

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	90 (1999)
<b>Heft:</b>	15
<b>Artikel:</b>	Gewitterzelle während des Reifezustands : eine Erklärung für die Entstehung der komprimierten positiven Ladung im unteren Teil der Gewitterzelle
<b>Autor:</b>	Drzlska, Hilarius
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-901959">https://doi.org/10.5169/seals-901959</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 20.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Gewitterzelle während des Reifezustands

## Eine Erklärung für die Entstehung der komprimierten positiven Ladung im unteren Teil der Gewitterzelle

Die Trennung von elektrischen Ladungen in der Atmosphäre kann je nach Wetterlage auf sehr unterschiedlichen physikalischen Effekten beruhen. Nach einer von Lenard bereits 1892 aufgestellten Hypothese bilden sich positive und negative Ladungen, wenn neutrale Wassertropfen infolge von Kollisionen zerreißen. In der Aufwärtsströmung verlassen die kleinen, negativ geladenen Tropfen viel schneller das Bildungsgebiet als die schwereren, positiv geladenen Teilchen, wodurch starke elektrische Felder entstehen.

Das Verständnis der physikalischen Vorgänge in der Atmosphäre, die zur Ladungstrennung in Gewitterwolken führen, ist von mehr als nur akademischem Interesse. War das Hauptmotiv für die Forschung bisher vor allem die Möglichkeit, bessere Wettervorhersagen zu erstellen, so rückt nun zunehmend die Beeinflussung der Strahlungsbilanz der Erde durch Gewitterwolken und damit die Veränderung des Klimas in den Mittelpunkt des Interesses.

Die physikalische Ursache der Ladungstrennung gibt der Wissenschaft seit langem Rätsel auf: Zu unterschiedlich und vielseitig scheinen die Bedingungen zu sein, unter denen elektrisch geladene Wasser- oder Eisteilchen entstehen. In einigen Gebieten der Erde wurden Gewitter beobachtet, die über einen längeren Zeitraum mehr als einen Blitz pro Sekunde hervorbrachten. Eine Theorie der Blitzentstehung muss daher auch die beeindruckende Rate der Ladungsentstehung erklären können.

Bis heute sind mindestens ein Dutzend unterschiedliche Mechanismen der Ladungstrennung vorgeschlagen worden. Welcher von ihnen in einer bestimmten Gewittersituation gerade wirksam ist, hängt auf vielfältige Weise von den Temperaturen und den vorliegenden Strömungsverhältnissen in der Atmosphäre ab. In diesem Beitrag soll ein Mechanismus beschrieben werden, der im unteren Teil der Gewitterzelle wirksam wird,

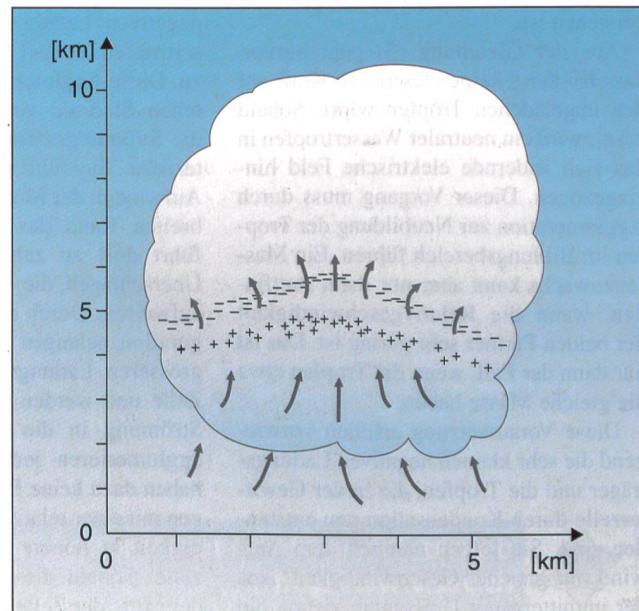
wenn warme, feuchte Luft in kältere Gebiete der Atmosphäre aufsteigt.

Jede Gewitterwolke besteht aus vertikal orientierten Zellen, die sich nacheinander und nebeneinander aufbauen und dann wieder absterben. In einer Höhe von 4000 bis 6000 m kollidieren aufsteigende kalte Wassertropfen mit Eispartikeln und zerreißen. Dabei kommt es zur Separation von positiven und negativen Ladungsträgern.

