



Blitze und ihre Entstehung von Walter Fimmel

Gewitter zählen zu den eindrucklichsten Bergerlebnissen und Blitz-Geschichten bieten einen idealen Erzählstoff für lange Hüttenabende. Obwohl für weniger als 1% der Alpinunfälle verantwortlich, steht der Blitzschlag auf der alpinen Angstskala ganz weit oben. Verständlich, angesichts des imponierenden Naturereignisses. Trotzdem darf nicht vergessen werden, dass die Begleiter eines Gewitters wie Wettersturz, Wassermassen, Steinschlag und Panikreaktionen wesentlich mehr Opfer unter den Bergsteigern fordern als der direkte Blitzeinschlag. Dieser Beitrag will mehr leisten als die Zusammenstellung einiger Grundregeln. So entstanden zwei Teile: Im ersten geht es um alte mystische und neue wissenschaftliche Erklärungen, wie Gewitterwolken und Blitze entstehen. In der nächsten Ausgabe geht's dann um Tourenplanung und Verhalten bei Gewitter, um das Unfallrisiko und die Folgen eines Blitzschlages.

Donnerkeil und Gewitterhammer

Selbst von der sicheren Schutzhütte aus lässt der Anblick eines mittleren Gewitters jeden Bergsteiger ein wenig ehrfürchtig über das gewaltige Naturschauspiel nachdenken – und in allen Kulturen wurde seit jeher nach Erklärungen für diese spektakuläre Wetterlage gesucht. In der Urzeit war der Blitz vermutlich eine der ersten Feuerquellen der Menschheit. Bei den alten Germanen waren Thor und Donar die Herrscher über den Blitz und setzten ihn ein, um die Menschen zu verteidigen. Ihre Feinde wie Trolle und Riesen wurden im himmlischen Kampf vom "Donnerkeil" (=Donars Keil) oder Thors Gewitterhammer "Mjöllnir" getroffen. Bei den Griechen war Zeus der himmlische Elektrizitätsverantwortliche, die Römer übernahmen viele mystische und wissenschaftliche Vorstellungen der Griechen, aus Zeus wurde Jupiter. Orte und (überlebende!) Personen, die vom Blitz getroffen wurden, galten als heilig. Bei den

Inkas stand der Regen als positive Begleiterscheinung im Vordergrund, Gottheiten wie "Yllapa" oder "Chuquiylla" wurden als Blitz- und Regengötter verehrt und waren nebenbei auch noch für Fruchtbarkeit und Wohlstand zuständig. In der christlichen Religion verändert sich das Blitzimage dann zum Schlechteren. Gott straft mit dem Blitz, oder macht zumindest mit Verdunkelung des Himmels und einigen Blitzen Eindruck bei Sündern und Ungläubigen. Den Bergsteiger ereilt der Zorn Gottes auch heute noch bei mangelnder Tourenplanung oder Missachtung des Wetterberichtes. Heiligsprechung nach Blitzschlag ist nicht mehr drin, maximal noch ein Auftritt bei "Vera".

Neben der religiösen Deutung suchten aber schon griechische Philosophen nach physikalischen Erklärungen für Gewitter. Zuerst wurde der Donner als Ursache für den Blitz angesehen, verursacht vom Durchbrechen einer entzündbaren Substanz durch die dichten Gewitterwolken. Es gibt aber auch antike Quellen, die im Gewitter das Ausbrechen des Feuers aus den dunklen Wolken sehen, begleitet von einem lauten Knall – also zuerst der Blitz und dann der Donner als Folgewirkung.

Den Gott des Donners braucht es heutzutage nicht mehr, um ein Gewitter erklären zu können. Vieles ist in den letzten Jahren mit Hilfe moderner Technik erforscht worden, aber bei einigen Details wie zum Beispiel der Ladungstrennung innerhalb der Gewitterwolke gibt es immer noch unterschiedliche Glaubensrichtungen. Auch Phänomene wie etwa der Kugelblitz sind noch nicht endgültig belegt und noch hart am Rand des Metaphysischen, obwohl es immer wieder "Erscheinungen" und Berichte darüber gibt.

Ordnung muss sein

...und deshalb müssen Gewitter eingeteilt werden. Im Wesentlichen unterscheidet man nach der Art der Entstehung "Luftmassengewitter" und "Frontgewitter". Luftmassengewitter entstehen innerhalb einer Zone recht einheitlichen Luftdrucks. Zu ihnen gehören die thermischen Gewitter, ausgelöst durch Sonneneinstrahlung vor allem an Berghängen – also die typischen "Sommer-Nachmittags-Gewitter".

Auch die orographischen Gewitter gehören zu dieser Gruppe, die dann entstehen, wenn feuchtwarme Luft gegen ein Geländehindernis strömt und zum Aufsteigen gezwungen wird. Voraussetzung für beide sind eher flache Druckverteilung und hohe Luftfeuchtigkeit. In stabilen Hochdruckgebieten wirkt die generelle Absinkbewegung der Gewitterbildung entgegen.

