



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz



Automatische Blitzerfassung bei MeteoSchweiz

Zusammenfassung der wichtigsten Fakten

Stephan Pfahl

Version 1.1

Freigabedatum: 23.08.2007

Dokumentenverwaltung

Verteiler:

Name, Vorname	Firma/Prozess	Funktion	Änderungsberechtigung
Ch. Häberli	MeteoSchweiz	C OCMD	nein
S. Pfahl	MeteoSchweiz		Ja
OCMD Team	MeteoSchweiz		nein
Kunden	Verschiedene Firmen		nein

Versionenkontrolle:

ErstellerIn	Freigabedatum	Version	Tätigkeit	Anmerkungen
S.Pfahl		V 0.1	Dokumenterstellung	
S. Pfahl		V 0.2	Erste inhaltliche Korrekturen, Erweiterungen	
S. Pfahl	20.11.2005	V 0.3	Formale Korrekturen	
S. Pfahl	27.03.2006	V 1.0	Anfügen der Anhänge, Erweiterung	
M. Musa	23.08.2007	V 1.1	Anpassung CD Bund	

Inhaltsverzeichnis

KAPITEL 1	<i>Einleitung</i>	4
KAPITEL 2	<i>Entstehung und physikalische Grundlagen von Blitzen</i>	5
KAPITEL 3	<i>Messmethoden zur Blitzerfassung</i>	7
3.1	Prinzip der Messung	7
3.2	Messnetz	8
KAPITEL 4	<i>Messdaten und Produkte</i>	11
KAPITEL 5	<i>Ausblick</i>	14
KAPITEL 6	<i>Referenzen und weiterführende Literatur</i>	15
Anhang A	<i>Theorie des Gewitters</i>	17
Anhang B	<i>Charakteristik der Daten</i>	18
Anhang C	<i>Datenfluss</i>	19

KAPITEL 1 *Einleitung*

Das Ziel dieses Berichtes ist es, eine allgemein verständliche Darstellung des im Rahmen des Foudre-Projektes bei MeteoSchweiz neu eingeführten Verfahrens zur Erfassung von Blitzen und Messung ihrer Eigenschaften zu geben. Dazu werden zuerst die physikalischen Grundlagen der Blitzentstehung erläutert, danach wird das verwendete Messsystem skizziert. Anschliessend wird kurz auf den Aufbau und die Weiterverarbeitung der gewonnenen Messdaten eingegangen, und die von MeteoSchweiz angebotenen, auf diesen Daten beruhenden Produkte werden beschrieben. Zum Schluss wird ein Ausblick auf mögliche zukünftige Produkte gegeben.

KAPITEL 2 *Entstehung und physikalische Grundlagen von Blitzen*

Die Physik der Blitzentstehung ist kompliziert, und der Prozess ist noch nicht in allen Einzelheiten verstanden. Der grundsätzliche Ablauf, der hier beschrieben werden soll, ist aber weitestgehend klar.

Blitze entstehen in Gewitterwolken, sog. *Cumulonimben*. Diese Wolken sind meist sehr massiv und reichen bis in grosse Höhen, oft ist ihr oberer Rand abgeflacht und besitzt eine Ambossform. Sie bestehen bis zu einer Höhe von 5 bis 6 Kilometern aus Wassertröpfchen, in grösseren Höhen aus Eiskristallen. Auf Grund von Kollisionen und des Auseinanderbrechens von grösseren Partikeln innerhalb der Wolke kann es zu elektrostatischen Aufladungen der Partikel kommen. Dabei werden leichtere Teilchen häufiger positiv, schwerere vermehrt negativ geladen. Durch Aufwinde in der Wolke und auf Grund der Schwerkraft kommt es nun zu einer Trennung dieser Partikel, schwere negative Teilchen wandern in die Wolkenbasis, leichte positive in den Amboss. Dadurch wird der obere Teil der Wolke positiv, der untere negativ geladen, zwischen den beiden Bereichen besteht eine Potentialdifferenz, das heisst eine Spannung. Die negativen Ladungen in der Basis sorgen ausserdem dafür, dass sich die unter der Wolke liegende Erdoberfläche positiv auflädt (*Influenzladung*), es besteht also auch eine Spannung zwischen Wolke und Erdboden (siehe Abbildung 1). Wird eine dieser Spannungen gross genug, so kann ein Blitz entstehen, der für einen Ladungsausgleich sorgt. Dabei unterscheidet man zwischen *Wolkenblitzen* innerhalb oder zwischen Wolken und *Erdblitz*en zwischen Wolke und Erde.

