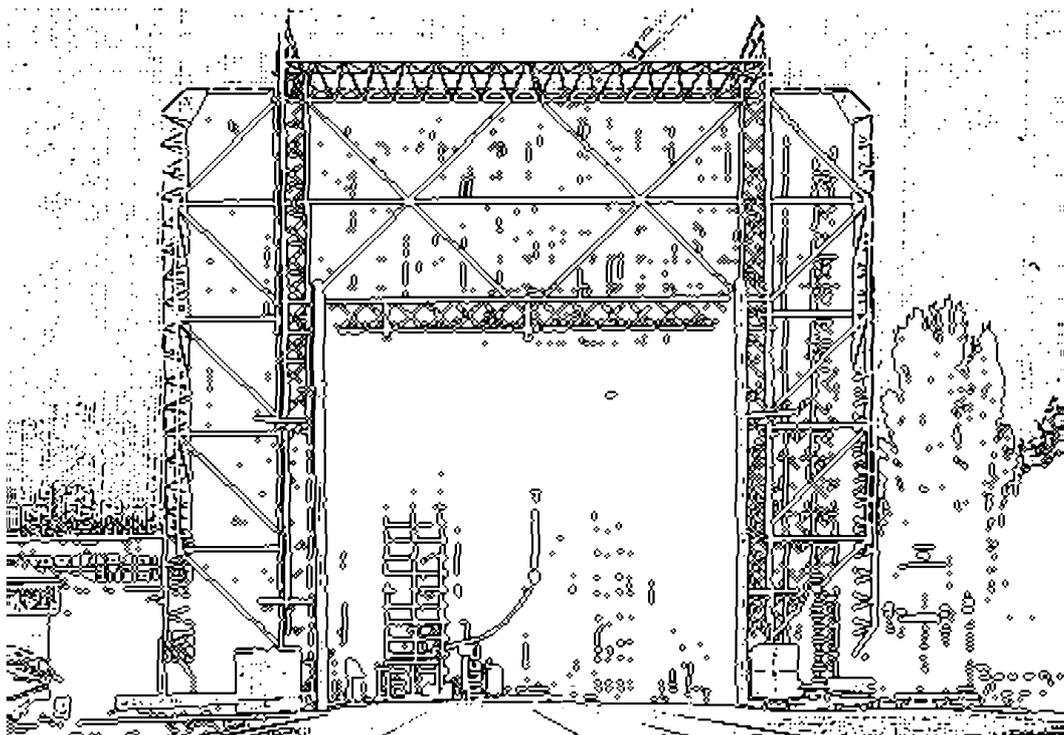


Technische Universität Graz

DIPLOMARBEIT



INSTITUT FÜR HOCHSPANNUNGSTECHNIK
UND SYSTEMMANAGEMENT

Elektrische Feldmessungen atmosphärischer Entladungen

Diplomarbeit
von
Vergeiner Christian

Graz, im September 2011

Durchgeführt am Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement in Kooperation
mit ÖVE – ALDIS



Institutsvorstand: O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. Hans Michael MUHR

Begutachter: Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stephan PACK

Betreuer: Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stephan PACK
Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang SCHULZ (ÖVE – ALDIS)

Kurzfassung

Diese Arbeit befasst sich mit der Bestimmung der Detektionseffizienz und der Ortungsgenauigkeit des Blitzortungssystems ALDIS in Süd- und Ostösterreich. Zu den Hauptaufgaben dieser Arbeit zählen die Gewinnung von Messdaten atmosphärischer Entladungen mit einem vom Blitzortungssystem unabhängigen Messsystem (mobiles Feldmesssystem), die Erstellung einer Datenbank mit Daten des mobilen Feldmesssystems und den zugehörigen Daten des Blitzortungssystems und dem Datenvergleich beider voneinander unabhängigen Systeme. Weiters werden für einige Parameter von atmosphärischen Entladungen in Süd- und Ostösterreich typische Werte ermittelt.

Schlagworte:

Detektionseffizienz, Ortungsgenauigkeit, Blitzortungssystem, atmosphärische Entladung, mobiles Feldmesssystem

Abstract:

This work deals with the determination of the detection efficiency and the location accuracy of the lightning location system ALDIS in the south and east of Austria. The main goal of this work is to collect data of atmospheric discharges using a measuring system that is independent of the lightning location system (mobile field measuring system), to create a database containing data measured with this mobile field measuring system and the lightning location system, and to compare the data of both systems. In addition, typical values of atmospheric discharges in the south and east of Austria were determined.

Keywords:

detection efficiency, location accuracy, lightning location system, atmospheric discharge, mobile field measuring system

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Mitarbeiter des Instituts für Hochspannungstechnik und Systemmanagement der Technischen Universität Graz sowie allen Mitarbeitern der Forschungsgruppe ÖVE – ALDIS danken, die mich im Verlauf dieser Arbeit unterstützt und beraten haben. Besonderer Dank gilt Herrn Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stephan PACK und Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang SCHULZ für die wissenschaftliche Betreuung und Unterstützung über den gesamten Erstellungszeitraum dieser Diplomarbeit sowie die Begutachtung, Korrektur und Prüfung der Arbeit.

Besonderer Dank gilt Herrn Georg Pistotnik von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) und Herrn Alois M. Holzer vom European Severe Storms Laboratory (ESSL) für kompetente und permanente Hilfe bei der Abschätzung von Gewittertendenzen für den Großteil der Messtage des Jahres 2010. Für die ständige Hilfe bei allen Fragen in Bezug auf Meteorologie möchte ich mich sehr herzlich bedanken.

Weiters möchte ich mich bei Herrn Rudolf Kaltenböck von der Austro Control und Frau Karin Hennermann von MeteoServe für die Möglichkeit der Erstellung von Screenshots der Wetterradarbilder zu den Messtagen des Jahres 2010 herzlich bedanken.

Schließlich möchte ich mich noch bei allen Personen bedanken, die mich im Verlauf meines Studiums unterstützt haben und die mir mit Rat und Tat zur Seite standen. Besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Stefan Außerhofer für die Hilfe bei allen elektrotechnischen Fragen des Grundstudiums. Ganz besonders möchte ich mich noch bei meiner Familie, für die Unterstützung und Hilfe in jeder Lebenslage, bedanken.

Ich erkläre hiermit, dass ich die Arbeit selbständig erarbeitet und verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Graz, im September 2011

Christian Vergeiner

1. Einleitung	1
2. Gewitterbildung, Blitzentladung, Blitzortung	2
2.1. Theorie der Gewitterbildung	2
2.1.1. Meteorologische Grundvoraussetzungen für Gewitterbildung	2
2.2. Theorie der Blitzentladung	5
2.2.1. Ladungstrennung innerhalb einer Gewitterwolke	5
2.2.2. Elektrische Struktur einer Gewitterwolke	7
2.2.3. Blitzentladung	8
2.3. Relevante Messgrößen für die Ortung atmosphärischer Entladungen	17
2.4. Blitzortung in Europa und Österreich	19
2.4.1. EUCLID	19
2.4.2. ALDIS	20
3. Messtechnik und Messungen	21
3.1. Grund für die Messung elektrischer Felder und die Aufnahme von Kameradaten	21
3.2. Mobiles Feldmesssystem	23
3.2.1. Komponenten	23
3.2.2. Funktion	27
3.2.3. Messen mit dem mobilen Feldmesssystem	32
3.2.4. Probleme beim Messen mit dem mobilen Feldmesssystem	36
3.3. Messplätze, Messtage, Verteilung über Südösterreich	39
4. Datenanalyse	42
4.1. Messdaten	43
4.1.1. Daten des mobilen Feldmesssystems	43
4.1.2. Daten des Ortungssystems	46
4.1.3. Erstellung der Datenbank und Datenvergleich	49
4.2. Effizienz der Detektion	54
4.2.1. Negative Entladungen	54
4.2.2. Positive Entladungen	57
4.3. Ortungsgenauigkeit	60
4.3.1. Bestimmung der Ortungsgenauigkeit	60
4.3.2. Ortungsgenauigkeit in Süd- und Ostösterreich	65
4.4. Verteilung der Teilblitze pro Blitz	66

4.5. Verteilung der Blitzstromamplituden	71
5. Diskussion	74
6. Weiterführende Gedanken	76
7. Zusammenfassung	78

1. Einleitung

Atmosphärische Entladungen erfüllen seit jeher die Menschen sowohl mit Staunen als auch mit Angst. Die Schönheit von Blitzen im Zuge eines Gewitters sucht Ihres Gleichen. Im Gegensatz dazu steht die zerstörerische Wirkung dieser Entladungen. Die direkte und indirekte Gefährdung des Menschen, seines Eigentums und seiner Umwelt durch Blitze gibt uns Anlass dazu, das Phänomen atmosphärische Entladungen zu erforschen und verstehen zu lernen.

Weltweit werden eine Reihe von Blitzortungssystemen betrieben, so auch in Österreich. Tritt eine atmosphärische Entladung auf so ist das Ziel jedes Blitzortungssystems, diese atmosphärische Entladung zu detektieren und zu orten. Eine Vielzahl von Unternehmungen kann von diesen Daten profitieren wie z.B. Versicherungen, Wetterdienste oder Unternehmen die sensibel im Bezug auf Stromausfälle sind.

Das europäische Blitzortungssystem EUCLID (englisch „European Cooperation for Lightning Detection“) in dessen Netzwerk sich das österreichische Blitzortungssystem ALDIS (englisch „Austrian Lightning Detection and Information System“) befindet, hat zum Ziel, atmosphärische Entladungen innerhalb der Mitgliedsstaaten zu orten.

Für die Vertrauenswürdigkeit der Ortungsdaten eines Blitzortungssystems ist es unerlässlich die Effizienz eines Blitzortungssystems zu überprüfen. Ziel dieser Arbeit ist, mit einem vom ALDIS unabhängigen, mobilen Feldmesssystem atmosphärische Entladungen in Südösterreich aufzunehmen und die so gewonnenen Daten mit den Daten der ALDIS Datenbank zu vergleichen um die Effizienz der Ortung und Detektion in Österreich zu überprüfen.

2. Gewitterbildung, Blitzentladung, Blitzortung

2.1. Theorie der Gewitterbildung

Gewitter sind schnelllebige Wolkengebilde mit einer Lebensdauer von etwa 45 min bis 60 min. (Klose, 2008). Für die erfolgreiche Messung atmosphärischer Entladungen mit dem mobilen Feldmesssystem ist es unerlässlich gewisse Grundkenntnisse der Entstehung von Gewittern zu besitzen.

2.1.1. Meteorologische Grundvoraussetzungen für Gewitterbildung

Damit Gewitter entstehen können müssen folgende Grundbedingungen gegeben sein (Pistotnik, 2006):

- genügend Feuchtigkeit in Bodennähe um generell die Bildung von Wolken zu ermöglichen.
- potentiell instabile Temperaturschichtung
- erzwungene Hebung bzw. ein Auslösemechanismus

Potentiell instabile Temperaturschichtung:

Informationen über die Luftschichtung erhält man von sogenannten Radiosondenaufstiegen. Die Radiosonden werden von bestimmten Orten auf der Erde mittels Ballons bis in rund 30 bis 35 km Höhe getragen und messen im Zuge des Aufstiegs Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit. Zusätzlich erfolgt die Erfassung des Windfeldes mittels Radarüberwachung der Radiosondenbahn oder GPS (englisch „Global Positioning System“). Über Funk werden die gemessenen Daten an die Bodenstation übermittelt (Klose, 2008). Die gewonnenen Messdaten eines Radiosondenaufstiegs können auf verschiedene Arten dargestellt werden. Gängige Darstellungen sind thermodynamische Diagramme wie das „Stüve Diagramm“ oder das „Skew T Log p Diagramm“

In dieser Arbeit wird auf die Theorie der thermodynamischen Diagramme wie „Stüve Diagramm“ und „Skew T Log p Diagramm“ nicht eingegangen. Vielmehr wird gezeigt, wie man aus diesen Diagrammen Tendenzen für Gewitterbildung herauslesen kann.

Eine potentiell instabile Temperaturschichtung ist dann gegeben, wenn ein aufsteigendes Luftpaket stets wärmer als seine Umgebungsluft ist. Aus Abbildung 1 ist ersichtlich, dass dies im Luftdruckbereich zwischen 700 hPa und 190 hPa der Fall ist. Die Temperaturkurve eines aufsteigenden Luftpakets liegt in diesem Bereich rechts der Temperaturkurve der Umgebungsluft und ist deshalb wärmer. Ein Luftpaket besitzt also im Bereich zwischen 700 hPa und 190 hPa Luftdruck (rund 3200 m bis 12500 m Seehöhe) eine geringere Dichte als die Umgebungsluft, ist folgedessen leichter als diese, wird in vertikaler Richtung beschleunigt und steigt auf. Die Bildung von Gewittern ist möglich.

Durch den Aufstieg eines Luftpakets wird zusätzlich Energie frei. Ein Maß für die durch den Aufstieg eines Luftpakets freiwerdende Energiemenge ist die sogenannte CAPE (englisch „Convective Available Potential Energie“) oder Labilitätsenergie in J/kg. Die in Abbildung 1 gelb gefüllte Fläche ist proportional zu CAPE (Pistotnik, 2006). Je höher der Wert für CAPE ist, desto heftigere Gewitter sind möglich.

Erzwungene Hebung:

Um bodennahe, feuchte Luft in den „Bereich des freien Aufstiegens“ (auch LFC, englisch „Level of Free Convection“, bezeichnet) zu bringen muss dem Luftpaket Energie zugeführt werden. In den seltensten Fällen ist ein freies Aufsteigen eines Luftpaketes vom Boden weg möglich. Wie man in Abbildung 1 erkennen kann ist die Temperatur eines aufsteigenden Luftpaketes im Bereich von 950 hPa bis 700 hPa niedriger als die der Umgebungsluft, die Luft ist in diesem Bereich stabil geschichtet. Das Aufsteigen eines Luftpaketes ist ohne externe Energiezufuhr nicht möglich da das Luftpaket stets schwerer als die Umgebungsluft ist. Die Energiemenge, die einem Luftpaket zugeführt werden muss, um den Bereich zwischen 950 hPa und 700 hPa zu überwinden, wird mit CIN (englisch „Convective Inhibition“) oder Konvektive Verhinderung in J/kg definiert. Die in Abbildung 1 grün gefüllte Fläche ist proportional zu CIN. Im Beispiel von Abbildung 1 müsste einem Luftpaket rechnerisch eine Energiemenge von 219 J/kg zugeführt werden um den Bereich des freien Aufstiegens zu erreichen. Energiemengen zur Überwindung stabil geschichteter Luftmassen können beispielsweise über zusammenströmende Bodenwinde, über erzwungene Hebung an Bergen oder eine Kaltfront, die sich wie ein Keil unter die warme Luft schiebt, bereitgestellt werden. In Abbildung 1 ist die grün gefüllte Fläche proportional zu CIN. Hat ein Luftpaket

den Bereich zwischen 950 hPa und 700 hPa überwunden so steigt es frei bis zur Druckfläche von 190 hPa (entspricht einer Höhe von rund 12500m) auf (Pistotnik, 2006).

11240 LOWG Graz-Thalerhof-Flughafen

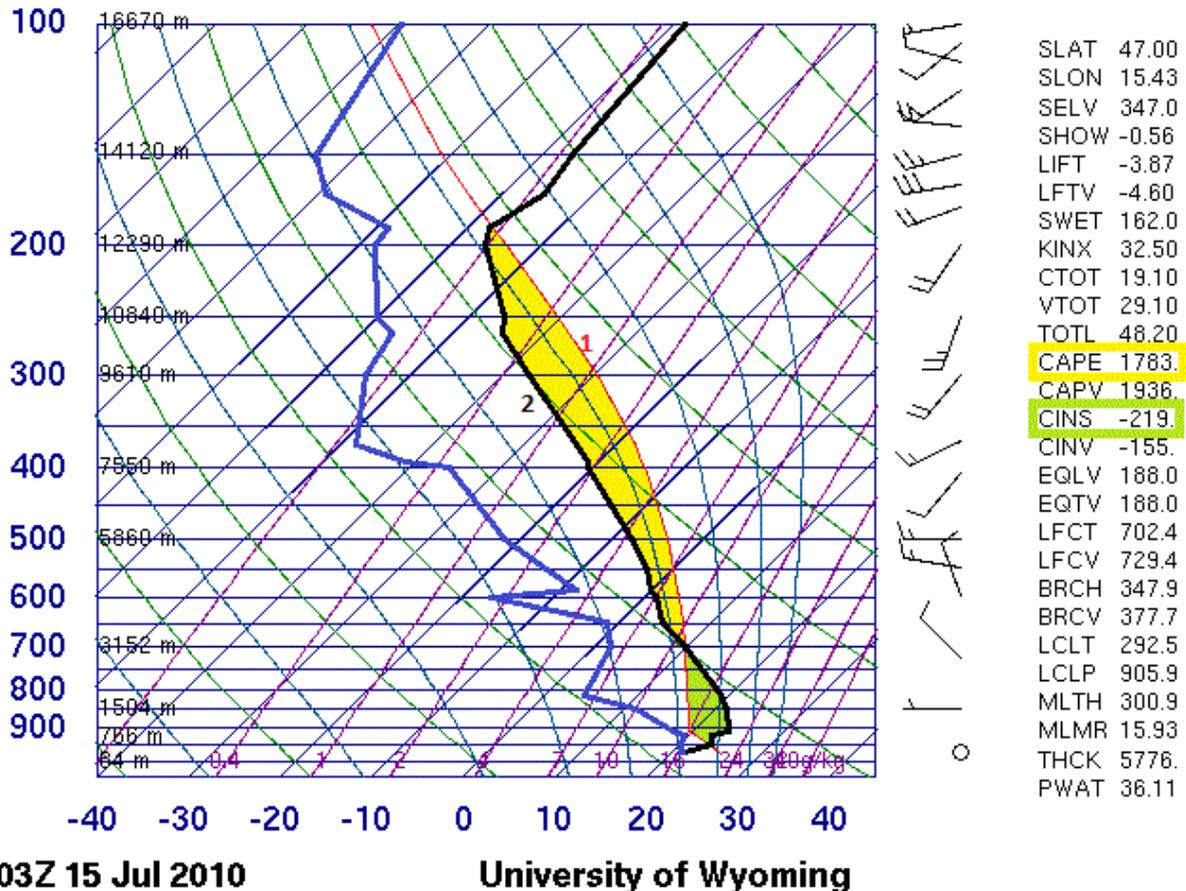


Abbildung 1: „Skew T log p Diagramm“ des Radiosondenaufstiegs Graz Thalerhof Flughafen am 15.07.2010 um 03:00 UTC (englisch „Coordinated Universal Time“) (University of Wyoming, 2011) Horizontal aufgetragen befindet sich die „schräge“ Temperatur T, Vertikal der Logarithmus des Luftdrucks log(p) und die über die barometrische Höhenformel berechnete Höhe. 1 Die dünne rote Linie bezeichnet die Temperatur eines aufsteigenden Luftpaketes. 2 Die dicke schwarze Linie bezeichnet die Temperatur der Umgebungsluft Rechts dem Diagramm sind der jeweiligen Druckfläche bzw. Höhe zugeordneten Windrichtungen und die zugehörigen Windstärken sowie die aus den Radiosondenaufstiegen berechnete Werte (Pistotnik, 2006).