Frontgewitter entstehen an Luftmassengrenzen, zum Beispiel in der Nähe von Kalt- und Warmfronten. Für den Bergsteiger sind die gewittrigen Erscheinungen im Zuge einer Kaltfront die gefährlichsten Ereignisse. Nicht nur direkt entlang der Kaltfront kann es hier zur Bildung von Gewittern kommen, sondern durch den



rascheren Kaltluftvorstoß in der Höhe kann sich mehrere hundert Kilometer vor der Front eine so genannte Böenlinie (präfrontales Gewitter, Squall-Line) bilden. Und auch nach Durchzug einer Kaltfront sind bei Zustrom noch kälterer Luftmassen weitere Gewitter möglich. Deutlich seltener sind Warmfrontgewitter. Zum einen sind Warmfronten im gewitterträchtigen Sommer weniger ausgeprägt, zum anderen sind die Hebungsvorgänge weniger turbulent als entlang einer Kaltfront. Lediglich im Mittelmeerraum kommt es aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit vermehrt zur Bildung von Warmfrontgewittern.

Die grundsätzliche Unterscheidung zwischen thermischen Gewittern ("Schönwettergewitter") und Frontgewittern ("Wettersturzgewitter") ist nicht nur meteorologische Sortierwut, sondern auch wegen der ganz unterschiedlichen Auswirkungen für den Bergsteiger wichtig.

Wolkenbildung

Wenn wir den eher biblischen Blitz aus heiterem Himmel einmal beiseite lassen, braucht es für all diese Gewitter zunächst einmal eine ordentliche Gewitterwolke.

Der Vorgang der Wolkenbildung in aller Kürze: Wenn feuchte Luft aufsteigt, kühlt sie durch den geringeren Druck in der Höhe ab, die relative Luftfeuchtigkeit steigt und in der Höhe des Kondensationsniveaus (= Wolkenuntergrenze) wird der Taupunkt (= 100% relative Luftfeuchtigkeit) erreicht, der Wasserdampf kondensiert und es beginnt sich eine sichtbare Wolke zu bilden. Ein Luftpaket steigt dabei so lange weiter auf, als es leichter wie die Umgebungsluft ist.

Bei stabiler Schönwetterlage gibt es üblicherweise in mittlerer Höhe eine Inversionsschicht (= eine Zone warmer und damit leichter Luft), die das weitere Aufsteigen dieses Luftpaketes verhindert. Bei "instabiler" Atmosphäre (vereinfacht gesagt: relativ kalter Luft in der Höhe) bleibt das aufsteigende Luftpaket wärmer und leichter als seine Umgebung und steigt weiter.

Den ersten Anstoß zum Aufsteigen erhält ein Luftpaket beispielsweise durch Erwärmung (Thermik), durch Verdrängung (Kaltfront) oder durch ein Geländehindernis (orographisches Gewitter).

Schafft es das aufsteigende Luftpaket aber bis zum Kondensationsniveau, so gewinnt es durch die frei werdende latente Wärme der feuchten Luft zusätzlichen Auftrieb. Das bedeutet: Wenn gasförmiger Wasserdampf zu flüssigen Wassertropfchen kondensiert und diese in größeren Höhen der Wolke zu Eiskristallen gefrieren, wird sehr viel Wärme frei. Die aufsteigende Luft wird dadurch weiter erwärmt und angetrieben.

Solange am Boden genügend warme, feuchte Luft als Nachschub vorhanden ist, kann die Wolke weiter wachsen. Der Prozess verstärkt sich von selbst, er ist jetzt nicht mehr auf die von der Sonne verursachte Thermik angewiesen. Im Inneren der Wolke treten

dabei extrem starke Aufwinde auf, unterkühlte Regentropfen, Eiskristalle, Graupeln und Hagelkörner werden herumgewirbelt und lange in Schwebelage gehalten, ein Vorgang, der letztlich auch für die Ladungstrennung und somit für die Gewitterbildung verantwortlich ist.

Dass Wolken nicht in den Himmel wachsen, hat zwei Hauptursachen. Zum einen ist die Erde von der Tropopause, einer permanenten Inversionsschicht in einer Höhe von etwa 8 km (an den Polen) bis 16 km (Äquator) umgeben, zum anderen schneidet sich die Wolke selbst die Zufuhr warmer, feuchter Luft und damit vom "Treibstoff" Kondensationswärme ab. Außerhalb der Wolke strömt kalte Luft nach unten, und mit dem Einsetzen der Niederschläge wird zusätzlich ein Schwall kalter Luft aus dem Inneren der Wolke nach unten gerissen und sorgt für das Ende der Gewitterzelle nach etwa 45-60 Minuten.

Durch die ständige Neubildung solcher Zellen kann ein Gewittersystem trotzdem recht lang andauern. Die kalte Luft aus dem Inneren der Gewitterwolke ist kurz vor Eintreffen eines Gewitters deutlich zu spüren und von heftigen Windstößen (Fallböen) begleitet. Abgekühlt wird die Luft von der teilweisen Verdunstung des Niederschlages während er durch die unteren Wolkenschichten fällt und der Umgebungsluft dadurch wieder Wärme entzieht.

Woher kommt der Blitz?

Laut Duden vom indogermanischen Wort "bhlei", welches glänzen oder leuchten bedeutet. Doch wie entsteht er in der Gewitterwolke? Der Blitz ist nicht die einzige elektrische Erscheinung in der Atmosphäre, aber die offensichtlichste.