Ein Blitzereignis (engl. *flash*) besteht im Normalfall aus mehreren Hauptblitzen (*strokes*). Üblicherweise beginnt der gesamte Vorgang des Erdblitzes mit einem Vor- oder Leitblitz. Als solchen bezeichnet man eine Ionisation der Luftmoleküle, die sich ausgehend von der Wolke in mehreren Schritten in Richtung Erdboden ausbreitet. Der dabei entstehende leitfähige Kanal besitzt eine zackige, verästelte Struktur, der Leitblitz wird im Englischen auch als *stepped leader* bezeichnet. Häufig beginnt eine zweite Ionisationswelle am Erdboden, wenn sich der Leitblitz diesem nähert. Treffen sich die beiden Ionisationskanäle, so entsteht eine leitende Verbindung und der erste Hauptblitz zündet, begleitet von hellem Licht und Donner. Dabei fliessen positive Ladungen von der Erde in die Wolke. Weitere Hauptblitze folgen im Abstand von im Mittel 40 Millisekunden, wiederum ausgelöst von Vorblitzen (*dart leaders*), die dem ersten Kanal folgen, allerdings viel schneller sind als der erste Vorblitz. Das menschliche Auge kann die verschiedenen Hauptblitze (ungefähr vier pro Blitzereignis) nicht getrennt wahrnehmen und sieht nur einen einzigen Blitz.

Der Ablauf eines Wolkenblitzes ist ähnlich, auf die geringfügigen Unterschiede soll hier nicht näher eingegangen werden.

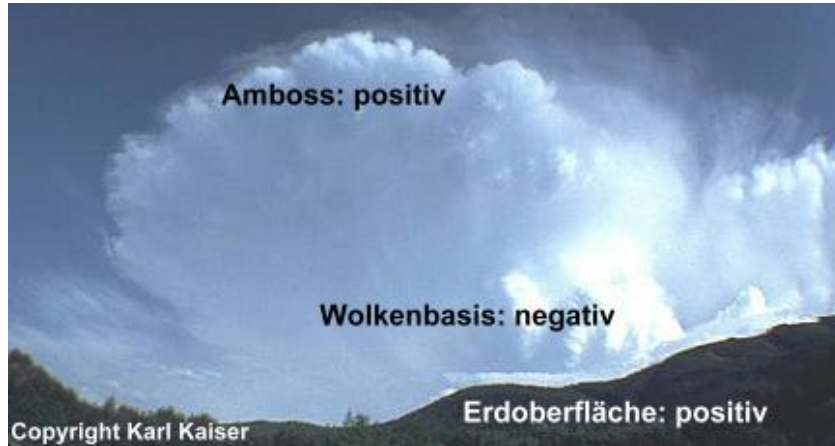


Abbildung 1. Ladungstrennung zwischen Amboss und Wolkenbasis, Influenzladung in der Erde (aus [1])

In mittleren Breiten treten hauptsächlich zwei Typen von Gewittern auf, in denen Blitze erzeugt werden. *Luftmassengewitter* entstehen, wenn es innerhalb einer Luftmasse zu Konvektion kommt, dabei warme, feuchte Luft aufsteigt und Gewitterwolken bildet. Diese Konvektion ist meist thermisch verursacht, zum Beispiel durch Aufheizung der Erdoberfläche im Sommer, man spricht dann auch von *Wärmegewittern*. Die einzelnen Gewitterzellen in Luftmassengewittern sind relativ klein, auch wenn sich das gesamte Gewitter über ein grösseres Gebiet erstreckt. Ausserdem gehen Luftmassengewitter im Allgemeinen nicht mit einer Änderung der Grosswetterlage einher.

Im Gegensatz dazu sind *Frontgewitter* immer mit einer solchen Wetteränderung verbunden, sie treten meistens zusammen mit Kalt-, teilweise auch mit Warmfronten auf. An der Frontlinie wird dabei warme Luft durch verschiedene Prozesse angehoben, und es kommt zur Bildung von Gewitterzellen entlang dieser Linie. Ein solches Gewitter kann sich entlang der Front über mehrere hundert Kilometer erstrecken, da sich die einzelnen Zellen gegenseitig erzeugen und verstärken. Im Zusammenhang mit vor allem auf See auftretenden Böenfronten treten besonders heftige Frontgewitter auf.

In diesem Abschnitt sollte eine allgemein verständliche Darstellung der Grundlagen der Blitzentstehung gegeben werden. Anhang A enthält eine knappe Übersicht zu den physikalischen Theorien, die sich mit diesem Thema auseinandersetzen, und ausserdem Verweise auf die dazugehörige wissenschaftliche Literatur.

KAPITEL 3 *Messmethoden zur Blitzerfassung*

3.1 *Prinzip der Messung*

Informationen über einen Blitz erhält man aus den elektromagnetischen Wellen, die dieser aussendet. Diese Wellen können mit Hilfe von Antennen nachgewiesen werden. Auf diese Weise kann man zum Beispiel den Ort des Blitzeinschlags mit relativ guter Genauigkeit bestimmen. Dazu bieten sich zwei Messverfahren an, die beide auf der Verwendung von mehreren Antennen beruhen.

Um die Koordinaten des Blitzes direkt geometrisch mittels *Triangulation* zu messen, wird von einer Antenne der Winkel (Azimut) zu einer vorgegebenen Richtung bestimmt, unter dem der Blitz erscheint. Dadurch wird für jede Antenne ein Grosskreis auf der Erdoberfläche festgelegt, und der Ort des Einschlags ergibt sich als Schnittpunkt dieser Grosskreise (blaue Linien in Abbildung 2). Dabei können natürlich die mit verschiedenen Fehlern behafteten Ergebnisse der einzelnen Antennen unterschiedlich gewichtet werden.