Den Ausgangspunkt für diesen Vorgang bildet feuchtwarme Luft in Bodennähe, die aufsteigt und in das kältere Gebiet der Gewitterzelle eindringt. Dabei bilden sich an in der Luft vorhandenen Kondensationskeimen (z.B. Meersalz oder Feinstaub) kleine Tropfen, die dem Aufwind mit einer relativ geringeren Ge-

schwindigkeit folgen. Sie werden daher ständig von feuchter Luft umflossen, wobei sie selbst als Kondensationskeime wirken. In grösserer Höhe kühlen sich die Wassertropfen ab, und einige von ihnen bilden bei Temperaturen weit unter 0 °C Eiskristalle. Es entsteht daher eine Zone mit grösseren und kleineren Eisteilchen sowie verschieden grossen Wassertropfen, die voneinander abweichende Geschwindigkeiten haben. In der turbulenten Strömung stoßen sie wegen ihrer unterschiedlichen Trägheit zusammen und zerspringen. Ein Teil der entstandenen Wasserpartikel verbindet sich mit dem grösseren Stosspartner – den Graupeln – und lädt sich schwach positiv auf. Aus dem verbliebenen Teil dagegen entsteht ein sehr kleiner, stark negativ geladener Wassertropfen. Die negativen Ladungsträger folgen viel leichter als diejenigen mit positiver Ladung der Luftströmung in die Höhe, wo sie zu grösseren Tropfen agglomerieren und dadurch den Aufwind in der Zelle massgeblich beeinflussen. Die neu gebildeten positiven Ladungsträger folgen langsam dem sich ständig verändernden Aufwind und gelangen schliesslich in eine starke Aufwärtsströmung, die sich in der Mitte der reifen Zelle ausbildet. Die Strömungsunterschiede der beiden Ladungsträger in der Gewitterzelle führen grundsätzlich zu einer Trennung der negativen und der positiven Ladung (Bild 1).

Bild 1 Ladungstrennung im Anfangsstadium der Gewitterzelle



Adresse des Autors  
Dipl. Ing. Hilarius Drzisga  
Am Richtenberg 15, D-45145 Essen

## Blitzentstehung

Der Vorgang des Massenzuwachses kann auf eine elektrostatische Wechselwirkung zurückgeführt werden. Die zuerst entstandenen Ladungen erzeugen elektrische Gradientenfelder, die einen sphärischen Aufbau aufweisen. Wenn sich die Feldstärke mit grösser werdender Entfernung im Quadrat verringert, kann es unter bestimmten Umständen vorkommen, dass neutrale Wassertropfen in das elektrische Gradientenfeld hineingezogen werden. Eine Kräftebilanz, bezogen auf einen kugelähnlich geformten Wassertropfen und seine unmittelbare Umgebung mit der Feldstärke  $E$ , stellt sich annähernd wie folgt dar:

$$M \frac{dv}{dt} + \epsilon_0 \epsilon \cdot V \cdot \nabla E^2 = \epsilon_0 \epsilon_1 \cdot V_1 \cdot \nabla E^2 \quad (1)$$

wobei  $M$  die Masse des Tropfens,  $v$  die Geschwindigkeit des angezogenen Tropfens,  $V$  das Volumen des Tropfens,  $V_1$  das Volumen der durch den Tropfen verdrängten Luft,  $\epsilon_0$  die Influenzkonstante,  $\epsilon$  und  $\epsilon_1$  die relative Dielektrizitätskonstante des Tropfens bzw. der Umgebung des Tropfens und  $E$  das elektrische Feld bezeichnen. Formel (1) ist die Newtonsche Bewegungsgleichung für den Tropfen der Masse  $M$ .

Für  $V = V_1$  ergibt sich aus (1):

$$v = \epsilon_0 (\epsilon_1 - \epsilon) \frac{V}{M} \int \nabla E^2 dt \quad (2)$$

Für einen geladenen Tropfen mit Kugelsymmetrie gilt  $E = Q/4\pi\epsilon_0 r^2$ . Für die Kraft  $F$  zwischen den Ladung führenden und den neutralen Tropfen folgt daraus und aus (1):

$$F = (\epsilon - \epsilon_1) \cdot V \frac{Q^2}{4\pi^2 \epsilon_0 R^5} \quad (3)$$

wobei unter  $R$  der Abstand zwischen dem geladenen und dem neutralen Tropfen zu verstehen ist.