Es ist zu beachten, dass ein Radiosondenaufstieg eine Momentaufnahme an einem gewissen Ort ist. Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit können schon unweit des Radiosondenaufstiegs von den gemessenen Werten der Radiosonde abweichen.

2.2. Theorie der Blitzentladung

Als umfassendes Literaturwerk im Bezug auf die Vorgänge bei atmosphärischen Entladungen sei „Lightning – Physics and Effects“ von Vladimir A. Rakov und Maritn A. Uman angeführt (Uman Rakov, 2003).

2.2.1. Ladungstrennung innerhalb einer Gewitterwolke

Zur Ladungstrennung und in weiterer Folge zur Entstehung von Ladungszentren innerhalb einer Gewitterwolke bedarf es zweier Mechanismen (Uman Rakov, 2003):

- Elektrische Ladung von einzelnen Hydrometeoren¹
- Die räumliche Trennung dieser elektrisch geladenen Hydrometeore gleicher Polarität

Der Maßgebliche Ladungstrennungsprozess, der zur Entstehung von Ladungszentren innerhalb einer Gewitterwolke führt, ist der sogenannte Graupel – Eis – Mechanismus. Innerhalb einer Gewitterwolke herrschen starke Auf- und Abwinde. Diese Auf- und Abwinde in Kombination mit der Gravitationskraft führen zu einer Kollision von Niederschlagspartikeln (Graupel) mit Wolkenpartikeln (Eiskristalle) in Anwesenheit von Wassertropfen. Es wird Ladungstrennung vollzogen wobei die Anwesenheit von Wassertropfen notwendig für einen signifikanten Ladungstransfer ist (Uman Rakov, 2003).

¹ Hydrometeore sind flüssige oder gefrorene wässrige Teilchen (Klose, 2008).

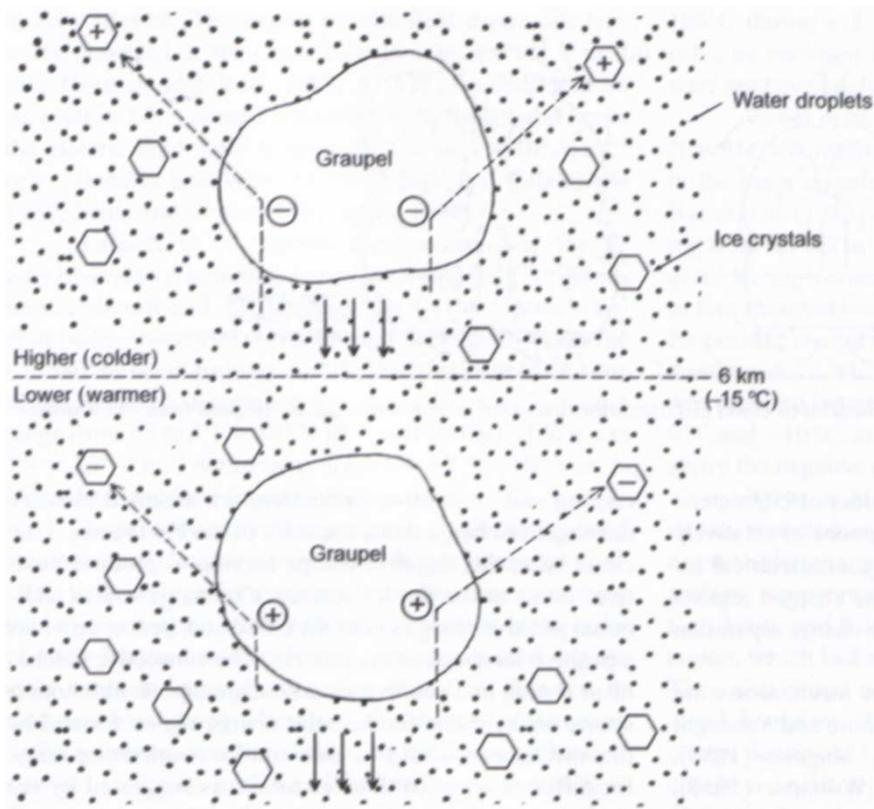


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Graupel – Eis – Mechanismus durch Kollision von Graupel und Eiskristallen (Uman Rakov, 2003)

Wie man in Abbildung 2 erkennen kann ist die Polarität der elektrisch geladenen Graupelteilchen abhängig von der Umgebungstemperatur. Wie Jayaratne und Saunders in ihrem Experiment feststellten laden sich Graupel- bzw. Hagelkörner² bei Temperaturen über -20 °C positiv, unter -20 °C negativ³ auf. Die Abhängigkeit der Polarität von Niederschlagsteilchen wie Graupel und Hagel von der Temperatur lässt annehmen, dass dies ein möglicher Grund für die Entstehung des unteren positiven Ladungszentrums einer Wolke ist (Jayaratne Saunders, 1984). An dieser Stelle sei angemerkt, dass es eine Reihe von Hypothesen zur Entstehung des unteren positiven Ladungszentrums gibt (Uman Rakov, 2003).

² Der Unterschied zwischen Graupel und Hagel liegt in den Durchmessern dieser gefrorenen Niederschlagspartikel und ist mittels definierter Durchmesser gegeben.

³ In Abbildung 2 wird eine Temperatur von -15 °C als Grenze zwischen Positiver- und Negativer Ladung der Hydrometeore angegeben.

Dass sich die durch den Ladungstrennungsprozess entstandenen Ladungszentren nicht durch Leckströme wieder auflösen lässt sich folgendermaßen erklären:

„Da die elektrischen Ladungen meist auf Hydrometeoren geringer Beweglichkeit anhaften, ist die Wolke ein relativ guter Isolator und die Leckströme zwischen den Ladungszentren haben einen denkbar geringen Effekt auf den Ladungstrennungsprozess (Uman Rakov, 2003).“

Somit ist es möglich, dass Ladungszentren sich aufbauen und auch bestehen bleiben können.

2.2.2. Elektrische Struktur einer Gewitterwolke

Ausgehend vom Ladungstrennungsmechanismus entstehen Ladungszentren in einer Gewitterwolke. Diese Ladungszentren, sowohl positiver als auch negativer Polarität, verteilen sich vereinfacht betrachtet in einer Tripolstruktur vertikal von der Wolkenbasis bis zum höchsten Punkt einer Gewitterwolke, beginnend mit dem unteren positiven Ladungszentrum an der Wolkenbasis über das negative Ladungszentrum bis zum oberen positiven Ladungszentrum im oberen Drittel der Gewitterwolke.



Abbildung 3:“Eine einzelne Gewitterwolke im Zentrum von New Mexico mit einer grundlegenden Andeutung, wie elektrische Ladung innerhalb und um eine Gewitterwolke verteilt sein kann (Krehbiel, 1986).“

2.2.3. Blitzentladung

Ist die Feldstärke zwischen zwei Ladungszentren oder zwischen einem Ladungszentrum und der Erdoberfläche, die sich infolge von Influenz entgegengesetzt der Polarität des maßgeblichen Ladungszentrums auflädt, groß genug, kommt es zu einer Entladung. Diese Entladung wird als atmosphärische Entladung oder Blitz bezeichnet. Grundsätzlich werden zwei Arten⁴ von Blitzen unterschieden:

- Wolkenblitze
- Wolke-Erde Blitze

Wolkenblitze:

Wolkenblitze, oder auch Wolkenentladungen genannt, sind Entladungen, die sich zwischen zwei Ladungszentren entgegengesetzter Polarität innerhalb einer Wolke (englisch „intracloud discharge“) oder zwischen zwei Ladungszentren entgegengesetzter Polarität zwischen zwei Wolken (englisch „intercloud discharge“) entladen. Diese Entladungen sind die am häufigsten in der Natur beobachteten Entladungen. Zusätzlich zu den wolkeninternen- und Wolke – Wolke Blitzen gibt es noch Entladungen, die aus der Wolke austreten aber weder den Boden, noch eine andere Wolke kontaktieren. Diese sogenannten „Leaderentladungen“ werden eher selten beobachtet (Uman Rakov, 2003).

⁴ Auf Entladungsphänomene wie „Kobolde“, „Jets“ und Ähnliches wird in dieser Arbeit nicht eingegangen.



Abbildung 4: Drei Bilder einer Leaderentladung. Jedes Bild hat einen Belichtungszeitraum von 5 ms. Bild a) bis Bild c) sind in chronologischer Reihenfolge geordnet und belichten den Zeitraum von 18.07.2010 00:22:55:900 Uhr UTC bis 18.07.2010 00:22:55:915 Uhr UTC.

In Abbildung 4 sieht man ein Beispiel für eine „Leaderentladung“, aufgenommen am 18.07.2010 um 00:22:55 Uhr UTC in Hammersberg südöstlich vom Schöckl bei Graz (Österreich). Diese „Leaderentladung“ ist Teil eines negativen Wolke-Erde Blitzes. Bild a) zeigt den Belichtungszeitraum von 00:22:55,900 bis 00:22:55,905. Auf diesem Bild ist noch kein Leader zu erkennen. Bild b) zeigt den Belichtungszeitraum von 00:22:55,905 bis 00:22:55,910. In dieser Abbildung kann man eine „Leaderentladung“ erkennen, die weder die Erdoberfläche noch eine Wolke kontaktiert. Bild c) zeigt den Belichtungszeitraum von 00:22:55,910 bis 00:22:55,915. Die „Leaderentladung“ aus Bild b) ist auf diesem Bild nicht mehr zu erkennen. Man kann davon ausgehen, dass der Leader weder Bodenkontakt noch Kontakt zu einer anderen Wolke hat.

Wolkenentladungen haben keinen Bodenkontakt. Abgesehen von induzierten Spannungen aufgrund der magnetischen Kopplung in Leiterschleifen, wie zum Beispiel Hochspannungsfreileitungen es sind, geht von Wolkenentladungen keine direkte Gefahr für das Leben von Menschen und Tieren am Boden aus. Wolkenblitze lösen auch keine Waldbrände aus und zerstören Gebäude weder mechanisch noch thermisch. Sie stellen höchstens eine Gefahr für Flugzeuge und andere Flugobjekte dar, die durch ein Gewitter fliegen (Uman Rakov, 2003).

Wolke-Erde Blitze:

Als Wolke-Erde Blitze, oder auch Wolke-Erde Entladungen (englisch „cloud to ground discharge“) genannt, bezeichnet man Entladungen zwischen einem Ladungszentrum in einer Gewitterwolke und der Erdoberfläche. Wolke-Erde Blitze können aus mehreren Teilblitzen (englisch „strokes“) bestehen, deren Summe einen Blitz ergibt. Teilblitze können immer den gleichen Entladungskanal zwischen Wolke und Erdoberfläche verwenden oder auch eigenständige Kanäle entwickeln.

Abhängig von der Bewegungsrichtung des Leitblitzes (englisch „leader“) und der Art der transportierten Ladung unterscheidet man grundsätzlich fünf Arten von Wolke-Erde Blitzen:

- negative Wolke-Erde Entladung
- negative Erde-Wolke Entladung
- positive Wolke-Erde Entladung
- positive Erde-Wolke Entladungen
- Bipolare Entladungen

Bei Wolke-Erde Entladungen wächst der Leitblitz ausgehend von der Wolke in Richtung Erdoberfläche. Bei Erde-Wolke Entladungen wächst der Leitblitz von der Erdoberfläche in Richtung Wolke. Optisch unterscheiden kann man solche Entladungen einerseits an der Vorwachsrichtung des Leitblitzes und andererseits an der Richtung der Verästelungen. Bei Wolke-Erde Entladungen sind die Verästelungen zur Erdoberfläche hin gerichtet, bei Erde-Wolke Entladungen zur Wolke. Negative Wolke-Erde Blitze bzw. Erde-Wolke Blitze transportieren negative Ladung, positive Wolke-Erde Blitze bzw. Erde-Wolke Blitze

transportieren positive Ladung. Bei bipolaren Entladungen transportiert ein Teil der Teilblitze positive Ladung, der andere Teil der Teilblitze negative Ladung. Folgedessen müssen bipolare Entladungen aus mindestens zwei Teilblitzen bestehen, bei denen ein Teilblitz positive Ladung transportiert und der andere Teilblitz negative Ladung transportiert. Die Polarität des elektrischen Feldes gibt Aufschluss über die Polarität der transportierten Ladung aber nicht darüber, ob es sich um eine Wolke-Erde- oder Erde-Wolke Entladung handelt (Uman Rakov, 2003). Die Kombination von Bildmaterial und elektrischen Feldmessdaten gibt Aufschluss darüber, um welche der fünf oben genannten Entladungstypen es sich handelt.

Negative Wolke-Erde Entladungen:

Negative Wolke-Erde Entladungen sind Blitze, deren Leitblitz von der Wolke in Richtung Erde vorwächst und die negative Ladung transportieren. Diese Art von Entladungen zwischen Wolke und Erdoberfläche ist die am häufigsten beobachtete. Negative Wolke-Erde Blitze besitzen meist eine Vielzahl von Teilblitzen. Jeder Teilblitz führt eigenständig negative Ladung gegen Erde ab.

Wie in Kapitel 2.2.2. beschrieben liegt dem Entladungsprozess eine Ladungsverteilung in der Gewitterwolke zu Grunde. Aufgrund der hohen Feldstärken zwischen den Ladungszentren und zwischen den Ladungszentren und der Erdoberfläche kommt es zur Entstehung eines Leitblitzes dessen Vorwachsrichtung zur Erdoberfläche hin gerichtet ist. Dieser Leitblitz wächst in Ruckstufen von einigen hundert Meter pro Millisekunde ausgehend von der Wolke in Richtung Erdoberfläche vor. Dieser Stufenleitblitz wird englisch als „stepped leader“ bezeichnet. Befindet sich der Leitblitz in einer Höhe von 50m bis 100m über der Erdoberfläche steigt die elektrische Feldstärke zwischen dem Leitblitz und der Erdoberfläche dermaßen an, dass von der Erdoberfläche ausgehend, sogenannte Fangentladungen dem Leitblitz entgegen wachsen. Diese Fangentladungen gehen meist von attraktiven Einschlagpunkten, wie z.B. hohe Gebäude, Masten, einzelne Bäume, aus. Kontaktiert der Leitblitz eine oder mehrere dieser Fangentladungen so kommt es zur Entladung der Ladung des Leitblitzes zum Boden hin. Englisch wird dieser Entladungsprozess als „return stroke“ bezeichnet. Im direkten Anschluss an die Entladung der Ladung des Leitblitzkopfes kann auch Ladung des Ladungszentrums der Wolke gegen Erde abgeführt werden. Dieser Entladungsprozess kann bis zu einigen hundert Millisekunden andauern. Ist das gesamte Ladungszentrum entladen, so kommt es zu keiner weiteren Entladung im Zuge dieses Blitzes.

Sind noch Teile des ursprünglichen Ladungszentrums vorhanden, so besteht die Möglichkeit, dass weitere Teilblitze auftreten. Für diesen Fall ist zu unterscheiden, ob sich das Ladungszentrum über den gleichen Entladungskanal wie der erste Teilblitz entlädt oder ob sich ein neuer Kanal gegen Erde ausbildet. Wird ein neuer Entladungskanal gegen Erde ausgebildet, kommt es zum gleichen Ablauf wie oben beschrieben. Wird jedoch für einen weiteren Teilblitz ein bereits verwendeter, ionisierter Entladungskanal genutzt, so muss lediglich der Kontakt zum noch bestehenden Teil des Ladungszentrums hergestellt werden um die noch vorhandene Ladung gegen Erde abzuführen. Bei Teilblitzen die einen bereits verwendeten Entladungskanal benutzen sind Effekte wie Stufenweises Vorwachsen des Leitblitzes, Verästelungen oder Fangentladungen nicht zu erkennen, da ein ionisierter und folgedessen elektrisch gut leitfähiger Entladungskanal zwischen Wolke und Erdoberfläche nicht mehr erzeugt werden muss sondern bereits besteht (Uman Rakov, 2003).

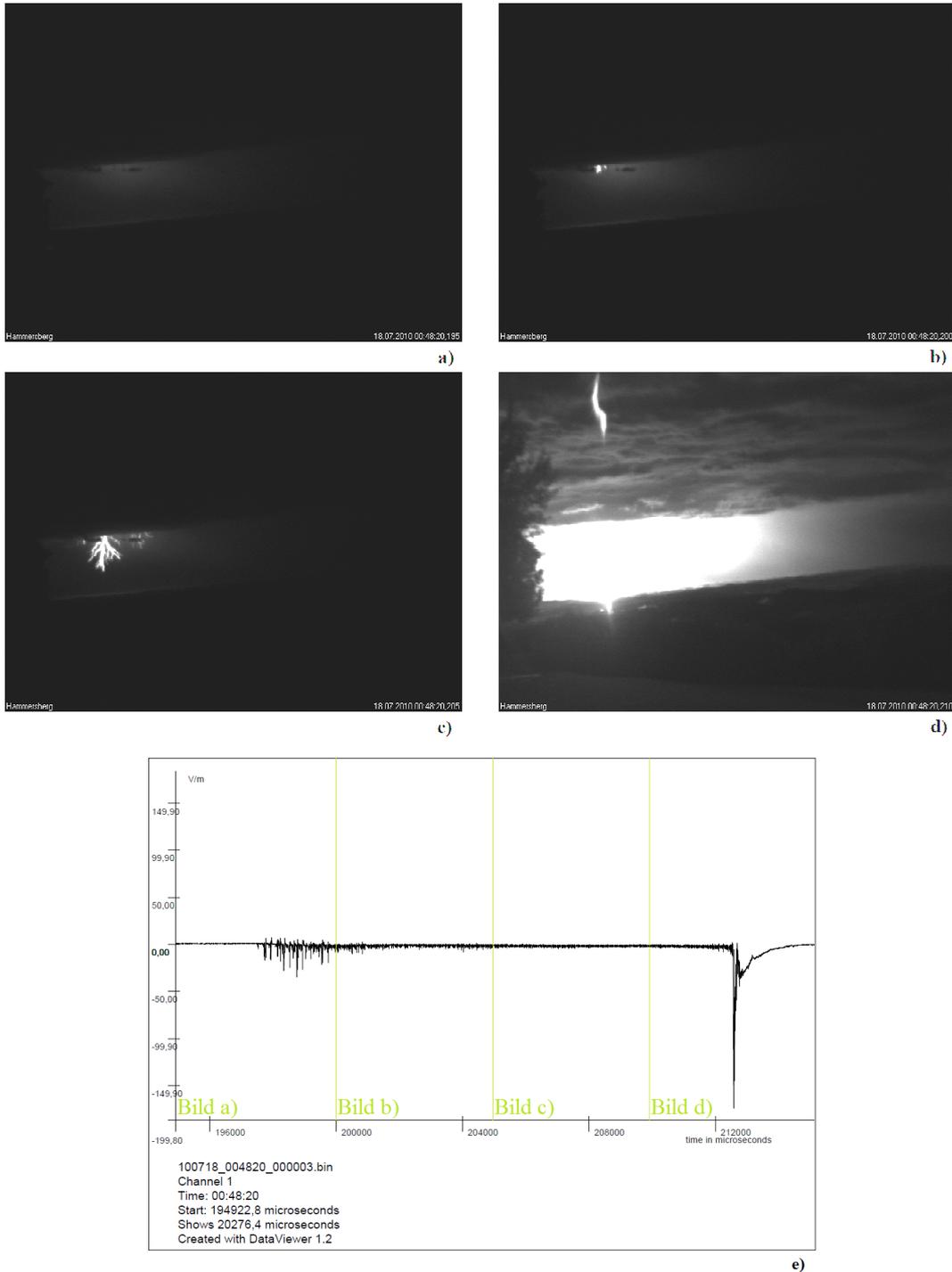


Abbildung 5: Vier Bilder des Erstblitzes einer negativen Wolke-Erde Entladung mit Vorwachsen des Leitblitzes und Kontaktierung der Erdoberfläche. Jedes Bild hat einen Belichtungszeitraum von 5 ms. Bild a) bis Bild d) sind in chronologischer Reihenfolge geordnet und belichten den Zeitraum von 18.07.2010 00:48:20,195 Uhr UTC bis 18.07.2010 00:22:55,215 Uhr UTC. Bild e) zeigt den Verlauf des gemessenen elektrischen Feldes in Abhängigkeit der Zeit zugeschnitten auf den Gesamtbelichtungszeitraum der Bilder a) bis d)

Negative Erde-Wolke Entladungen:

Negative Erde-Wolke Entladungen sind Blitze, deren Leitblitz von der Erdoberfläche in Richtung Wolke vorwächst und die negative Ladung transportieren. Negative Erde-Wolke Entladungen gehen meist von hohen Punkten an der Erdoberfläche, wie z.B. Rundfunksendemasten auf Bergen oder Hügeln, aus (Uman Rakov, 2003).