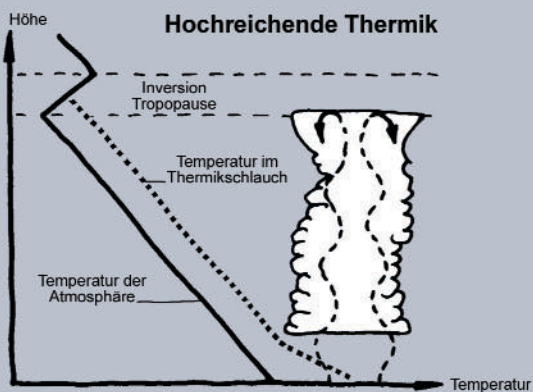
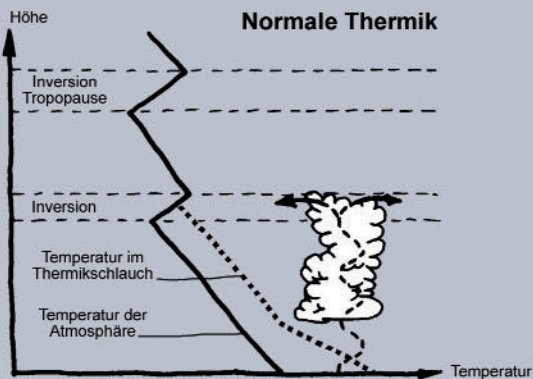
Er ist Teil eines Stromkreislaufs zwischen der Ionosphäre, einer elektrisch leitenden Schicht in etwa 50-80 km Höhe, und der Erdoberfläche. Gemeinsam bilden sie eine Art Riesenkondensator mit der Atmosphäre als einer fast isolierenden Trennschicht. Insgesamt ist die Erdoberfläche dabei negativ geladen, die Ionosphäre positiv. Bei Schönwetter fließt weltweit ein Strom von etwa 1500 Ampere zwischen Ionosphäre und Erdoberfläche, weitere etwa 500 Ampere kommen durch großteils positiv geladenen Niederschlag dazu.

Verursacht wird dieser Schönwetterstrom durch kosmische Strahlung und Radioaktivität, welche in der Luft Gasmoleküle ionisieren, die sich dann im elektrischen Spannungsfeld zum entgegengesetzt geladenen Pol hinbewegen. Der Ladungsunterschied Erde-Ionosphäre wäre durch diesen Strom in weniger als 10 Minuten ausgeglichen, wenn er nicht durch etwa 40 Blitze pro Sekunde in den weltweit permanent vorkommenden rund 1000 Gewittern aufrechterhalten würde.

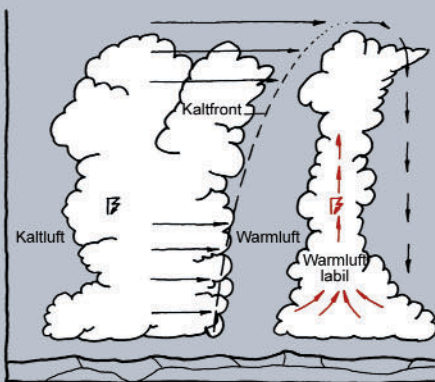
Blitze führen in Summe negative Ladung von den Wolken zur Erde und laden diese wieder negativ auf. Der Stromkreislauf der



Wolkenbildung bei einem typischen Wärmegewitter. Sonneneinstrahlung – besonders an Berghängen – führt zur Bildung von Thermikwolken. Schon früh am Tag bilden sich Cumuluswolken mit aufgesetzten Türmchen (Cumulus Castellanus), schnell wachsen die Wolken in die Höhe bis der Gewitterturm die Tropopause erreicht und sich ambossartig verbreitert (Cumulonimbus, Cb – rechts).



Thermik bei stabiler (oben) und instabiler Schichtung (unten). Oben verhindert eine Inversionsschicht in etwa 5 km Höhe ein Weiterwachsen, unten wird der Gewitterturm (Cumulonimbus, Cb) erst von der Tropopause, einer permanenten Inversionsschicht, gestoppt und breitet sich zum Amboss aus.



Aktive Kaltfront mit zusätzlicher Böenlinie (Squall-Line). Vordringende schwere Kaltluft führt zu turbulenten Hebungsvorgängen. Entlang der Kaltfront können sich über hunderte von Kilometern wie aufgefädelt Gewitterzellen ausbilden, die sich mit der Front vorwärts bewegen. Kommt die Kaltluft in der Höhe schneller voran als am Boden, so spricht man von einer aktiven Kaltfront oder Einbruchfront, diese sind durch besonders heftige Turbulenzen und Gewitter gekennzeichnet.

Atmosphäre schließt sich durch Entladungsvorgänge von den oberen Bereichen der Gewitterwolken zur Ionosphäre.

Ladungstrennung in der Wolke

Der genaue Mechanismus der Ladungstrennung und die Verteilung der Ladungen innerhalb einer Gewitterwolke sind heute noch nicht vollständig geklärt. In Laborversuchen konnte schon Ende des 19. Jahrhunderts gezeigt werden, dass sich Eisteilchen, die durch feine Wassertröpfchen fallen, positiv aufladen und dass beim Zerstäuben von Wassertropfen in einem elektrischen Feld Ladungstrennung auftritt.

Die kleinen von der Oberfläche abgelösten Tröpfchen werden negativ, der große Haupttropfen positiv geladen. Beide Prozesse brauchen zum Start hohe Aufwindgeschwindigkeiten und ein schon vorhandenes elektrisches Feld, welches allerdings durch die laufende Ladungstrennung weiter verstärkt wird.