Aus der Gleichung (3) geht hervor, dass bei  $\epsilon_1 = \epsilon$  keine elektrische Kraft auf den ungeladenen Tropfen wirkt. Sobald  $\epsilon > \epsilon_1$ , wird ein neutraler Wassertropfen in das sich ändernde elektrische Feld hineingezogen. Dieser Vorgang muss durch Agglomeration zur Neubildung der Tropfen im Bildungsbereich führen. Ein Massenzuwachs kann aber nur dann stattfinden, wenn die Relativgeschwindigkeit der beiden Partner sehr gering ist. Das ist nur dann der Fall, wenn die Tropfen etwa die gleiche Masse haben.

Diese Voraussetzung erfüllen vorwiegend die sehr kleinen negativen Ladungsträger und die Tropfen, die in der Gewitterzelle durch Kondensation neu entstanden sind. Sie folgen nämlich dem Aufwind mit gleicher Geschwindigkeit. Aus der unmittelbaren Umgebung ziehen die

Bild 2 Ladungsverteilung im Reifestadium der Gewitterzelle

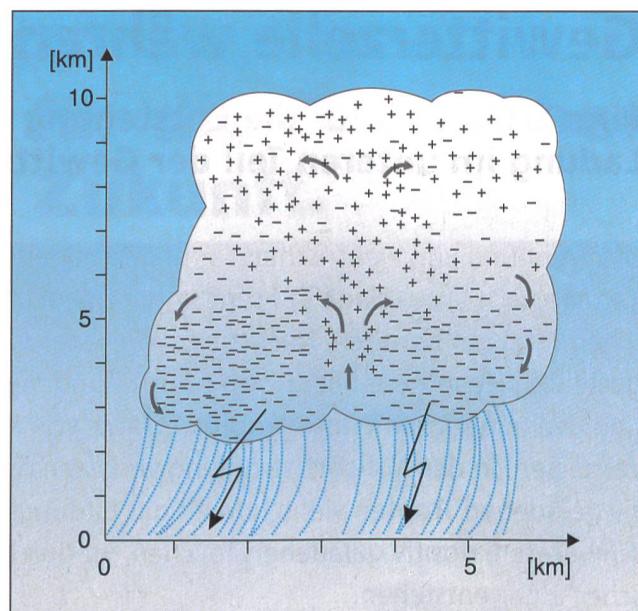
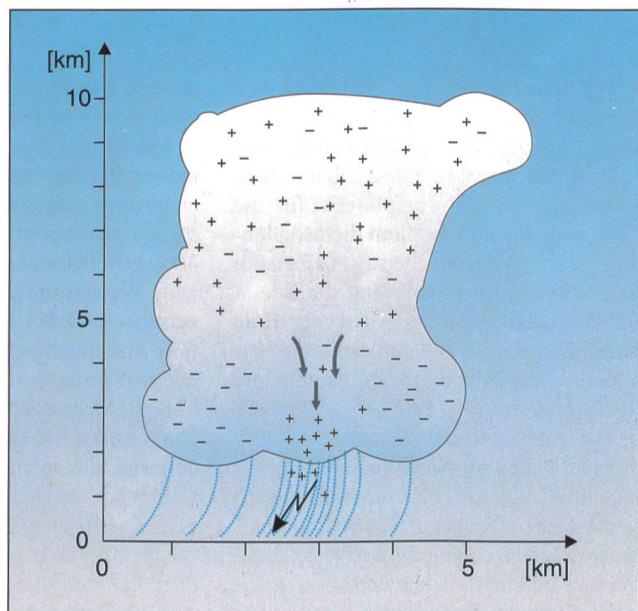


Bild 3 Komprimierte Ladung im späten Reifestadium der Gewitterzelle



negativen Ladungsträger neutrale Wassertropfen an und nehmen so an Masse zu. Diese Agglomeration im fortgeschrittenen Stadium verändert grundsätzlich die Strömungsverhältnisse in der Gewitterzelle. Sie führt zu einem verstärkten Aufwind in der Mitte und zu Fallwind am breiten Rand der Zelle (Bild 2). Dies führt dort zu zahlreichen elektrischen Überschlägen, die eine negative Polarität aufweisen. Durch diese Strömungskonfiguration gelangen die positiv geladenen grösseren Ladungsträger zur Mitte der Zelle und werden dort durch die starke Strömung in die Höhe befördert. Sie agglomieren jedoch nicht, denn sie haben dazu keine Partner, sondern gelangen mit einer relativ niedrigen Geschwindigkeit in höhere Zonen der Gewitterzelle. Sobald die Aufwärtsströmung in der Mitte der Zelle zum Erliegen kommt,

