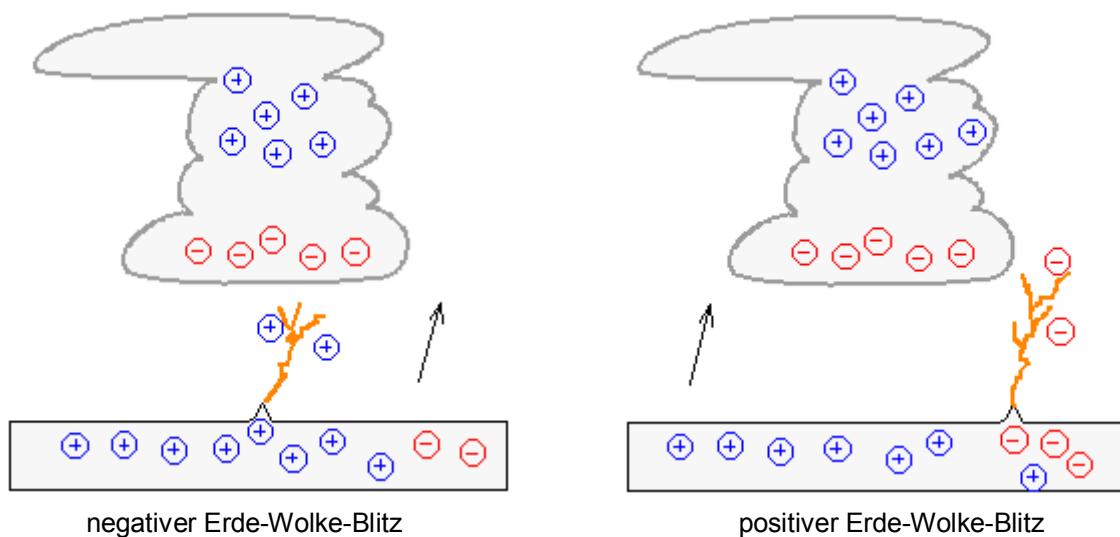


© National Geographic

Gewitter und Blitze

Erde-Wolke-Blitze (Erdblitze)

Selten gibt es auch Blitze, die von der Erde zur Wolke wandern. Der Leitstrahl entwickelt sich von der Erde aus in die Wolke.



© dpa



© Wallace und Hobbs 2006

Blitze, die von der Erde in Richtung Wolke verlaufen, gehen meist von hohen Bauwerken oder Berggipfeln aus. Die Feldstärke ist in der Umgebung dieser Spitzen besonders hoch, sodass ein Leitblitz von der Erde ausgehend zu den Gewitterwolken ausgelöst werden kann. *Erde-Wolken-Blitze* verästeln sich nach oben hin.

Gewitter und Blitze

Wolke-Wolke-Blitze

Bei dieser Form der Entladung findet kein Austausch der Ladungen zur Erde statt. Die Entladungen finden innerhalb der Wolke bzw. auch unterhalb der Wolke statt. Diese Entladungen nennt man *Crawler* (sinngemäß "Krabblер", engl. Raupe, Kriechtier.) Es können aber auch Wolke-Erde-Blitze und Wolke-Wolke-Blitze innerhalb eines Gewitters auftreten.

Crawler sind relativ selten in der Schweiz zu beobachten, da die Gewitterzellen für diese Form der Entladung sehr ausgedehnt sein müssen.



© NOAA Photo Library, Gewitteraufnahme mit langer Belichtungszeit (Pfeil zeigt Crawler)



© wetter-foto.de