Neuere Laboruntersuchungen zeigten, dass die Ladungstrennung der Teilchen auch von der Temperatur abhängt: Fallen Graupeln bei Temperaturen unter ca. -15°C durch einen Schleier aus schwebenden Eiskristallen und unterkühlten Wassertröpfchen, so laden sich die Graupeln negativ und die schwebenden Teilchen positiv auf, bei Temperaturen über -15°C umgekehrt. Ein Teil der Ladung wird durch Kollision entgegengesetzt geladener Teilchen sofort wieder ausgeglichen. Durch das unterschiedliche Gewicht und den starken Aufwind in der Wolke wird aber trotzdem genug Ladung getrennt, um in einer aktiven Gewitterzelle alle paar Sekunden einen Blitz zünden zu können.

Während die Gewitterwolke weiter wächst, kommt es innerhalb der Wolke häufig schon zu Entladungen zwischen den positiv und negativ geladenen Zonen. Das elektrische Feld zwischen der Wolkenuntergrenze und der Erde ist meist noch zu gering, um einen Blitz von der Wolke zur Erde überspringen zu lassen.

Sobald sich aber der riesige Amboss der Gewitterwolke gebildet hat, beginnt ein Strom von etwa 1-2 Ampere zwischen der positiven Obergrenze der Wolke und der Ionosphäre zu fließen, der die positive Ladung im oberen Wolkenbereich zur Ionosphäre hin abführt.

Damit ändert sich das elektrische Gesamtfeld der Wolke: Die verbleibende negative Ladung verschiebt sich jetzt mehr nach unten Richtung Erde und induziert dort einen Bereich positiver Ladung unterhalb der Gewitterwolke. Dadurch steigt die Feldstärke zwischen Wolkenbasis und Erde erheblich an – die Haare beginnen zu kribbeln, Metallgegenstände zu surren, Elmsfeuer (Funkenentladungen) können sich bilden.

Die für einen Funkenüberschlag in trockener Luft notwendige Feldstärke von etwa 300.000 Kilovolt pro Meter wird aber immer noch nicht erreicht – die negative Ladung muss der Erde noch näher kommen.

Der Blitz

Für das menschliche Auge stellt sich ein Blitz als ein von der Wolke zur Erde herabsausender Lichtstrahl dar, häufig verästelt und ab und zu flimmernd. Erst mit Hochgeschwindigkeitskameras und durch Radarmessungen konnte mehr Licht ins ohnehin schon grelle Geschehen gebracht werden. So können Blitze innerhalb einer Wolke, zwischen zwei Wolken, von der Wolke zur Erde und von der Erde zur Wolke überspringen. Ihren Ausgangspunkt können sie sowohl in einem negativ als auch positiv geladenen Bereich nehmen.

Der Großteil der Blitze bleibt innerhalb der Wolke. Von den Blitzen zwischen Erde und Wolken haben über 95 % ihren Ursprung in der Wolke. Einen wesentlichen Unterschied zwischen Front- und Schönwettergewitter gibt es bezüglich der Polarität: Wäh-

Wärmegewitter

Schwerpunkt im Sommer (Juni-August)
Es gibt allerdings Jahre, wo im Mai oder September mehr Blitze registriert wurden als im Juni oder Juli in gewitterarmen Sommern

Bei flacher Druckverteilung, gegen Ende von Schönwetterperioden, auch in schwach ausgeprägten Hochdruckgebieten

Das Wetter bessert sich nach Gewitterende, die Temperatur steigt wieder an, man kann das Gewitter "aussitzen"

Schwerpunkt erst ab dem mittleren Nachmittag

Entwicklung im Tagesverlauf zumeist gut beobachtbar

Frontgewitter

Das ganze Jahr
- jedoch auch im Sommer wegen der höheren Temperaturunterschiede und höheren absoluten Luftfeuchtigkeit stärker ausgeprägt

Vor oder bei Durchzug einer Kaltfront, selten auch bei Warmfronten

Oft verbunden mit einem Temperatursturz, speziell im Nordstau der Alpen kann das Wetter im Gebirge tagelang schlecht bleiben

Frontgewitter treten zu jeder Tages- und Jahreszeit auf

Oft nur über den Wetterbericht rechtzeitig vorhersehbar
Geschwindigkeit: 30-70, selten auch über 110 km/h!

rend bei Sommergewittern etwa 90% negative Entladungen auftreten (Startpunkt ist eine Zone negativer Ladung in der Wolke), sind es bei Wintergewittern (Frontgewittern) weniger als 50%. Den Entstehungsort eines Blitzes vermutet man in einem Grenzbereich zwischen positiver und negativer Ladung innerhalb der Gewitterwolke. Dort kommt es zu Vorentladungen und Ladungsverschiebungen. Dadurch wird Luft in einigen Bereichen ionisiert und leitfähiger, durch Stoßionisation verlängern sich diese Stromkanäle.

In mehreren Stufen stößt ein negativer Leitblitz Richtung Erde vor, ungleichmäßige Ladungsverteilung in der Atmosphäre führt zu den sichtbaren Verästelungen. Je näher ein Ast des Leitblitzes der Erdoberfläche kommt, umso mehr steigt dort bei exponierten (und vor allem auch spitzen) Objekten wie Gebäuden, Bäumen oder Felstürmen die Feldstärke an.