Positive Wolke-Erde Entladungen:

Positive Wolke-Erde Entladungen sind Blitze, deren Leitblitz von der Wolke in Richtung Erde vorwächst und die positive Ladung transportieren. Diese Art von Entladungen zwischen Wolke und Erdoberfläche wird seltener als negative Wolke-Erde Blitze beobachtet. Positive Wolke-Erde Blitze bestehen meist aus nur einem Teilblitz (englisch „single stroke Flash“). Positive Wolke Erde Blitze besitzen durchschnittlich auch eine höhere Stromamplitude als negative Wolke-Erde Blitze.

Der Entladungsprozess einer positiven Wolke-Erde Entladung zwischen dem positiven Ladungszentrum und der Erdoberfläche geht, wie schon beim negativen Wolke Erde Blitz beschrieben, vor sich. Im Gegensatz zu negativen Wolke-Erde Entladung wird bei positiven Wolke Erde Entladungen positive Ladung gegen Erde abgeführt.

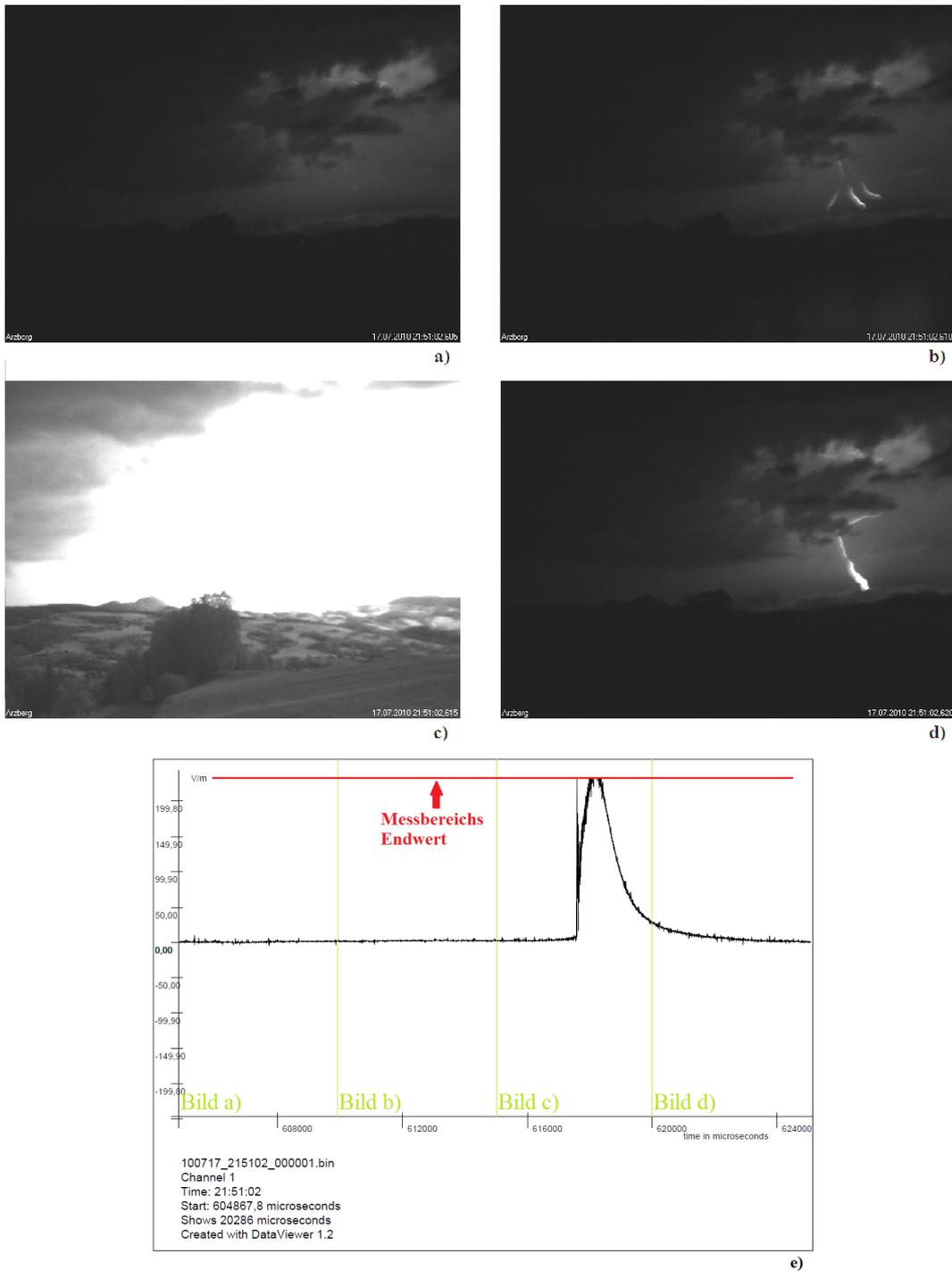


Abbildung 6: Vier Bilder einer positiven Wolke-Erde Entladung mit dem Leitblitz und Kontaktierung der Erdoberfläche. Jedes Bild hat einen Belichtungszeitraum von 5 ms. Bild a) bis Bild d) sind in chronologischer Reihenfolge geordnet und belichten den Zeitraum von 17.07.2010 21:51:02,605 Uhr UTC bis 17.07.2010 21:51:02,625 Uhr UTC. Bild e) zeigt den Verlauf des gemessenen elektrischen Feldes in Abhängigkeit der Zeit zugeschnitten auf den Gesamtbelichtungszeitraum der Bilder a) bis d). In Bild e) ist zu erkennen, dass ein Teil des Verlaufs des gemessenen elektrischen Feldes außerhalb des Messbereichs liegt.

Weiters sind bei positiven Wolke-Erde Entladungen keine derart starken Verästelungen des Leitblitzes in Richtung Erdoberfläche zu erkennen wie es bei negativen Wolke-Erde Entladungen der Fall ist.

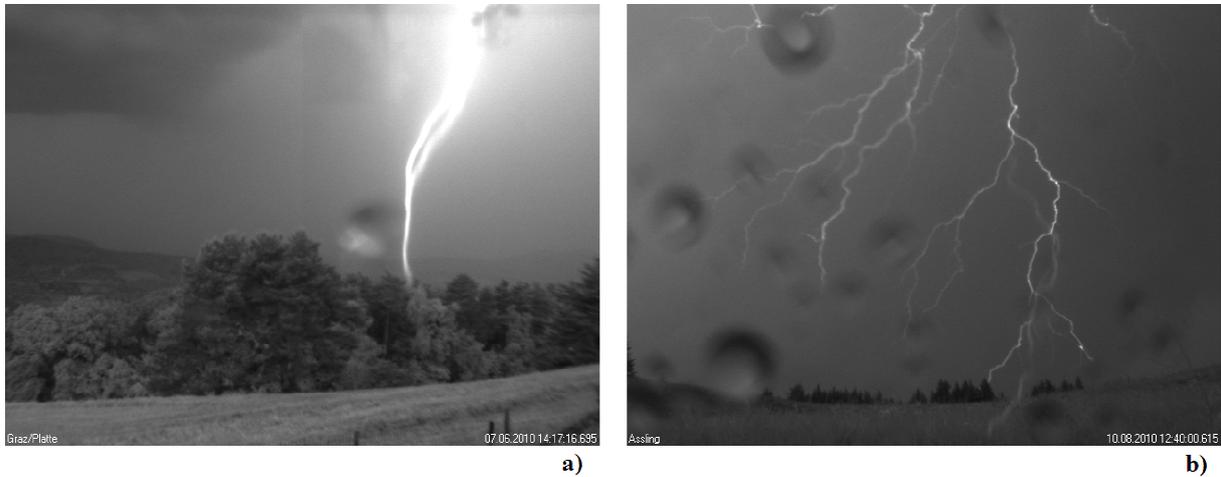


Abbildung 7: Bild a) zeigt den Leitblitz einer positiven Wolke-Erde Entladung aufgenommen am 07.06.2010 auf der „Platte“ bei Graz (Österreich). Es sind keine Verästelungen zu erkennen. Bild b) zeigt den Leitblitz einer negativen Wolke Erde Entladung aufgenommen am 10.08.2010 in Assling (Österreich). Es sind eine Vielzahl von Verästelungen des Leitblitzes zu erkennen.

Positive Erde-Wolke Entladungen:

Positive Erde-Wolke Entladungen sind Blitze, deren Leitblitz von der Erdoberfläche in Richtung Wolke vorwächst und die positive Ladung transportieren. Wie auch negative Erde-Wolke Entladungen gehen positive Erde-Wolke Entladungen meist von hohen Punkten an der Erdoberfläche aus (Uman Rakov, 2003).

2.3. Relevante Messgrößen für die Ortung atmosphärischer Entladungen in Österreich

Ziel der Ortung atmosphärischer Entladungen gegen Erde ist, einer auftretenden atmosphärischen Entladung einen Zeitpunkt und einen Kontaktpunkt auf der Erdoberfläche zuzuordnen. Zusätzlich zu Zeit und Ort ist es sinnvoll, die Polarität der Entladung zu kennen. Die Sensoren des österreichische Blitzortungssystems ALDIS messen:

- Uhrzeit
- Magnetische Feldstärke sowie den Einfallswinkel des magnetischen Feldes
- Elektrische Feldstärke

Wird von Sensoren ein Signal gemessen, welches der Signalform einer atmosphärischen Entladung entspricht so werden die gemessenen Daten zum zentralen „Lightning Processor (LP2000)“ übermittelt. Die erste Aufgabe des „Lightning Processors“ besteht darin, aufgrund der genauen Zeitmarke alle Sensordaten zu gruppieren die zum selben Blitzschlagereignis gehören. Stehen für ein Blitzschlagereignis Daten von genügend Sensoren zur Verfügung so kann der Einschlagpunkt der atmosphärischen Entladung berechnet werden. (ALDIS, 2011).

Aus den gemessenen Größen der Sensoren werden vom „Lightning Processor“ folgende Parameter von atmosphärischen Entladungen ermittelt:

- Datum
- Uhrzeit
- Koordinaten des Einschlagpunktes
- Polarität
- Anzahl der Teilblitze
- Scheitelwert des Blitzstroms

Es gibt verschiedene Arten, wie die Berechnung des Einschlagpunktes durchgeführt werden kann. Eine Möglichkeit ist die Laufzeitmessung. Grundlage dafür ist eine Zeitmessung. Wird eine atmosphärische Entladung von mindestens drei (besser vier oder mehr) Sensoren erfasst so kann man aufgrund der Laufzeitunterschiede der elektrischen- bzw. magnetischen Felder vom Entladungskanal bis zu den Sensoren den Einschlagpunkt eindeutig bestimmen wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Felder bekannt ist. Dieses Verfahren wird im Englischen auch als „time of arrival – TOA“ Verfahren bezeichnet. Eine weitere Möglichkeit ist eine sogenannte Richtungspeilung. Grundlage dieses Verfahrens ist die Messung des magnetischen Feldes mit zwei orthogonal aufeinander stehenden Magnetfeld Antennen. Kennt man die Ausrichtung der Antenne, so kann man den magnetischen Feldimpuls in seine Richtungskomponenten aufspalten und daraus den Winkel bestimmen, aus der der magnetische Feldimpuls kommt. Wird eine atmosphärische Entladung von zwei Sensoren erfasst so ergibt der Schnittpunkt der sich aus den Richtungen ergebenden Geraden den Ort des Blitzeinschlags (Für zwei Sensoren ergeben sich Bereiche, in denen keine Ortung möglich ist, bei drei oder mehr Sensoren mit einer günstigen Positionierung ist die Ortung innerhalb der Reichweite der Sensoren für den gesamten Bereich der Reichweite möglich). Dieses Verfahren wird im Englischen auch als „magnetic direction finding – MDF“ Verfahren bezeichnet. Die Kombination von Laufzeitpeilung und Richtungspeilung ergibt eine weitere Möglichkeit der Bestimmung des Einschlagpunktes. Bei Verwendung des Kombinierten Verfahrens aus Richtungs- und Laufzeitpeilung muss eine atmosphärische Entladung lediglich von zwei Sensoren detektiert werden damit die Bestimmung des Einschlagpunktes durchgeführt werden kann. Der Ortungsalgorithmus des österreichischen Blitzortungssystems arbeitet mit diesem kombinierten Verfahren zur Ortung des Einschlagpunktes. (ALDIS, 2011).

Mit einer Plattenantenne wird das elektrische Feld einer atmosphärischen Entladung gemessen. Diese Messung gibt Aufschluss über die Polarität der atmosphärischen Entladung.

Kennt man Zeit und Ort der Teilblitze einer atmosphärischer Entladungen so ist es möglich diese Entladungen in Blitze zusammenzufassen. Wie schon in Kapitel 2.2.3 beschrieben kann ein Blitz aus mehreren Teilblitzen bestehen. Ein Ortungssystem erfasst Teilblitze. Befinden sich innerhalb eines definierten Zeitraums und Gebietes mehrere Teilblitze, so werden diese

Teilblitze zu einem Blitz zusammengefasst. In Österreich werden alle Teilblitze, die innerhalb einer Sekunde und im Umkreis von 10km vom ersten Teilblitz auftreten, zu einem Blitz zusammengefasst.

2.4. Blitzortung in Europa und Österreich

2.4.1. EUCLID

„Das Europäische Blitzortungssystem EUCLID (englisch „European Cooperation for Lightning Detection“) ist ein Zusammenschluss vieler nationaler Blitzortungssysteme zu einem europäischen Blitzortungssystem. Zu den ins EUCLID System integrierten Ländern gehören Deutschland, Österreich, Ungarn, Tschechien, Slowenien, Niederlande, Belgien, Luxemburg, Italien, Polen, Slowakei, Norwegen, Finnland, Dänemark, Schweden und Frankreich. Das EUCLID System besteht derzeit aus etwa 140 Sensoren deren Zweck die Ortung atmosphärischer Entladungen ist (EUCLID, 2011)“



Abbildung 8: „Sensorstandorte des EUCLID Netzwerks (Stand 2008) (ALDIS, 2011)“

2.4.2. ALDIS

„ALDIS (Austrian Lightning Detection and Information System) ist ein Gemeinschaftsprojekt von ÖVE, Siemens und Verbund zur Blitzortung und Blitzdokumentation im zentraleuropäischen Raum und liefert exakte Blitzdaten an Wetterdienste, Energieversorgungsunternehmen, Versicherungen und Sachverständige. ALDIS ist darüber hinaus weltweit anerkannte Blitzforschungsstelle. Forschungsergebnisse werden in renommierten Fachzeitschriften und bei internationalen Konferenzen präsentiert (ALDIS, 2011)“

Das Blitzortungssystem ALDIS betreibt acht Sensoren des Herstellers VAISALA vom Typ LS7000, die verteilt über Österreich positioniert sind. Die verwendeten Sensoren haben einen mittleren Empfangsbereich von 400 km und decken somit das gesamte Österreichische Staatsgebiet sowie Teilgebiete der Nachbarstaaten ab (ALDIS, 2011).

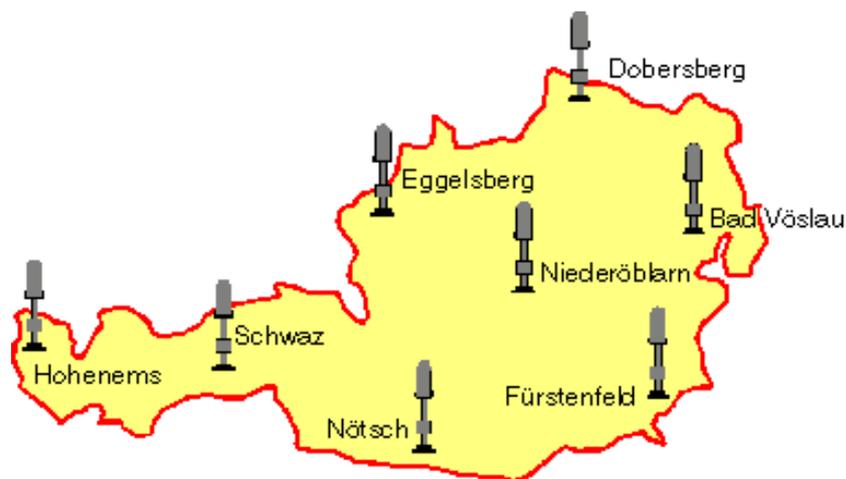


Abbildung 9: Verteilung der vom ALDIS betriebenen Sensoren über Österreich (ALDIS, 2011)

VAISALA LS7000:

Im Netzwerkbetrieb ergibt sich aus den Technischen Daten des Sensors eine Detektionseffizienz von mehr als 90% für Wolke – Erde Entladungen und 5% bis 30% für Wolkenentladungen. Die Sensoren sollten in Abständen von 15 km bis 350 km positioniert werden. Das Frequenzband, in dem die Sensoren arbeiten liegt zwischen 1 kHz und 350 kHz. Zur Synchronisation der Zeit verfügt jeder Sensor über einen GPS Empfänger. Die Zeitgenauigkeit beträgt etwa 100 ns (VAISALA, 2011).