Da die Messstationen in der Lage sind, die Zeit des Eintreffens der elektromagnetischen Welle, die vom Blitz ausgesendet wurde, mit Hilfe einer Digitalisierung des Signals sehr genau zu bestimmen, können die Koordinaten des Blitzes auch durch Vergleich dieser Zeiten berechnet werden. Dabei legen zwei Stationen eine Hyperbel für die Position des Einschlags fest, auf der die Differenz der Ankunftszeiten des Signals gleich dem gemessenen Wert ist (die genaue Zeit des Einschlags ist nicht bekannt, es können also nur relative Werte verwendet werden). Die Koordinaten ergeben sich dann aus dem Schnittpunkt der Hyperbeln (grüne Linien in Abbildung 2) für mehrere Stationen.

Hat man auf diese Weise den Ort des Einschlags mit einer gewissen Genauigkeit bestimmt, so kann man daraus weitere Informationen wie zum Beispiel die Einschlagszeit berechnen. Der Fehler der Ortsmessung wird meistens durch die Angabe der Ellipse beschrieben, die den Einschlagsort mit einer statistischen Sicherheit von 90% enthält. Weitere Grössen, die mit Hilfe der Antennen gemessen werden können, sind zum Beispiel die Amplituden der elektromagnetischen Welle, die ein Mass für die Intensität des Blitzes sind, oder die Anzahl der Hauptblitze, aus denen ein Gesamtblitz besteht. Ausserdem können nicht nur Erd-, sondern auch Wolkenblitze nachgewiesen werden, allerdings mit einer geringeren Nachweiswahrscheinlichkeit.

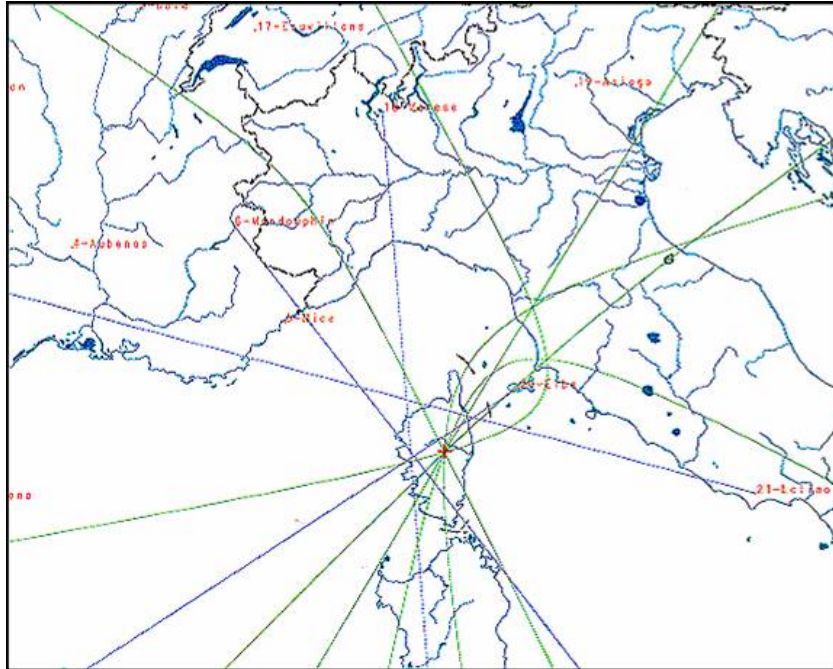


Abbildung 2. Bestimmung der Koordinaten des Blitzeinschlags mit Hilfe verschiedener Messstationen (blaue Linien: Grosskreise aus Winkelmessung, grüne Linien: Hyperbeln aus Zeitmessung; aus [11])

3.2 Messnetz

Bis Mitte 2005 basierten die Blitzerfassungsdaten von MeteoSchweiz hauptsächlich auf Messungen von Antennen, die im Rahmen des automatischen Messnetzes (ANETZ) vor ungefähr 25 Jahren installiert wurden. Diese konnten elektrische Entladungen im Umkreis der Stationen detektieren. Parallel dazu wurden Echtzeitdaten zu Blitzeinschlägen, die zum Beispiel für die Wettervorhersage benötigt wurden, von externen Anbietern bezogen. Schliesslich wurden noch Augenbeobachtungen von verschiedenen Stationen gesammelt und auf Wetterkarten eingetragen. Die ersten Überlegungen zur Vereinheitlichung dieses Erfassungssystems und Verbesserung der Qualität der Daten wurden 2002 konkret. Dazu trug eine Untersuchung bei, die zeigte, dass die Messergebnisse des ANETZ unter Umständen durch äussere Störeinflüsse stark beeinflusst wurden (Ruffieux et al, 2001). Das Projekt MCH-Foudre, innerhalb dessen diese Pläne umgesetzt wurden, begann im Januar 2003, das neue System arbeitet seit dem 1. Juni 2005.