Ist diese hoch genug für einen Funkenüberschlag, so schlägt ausgehend von der Erde ein so genannter Fangblitz der Spitze des Leitblitzes entgegen und bildet damit einen durchgängig leitenden Kanal zwischen Erde und Wolke. Fangentladungen haben je nach Stärke des Blitzstromes eine Länge von 10 bis 100 m. Es kann ohne weiteres zur fast gleichzeitigen Entstehung mehrerer solcher Fangentladungen kommen.

Der Ort des Einschlages hängt davon ab, welche davon zuerst eine durchgehende Verbindung Wolke-Erde herstellt. Erst jetzt erfolgt die Hauptentladung - das was gemeinhin als Blitz bezeichnet wird - vom Ausgangspunkt des Fangblitzes hinauf zur Wolke. Genau genommen schlägt der Blitz also nicht ein, sondern aus!

Im Blitzkanal fließt nun ein hoher Strom von 10.000 bis zu mehreren 100.000 Ampere, dadurch wird die Luft bis auf 30.000 °C aufgeheizt. Diese hohen Temperaturen führen einerseits zum Aufleuchten der Gase im Blitzkanal, die explosionsartige Ausdehnung der Luft führt zu einer Druckwelle, die wir als Donner wahrnehmen. Überdies wird die Luft ionisiert, das heißt Elektronen lösen sich von Luftmolekülen ab - der Blitzkanal leitet den Strom um ein Vielfaches besser als nicht ionisierte Luft.

Deshalb kommt es häufig nach der ersten Hauptentladung zu mehreren weiteren Folgeblitzen. Wieder bildet sich ausgehend von der Wolke ein Leitblitz, nur diesmal nicht mehr ruckartig oder verästelt sondern zielstrebig im schon vorhandenen Blitzkanal. Dieser Vorgang kann sich bis zu 40 mal wiederholen, mit freiem Auge ist dann ein Flackern des Blitzes wahrnehmbar. Nach Mehrfachentladungen kommt es in etwa der Hälfte der Fälle noch zu einem sogenannten Langzeitstrom.

Das ist ein Stromfluss von "nur" einigen 100 Ampere im abkühlenden Blitzkanal, der aber mit einigen Zehntelsekunden relativ lange andauert und als einer der Hauptverursacher von Bränden nach Blitzschlag gesehen wird. Man spricht von einem "heißen Blitz".

Blitz - Daten und Fakten

Die Spannung innerhalb der Gewitterwolken kann bis zu 100 Millionen Volt betragen. Dabei fließen allerdings nur in Sekundenbruchteilen Ströme (bis mehrere 100.000 Ampere).

Die Ladungsmenge, die ein einzelner Blitz transportiert, beträgt etwa 2-20 Coulomb, seine Temperatur bis zu 30.000° C. Im Vergleich dazu ist die Sonnenoberfläche mit ihren 8.000° C angenehm kühl. Ein durchschnittlicher Blitz dauert etwa 0,1 - 0,25 Sekunden, nur wenige Blitze dauern länger als 1 Sekunde.

Die Dauer einer Teilentladung beträgt etwa 0,0002 Sekunden, der Zeitabstand zwischen zwei Teilentladungen 0,02 Sekunden.

Ein Blitz besteht also hauptsächlich aus den Pausen zwischen den Teilentladungen, in denen negative Ladung von der Wolke aus wieder den Blitzkanal füllt. Mit der Stromgewinnung durch Blitzkraftwerke ist damit nicht viel anzufangen, da durch die extrem kurze Blitzdauer der Energiegehalt eines Blitzes mit 100 Kilowattstunden nur etwa 10 Liter Heizöl entspricht.

Der erste Leitblitz arbeitet sich in Stufen von 10 m bis 200 m Länge mit einer mittleren Geschwindigkeit von 300 km/s von der Wolke zur Erde, der Hauptblitz schlägt mit etwa 100.000 km/s (etwa ein Drittel der Lichtgeschwindigkeit) von der Erde zur Wolke. Die Messungen von ALDIS zeigen, dass negative Blitze in ca. 50% der Fälle Folgeblitze aufweisen, im Schnitt kommt es dann zu 4-5 Folgeentladungen.

Der österreichische Maximalwert liegt bei 28, man findet auch Berichte mit über 40 Folgeschlägen. Positive Blitze haben nur in etwa 10% der Fälle Folgeblitze. Die Durchschnittslänge eines Erdblitzes beträgt 5-7 Kilometer. Wolkenblitze haben eine durchschnittliche Länge von 8-16 Kilometer, Maximalwerte bis zu 140 Kilometern. Der Durchmesser des Blitzkanals beträgt in der Phase des Hauptblitzes nur einige Zentimeter.

Begleiter des Blitzes

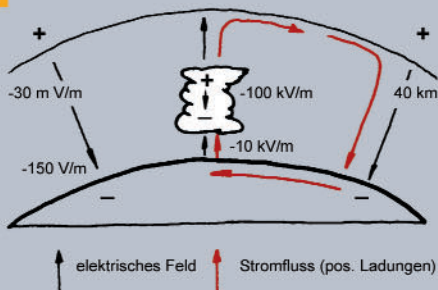
Elmsfeuer

Während oder kurz vor einem Gewitter ist die Luft stark elektrisch aufgeladen und diese Spannung erzeugt in der Nähe von spitzen Gegenständen hohe elektrische Feldstärken. Wenn die Spannung groß genug ist, fließt zwischen der geladenen Luft und der Spitze Strom. Die Luft wird ionisiert und ein flammenähnlicher, mehrere Zentimeter langer bläulich flackernder Funke entsteht.