3. Messtechnik und Messungen

Grundlage der Diplomarbeit „Elektrische Feldmessungen atmosphärischer Entladungen“ ist die Gewinnung von Messdaten unabhängig von den Messungen des ALDIS bzw. EUCLID Netzwerks. Um diese Messdaten gewinnen zu können bedarf es eines Messsystems, das in der Lage ist von atmosphärischen Entladungen emittierte Signale zu messen und den gemessenen Signalen einen Zeitpunkt zuzuordnen. Es gibt verschiedene Signale, die von atmosphärischen Entladungen emittiert werden und deren Messung möglich ist. Das verwendete, vom Ortungssystem unabhängige Messsystem ist in der Lage elektrische Felder atmosphärischer Entladungen sowie Bilder mit einer Hochgeschwindigkeitskamera zeitsynchronisiert aufzunehmen.

3.1. Grund für die Messung elektrischer Felder und die Aufnahme von Kameradaten

Elektrische Feldmessung atmosphärischer Entladungen bietet eine Reihe von Vorteilen. Einerseits sind elektrische Felder atmosphärischer Entladungen über weite Entfernungen eindeutig messbar (mehr als 100 km). Folgedessen ist es nicht notwendig, sich in unmittelbarer Umgebung eines Gewitters aufzuhalten, um aussagekräftige elektrische Feldmessdaten atmosphärischer Entladungen zu erhalten. Weiters gibt der charakteristische Feldverlauf des elektrischen Feldes einer atmosphärischen Entladung Aufschluss über den Beginn der Entladung. Der Aufbau der elektrischen Feldantenne kann simpel und robust ausgeführt werden und ist somit gut geeignet für den permanenten Transport in einem PKW. In Summe bietet die Messung elektrischer Felder eine geeignete Möglichkeit, um atmosphärische Entladungen aufgrund ihrer charakteristischen Felder zu identifizieren.

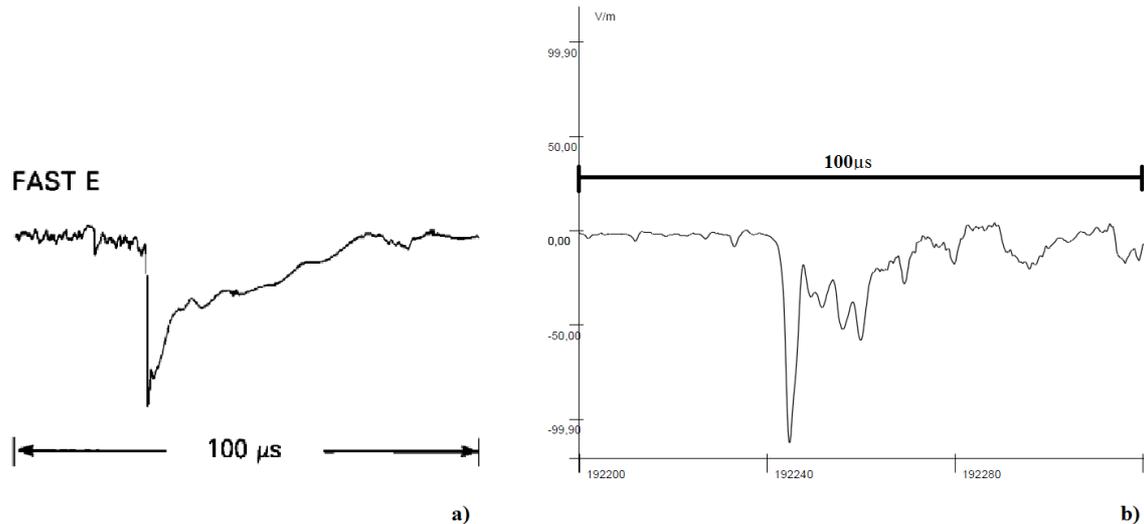


Abbildung 10: Bild a) zeigt den Verlauf des elektrischen Feldes einer negativen Wolke Erde Entladung aufgenommen am 31. Juli 1987 (Le Vine, 1989). Bild b) zeigt den Verlauf des elektrischen Feldes einer negativen Wolke Erde Entladung aufgenommen mit dem mobilen Feldmesssystem am 18. Juli 2010 in Hammersberg.

Die in Abbildung 10 gegenübergestellten elektrischen Feldverläufe sollen zeigen, dass die Feldmessdaten des mobilen Feldmesssystems Feldverläufe liefern, die durchaus mit bereits gemessenen Feldverläufen vergleichbar sind.

Die im Zuge der Messungen aufgenommenen Kameradaten sollen hauptsächlich als Beweis für die tatsächliche Existenz eines Entladungskanals gegen Erde dienen. Die Zeitauflösung der Kameradaten mit 200 Bildern pro Sekunde bzw. 5 Millisekunden Belichtungszeit pro Bild ist zu gering, um einer atmosphärischen Entladung einen Zeitpunkt zuordnen zu können. Es besteht die Möglichkeit, dass im Belichtungszeitraum von 5 ms je Bild mehr als eine Entladung auftritt und somit eine zeitliche Trennung von Entladungen nicht immer möglich ist. Abgesehen von der Beweisfunktion der Kameradaten können noch Aussagen über den Fußpunkt eines Entladungskanals getroffen werden.

Erst die Kombination aus elektrischen Feldmessdaten und Kameradaten genügt dem Anspruch, der an die Qualität der Messdaten gestellt wird.

3.2. Mobiles Feldmesssystem

Die Messdaten, die Grundlage dieser Diplomarbeit sind, wurden mit einem mobilen Feldmesssystem aufgenommen. Das mobile Feldmesssystem wurde von den Mitarbeitern der Forschungsgruppe ÖVE – ALDIS (Österreichischer Verband für Elektrotechnik – Austrian Lightning Detection and Information System) entwickelt. Es soll im Bezug auf diese Arbeit dem Zweck dienen, unabhängig von einem installierten Blitzortungssystem, Signale atmosphärischer Entladungen zu messen und die so gewonnenen Daten mit den Daten des Blitzortungssystems zu vergleichen. Das mobile Feldmesssystem ermöglicht die Messung elektrischer Wechselfelder in Abhängigkeit der Zeit und die Aufnahme von Bilddaten mit einer „Hochgeschwindigkeitskamera“ (200 Bilder pro Sekunde). Sowohl Feldmessdaten als auch Bilddaten können einem bestimmten Zeitpunkt und Ort zugeordnet werden, da das mobile Feldmesssystem mittels GPS Antenne zeitsynchronisiert und der Ort der Messung über GPS ermittelt wird. Somit können alle Daten gewonnen werden, die zu dem geforderten Datenvergleich herangezogen werden müssen.

3.2.1. Komponenten

Das mobile Feldmesssystem besteht aus einer Vielzahl von Komponenten die verschiedene Aufgaben zu erfüllen haben. Grundsätzlich lassen sich die Komponenten bezüglich ihrer Aufgaben folgendermaßen trennen:

- Komponenten der Messung elektrischer Felder
- Komponenten der Kameradatenerfassung
- Komponenten der Synchronisation von Zeit und Ermittlung der Position
- Komponenten der Datenverarbeitung und Bedienung
- Komponenten der Energieversorgung

Komponenten der elektrischen Feldmessung:

- Plattenantenne
- Messverstärker mit Integratorfunktion
- Elektro- Opto Wandler
- Lichtwellenleiterstrecke
- Opto- Elektro Wandler

Komponenten der Kameradatenerfassung:

- Hochgeschwindigkeitskamera
- Stativ

Komponenten der Synchronisation von Zeit und Ermittlung der Position:

- GPS Antenne

Komponenten der Datenverarbeitung und Bedienung:

- PC mit speziellen Karten und Software
- Maus
- Tastatur
- Bildschirm
- Taster zur Triggerauslösung per Hand

Komponenten der Energieversorgung:

- Benzinbetriebenes Stromaggregat
- Verlängerungskabel
- Akkumulator zur Versorgung des Messverstärkers mit Integratorfunktion
- Akkumulator und DC/DC Wandler zur Versorgung des Elektro- Opto Wandlers

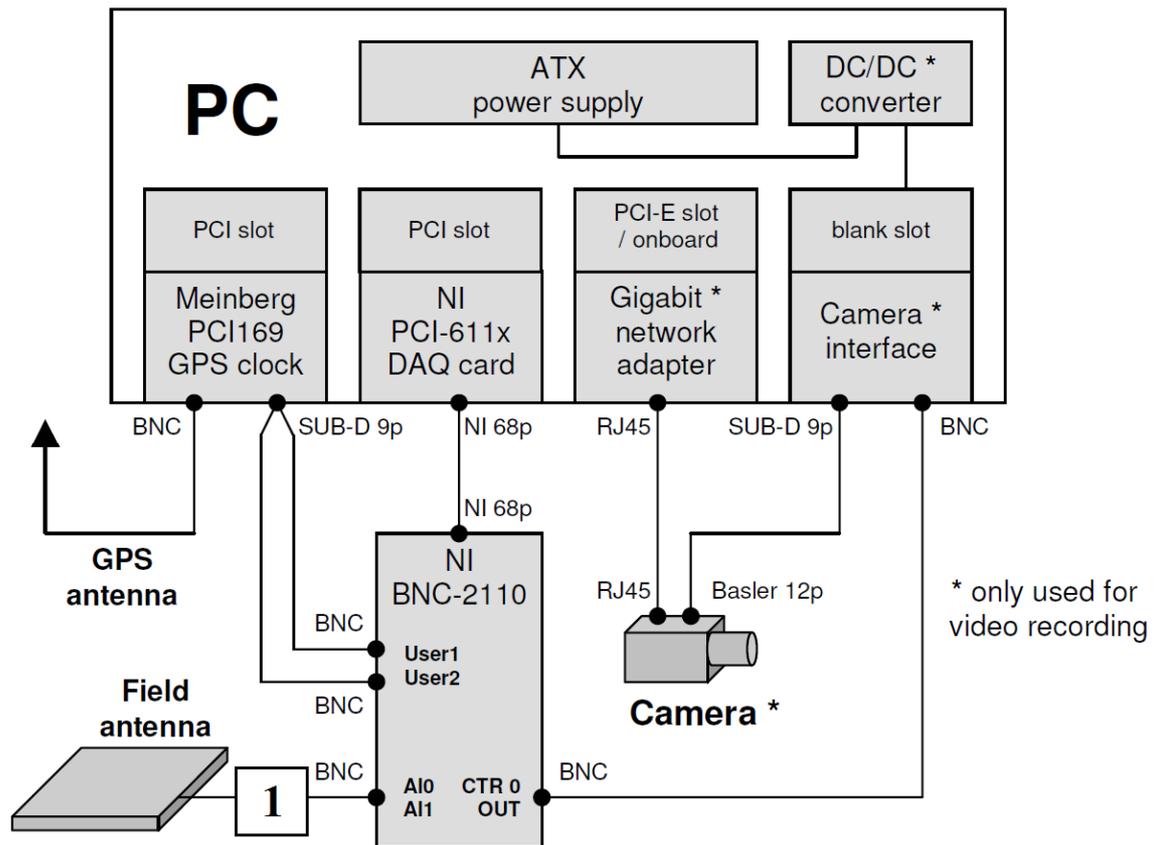


Abbildung 11: Schematische Darstellung des mobilen Feldmesssystems mit seinen Komponenten und deren Verbindung. In dieser Darstellung sind die Komponenten der Energieversorgung sowie Maus, Tastatur, Bildschirm und Taster zur Triggerauslösung per Hand nicht berücksichtigt. Die Komponenten Messverstärker mit Integratorfunktion, Elektro- Opto Wandler, Lichtwellenleiterstrecke und Opto- Elektro Wandler sind in dieser Darstellung im Kästchen „1“ enthalten. Eine detaillierte Beschreibung der Komponenten „elektrische Feldmessung“ folgt in Kapitel 3.2.2 (ALDIS, 2009).



Abbildung 12: Realer Aufbau des mobilen Feldmesssystems mit dessen im Freien liegenden Komponenten.

- 1: Plattenantenne
- 2: Messverstärker mit Integrierer und zugehörigem Akkumulator zur Energieversorgung (wasserfester Aufbau)
- 3: Elektro- Opto Wandler mit zugehörigem Akkumulator zur Energieversorgung (wasserfester Aufbau)
- 4: Lichtwellenleiterstrecke
- 5: Hochgeschwindigkeitskamera mit zugehörigem Stativ
- 6: GPS Antenne
- 7: Opto- Elektor Wandler, PC mit speziellen Karten und Software sowie Maus, Tastatur und Bildschirm zur Bedienung im Inneren des PKW aufgebaut.
- 8: benzinbetriebenes Stromaggregat

3.2.2. Funktion

Elektrische Feldmessung:

Ein wesentlicher Aufgabenbereich des mobilen Feldmesssystems in Bezug auf diese Diplomarbeit ist die Messung elektrischer Wechselfelder. Die Messung elektrischer Wechselfelder erfolgt über eine indirekte Messmethode. Die Plattenantenne ist mit einem Kondensator bekannter Kapazität und Geometrie vergleichbar bei der eine Platte auf Erdpotential liegt. Kommt es zu einer Änderung des elektrischen Feldes so fließt ein messbarer Verschiebungsstrom i . Um dem messbaren Verschiebungsstrom eine elektrische Feldstärke zuordnen zu können muss die gesamte Komponentenkette der elektrischen Feldmessung kalibriert werden.

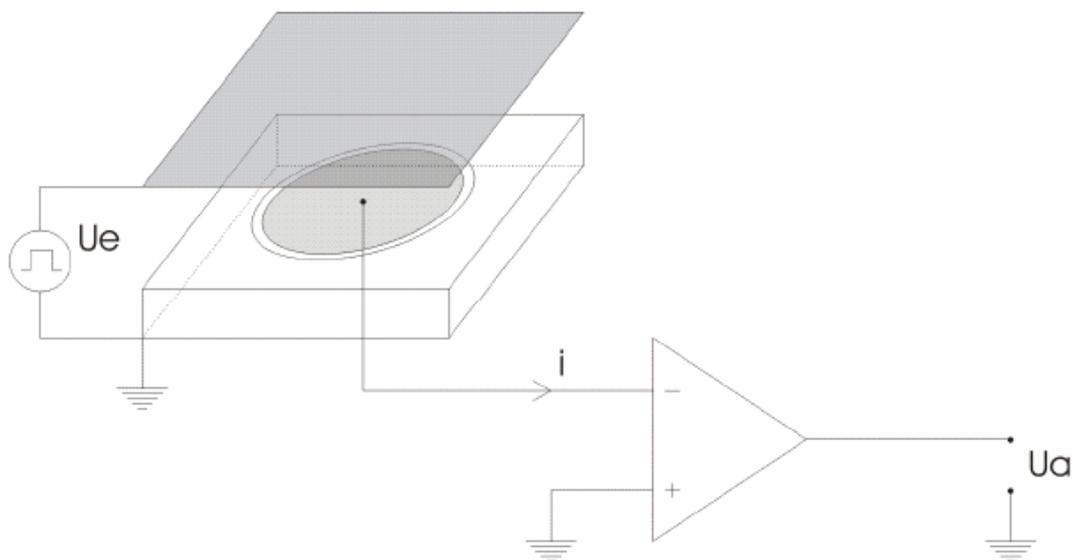


Abbildung 13: Prinzipieller Aufbau der Plattenantenne und des Messverstärkers mit Integratorfunktion (Pichler, 2004)

Oberhalb der Plattenantenne wird eine elektrisch leitende Platte in einem bekannten Abstand positioniert. An diese elektrisch leitende Platte wird eine Wechselspannung bekannter Größe, Signalform und Frequenz angelegt. Es entsteht ein elektrisches Wechselfeld zwischen der elektrisch leitfähigen Platte und der Plattenantenne. Der durch das elektrische Wechselfeld hervorgerufene Verschiebungsstrom i ist der zeitlichen Änderung des elektrischen Feldes nach Gleichung (1) proportional. „ ε_0 “ entspricht der elektrischen Feldkonstante und „ A “ entspricht der Fläche der kreisrunden Platte der Plattenantenne.

$$i = \varepsilon_0 * A * \frac{dE}{dt} \quad (1)$$

Über eine geeignete Integratorschaltung, realisiert mit einem Operationsverstärker und einem Kondensator C_i , kann das Ausgangssignal u_a des Messverstärkers mit Integrierer nach Gleichung (2) in Zusammenhang mit dem verursachenden elektrischen Wechselfeld an der Plattenantenne gebracht werden

$$u_a = -\frac{1}{C_i} \int i dt = -\frac{1}{C_i} * \varepsilon_0 * A * E \quad (2)$$

Mit dem Zusammenhang aus Gleichung (2) kann der Kalibrierfaktor cf in $\frac{mV}{V/m}$, als Verhältnis der Ausgangsspannung u_a des Messverstärkers mit Integrierer und der verursachenden elektrischen Wechselfeldstärke, nach Gleichung (3) bestimmt werden. (Pichler, 2004)

$$cf = \frac{u_a}{E} = -\frac{\varepsilon_0 * A}{C_i} \quad (3)$$

Das Ausgangsspannungssignal des Messverstärkers mit Integrator wird über Elektro- Opto Wandler, Lichtwellenleiterstrecke und Opto- Elektro Wandler zum Rechner übertragen. Mit Hilfe eines Analog Digital Wandlers wird das analoge Spannungssignal u_a mit einer Abtastrate von 5 Ms/s und einer Vertikalauflösung von 12 Bit digitalisiert und kann weiterverarbeitet werden. Durch Miteinbeziehung des Kalibrierfaktors cf kann das so gewonnene, diskretisierte Spannungssignal u_i in eine diskrete elektrische Feldstärke E_i , aufgetreten an der Plattenantenne, nach Gleichung (4) umgerechnet werden.

$$E_i = \frac{u_i}{cf} \quad (4)$$

Der Messverstärker mit Integrator besteht in seiner vorliegenden Form aus mehr Komponenten als einer reinen Integrierschaltung. Komponenten zur Kompensation des Bias

Stroms, der Offsetspannung sowie der Temperaturdrift des Operationsverstärkers sind in der Gesamtschaltung des Messverstärkers mit Integrator verschalten. Die untere Grenzfrequenz, bei der das zu messende Signal auf den Faktor $\frac{1}{\sqrt{2}}$ bzw. -3 dB gedämpft wird liegt bei den verwendeten Messverstärkern mit Integrator bei 349 Hz (Pichler, 2004).