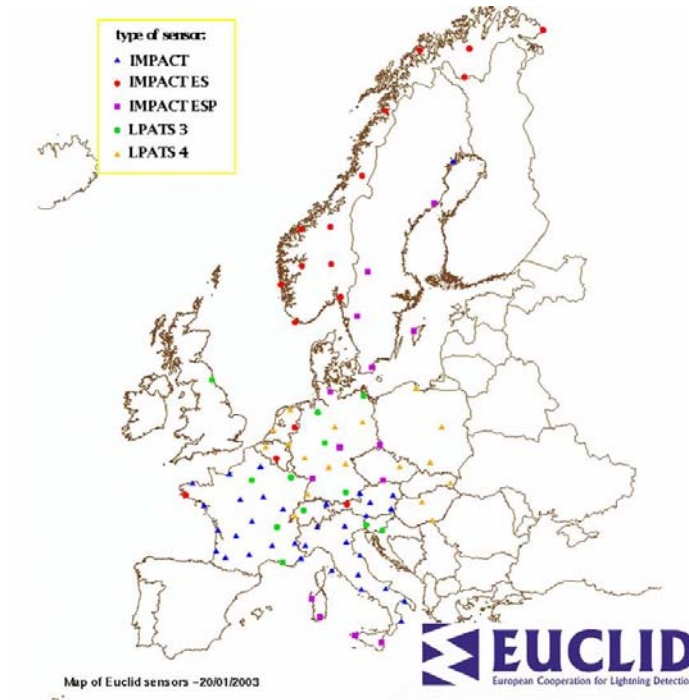


Abbildung 3. Messstationen des EUCLID-Netzwerks (aus [11])

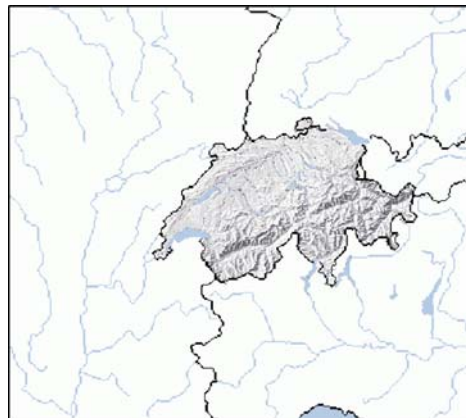


Abbildung 4. Bereich, aus dem MeteoSchweiz hochaufgelöste Blitzdaten bezieht (aus [4])

Die MeteoSchweiz besitzt seit diesem Zeitpunkt kein eigenes Messnetz zur Blitzerfassung mehr, sondern bezieht die Daten von der Firma Météorage. Diese Firma gehört zum Netzwerk EUCLID, das die Verteilung von Blitzdaten in ganz Europa koordiniert. Die Messstationen dieses Netzes sind in Abbildung 3 dargestellt. Abbildung 4 zeigt den geographischen Bereich, der für MeteoSchweiz hauptsächlich interessant ist.

Zur Ortsmessung wird im EUCLID-Netzwerk eine Kombination der beiden oben beschriebenen Verfahren verwendet. Die Sensoren decken einen Frequenzbereich von 100 bis 900 kHz ab, ein Blitz wird immer von mindestens zwei, im Durchschnitt von acht Sensoren detektiert. Mit Hilfe dieses Systems können in einem gegebenen Gebiet im Mittel 95% der in Wirklichkeit eintreffenden Erdblitzte auch beobachtet werden. Der Ort des Einschlags kann im Normalfall bis auf 1000 Meter, bei besonders starken Blitzen sogar bis auf 500 Meter genau angegeben werden. Die Genauigkeit dieser Ortsbestimmung ist weitestgehend unabhängig von der örtlichen Topographie, Blitze in bergigen Regionen können genauso gut lokalisiert werden wie im Flachland.

Die Gesamtzahl der vom EUCLID-Netzwerk für das der MeteoSchweiz zugängliche Gebiet detektierten Blitze ist im Allgemeinen sehr hoch [15]. Dabei ist jedoch zu beachten, dass auch viele einzelne Blitze detektiert werden, die nicht zwangsläufig als Gewitter im klassischen Sinn interpretiert werden können. Darunter ist ein grosser Anteil von Wolkenblitzen, für die die Detektionsrate zwar nur bei ungefähr 45% liegt, die aber viel häufiger auftreten als Erdblitzte. Will man die Blitzmessungen mit Augenbeobachtungen von Gewittern vergleichen, bietet es sich deshalb an, erst bei grösserer Blitzhäufigkeit von einem Gewitter zu sprechen (3-5 detektierte Blitze im gleichen Gebiet und Zeitraum). Im Vergleich mit der persönlichen Wahrnehmung der Gewitterhäufigkeit ist die gemessene Blitzanzahl auch deshalb besonders hoch, weil Gewitter (abgesehen von ausgedehnten Gewitterstürmen) oft lokale Phänomene sind und deshalb ein grosser Unterschied zwischen der Gewitteranzahl an einem Ort und in einem grösseren Gebiet besteht.