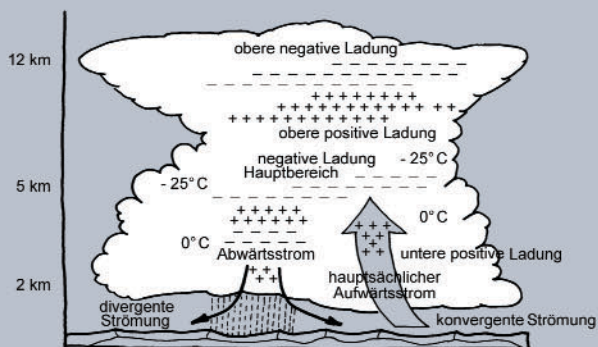
Der Name "Elmsfeuer" geht wahrscheinlich auf Sankt Elmo, den italienischen Namen für Erasmus, den Schutzheiligen der Seeleute zurück, da die Leuchterscheinung besonders häufig auf dem Meer beobachtet wird.

Kugelblitz

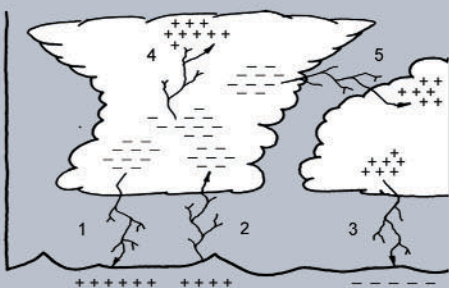
Es gibt eine Unzahl an (auch sehr seriösen) Beschreibungen, aber



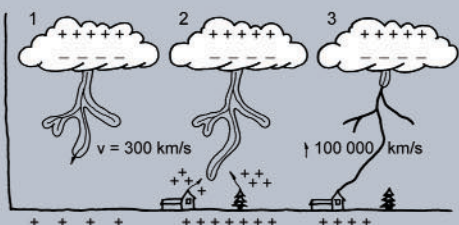
Ladungskreislauf in der Atmosphäre. Die Feldstärke beträgt etwa 150 V/m am Erdboden, 30 mV/m im Bereich der Ionosphäre. Insgesamt ist die Erdoberfläche dabei negativ geladen (-10^6 Coulomb), die Ionosphäre positiv ($+10^6$ Coulomb). Der Stromfluss ist 2 pA/m², bzw. ca. 1500 A für die gesamte Erde. Die Geschwindigkeit der Ionen ist ca. 360 km/h.)



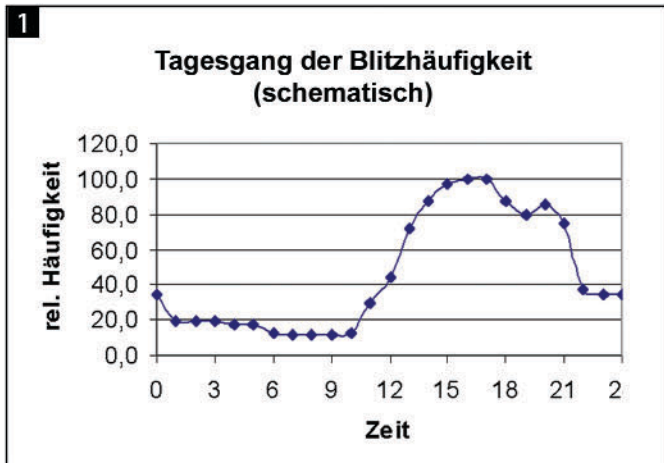
Ladungsverteilung innerhalb einer Gewitterwolke (schematisch). In 5 km Höhe liegt die Temperatur bei etwa -15°C . Fallende Graupel hinterlassen also oberhalb dieses Bereiches positiv geladene feine Eisteilchen, die durch den Aufwind nach oben getragen werden. Im Bereich der -15°C Zone entsteht ein etwa 100 Meter dicker, stark negativer Bereich, darunter - vor allem im Bereich der Hauptniederschläge, nochmals eine positive Zone. Glaubte man früher, dass es nur 2-3 unterschiedlich geladene Zonen in einer Wolke gibt, so zeigte sich inzwischen, dass die Ladungsverteilung innerhalb einer Gewitterwolke wesentlich komplexer ist, mit mehreren entgegengesetzt geladenen Schichten.)



Unterschiedliche Blitzarten: Negativer Blitz Wolke-Erde (1), positiver Blitz Erde-Wolke (2), positiver Blitz Wolke-Erde (3), negativer Blitz innerhalb (4) oder zwischen den Gewitterwolken (5)



Leitblitz (1), Fangblitz (2) und Hauptentladung (3)



noch kein Foto von Kugelblitzen in freier Wildbahn. In Laborexperimenten konnten aber vergleichbare Ladungswolken erzeugt werden.