Kameradatenerfassung:

Die Aufnahme von Bilddaten erfolgt mittels „Hochgeschwindigkeitskamera“. Einstellungen der Hochgeschwindigkeitskamera bezüglich Helligkeit und Schärfe der Bilder können per Hand am Objektiv der Kamera durchgeführt werden. Die Bilddaten werden von der Kamera direkt zum PC übertragen und dort weiterverarbeitet.

Synchronisation von Zeit und Position:

Damit die Daten des mobilen Feldmesssystems einem vom Blitzortungssystem georteten Blitz zugeordnet werden können verfügt das mobile Feldmesssystem über eine GPS Uhr die eine Zeitsynchronisation (UTC) des Messsystems via Satellit durchführt. Sowohl elektrische Feldmessdaten als auch Kameradaten verfügen somit über einen Zeitstempel und können zu einem Datenvergleich herangezogen werden. Die Genauigkeit der Zeitmessung ist ein wesentliches Kriterium für die Qualität der Messergebnisse und somit für diese Arbeit von entscheidender Bedeutung. Die Zeitsynchronisation des gesamten Messsystems wird mit einer GPS Rechner Funkuhr der Firma Meinberg vom Typ GPS169PCI realisiert (ALDIS, 2011). Diese GPS Uhr liefert bei erfolgter Synchronisation eine Impulsgenauigkeit von $< \pm 2 \mu\text{s}$ innerhalb der ersten 20 Betriebsminuten und eine Impulsgenauigkeit von $< \pm 250 \text{ ns}$ nach 20 Betriebsminuten (Meinberg, 2006).

Datenverarbeitung:

Die Komponenten zur Datenverarbeitung werden in der Regel im inneren eines PKW's aufgebaut. Dadurch sind diese Komponenten gegen Umwelteinflüsse wie z.B. Regen, Hagel, Schmutz usw. geschützt. Weiters ist ein PKW mit metallischer Karosserie mit einem faradayschen Käfig vergleichbar in dessen Inneren Feldfreiheit herrscht und somit keine Gefahr bei direktem Blitzschlag in den PKW für die sich im PKW befindlichen Personen besteht. An dieser Stelle sei auf Kapitel 3.2.4 verwiesen, wo Probleme des Faradayschen Käfigs in Zusammenhang mit dem Aufbau des Messsystems diskutiert werden.

Der PC besitzt im Groben die Aufgabe, die Komponenten des Messsystems mit Energie zu versorgen, Einstellungen des mobilen Feldmesssystems durchzuführen, die Messungen zu synchronisieren, die Messdaten weiterzuverarbeiten und zu speichern. Die Software des mobilen Feldmesssystems ermöglicht eine Reihe von Einstellungen und Arbeitsweisen die vor Beginn der Messung einzustellen sind.

Der für die Messung relevante Modus ist der sogenannte Trigger Modus. Im Trigger Modus zeichnet das Messsystem kontinuierlich Messdaten, sowohl elektrische Feldmessdaten als auch Kameradaten, in einem definierten Zeitumfang auf. Dieser Zeitumfang vor dem Triggerimpuls ist als „Pre – Trigger“ einstellbar. Die Messdaten werden in „Sekunden“ unterteilt und werden in einem Puffer gespeichert. Je nach Einstellung des Pre – Triggers befinden sich im Puffer Daten einer definierten Anzahl der zuletzt vergangenen Sekunden. Beim Übergang von einer Sekunde auf die Nächste werden die Daten der ältesten, sich im Puffer befindlichen Sekunde durch die Daten der neuen Sekunde überschrieben. Somit sind Daten aus der unmittelbaren Vergangenheit, sprich der unmittelbar vergangenen Sekunden, vorhanden. Das Trigger Signal wird per Hand, durch Mausklick oder mittels Drucktaster, ausgelöst. Durch den Eingang eines Trigger Signals werden die im Puffer vorhandenen Daten auf eine Festplatte abgespeichert. Zusätzlich werden die Daten der Sekunde, in der das Trigger Signal ausgelöst wird, auf der Festplatte abgespeichert. Die Einstellung des „Post – Triggers“ ermöglicht die Abspeicherung einer definierten Anzahl von Sekunden nach Eingang des Trigger Signals auf einer Festplatte. Somit können Daten sowohl aus der unmittelbaren Vergangenheit als auch Zukunft, bezogen auf den Eingangszeitpunkt des Trigger Signals, erfasst und gespeichert werden. Die Pre- und Post - Trigger Funktion des Messsystems ist unerlässlich, da einerseits das Trigger Signal in der Regel erst per Hand ausgelöst werden kann, wenn eine zu messen relevante Aktivität, sprich eine atmosphärische Entladung, wahrgenommen wird und andererseits eine atmosphärische Entladung länger als

eine Sekunde dauern kann. Durch eine günstige Einstellung von Pre- und Post – Trigger kann gewährleistet werden, dass eine wahrgenommene atmosphärische Entladung auch vollständig vom mobilen Feldmesssystem erfasst wird.

Energieversorgung:

Das mobile Feldmesssystem wird im Inselbetrieb betrieben d.h. es ist möglich, ohne eine Verbindung zu einer externen Energiequelle, das Messsystem zu betreiben. Die Hauptenergieversorgung des mobilen Feldmesssystems erfolgt mit einem benzinbetriebenen Stromaggregat das die Versorgung des PC's und der mit dem PC galvanisch verbundenen Komponenten übernimmt. Um Störsignalen des Stromaggregats auf die elektrische Feldmessung entgegenzuwirken sollte das benzinbetriebene Stromaggregat so weit als möglich von der Plattenantenne entfernt positioniert werden. Für die Messungen des Jahres 2010 stand ein Verlängerungskabel mit einer Länge von 50 Metern zur Verfügung. Der Messzweig der elektrischen Feldmessung verfügt über eine Lichtwellenleiterstrecke. Diese Lichtwellenleiterstrecke bewirkt die galvanische Trennung zwischen PC und der elektrischen Feldantenne. Deshalb werden die Komponenten „Messverstärker mit Integrierer“ und „Elektro- Opto Wandler“, die auf eine Energieversorgung angewiesen sind, mit zwei Akkumulatoren versorgt. Die Komponente Elektro- Opto Wandler ist zudem auf eine Spannungsversorgung von 9 Volt angewiesen. Die verwendeten Akkumulatoren liefern entweder 12 Volt oder 24 Volt Klemmenspannung. Somit ist eine Umwandlung der Akkumulator Klemmenspannung von 12 Volt bzw. 24 Volt auf die geforderten 9 Volt notwendig. Dazu wurde ein handelsüblicher DC/DC Wandler verwendet. Der Betrieb des mobilen Feldmesssystems im Inselbetrieb hat den Vorteil, dass Einkopplungen von Störsignalen des elektrischen Versorgungsnetzes in die Messung weitestgehend ausgeschlossen werden können. Weiters können Messorte unabhängig von einer bestehenden Energieversorgung gewählt werden. Voraussetzung für den Inselbetrieb des mobilen Feldmesssystems ist jedoch, dass die Akkumulatoren geladen sind und eine ausreichende Menge an Treibstoff für das Stromaggregat zur Verfügung steht.

3.2.3. Messen mit dem mobilen Feldmesssystem

Zur Gewinnung einer großen Anzahl qualitativ hochwertiger Messergebnisse mit dem mobilen Feldmesssystem gilt es folgende Herausforderungen zu bewältigen:

- Geeignete Messplätze suchen
- Gewittertendenzen für die jeweiligen Gebiete abschätzen
- Rechtzeitiges Eintreffen am Messplatz

Geeignete Messplätze suchen:

Die Wahl des Messplatzes ist ein wesentliches Kriterium für die Qualität und Quantität der Messergebnisse. Zum einen sollen die elektrischen Feldmessdaten frei von Störungen der Umwelt sein und zum anderen soll optisch ein möglichst großes Gebiet eingesehen werden.

Das Mobile Feldmesssystem misst elektrische Wechselfelder der Umwelt unabhängig davon, ob diese Felder von atmosphärischen Entladungen oder von sonstigen Quellen stammen. Mögliche Quellen störender elektrischer Felder sind beispielsweise elektrische Freileitungen jeder Spannungsebene, elektrische Weidezäune und ähnliches. Messplätze sind so zu wählen, dass zwischen elektrischen Feldern von störenden Quellen und elektrischen Feldern von atmosphärischen Entladungen eindeutig unterschieden werden kann oder die elektrischen Felder störender Quellen nicht mehr messbar sind. Dies kann durch große Abstände zwischen mobilem Feldmesssystem und den störenden Quellen realisiert werden. Die Abstände vom Messplatz zu elektrischen Freileitungen sollen mindestens mehrere hundert Meter betragen.

Ein weiteres Kriterium ist der Sichtbereich vom Messplatz aus gesehen. Da das mobile Feldmesssystem Kameradaten aufzeichnet, ist es notwendig ein möglichst großes Gebiet einzusehen. Als Richtwerte kann man Sichtweiten von mindestens 15km und Sichtwinkel von mindestens 90° für eine effiziente Messung annehmen. Weiters sollte der Messplatz unterhalb einer gewissen Seehöhe liegen da man ansonsten Gefahr läuft, sich in Teilen der Wolke zu befinden was wiederum den Sichtbereich drastisch einschränken würde. Aufgrund der variablen Wolkenunterkante, abhängig von den meteorologischen Voraussetzungen wie dem erhöhten Kondensationsniveau (englisch „lifted condensation level – LCL“) und der

Forderung, dass ein Messplatz für jede Gewittersituation geeignet sein soll kann als Richtwert angenommen werden, dass der Messplatz nicht über 1200m Seehöhe liegen soll.

Um einen geeigneten Messplatz zu finden, können im Internet geeignete Orte vorselektiert werden (Google, 2010 bis 2011). Ein Lokalausweis mit Probemessung bei Schönwetter gibt Aufschluss über die Qualität des Messplatzes. Entspricht sowohl die Qualität der elektrischen Feldmessung als auch der Sichtbereich den geforderten Kriterien, so kann dieser Messplatz für Messungen in Betracht gezogen werden. Ein Lokalausweis mit Probemessung bei Schönwetter ist aus finanziellen und zeitlichen Gründen nicht immer möglich, da die Entfernung vom Wohnort bzw. Stützpunkt zu den Messplätzen oft mehrere hundert Straßenkilometer beträgt. Entspricht in diesem Fall ein vorselektierter Messplatz nicht den geforderten Kriterien so muss spontan nach einem neuen Messplatz gesucht werden. Vor Beginn der Messungen ist immer eine Probemessung durchzuführen damit die einwandfreie Funktion des mobilen Feldmesssystems gewährleistet ist und etwaige, nicht offensichtliche Störeinflüsse ausgeschlossen werden können.

Gewittertendenzen für die jeweiligen Gebiete abschätzen:

Erst wenn an einem Tag in einem gewissen Gebiet die Wahrscheinlichkeit für Gewitterbildung groß genug ist, ist es sinnvoll Messungen durchzuführen. Informationen über das aktuelle Wettergeschehen können dem Internet (ZAMG, 2010) (ORF, 2010), den Wetterberichten von landesweiten Radio- und Fernsehsendern sowie den öffentlich zugänglichen Wetterdaten (Wetterzentrale, 2011) (ZAMG, 2010) (University of Wyoming, 2011) entnommen werden. Gewitterprognosen für kleinräumige Gebiete, wie der Sichtbereich eines Messplatzes es ist, sind sehr schwierig zu erstellen und können in der gewünschten Genauigkeit nicht den öffentlich zugänglichen Informationen entnommen werden. Für Österreich ist die öffentlich zugängliche und gebietsweise genaueste Auflösung von Gewitterprognosen den Wetterwarnungen der Homepage der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik – ZAMG zu entnehmen (ZAMG, 2010). Damit genauere und aktuellere Prognosen zu jedem beliebigen Zeitpunkt für einen bestimmten Messplatz gewonnen werden können ist ein permanenter Kontakt zu Meteorologen von Vorteil. Für die Messungen im Rahmen dieser Diplomarbeit standen Meteorologen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik – ZAMG sowie des European Severe Storms Laboratory - ESSL hilfreich zur

Seite. Trotz aller Gewitterprognosen ist es unerlässlich das Wettergeschehen selbst im Auge zu behalten und die Bildung von Gewitterwolken und deren Zugrichtung zu beobachten.

Rechtzeitiges Eintreffen am Messplatz:

Um das Messsystem in Betrieb zu nehmen bedarf es einer gewissen Vorlaufzeit. Zum einen müssen die Komponenten positioniert, verkabelt und gegen Wasserschaden geschützt werden, zum anderen ist eine gewisse Zeit nötig um die GPS Synchronisation durchzuführen. Abhängig von der Sichtbarkeit von Satelliten und der Zeit, die von der letzten Synchronisation bis zur neuerlichen Synchronisation vergangen ist kann eine Synchronisation bis zu 60 Minuten⁵ dauern. Ein Eintreffen am Messplatz mindestens 90 Minuten vor Beginn der Messung ist empfehlenswert.

Erst eine Kombination aus geeignetem Messplatz, genügend hoher Gewitterwahrscheinlichkeit und rechtzeitigem Eintreffen am Messplatz ermöglicht eine große Anzahl qualitativ hochwertiger Messergebnisse.

Vorgangsweise beim Messen mit dem Mobilten Feldmesssystem:

Die Vorgangsweise beim Messen mit dem mobilen Feldmesssystem kann schematisch in einem Flussdiagramm dargestellt werden. Prinzipiell sollte die in Abbildung 14 dargestellte Vorgangsweise eingehalten werden um eine erfolgreiche Messung zu gewährleisten.

⁵ Im Handbuch Meinberg GPS169PCI wird ein Synchronisationszeitbedarf von ca.12 Minuten bei Systemneustart angegeben. Im Zuge der Messungen 2010 ergaben sich jedoch Synchronisationsdauern von bis zu 60 Minuten.

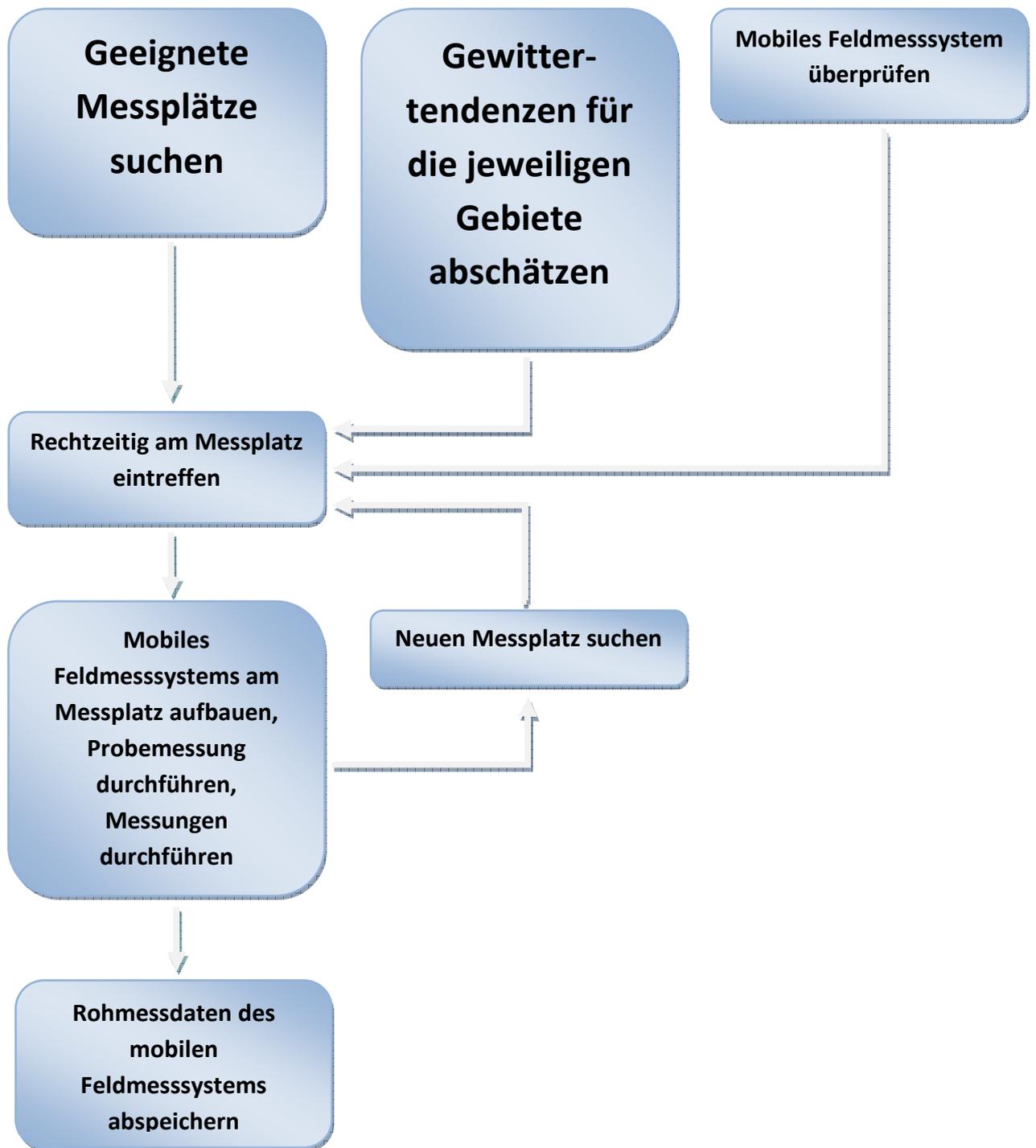


Abbildung 14: Schematische Darstellung der Vorgangsweise beim Messen mit dem mobilen Feldmesssystem

3.2.4. Probleme beim Messen mit dem mobilen Feldmesssystem:

Elektrische Feldmessung:

In den meisten Fällen sind Gewitter nicht ortsstabil. Sie bewegen sich mit einer gewissen Geschwindigkeit in eine gewisse Richtung. Dies kann den Effekt haben, dass sich ein Gewitter vom Messplatz weg, oder aber auch zum Messplatz hin bewegen kann. Für die Messung elektrischer Felder atmosphärischer Entladungen ist die Entfernung insofern ein Kriterium, da die elektrischen Felder atmosphärischer Entladungen im Nahbereich außerhalb des Messbereichs des mobilen Feldmesssystems liegen können. Das mobile Feldmesssystem kann elektrische Feldstärken von $-225 \frac{V}{m} < E < 235 \frac{V}{m}$ darstellen. Sind die elektrischen Felder größtenteils außerhalb dieser Grenzen so ist der Signalverlauf nicht mehr eindeutig erkennbar. Eine Aussage über das Auftreten einer atmosphärischen Entladung kann in solchen Fällen nur in Kombination mit den Kameradaten getroffen werden.