KAPITEL 4 *Messdaten und Produkte*

Die Daten, die MeteoSchweiz vom EUCLID-Netzwerk bezieht, beinhalten folgende Grössen:

- Zeitpunkt des Einschlags mit einer Genauigkeit von einer Zehntel-Sekunde
- Längen- und Breitengrad des Einschlagsorts
- Polarität und Intensität des Blitzes
- Anzahl der Hauptblitze (*strokes*)
- Typ des Blitzes (Erd- oder Wolkenblitz) und grobe Abschätzung der Stärke der Aktivität innerhalb der Wolke (Lokalisationsmodus)
- Form und Grösse der Ellipse, die mit 90% Sicherheit den Einschlagsort enthält (mit Fehlerangabe)

Dabei besteht sowohl die Möglichkeit, diese Daten in Echtzeit zu erhalten, als auch auf im Data Warehouse der MeteoSchweiz gespeicherte Informationen zurückzugreifen. Anhang B enthält eine genauere Angabe der Messdaten, ihre Einheiten und Wertebereiche, in Anhang C wird der Datenfluss von der Messung zur Anwendung im Detail beschrieben.

Das DWH bietet, basierend auf diesen Daten, verschiedene Produkte an, so können z.B. die Blitzeinschläge im Umkreis von 3 km (*Nahblitze*), bzw. zwischen 3 und 30 km (*Fernblitze*) um bestimmte Stationen abgefragt werden, dieser Service ersetzt die früher von den ANETZ-Antennen bereitgestellten Blitzdaten. Als Beispiel für eine tabellarische Darstellung dieser Daten zeigt Abbildung 5 die Ausgabe des Auszugstools CLIMAP. In der linken Hälfte von Abbildung 7 ist eine mit dem gleichen Tool erzeugte Kartendarstellung der Blitzdaten zu sehen. Für die verschiedenen Messstationen stehen auch Zeitreihen der Nah- und Fernblitzeinschläge zur Verfügung, die einmal am Tag automatisch aktualisiert werden. Ein Beispiel für eine solche sog. Gewitterkarte zeigt Abbildung 6.

brefarh0*

File Edit View Actions Help

14.06.2005 14:00 UTC - 14.06.2005 17:00 UTC Fernblitze (Entfernung 3 - 30 km); Stundensumme ...

Date/Time	KLO	SMA	BUS	REH	SAE	HOE	STG
14.06.2005 17:00	0	0	0	0	3	2	4
14.06.2005 16:00	23	19	2	20	3	25	5
14.06.2005 15:00	22	23	11	22	0	10	2

Auto Update Frozen

Abbildung 5. Auszug aus der CLIMAP-Tabellendarstellung

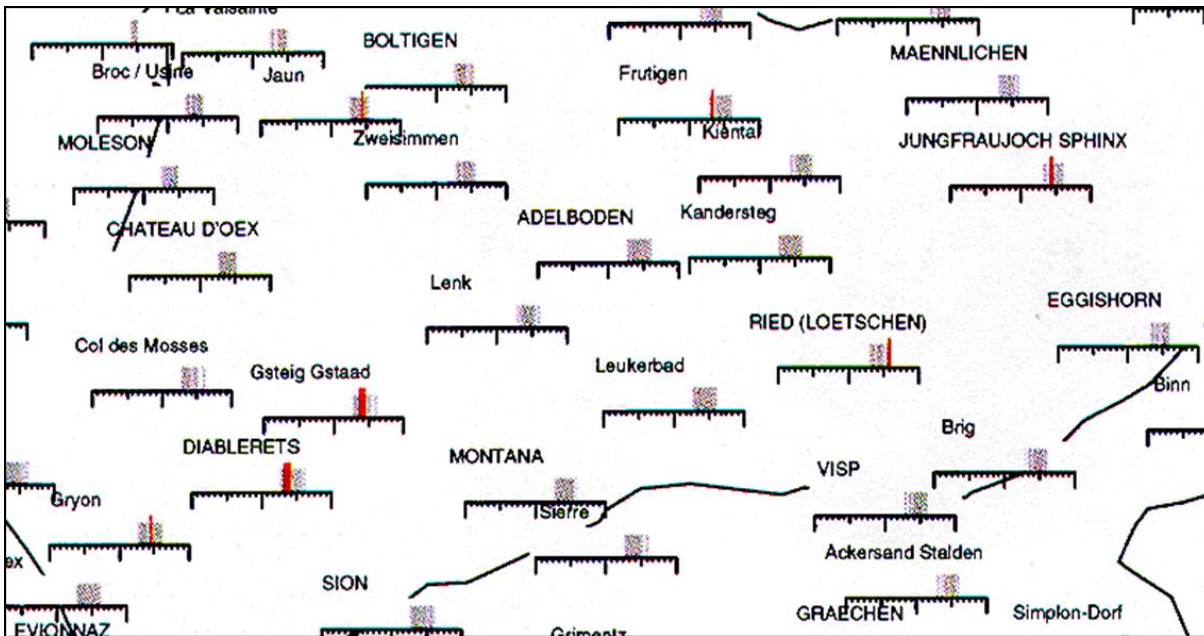


Abbildung 6. Gewitterkarte (rot: Nahblitze, grau: Fernblitze)

Die Weiterverarbeitung der Echtzeit-Daten geschieht im Rahmen der MeteoSchweiz-Projekte NinJo (Entwicklung eines vereinheitlichten graphischen Systems zur meteorologischen Datenanalyse) und SMART (automatische meteorologische Überwachung, z.B. eingesetzt für Flughäfen). So zeigt zum Beispiel das Programm SMART-Viewer

Informationen zu Blitzeinschlägen auf einer Karte des gesamten ausgewerteten Gebiets (vgl. Abbildung 4) in Echtzeit an. Ein Ausschnitt einer solchen Karte ist auf der rechten Seite von Abbildung 7 dargestellt. Dabei ist der Einschlagszeitpunkt der Blitze mit Hilfe der Farbe der Kreuze codiert.