Der Kugelblitz wird als eine weiß oder rot leuchtende Kugel mit einem Durchmesser von etwa zehn bis dreißig Zentimetern beschrieben. Er erscheint meist nicht länger als einige Sekunden, manchmal verschwindet er geräuschlos, manchmal explodiert er mit lautem Knall oder löst sich in einem Funkenregen auf. Eine gut dotierte internationale Suche nach einem Foto eines Kugelblitzes brachte keine Aufnahme zutage.

Sferics

Sferics ist eine Abkürzung für "Atmospherics": Elektromagnetische Impulse, die von Blitzen, Entladungen, aber auch von Luftturbulenzen verursacht werden und Reichweiten von mehreren 1000 km haben. Sie werden zur Blitzortung verwendet, machen sich im Funkverkehr und Radio durch knackende Störgeräusche bemerkbar und werden als Auslöser für Wetterfühligkeit mitverantwortlich gemacht, da sie Nerven- und Hirnströme beeinflussen können.

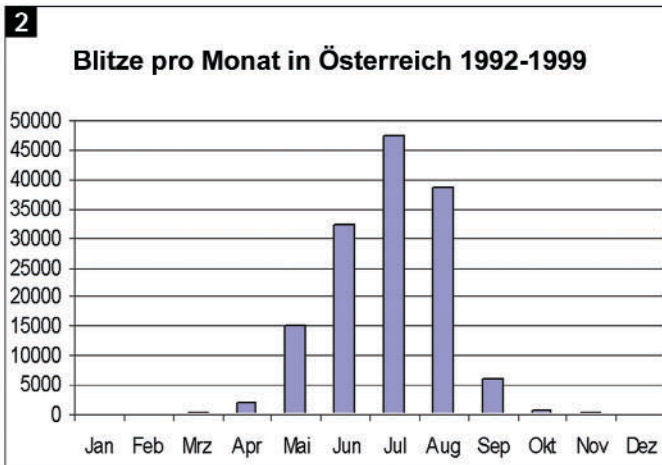
"Red Sprites" und "Blue Jets" sind Leuchterscheinungen zwischen der Obergrenze der Gewitterwolke und der Ionosphäre - quasi Blitze in den Weltraum hinaus. Erstmals 1989 vom Space Shuttle aus fotografiert.

Donner

Solange der Blitzstrom fließt, bewirken elektrodynamische Kräfte eine Konzentration des Kanals auf sehr engem Raum (Pinch-Effekt). Der Überdruck in der Blitzbahn wird während des Anstieges des Blitzstoßstromes auf einige 10 Bar geschätzt. Nach Ende des Blitzstromes explodiert der auf bis zu 30.000°C aufgeheizte Blitzkern und ruft dadurch den Donner hervor. Schon der griechische Philosoph Theophrast erkannte die zeitliche Abfolge von Blitz und Donner richtig und verglich es mit dem Zusehen beim Holzhacken aus der Ferne.

Der Eindruck des Donners auf den Beobachter ist je nach Entfernung vom Blitzeinschlagspunkt und Richtung der Blitzbahn sehr verschieden. Die Hörreichweite ist im rechten Winkel zum Blitz am größten, je nach Windrichtung beträgt sie aber kaum mehr als 10 km.

In kleinerer Entfernung zum Blitz hört man einen scharfen Knall, in größerer Entfernung hört man das typische Donnerrollen. Es ist eine Wirkung der Reflexion und Brechung der Schallwellen an der Erde, den Wolken und unterschiedlichen Luftschichten und eine Folge der oft langen und verwinkelten Blitzbahn. Da der Schall sich "nur" mit etwa 330 m/s, das Licht aber mit 300.000 km/s fast unendlich schnell fortbewegt, ergeben sich etwa 3 Sekunden Zeitunterschied zwischen Blitz und Donner pro Kilometer Entfernung zum Blitz.



Gewitterbö

Eine Gewitterbö ist ein starker Windstoß, der meist kurz vor Beginn eines Gewitters bzw. vor Beginn des Gewitterregens auftritt. Sie wird durch die aus großen Höhen der Gewitterwolke herabstürzende Kaltluft verursacht. Diese Kaltluft kühlt sich durch Schmelzvorgänge von Graupel- und Hagelkörnern im Inneren der Gewitterwolke weiter ab. Ihre Stärke liegt weit über der Windgeschwindigkeit, die aufgrund des Luftdruckunterschiedes zu erwarten wäre.

Hagel, Graupel

Von kleinen weißen Graupeln, ähnlich Styroporkügelchen, bis zu mehreren Zentimeter großen Hagelkörnern ist alles möglich. Auch fast jeder Regentropfen eines Gewitters war ein Hagelkorn, das auf dem Weg zur Erde wieder geschmolzen ist. Hagelkörner entstehen durch das Einfangen unterkühlter Wassertropfen in der Wolke, je stärker der Aufwind in der Wolke, umso größer können sie werden.

Hagelzonen treten meist nur örtlich und zeitlich begrenzt auf, meist im Zusammenhang mit kalten Fallböen aus der Wolke. Eine gelblich-grüne Farbe ist laut Untersuchungen kein Hinweis auf eine spezielle Hagelaktivität einer Gewitterwolke.