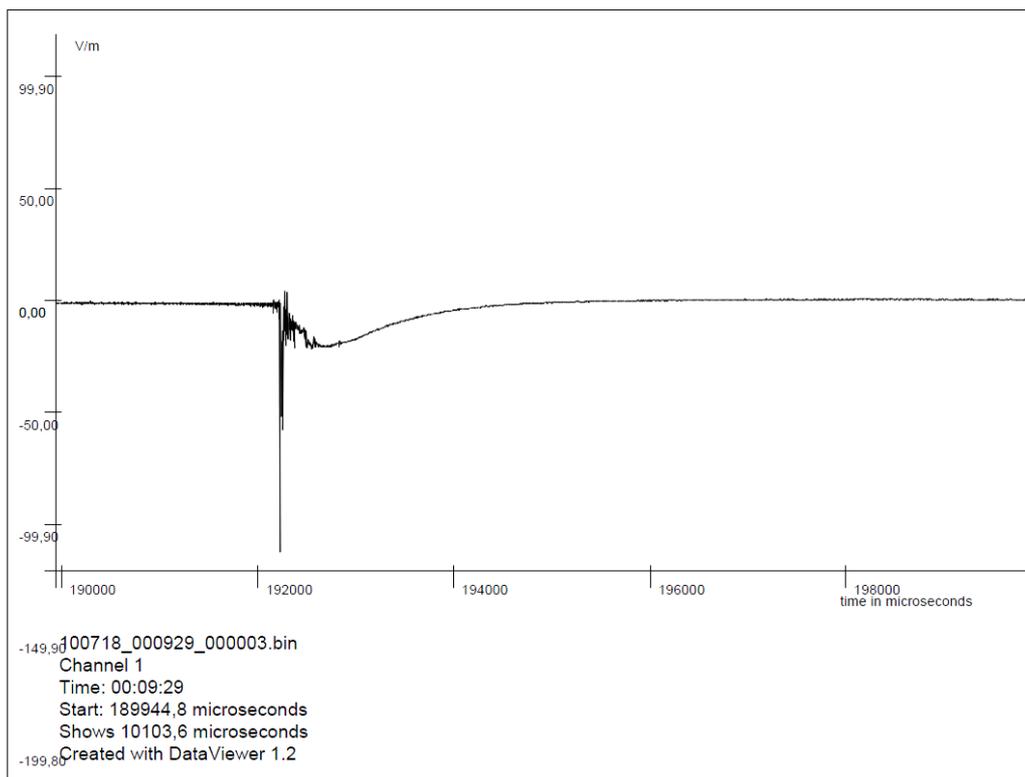


Abbildung 15: Elektrisches Feld einer negativen Wolke – Erde Entladung gemessen mit dem mobilen Feldmesssystem über einen Zeitraum vom 10 Millisekunden. Der Scheitelwert des Stroms beträgt ~ -20 kA, die Entfernung des Blitzeinschlagpunktes zum mobilen Feldmesssystem rund 28,5 km (Ortungdaten ALDIS).

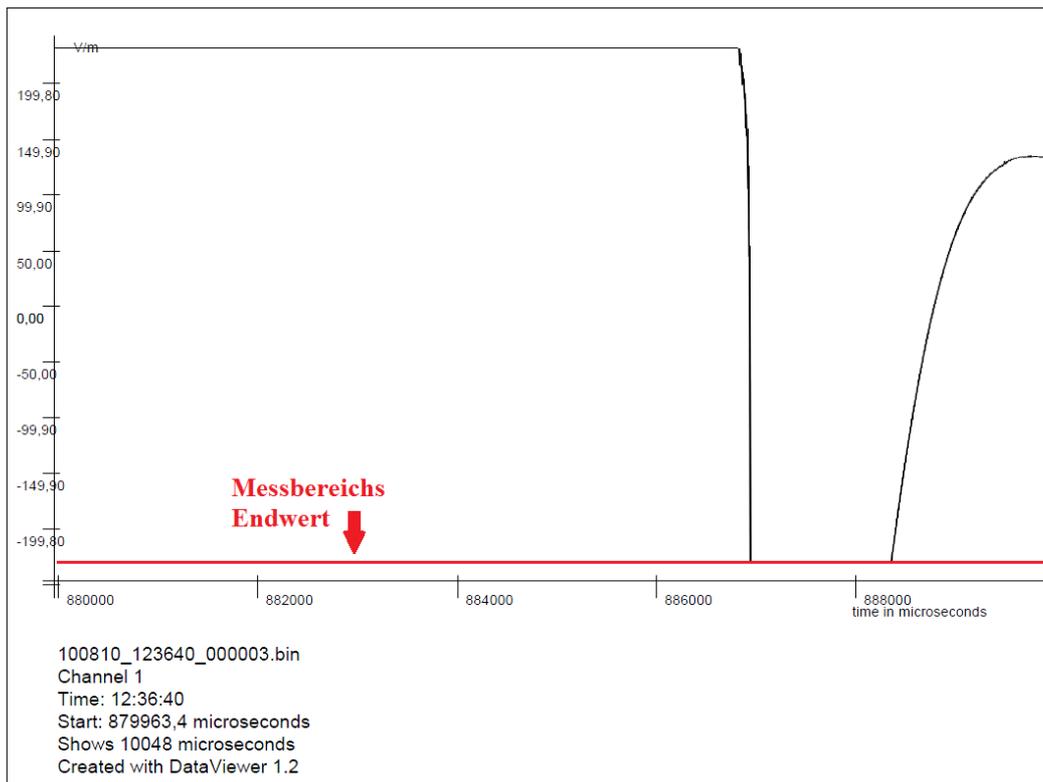


Abbildung 16: Elektrisches Feld einer negativen Wolke – Erde Entladung gemessen mit dem mobilen Feldmesssystem über einen Zeitraum von 10 Millisekunden. Der Scheitelwert des Stroms beträgt ~ -20 kA, die Entfernung des Blitzeinschlagpunktes zum mobilen Feldmesssystem rund 1,2 km (Ortungsdaten ALDIS).

Kameradaten:

Bei jeder Messung ist es notwendig die Blende der Hochgeschwindigkeitskamera auf die jeweils herrschenden Lichtverhältnisse einzustellen. Weiters ist die Schärfe der Bilder den jeweiligen Bedingungen anzupassen. Mit richtig gewählten Einstellungen von Helligkeit und Schärfe können aussagekräftige Kameradaten gewonnen werden. Messungen können sich über einen Zeitraum von mehreren Stunden erstrecken. Innerhalb dieses Zeitraums ist es möglich, dass sich die Lichtverhältnisse mehrmals ändern. Deshalb ist es notwendig, die Hochgeschwindigkeitskamera permanent auf richtige Einstellung der Blende zu überprüfen und bei Bedarf nachzustellen. Die Bedienungssoftware des mobilen Feldmesssystems ermöglicht im laufenden Betrieb die kontinuierliche Darstellung der Kamerabilder am Bildschirm. Somit kann die Kameraeinstellung bezüglich Helligkeit und Schärfe jederzeit überprüft werden.

Für ein vom Messplatz eingesehenes Gebiet reicht der Öffnungswinkel der Hochgeschwindigkeitskamera in den meisten Fällen nicht aus. Zusätzlich beschränkt sich die Blitzaktivität in der Regel nicht auf ein statisches, kleinräumiges Gebiet, das dem Öffnungswinkel der Hochgeschwindigkeitskamera entspricht, sondern verlagert sich im Lauf der Zeit auf andere Gebiete. Es ist notwendig die Blitzaktivität permanent zu beobachten und die Blickrichtung der Hochgeschwindigkeitskamera laufend auf die Gebiete höchster Blitzaktivität zu richten.

Sicherheit bei Messungen mit dem mobilen Feldmesssystem:

Grundsätzlich ist im Inneren eines PKW mit keiner Gefahr für die Gesundheit oder das Leben von Menschen in Bezug auf Blitzschläge zu rechnen. Problematisch wird es jedoch wenn elektrische Leiter ins Innere eines PKW geführt werden, deren Schirme oder PE Leiter nicht galvanisch mit der metallischen Karosserie des PKW verbunden sind. In diesem Fall entsteht das sogenannte „Faradaysche Loch“. Schlägt ein Blitz in einen Leiter ein, der ins Innere eines PKW führt so wird der Blitzstrom ins Innere des PKW geführt und wird sich im Inneren des PKW eine geeignete Ableitung gegen Erde suchen. Diese Ableitung des Blitzstroms gegen Erde kann unter Umständen auch über Personen, die sich im PKW befinden, erfolgen. In diesem Fall ist sehr wohl mit einer Gefahr für die Gesundheit oder das Leben von Menschen zu rechnen. Ein realer Aufbau des mobilen Feldmesssystems verfügt über ein „Faradaysches Loch“. Kabel der Hochgeschwindigkeitskamera, der GPS Antenne und der Energieversorgung führen, ohne galvanische Verbindung zur Karosserie, in das Innere des PKW. Die Hochgeschwindigkeitskamera, die mit ihrem Stativ eine Höhe von über zwei Metern erreichen kann, bietet sich für einen Blitzeinschlag an. Die Wahrscheinlichkeit für Blitzeinschläge ist jedoch auch für die GPS Antenne und das Stromaggregat gegeben und birgt somit Gefahren. Es kann zwar davon ausgegangen werden, dass bei einem Blitzeinschlag in die Hochgeschwindigkeitskamera, die GPS Antenne oder das Stromaggregat ein Großteil des Blitzstroms direkt gegen Erde abgeleitet wird. Dadurch wird nur ein geringer Teilblitzstrom über einen Leiter ins Innere des PKW verfrachtet, jedoch wird dadurch die Gefahr nur verringert und nicht aufgehoben. Vertikal exponierte Stellen der Erdoberfläche sind bevorzugte Einschlagpunkte von atmosphärischen Entladungen zwischen Wolke und Erde. Bei der Wahl des Messplatzes ist in Bezug auf die Sicherheit zu empfehlen, dass sich im näheren Umkreis von Hochgeschwindigkeitskamera, GPS Antenne und benzinbetriebenem Stromaggregat Masten, Bäume oder Gebilde befinden sollten, die eine größere vertikale

Ausdehnung als die sicherheitsgefährdenden Komponenten haben sollten, um das Risiko eines direkten Blitzschlags in diese Komponenten möglichst gering zu halten⁶.

Ein Aufenthalt außerhalb des PKW sollte bei genügend naher Gewitteraktivität aus Sicherheitsgründen generell vermieden werden.

3.3. Messplätze, Messtage, Verteilung über Südösterreich

An 13 Messplätzen verteilt über Südösterreich und an 15 Tagen im Zeitraum vom 27. Mai 2010 bis 8. August 2010 wurden 181 Wolke – Erde Blitze gemessen deren Messdaten von genügend hoher Qualität für eine Analyse waren. Nach den Kriterien aus Kapitel 3.2.3 wurden Messplätze verteilt über Südösterreich gesucht und gewählt. Es wurde versucht eine gute Verteilung der Messplätze über Südösterreich zu erreichen.

Tabelle 1: Auflistung der Messplätze mit zugehörigen Koordinaten und Anzahl der durchgeführten Messungen am jeweiligen Messplatz

Bundesland	Messplatz	Koordinaten in Grad° Minuten‘ Sekunden‘‘		Anzahl der Messungen am Messplatz
		Geografische Länge	Geografische Breite	
Steiermark	Graz/Platte	15°28'04''	47°06'42''	2
	Liezen	14°09'05''	47°32'22''	1
	Arzberg/Schöckl	15°30'14''	47°14'00''	2
	Puch bei Weiz/Kulm	15°44'46''	47°13'32''	1
	Murau	14°05'35''	47°09'58''	1
	Kalsdorf bei Graz	15°26'56''	46°58'13''	1
	Hammersberg/Schöckl	15°31'05''	47°12'49''	1
Kärnten	Maria Saal/Magdalensberg	14°25'48''	46°43'42''	1
	Dellach im Gailtal	13°03'46''	46°39'45''	1
	Wernberg bei Villach	13°56'06''	46°37'25''	1
	Obervellach im Mölltal	13°13'08''	46°55'38''	1
	Althofen	14°27'04''	46°52'18''	1
Tirol	Assling	12°37'24''	46°47'15''	1

⁶ Die gegen Blitzschlag zu schützenden Komponenten (Hochgeschwindigkeitskamera, GPS Antenne und benzinbetriebenes Stromaggregat sollten in einem Mindestabstand von 3 Metern in allen Richtungen zu den Masten, Bäumen oder Gebilden höherer vertikaler Ausdehnung positioniert werden um einen Überschlag auf die zu schützenden Komponenten zu vermeiden.

39,78% (72/181) der gemessenen Entladungen waren positive Wolke – Erde Entladungen. In der Literatur werden für den prozentuellen Anteil von positiven Wolke – Erde Entladungen Werte von etwa 10% bezogen auf die Gesamtzahl der Wolke – Erde Entladungen angegeben. Die in Tabelle 2 angegebenen Anzahlen an gemessenen Entladungen zu den jeweiligen Tagen und Messplätzen lassen erkennen, dass in einigen Gewittersituationen die gemessenen positiven Entladungen stark überwiegen.

Tabelle 2: Auflistung der Messtage, Messplätze sowie Art- und Anzahl der gemessenen Entladungen.

Datum	Messplatz	Anzahl negative Entladungen	Anzahl positive Entladungen	Anzahl Entladungen gesamt
27.05.2010	Graz/Platte	1	0	1
07.06.2010	Graz/Platte	0	2	2
12.06.2010	Liezen	12	1	13
13.06.2010	Arzberg/Schöckl	7	9	16
18.06.2010	Puch bei Weiz/Kulm	9	0	9
01.07.2010	Maria Saal/Magdalensberg	3	0	3
03.07.2010	Dellach im Gailtal	5	0	5
04.07.2010	Wernberg bei Villach	0	6	6
12.07.2010	Obervellach im Mölltal	4	0	4
13.07.2010	Murau	9	0	9
13.07.2010	Althofen	2	0	2
15.07.2010	Kalsdorf bei Graz	10	34	44
17.07.2010 bis	Arzberg/Schöckl	2	20	22
18.07.2010	Hammersberg/Schöckl	35	0	35
10.08.2010	Assling	10	0	10
	Summe gemessener Entladungen	109	72	181

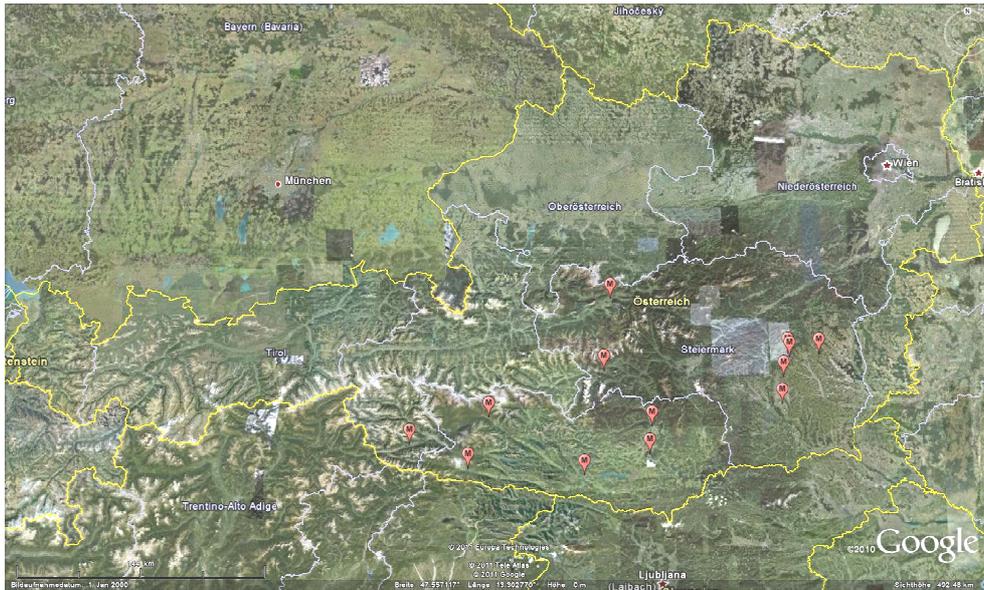


Abbildung 17: Darstellung der Verteilung der Messplätze über Südösterreich (Google, 2011)

Aus Tabelle 1 Tabelle 2 und Abbildung 17 ist erkennbar, dass es einen deutlichen Überhang an Messplätzen und Messtagen in der Steiermark, speziell im Nahbereich von Graz, gibt. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass einerseits die Entfernungen zu den meisten Messplätzen der Steiermark, ausgehend vom Standort Graz, geringer waren als jene zu den Messplätzen in Kärnten und Tirol. Andererseits war die Blitzaktivität im Messzeitraum des Jahres 2010 in der Steiermark höher als in Kärnten und Tirol (Tabelle 3). Zu beachten ist, dass bei einem Messplatz in einem Bundesland die gemessenen Entladungen an diesem Messplatz nicht zwangsläufig im selben Bundesland ihren Einschlagpunkt haben. Es wurden auch Entladungen gemessen, deren Einschlagpunkte außerhalb des österreichischen Staatsgebiets lagen.