verbleibt ein Bereich der vorerst komprimierten positiven Ladungen in dem unteren Teil der Gewitterzelle, der abzusinken beginnt und sich schliesslich zur Erdoberfläche durch Überschläge entlädt (Bild 3). Diese Überschläge sind positiv, treten selten auf, und sie haben wegen der hohen Ladungsdichte einen steilen Stromanstieg. Gemäss K. Berger [3] haben bei einem Gewitter etwa 8,5% der Blitze eine positive Polarität und weisen einen steilen Stromanstieg auf. Der positiv geladene Bereich in einer reifen Gewitterzelle wurde in Amerika 1949 entdeckt. [3] Die Abbildung 9-1 in [3] und die folgende Beschreibung zeigen, dass die positiven Ladungen in der Mitte der Gewitterzelle existieren, und sie dürften die Überreste der ursprünglich zur Mitte strömenden positiven Ladungsträger sein, die wegen des abgebrochenen Auf-

windes nach unten absinken und sich zur Erdoberfläche durch Blitze entladen. Dies wird auch durch starke Regenfälle in diesem Gebiet begleitet.

Aus der vereinfachten Gleichung (3) geht hervor, dass die Kraft zwischen den geladenen und den durch Kondensation neu entstandenen neutralen kleinen Wassertropfen nur bei geringer Entfernung ausreichend wirkt, um ihre Agglomeration herbeizuführen. Eine exakte Analyse der auf den Tropfen wirkenden Anziehungskraft im Gradientenfeld ist äusserst schwierig, weil die Dielektrizitätskonstanten bei sehr starken elektrischen Feldern Tensoren sind, deren Elemente durch eine Zustandsanalyse und durch Deduktion ermittelt werden müssten.

## Literatur

- [1] Geiger und K. Scheel: Handbuch der Physik, Band 13, Springer-Verlag 1928.
- [2] K. Berger: Methoden und Resultate der Blitzforschung auf dem Monte San Salvador in den Jahren 1963 bis 1971. Bulletin SEV/ASE 63(1972).
- [3] R. Feynman: Vorlesungen über Physik, Band 2 (Elektromagnetismus und Materie), Teil 1. München, Wien: R.-Oldenbourg-Verlag 1973.
- [4] H.R. Pruppacher, J.D. Klett: Microphysics of Clouds and Precipitation. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers 1997.
- [5] R.A. Black, J. Hallet: The Mystery of Cloud Electrification. American Scientist 90(1998)6, pp. 526-534.

# Cellule d'orage à l'état de maturité

## Formation de la charge positive comprimée dans la partie inférieure d'une cellule d'orage

Cet article décrit un mécanisme pouvant se produire de formation et de séparation de charge dans la partie inférieure d'une cellule d'orage, ce mécanisme produisant son effet par le truchement de l'ascension de l'air chaud dans des zones plus froides. Ce mécanisme de formation de charge est basé sur l'effet Lenard et il est suscité lorsque des gouttes sont divisées consécutivement. Les charges suscitées se séparent en raison de la différence des masses des supports de charge dans le courant ascendant, les petites gouttes chargées négativement quittant alors beaucoup plus vite la zone de formation (fig. 1). Elles montent dans des zones supérieures de la cellule d'orage où elles s'agglomèrent sous la réaction de forces électriques avec des petites gouttes d'eau neutres nouvellement formées, perdant ainsi une grande partie de leur force ascensionnelle. Elles tombent ensuite à la surface de la terre dans une large zone située à la périphérie de la cellule où elles se déchargent en produisant des éclairs (fig. 2). Cette phase est accompagnée d'une forte pluie et d'un vent froid. Cette chute des gouttes chargées négativement déclenche au milieu un fort vent ascendant qui emporte les supports de charge positifs vers le haut. Dans la partie centrale de la cellule d'orage, les grosses gouttes sont soumises non seulement à un courant ascendant mais aussi à un courant horizontal; elles pénètrent ainsi dans la zone des charges négatives où elles se recombinent sous l'effet de la force de Coulomb et se chargent négativement (fig. 2). Les petites charges positives suivent par contre le fort courant ascendant et pénètrent dans les zones supérieures de la cellule d'orage. Le courant ascendant persiste jusqu'à l'évanouissement de la cellule. Ensuite, une nouvelle cellule se forme et un processus semblable se déroule.