Blitzspuren

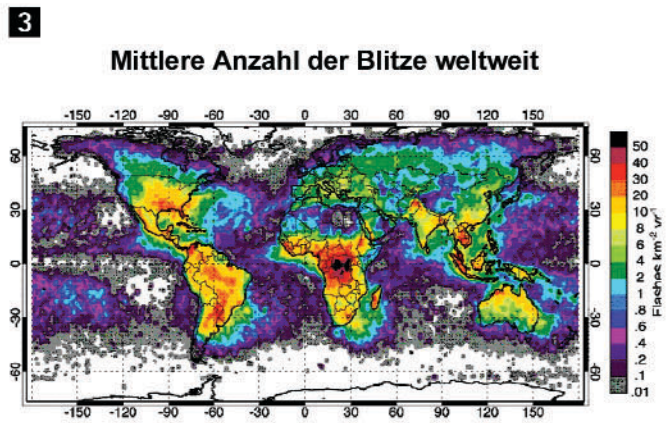
Von einem Blitz getroffene Bäume können vom aufgeheizten Wasserdampf regelrecht zerrissen werden, viele Bäume überstehen Blitzschläge aber auch mit geringen Borkenschäden oder dem teilweisen Absterben einzelner Äste. Zur Entzündung kommt es oft nicht durch den kurzen Blitzschlag selbst, sondern durch den häufig folgenden Stromfluss in Anschluss an eine Mehrfachentladung.

Auch Mauerwerk und Fels können aufgrund der plötzlichen Erwärmung und durch Feuchtigkeit im Inneren Risse bekommen und oberflächlich wie eine Glasur anschmelzen. Schlägt ein Blitz in sandigen Boden ein, so bildet sich durch die große Hitze ein röhrenförmiges 1-2 cm dickes, teilweise verästeltes Gebilde, ein so genannter "Fulgurit". Diese korallenartigen Sintergesteine werden teilweise später vom Wind freigelegt und als Schmuck und "Heilsteine" verkauft.

Metallteile ohne Ableitung zum Boden können schmelzen oder förmlich verdampft werden, dünne Rohre werden durch elektromagnetische Effekte zusammengequetscht - dadurch können beispielsweise Gasleitungen in Hütten oder Campingmobilen undicht werden.

(Auf die Auswirkungen des Blitzstroms auf den Menschen wird im 2. Teil ausführlich eingegangen.)

Fotos: Walter Würtl



Gewitterhäufigkeit

Die Häufigkeit von Gewittern hängt von vielen Faktoren wie der geographischen Lage - sowohl global, regional, als auch ganz kleinräumig lokal - der Jahreszeit und der Tageszeit ab.

1 Die Haupttätigkeit der Gewitter fällt in Mitteleuropa in die Nachmittagszeit (15.00-18.00 Uhr), ein eher schwach ausgeprägtes Minimum gibt es um ca. 9.00 Uhr vormittags. Besonders die Wärmegewitter lösen sich zum Abend wieder auf. Frontgewitter können zu jeder Tageszeit auftreten! An der Küste und über dem Meer gibt es durch die Wärmespeicherwirkung ein zweites Maximum in den Nachtstunden. Quelle: Uni München.

2 Anzahl der Blitze von 1992-1999. Dabei schwanken die Werte in verschiedenen Jahren beispielsweise für Mai von 4.000 bis 22.000, für Juli von 17.000 bis 70.000, und für September von 2.300 bis 17.000. Der jahreszeitliche Gang wird vor allem von der Temperatur und (absoluter) Luftfeuchtigkeit geprägt, stabile Hochdruckgebiete vor allem im Herbst verringern die Gewittergefahr zusätzlich. Quelle: www.ALDIS.at.

3 In Österreich misst man etwa 1,8 Blitze pro km² und Jahr, dabei schwanken die Werte von 0,75 für Wien und mehr als 4,0 in manchen Gegenden in der Steiermark. Die Hot-Spots der Tropen bringen es auf über 40 Blitze/km². Trotz der großen Hitze ist beispielsweise die trockene Luft der Sahara kaum gewittertauglich. Innerhalb Deutschlands steigt die Gewittergefahr von Nord nach Süd um den Faktor 5 an, nicht zuletzt allerdings auch wegen der gebirgigen Südgrenze. Das europäische Blitzmaximum liegt im Bereich der oberen Adria, die gesamten Dolomiten gelten zu recht als sehr blitzgefährdet. Aber auch sehr kleinräumig kommt es in Österreich geländebedingt innerhalb von 10 km zu Schwankungen zwischen 1 und 6 Einschlägen pro km² und Jahr. Höhenlagen zwischen 1500 und 2000 m sind am meisten gefährdet, gegen die Erwartung gibt es oberhalb 3000 m Seehöhe sogar ein Blitz-Minimum. Sprüche wie "Eichen sollst du weichen, Buchen sollst du suchen" halten keiner Überprüfung stand, was zählt ist der Standort und die Höhe des Baumes. Auch Behauptungen, Blitze würden nicht auf Schneefeldern, Gletschern oder Geröllhalden einschlagen, können durch Radarlokalisierung der Einschlagspunkte eindeutig widerlegt werden.

Literatur:

Alex Hermant, "Gewitter-Faszination eines Phänomens", Delius Verlag,

ISBN 3-7688-1387-8

Internet:

Am besten unter www.google.de einsteigen und mit blitz, gewitter, lightning, cumulonimbus & co lossurfen.

Hannes Zinnbauer: <http://home.t-online.de/home/electricworld/blitz.htm>

Austrian Lightning Detection and Information System ALDIS www.aldis.at

Uni München http://www.physik.uni-muenchen.de/didaktik/U_materialien