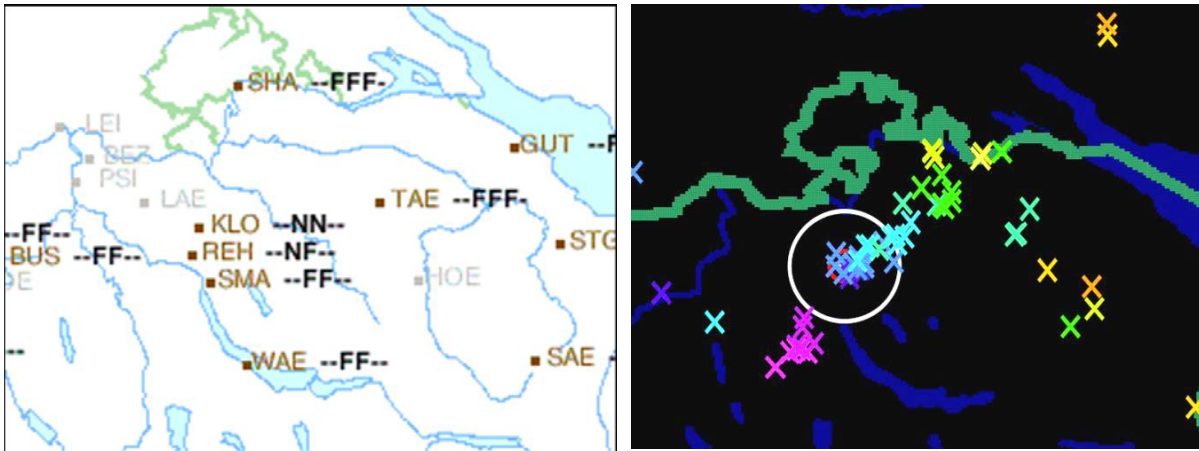


Abbildung 7. Blitzdarstellung in CLIMAP-Karte (links; N: Nahblitz, F: Fernblitz) und im SMART-Viewer (rechts)

Auf Grund von vertraglichen Regelungen ist es MeteoSchweiz nicht erlaubt, Rohdaten, die von Météorage zur Verfügung gestellt wurden, direkt weiterzuverkaufen. Diese Rohdaten dürfen nur intern verwendet werden und MeteoSchweiz darf dann die weiterverarbeiteten Daten verkaufen.

KAPITEL 5 *Ausblick*

Durch das Foudre-Projekt hat sich die Qualität der gewonnenen Blitzdaten, ihre Verfügbarkeit und Handhabbarkeit sowie die Abdeckung des für MeteoSchweiz wichtigen Gebiets deutlich verbessert. Zum einen bieten die im Data Warehouse gespeicherten Rohdaten neue Möglichkeiten für wissenschaftliche Untersuchungen in den Bereichen Meteorologie und Klimatologie, zum anderen könnten weitere Produkte entwickelt werden. Dazu gehören spezielle Produkte für Versicherungen, die zeitlich und räumliche hoch aufgelöste Informationen zu Blitzeinschlägen in der Vergangenheit bieten, genaue Warnsysteme für spezielle Benutzer, aber auch für jedermann, die auf der Echtzeitanalyse der Blitzdaten basieren, und Produkte, die Informationen über Blitze mit anderen Informationsquellen, wie z.B. Satellitenbildern und Radarmessungen, kombinieren. Ausserdem kann versucht werden, die Blitzdaten zur Verbesserung bestehender Produkte, wie der graphischen Visualisierung des aktuellen Wetters („Klartextwetter“) oder der Gewitter-Prognose, zu verwenden.

KAPITEL 6 *Referenzen und weiterführende Literatur*

- [1] <http://home.eduhi.at/member/nature/met/blitz/gewitter.htm>
- [2] <http://thunder.msfc.nasa.gov/primer/primer2.html>
- [3] <http://www.meteo-hamburg.de/gewittertypen.htm>
- [4] D. Ruffieux, M. Frey, G. Galli, E. Grüter und C. Häberli: *Projekt DWH-Foudre, Final overview of the activities*, 2005
- [5] D. Ruffieux, E. Grüter, N. Tschichold, C. Häberli, M. Frey G. Galli und D. Gill: *MeteoSwiss Data Warehouse, Sub-project „Foudre“, Concept Report*, 2004
- [6] D. Ruffieux, N. Tschichold, C. Mühlhäuser, L. Cretenoud, G. Galli und C. Häberli: *Project DWH MCH-Foudre, Pre-analysis report*, 2003
- [7] D. Ruffieux, J. Rast, and T. Frei,: *Comparison of three lightning detection systems operating in Switzerland*, Proceedings of the Fifth European Conference on Application of Meteorology ECAM 2001, 24-28 September, 2001, Budapest, Hungary
- [8] M. Bonnet: *TechNote Météorage, Data Format V2*, 2004
- [9] M. Bonnet: *TechNote Météorage, Data Delivery V2*, 2004
- [10] D. Ruffieux: *Le système de détection de la foudre utilisé à MétéoSuisse: Météorage*, 2005
- [11] M. Bonnet: *Météorage services to Meteo Swiss*, 2005
- [12] G.H. Liljequist und K. Cehak: *Allgemeine Meteorologie*, Vieweg, Braunschweig, 1984