Tabelle 3: Anzahl der Blitzschläge für die Monate des Messzeitraums 2010 (ALDIS, 2011)

Jahr	Monat	Blitzschläge im Bundesland			gesamt
		Steiermark	Kärnten	Tirol inkl. Osttirol	
2010	Mai	3515	1058	888	5461
2010	Juni	9606	2807	2159	14572
2010	Juli	28227	7270	6739	42236
2010	August	11198	8826	3571	23595

4. Datenanalyse

Die Vorgangsweise der Analyse der Messdaten kann zur Veranschaulichung schematisch in einem Flussdiagramm dargestellt werden:

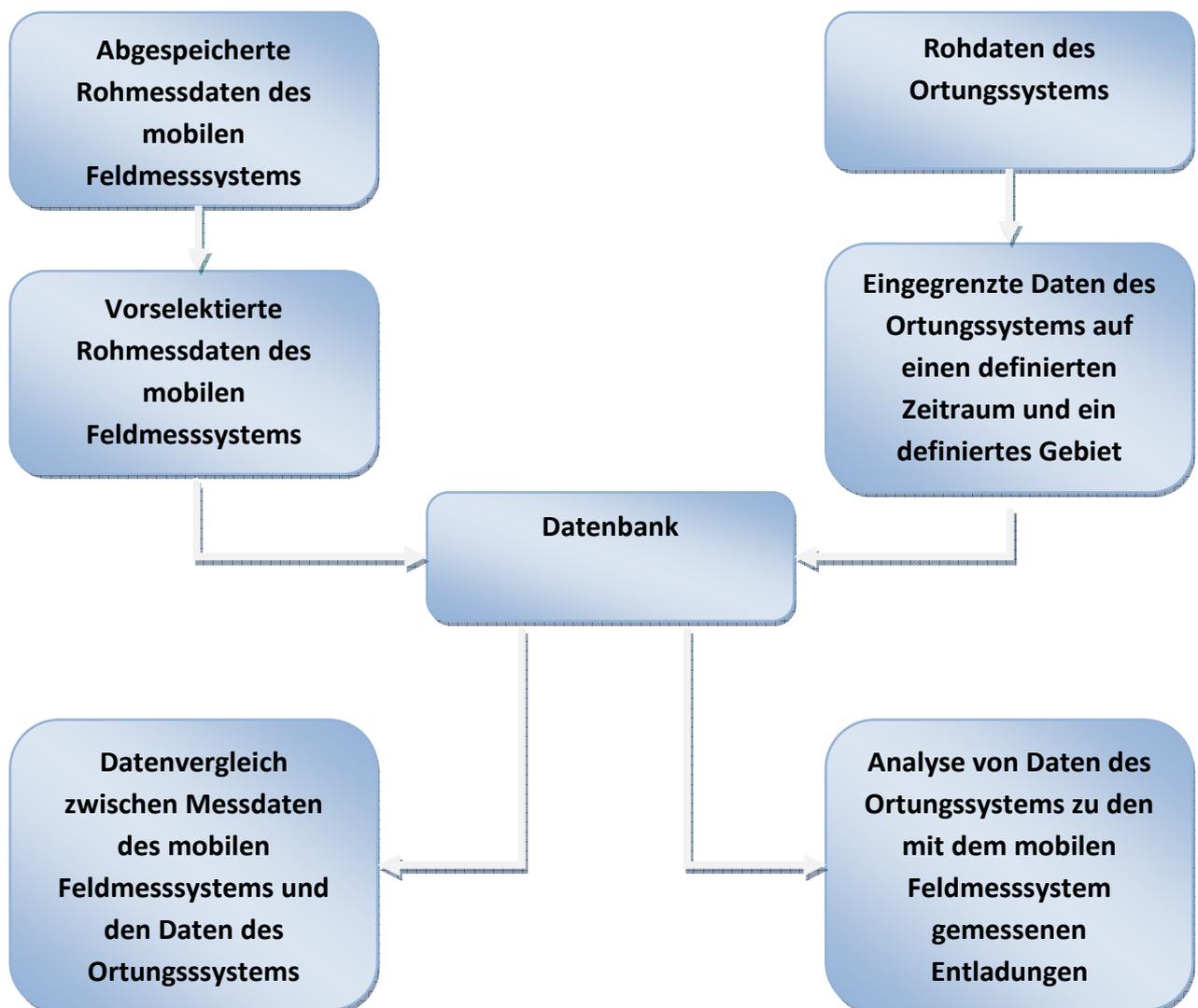


Abbildung 18: Schematische Darstellung der Vorgangsweise bei der Datenanalyse

4.1. Messdaten

Die zur Analyse herangezogenen Messdaten gliedern sich folgendermaßen:

- Daten des mobilen Feldmesssystems
- Daten des Ortungssystems

4.1.1. Daten des mobilen Feldmesssystems

Abhängig von der Einstellung des Pre- und Post Triggers steht für jede Messung eine definierte Menge an Messdaten zur Verfügung. Übliche Einstellung des Pre Triggers sind drei Sekunden, für den Post Trigger zwei Sekunden. Mit diesen Einstellungen stehen für jedes Triggereingangssignal Messdaten von sechs Sekunden zur Verfügung (drei Sekunden Pre Trigger, die Sekunde des Triggereingangssignals, zwei Sekunden Post Trigger) und werden im Folgenden als Messdatensatz bezeichnet.

Atmosphärische Entladungen dauern, abhängig von Anzahl der Teilblitze, der Dauer der Blitzströme der Teilblitze und den Zeiträumen zwischen den Teilblitzen, von einigen Millisekunden bis zu über einer Sekunde. Die für die Analyse relevanten Messdaten können innerhalb dieser sechs Sekunden, abhängig vom Zeitpunkt der Triggerung an beliebiger Stelle vorhanden sein. Ein Großteil der Messdaten, die pro Triggerung gespeichert werden, ist für die Analyse nicht von Interesse. Trotzdem müssen alle Daten aus den gewonnenen sechs Sekunden, sowohl elektrische Feldmessdaten als auch Kameradaten, überprüft werden damit der für die Analyse relevante Teil der Messdaten gefunden werden kann. Weiters besteht die Möglichkeit, dass innerhalb eines Messdatensatzes mehrere Blitze gemessen wurden, die für eine Analyse relevant sind.

Der erste Teil der Datenanalyse besteht darin, die Gesamtheit der gewonnenen Messdaten auf relevanten Inhalt zu Prüfen. Dies bedeutet, dass überprüft werden muss, ob für den zu betrachtenden Messdatensatz sowohl elektrische Feldmessdaten als auch Kameradaten in gewünschter Qualität vorhanden sind. Weiters muss überprüft werden, ob der betrachtete Messdatensatz Messdaten von atmosphärischen Entladungen enthält, da die Möglichkeit besteht, dass ein Trigger Signal unabsichtlich gesetzt wurde. Die Vorselektion der Messdaten

in Bezug auf relevanten Inhalt und Qualität liefert eine Anzahl von Messdatensätzen die für einen Datenvergleich herangezogen werden können.

Elektrische Feldmessdaten:

Die Darstellung der elektrischen Feldverläufe wird mit der ALDIS Software „DataViewer“ (Version 1.4) durchgeführt. Bei den elektrischen Feldmessdaten sind die Kurvenverläufe des elektrischen Feldes in Abhängigkeit der Zeit zu überprüfen. Jede Sekunde eines Messdatensatzes ist für sich getrennt zu begutachten. Es ist zu überprüfen, ob ein mit dem mobilen Feldmesssystem gemessener elektrischer Feldverlauf dem Feldverlauf einer atmosphärischen Entladung entsprechen kann.

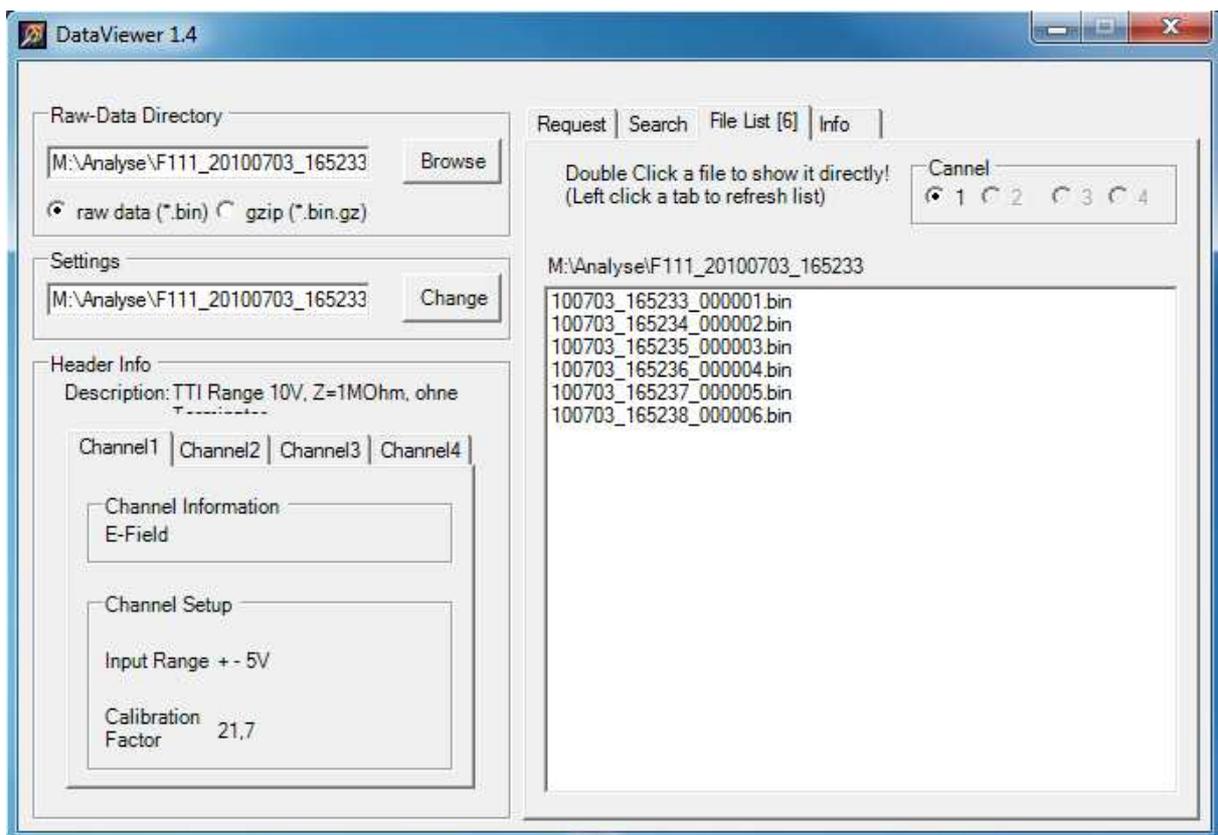


Abbildung 19: Benutzeroberfläche des DataViewer mit den Dateinamen des geladenen Messdatensatzes.

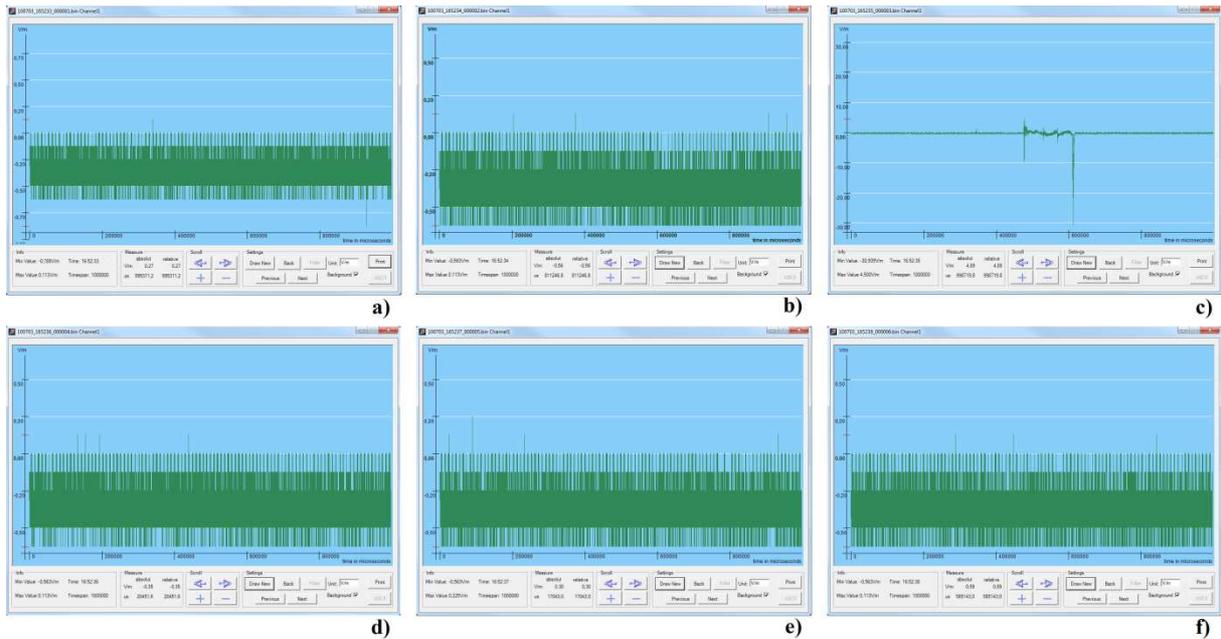


Abbildung 20: Elektrischen Feldmessdaten für jede Sekunde eines Messdatensatzes. Die Bilder a) bis f) sind in chronologischer Reihenfolge geordnet. Erkennbar ist, dass für die Analyse relevante Messdaten nur in Bild c) (entspricht der dritten Sekunde des Messdatensatzes) enthalten sind.

Kameradaten:

Für einen Messdatensatz von 6 Sekunden ergeben sich bei vorliegendem Kameratyp des mobilen Feldmesssystems mit 200 Bilder/Sekunde, eine Anzahl von 1200 Bildern, die pro Messdatensatz zu überprüfen sind. Aufgrund der elektrischen Feldverläufe lassen sich gewissen Zeiträume bezüglich des Auftretens atmosphärischer Entladungen zwischen Wolke und Erde ausschließen. Trotzdem werden die gesamten Kameradaten auf Sichtbarkeit atmosphärischer Entladungen überprüft um eine hohe Qualität der Analyse zu gewährleisten.

Die Darstellung der Kameradaten erfolgt mit der ALDIS Software „Datalogger Video Converter“ (Version 2.0). Die Software Datalogger Video Converter ermöglicht zum einen die Darstellung der Kameradaten als Bilder und zum anderen die Konvertierung der Kameradaten vom Rohdatenformat („.cam2“) in Bitmap – Dateien („.bmp“). Jede Sekunde eines Messdatensatzes kann mit dem Video Converter für sich getrennt dargestellt oder konvertiert werden.

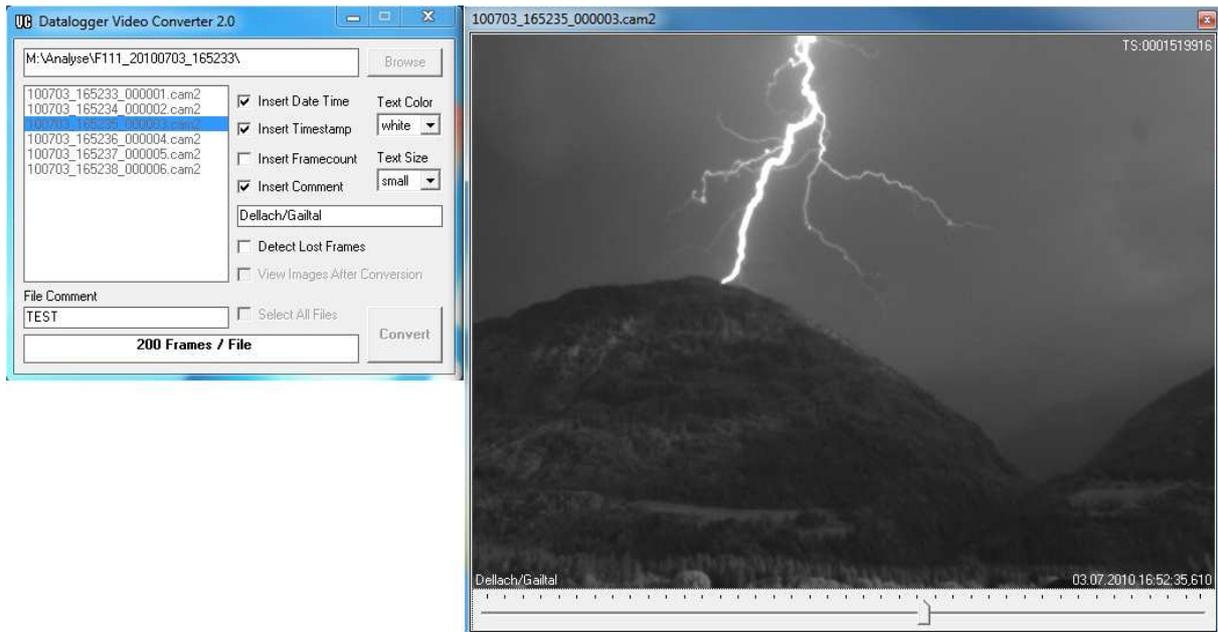


Abbildung 21: Bild der Kameradaten des mobilen Feldmesssystems dargestellt mit der ALDIS Software Datalogger Video Converter.

4.1.2. Daten des Ortungssystems

Mittels „DataViewer“ können detektierte atmosphärische Entladungen des Ortungssystems abgefragt werden. Die Abfrage erfolgt für einen definierten Zeitraum, einen mittels Koordinaten einstellbaren Ort und einen definierbaren Umkreis vom eingestellten Ort. Die Einstellung des Zeitraums wird von der Software automatisch aufgrund des Messdatensatzes durchgeführt. Für die Koordinaten des einstellbaren Ortes sind die Koordinaten des jeweiligen Messplatzes einzugeben. Die Koordinaten des Messplatzes können aus der Anzeige der GPS Rechnerfunkuhr gewonnen werden. Ausgehend von den eingestellten Koordinaten des Messplatzes kann ein beliebiger Umkreis definiert werden. Innerhalb dieses Umkreises werden alle im vorgegebenen Zeitraum vom Ortungssystem detektierten atmosphärischen Entladungen aufgelistet. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Detektionszeitpunkte der vom Ortungssystem detektierten atmosphärischen Entladungen gemeinsam mit den elektrischen Feldverläufen dazustellen. Dadurch kann angezeigt werden, zu welchem Zeitpunkt das Ortungssystem eine atmosphärische Entladung detektiert hat und ob der Feldverlauf des elektrischen Feldes, gemessen mit dem mobilen Feldmesssystem, dem Feldverlauf einer atmosphärischen Entladung entspricht.

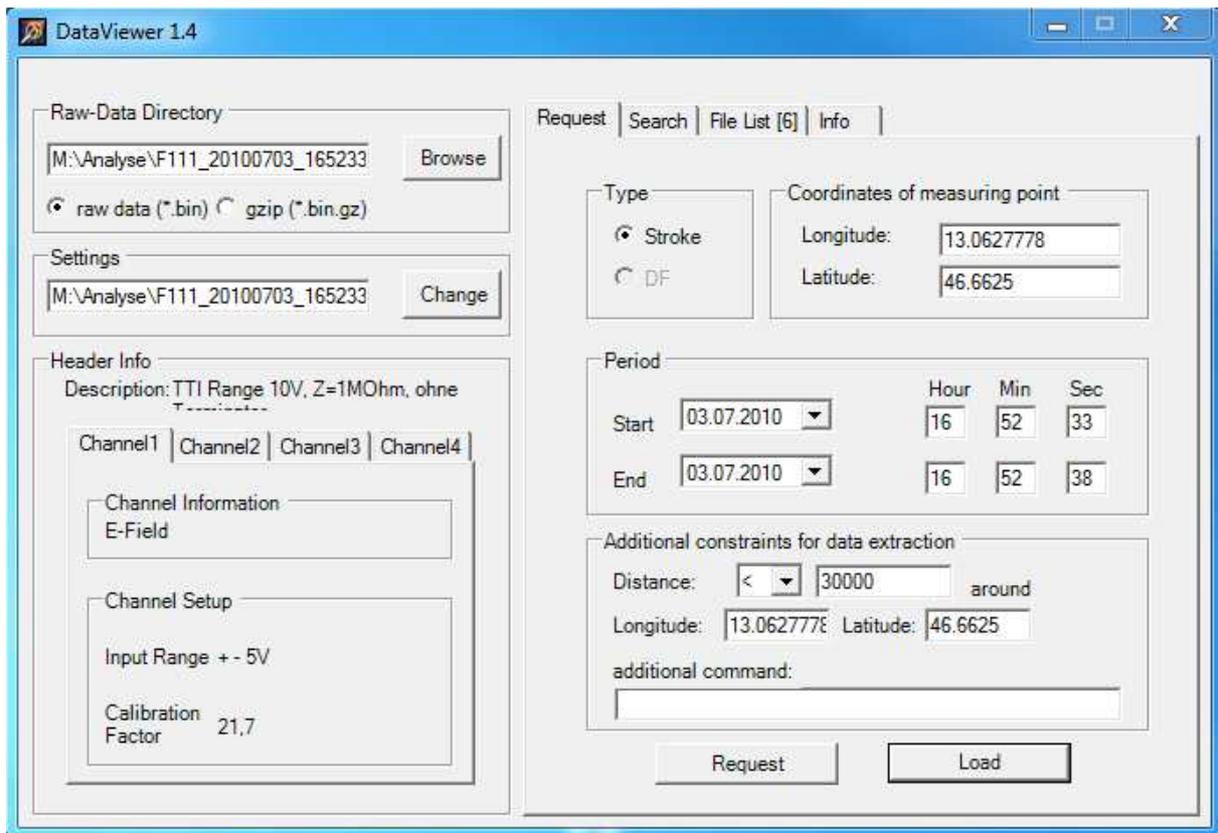


Abbildung 22: Benutzeroberfläche des DataViewer zur Abfrage der Daten des Ortungssystems. Weiters sind die Einstellungen für Koordinaten des Messplatzes, abzufragenden Zeitraum und Umkreis für einen Messdatensatz ersichtlich.