- [13] B.J. Mason: *The Physics of Clouds*, Clarendon Press, Oxford, 1971
- [14] E. Kessler (Ed.): *Thunderstorm Morphology and Dynamics*, University of Oklahoma Press, 1985
- [15] O. Marchand, mündliche Mitteilung
- [16] J. Mason and N. Mason: *The physics of a thunderstorm*, Eur. J. Phys. **24** (2003), 99-110

Anhang A *Theorie des Gewitters*

Bei der theoretischen Beschreibung von Gewittern unterscheidet man zwei Hauptgesichtspunkte, zum einen den meteorologischen, d.h. die Entstehung und Dynamik des Gewitters, zum anderen den elektrischen, also vor allem die Frage, wie es zu elektrischen Auf- und Entladungen kommt und wie diese ablaufen. Einen Überblick zu beiden erhält man in [12], mehr im Detail werden diese Fragen in [14] behandelt.

Die dynamische Beschreibung eines Gewitters beginnt bei dessen Entstehung, also bei der Beschreibung der Prozesse, die zur Bildung von Cumulonimbuswolken führen. Dies sind, wie schon in KAPITEL 2 erwähnt, vor allem thermische Konvektion und die Anhebung von Luftmassen durch Fronten. Aber auch in Folge von Strömung über orographische Hindernisse und von Advektion oder Ausstrahlung in höheren Schichten kann es zu Gewitterbildung kommen. Die weitere Entwicklung eines Gewitters ist eng mit seinem synoptischen Umfeld verknüpft, eine genaue Beschreibung der dafür wichtigen Prozesse findet man in [14].

Die ersten Theorien zur elektrischen Aufladung in Gewittern stammen aus den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts. Die zwei wohl wichtigsten dieser Theorien sind von C.T.R. Wilson und G.C. Simpson, die zugehörigen Referenzen findet man in [13]. Die Theorie von *Wilson* wird auch als Influenztheorie bezeichnet. Sie geht davon aus, dass fallende Tropfen im nach unten gerichteten elektrischen Schönwetterfeld der Erde polarisiert werden. Dabei werden im oberen Teil des Tropfens negative, im unteren positive Influenzladungen induziert. Auf Grund dieser Polarität kommt es zur Anlagerung von Ionen am Tropfen, wobei die negativen Ionen an der Unterseite gegenüber den positiven an der Oberseite überwiegen, da der Tropfen nach unten fällt. So wird der untere Teil der Wolke negativ gegenüber dem oberen geladen. Die *Simpsonsche* Theorie basiert auf dem Lenardschen Wasserfalleffekt. Sie geht davon aus, dass die Ladungstrennung durch Zersplitterung von Tropfen entsteht, wobei kleine Splitter eher positiv, grosse vermehrt negativ geladen werden. Ein Hauptproblem dieser Theorie ist allerdings, dass nach Lenard die Ladung der Splitter eigentlich genau umgekehrt sein müsste, an Wasserfällen und in Laborexperimenten beobachtet man, dass die Luft negativ, das ablaufende Wasser positiv geladen ist. Dies würde aber nicht der für Gewitterwolken beobachteten Polarität entsprechen.

In den sechziger und siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts stellte *Mason* eine weitere Theorie zur Ladungstrennung in Gewitterwolken auf, die auch quantitativ bessere Ergebnisse liefert als die beiden im letzten Absatz beschriebenen [13,16]. Sie erweitert die *Wilson'sche* Theorie insofern, als dass die Polarisierung von Graupelkörnern betrachtet wird. Durch den Zusammenstoss dieser Graupelkörner mit kleineren Partikeln während des Falls wird im Mittel positive Ladung von diesen weggeführt (der untere Teil der Körner ist positiv polarisiert), und die grossen, nach unten fallenden Körner werden negativ aufgeladen.

Es gibt weitere Effekte, die möglicherweise zu Ladungstrennung in Wolken führen. So können z.B. Scherkräfte an der Grenzfläche zwischen Wasser und Luft bei platzenden Luftblasen die dortige elektrische Doppelschicht auseinander reißen. Man geht aber davon aus, dass diese weiteren Effekte im Allgemeinen weniger beitragen als die oben beschriebenen [12].

Anhang B *Charakteristik der Daten*

Variable	Inhalt	Einheit	Wertebereich
Zeit	Zeitpunkt des Einschlags	DD/MM/YYYY hh:mm:ss/10 UTC	-
Länge	Ost/West-Koordinate	Grad	3.66/11.65
Breite	Nord/Süd-Koordinate	Grad	44.20/49.03
Amplitude	Amplitude des elektrischen Feldes (mit Polaritätsangabe)	Kilo-Ampère	-9999.9 - 9999.9
Anzahl	Anzahl der Hauptblitze	-	0 - 99
Lokalisationsmodus	Abschätzung der Stärke der Aktivität innerhalb der Wolke	-	0 - 7
Typ	Typ des Blitzes (0: Erdblitz, 1: Wolkenblitz)	-	0 - 1
Achse	grosse Halbachse der Ellipse, die mit 90% Sicherheit den Einschlagsort enthält	Kilometer	9 - 9999.9
Chi-Quadrat	Fehlerangabe	-	0 - 9999.9
Exzentrizität	Verhältnis von grosser und kleiner Halbachse der Ellipse	-	0 - 999.9
Inklination	Kippungswinkel der grossen Halbachse	Grad	0 - 999

Tabelle 1. Struktur der Daten, die MeteoSchweiz vom EUCLID-Netzwerk bezieht

Anhang C *Datenfluss*

Der Datenfluss von der Messung bis zur Anwendung ist in Abbildung 8 dargestellt. Sobald das Netzwerk einen Blitz detektiert hat, sind die Messdaten auf den Servern EUCLID und Météorage verfügbar. Im Normalfall werden diese Daten dann vom EUCLID-Server an MeteoSchweiz übertragen, wobei diese Übertragung von der JObs-Software koordiniert wird, die auf dem GTS-Server von MeteoSchweiz läuft. Fällt EUCLID aus, so steht der Météorage-Server als Backup zur Verfügung.

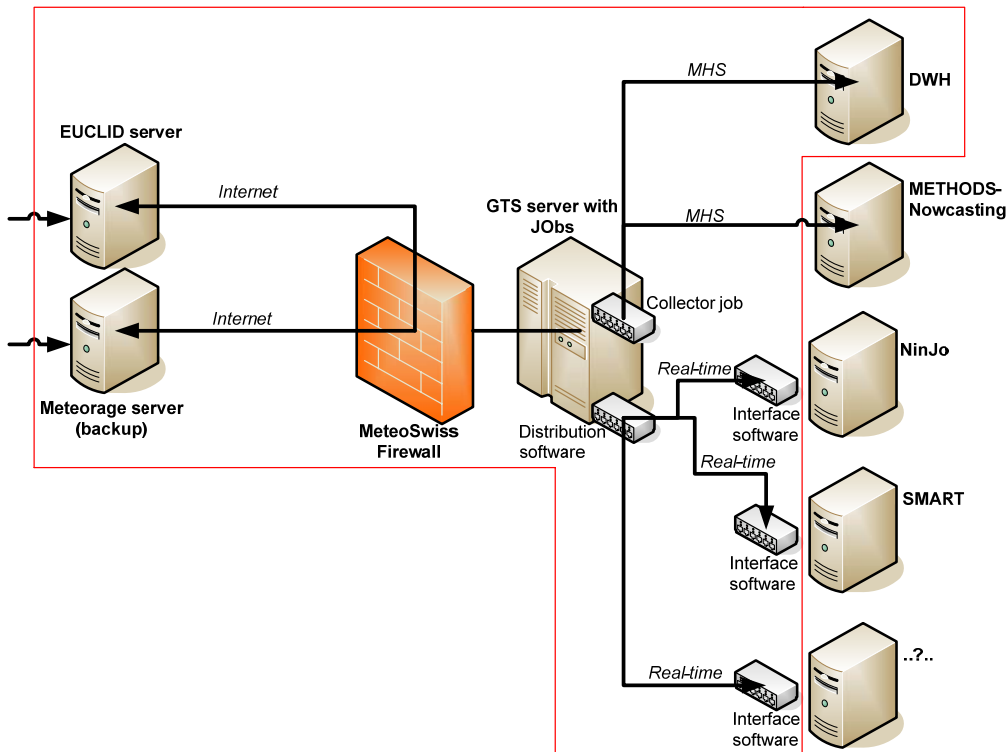


Abbildung 8. Datenfluss der Blitzdaten. Die rote Linie kennzeichnet den Bereich, der zum Projekt DWH-Foudre gehört (aus [4])

Auf dem Server von MeteoSchweiz werden die Daten nun auf verschiedenen Wegen weiterverarbeitet. Zum einen sammelt die Software Collector Job alle eintreffenden Daten und überträgt diese in Intervallen von zehn Minuten an das Data Warehouse, wo sie gespeichert werden und so für weitere meteorologische und klimatologische Analysen zur Verfügung stehen. Analog überträgt Collector Job Datenpakete an das Projekt METHODS (Überwachung und Kurzzeit-Vorhersage), allerdings in Intervallen von einer Minute. Zum anderen werden die Daten in Echtzeit von einer Distributionssoftware weiterverarbeitet und an verschiedene Benutzer übermittelt. Dies geschieht innerhalb der Projekte NinJo und SMART.