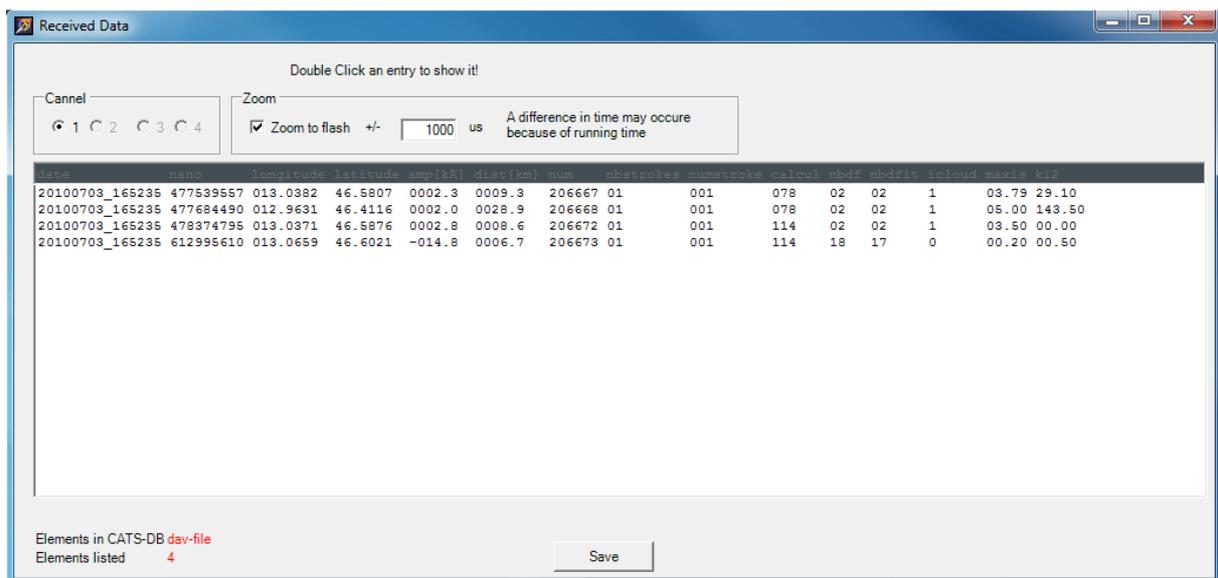


Abbildung 23: Resultat der Datenabfrage des Ortungssystems, passend zu den Einstellungen aus Abbildung 22.

Die abgefragten Daten des Ortungssystems bestehen aus allen detektierten Teilblitzen des Ortungssystems für den eingestellten Zeitraum, Ort und Umkreis. Somit werden auch detektierte Entladungen abgefragt, die für die Analyse nicht relevant sind, da das mobile Feldmesssystem bezüglich des Sichtbereichs und Öffnungswinkel der Kamera auf ein bestimmtes Gebiet des abgefragten Umkreises beschränkt ist. Die Daten, die sich nicht auf das vom mobilen Feldmesssystem vorgegebene Gebiet beziehen werden im Zuge der Analyse nicht berücksichtigt, da für diese Ortungsdaten keine Aussage getroffen werden kann.

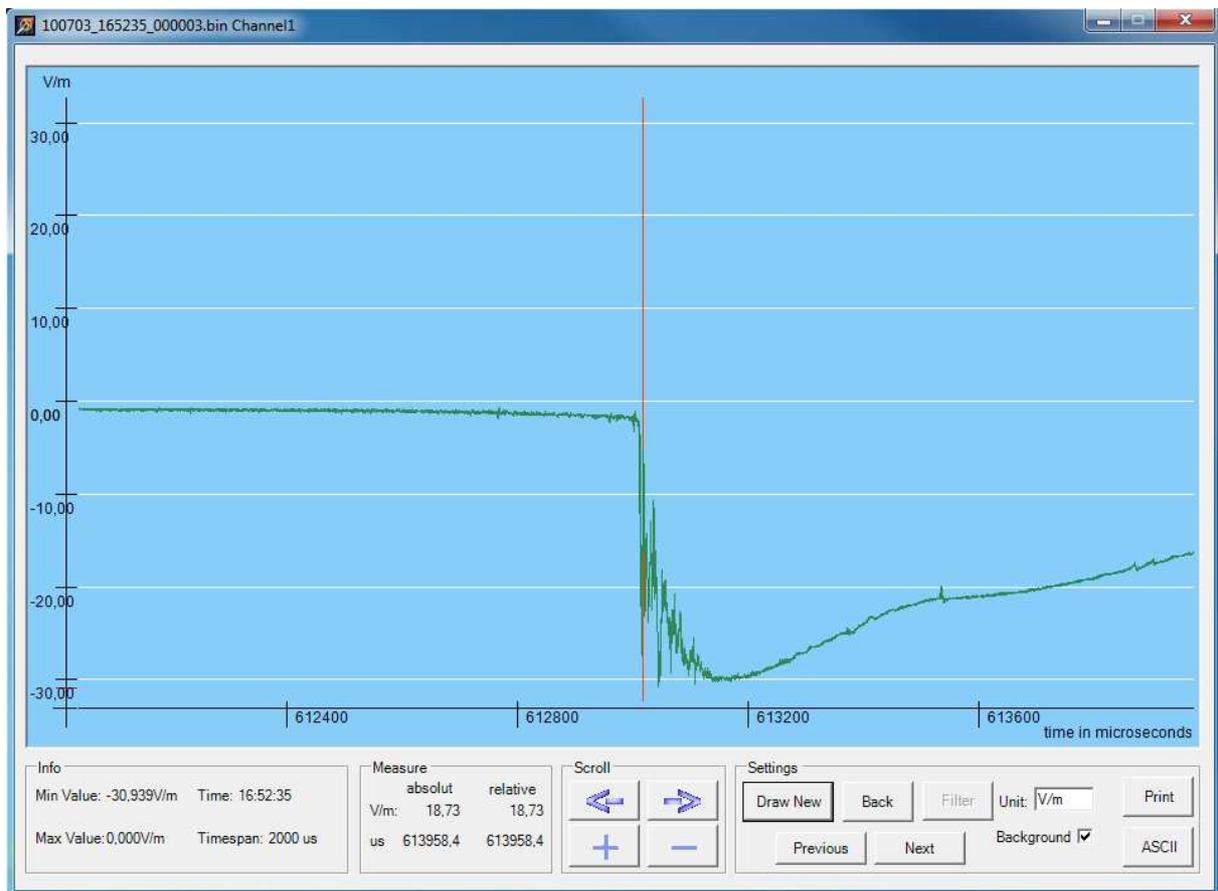


Abbildung 24: Elektrische Feldmessdaten des mobilen Feldmesssystems über den Zeitraum von 2 ms. Gemeinsam mit den elektrischen Feldmessdaten kann der Zeitpunkt einer vom Ortungssystem detektierten Entladung dargestellt werden. Dieser Zeitpunkt entspricht der vertikalen roten Linie.

4.1.3. Erstellung der Datenbank und Datenvergleich

Für jeden Messdatensatz, der analyserelevante und qualitativ hochwertige Messdaten von atmosphärischen Entladungen enthält, wird die Datenbank des Ortungssystems auf detektierte atmosphärische Entladungen im entsprechenden Zeitraum und Umkreis des Messplatzes abgefragt. Mit den Messdaten des mobilen Feldmesssystems, sowohl elektrische Feldmessdaten als auch Kameradaten, wird überprüft, aus wie vielen Teilblitzen eine gemessene atmosphärische Entladung besteht und zu welchen Zeitpunkten die Teilblitze auftreten. In weiterer Folge wird überprüft, ob das Ortungssystem für jeden Teilblitz der aus den Messdaten des mobilen Feldmesssystems eindeutig identifizierbar ist, eine entsprechende atmosphärische Entladung detektiert und geortet hat.

Der Datenvergleich zwischen Daten des Ortungssystems und den Messdaten des mobilen Feldmesssystems wird in einer Microsoft Excel Tabelle durchgeführt. Zur Erstellung der Datenbank werden die, für die Analyse relevanten, Messdatensätze in chronologischer Reihenfolge in die Excel Tabelle importiert. Es wird eine separate Datenbank für positive- und negative Entladungen erstellt und diese separaten Datenbanken getrennt voneinander ausgewertet. Die Analyse der positiven- und negativen Wolke - Erde Entladungen geht identisch von statten.

In Anlehnung an die Veröffentlichungen von Biagi, Cummins, Kehoe, Krider (Biagi Cummins Kehoe Krider, 2007) und Schulz, Pichler, Diendorfer (Schulz Pichler Diendorfer, 2009) werden folgende Parameter ausgewertet, gegenübergestellt oder berechnet:

- Daten des mobilen Feldmesssystems
 - Anzahl der Blitze
 - Anzahl der Teilblitze
 - Prozentueller Anteil der Blitze mit einem Teilblitz
 - Durchschnittliche Anzahl der Teilblitze pro Blitz
 - Teilblitze mit gleichem Erdkontaktpunkt

- Daten des Ortungssystems
 - Anzahl der Blitze
 - Anzahl der Teilblitze
 - Prozentueller Anteil der Blitze mit einem Teilblitz
 - Durchschnittliche Anzahl der Teilblitze pro Blitz
 - Ortungsdaten (Koordinaten)

- Vergleich der Daten des mobilen Feldmesssystems mit den Ortungsdaten
 - Effizienz der Blitzdetektion
 - Effizienz der Teilblitzdetektion
 - Vom Ortungssystem vollständig richtig detektierte Teilblitze
 - Ortungsgenauigkeit
 - Verteilung der Teilblitze pro Blitz

Das Ortungssystem liefert auch Angaben über die Blitzstromamplitude der georteten Teilblitze. Die Verteilung der Blitzstromamplituden zu den mit dem mobilen Feldmesssystem gemessenen und vom Ortungssystem vollständig und richtig detektiert und georteten Teilblitzen wird als zusätzliche Auswertung dargestellt.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Ortungssystem														
2	Data						Peak								
	Nb.	Date	Time	Nano	Longitude	Latitude	t	Distance	Num	ns	sn	calcul	nbdf	nbdft	icloud
477															
478	N111	03.07.2010	165235	477539557	013.0382	46.5807	0002.3	0009.3	206667	01	001	078	02	02	1
479		03.07.2010	165235	477684490	012.9631	46.4116	0002.0	0028.9	206668	01	001	078	02	02	1
480		03.07.2010	165235	478374795	013.0371	46.5876	0002.8	0008.6	206672	01	001	114	02	02	1
481		03.07.2010	165235	612995610	013.0659	46.6021	-014.8	0006.7	206673	01	001	114	18	17	0
482															

Abbildung 25: In Microsoft Excel importierte Daten des Ortungssystems.

Beschreibung der Tabellenspalten aus Abbildung 25:

Data Nb.:	Fortlaufende, chronologisch geordnete Nummer. N111 entspricht der 111ten Entladung mit „N“ für negative Polarität der Entladung.
Date:	Datum des Blitzeinschlages mit „TT.MM.JJJJ“
Time:	Zeit des Blitzeinschlages mit „hhmmss“
Nano:	Nanosekunden des Blitzeinschlages
Longitude:	Geografische Länge in Dezimalgrad
Latitude:	Geografische Breite in Dezimalgrad
Peak Current:	Scheitelwert des Blitzstroms in kA
Distance:	Entfernung der georteten Entladung vom Messplatz in km
Num:	Fortlaufende Nummer
ns:	Anzahl der Teilblitze des detektierten Blitzes
sn:	chronologisch geordnete Nummer des Teilblitzes eines Blitzes
calcul:	gibt an ob eine detektierte Entladung gut geortet wurde oder nicht. 078 für nicht geortet und 114 für geortet.
nbdif:	Anzahl der Sensoren, die das Feld der atmosphärischen Entladung detektiert haben.
nbdfit:	Anzahl der an der Ortung beteiligten Sensoren
icloud:	unterscheidet Wolke – Erde Entladungen von Wolke – Wolke Entladungen. Das Feld wird 0 für Wolke – Erde Entladung und 1 für Wolke – Wolke Entladungen gesetzt.

X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
mobiles Feldmesssystem							
Frames/sec	CC< [ms]	ns	sn	m	Ground strike points	Single stroke Flash	Comment
200	10	1	1	1	1	1	sehr schöne Aufnahme! Leader und Verästelungen sichtbar

Abbildung 27: Auswertung der Daten des mobilen Feldmesssystems

Beschreibung der Tabellenspalten aus Abbildung 27:

- Frames/sec:** Anzahl der Kamerabilder pro Sekunde
- CC<[ms]:** Sichtbarkeit des Entladungskanals in ms
- ns:** Anzahl der Teilblitze des Blitzes (mobiles Feldmesssystem)
- sn:** chronologisch geordnete Nummer des Teilblitzes eines Blitzes (mobiles Feldmesssystem)
- Ground strike Points:** Anzahl der Erdkontaktpunkte (ist der Erdkontaktpunkt nicht zu sehen wird das Feld frei gelassen)
- Single stroke Flash:** Für Blitze mit nur einem Teilblitz wird das jeweilige Feld 1 gesetzt, Für Entladungen mit mehreren Teilblitzen pro Blitz wird das Feld freigelassen.
- Comment:** Kommentar zur jeweiligen Entladung mit speziellem Augenmerk auf die Qualität der Kameradaten

Jede der 181 mit dem mobilen Feldmesssystem gemessenen atmosphärischen Entladungen des Jahres 2010 wurde in der Microsoft Excel Tabelle aufgelistet und händisch ausgewertet.

4.2. Effizienz der Detektion

Wie zu erwarten war, stimmen die Daten des Blitzortungssystems mit den Daten des mobilen Feldmesssystems nicht vollständig überein. Die Gründe für die Abweichungen zwischen Daten des Ortungssystems und den Daten des mobilen Feldmesssystems sind:

- Blitze, die vom Ortungssystem nicht detektiert und geortet werden
- Teilblitze eines Blitzes, die nicht detektiert und geortet werden
- vom Ortungssystem detektiert und geortete Teilblitze wobei für diese Teilblitze aufgrund der Daten des mobilen Feldmesssystems die Existenz eines Teilblitzes ausgeschlossen werden kann (Diese vom Ortungssystem detektiert und georteten Teilblitze sind meist Wolkenentladungen die als Wolke – Erde Blitze kategorisiert werden).

4.2.1. Negative Entladungen

Die Analyse der negativen atmosphärischen Entladungen zwischen Wolke und Erde umfasst die mit dem mobilen Feldmesssystem gemessenen Entladungen des Jahres 2010 sowie bereits vorhandene Messdaten des Jahres 2009. In Summe umfasst die Analyse der negativen Entladungen zwischen Wolke und Erde 154 negative Blitze mit insgesamt 540 Teilblitzen. Im Zuge der Analyse der negativen atmosphärischen Entladungen werden die 109 gemessenen negativen Blitze des Jahres 2010 und die gesamten 154 vorhandenen Messdaten negativer Blitze der Jahre 2009 und 2010 getrennt dargestellt. Die bereits vorhandenen Messdaten des Jahres 2009 werden in Bezug auf die Effizienz der Detektion nicht getrennt analysiert, da diese Analyse bereits in der Veröffentlichung von Schulz, Pichler und Diendorfer (Schulz Pichler Diendorfer, 2009) durchgeführt wurde.

Negative Entladungen des Jahres 2010:

Daten des mobilen Feldmesssystems:

Die 109 mit dem mobilen Feldmesssystem gemessenen Blitze des Jahres 2010 bestanden aus insgesamt 405 Teilblitzen. Der prozentuelle Anteil der Blitze mit nur einem Teilblitz beträgt laut Daten des mobilen Feldmesssystems 30,28%. Durchschnittlich liegt die Anzahl der Teilblitze pro Blitz bei 3,72.

Daten des Ortungssystems:

Von den 109 mit dem mobilen Feldmesssystem gemessenen Blitzen des Jahres 2010 wurden 107 Blitze vom Ortungssystem detektiert und geortet. Die Anzahl der Teilblitze die vom Ortungssystem detektiert und geortet wurden liegt bei 382 Teilblitzen. Der prozentuelle Anteil der Blitze mit nur einem Teilblitz liegt laut Daten des Ortungssystems bei 24,30% und die durchschnittliche Anzahl von Teilblitzen pro Blitz beträgt 3,57.

Vergleich der Daten des mobilen Feldmesssystems mit den Daten des Ortungssystems:

Für die Effizienz der Blitzortung ergibt sich für das Jahr 2010 ein Wert von 98,17% und für die Teilblitzortungseffizienz ein Wert von 82,72%. Von den 382 vom Ortungssystem detektierten und georteten Teilblitzen wurden 335 Teilblitze vom Ortungssystem vollständig und richtig detektiert und geortet.

Negative Entladungen der Jahre 2009 und 2010:

Daten des mobilen Feldmesssystems:

Aus dem Jahr 2009 standen Messdaten von 45 negativen Blitzen zur Verfügung. Die insgesamt 154 mit dem mobilen Feldmesssystem gemessenen Blitze der Jahre 2009 und 2010 bestanden aus insgesamt 540 Teilblitzen. Der prozentuelle Anteil der Blitze mit nur einem Teilblitz beträgt laut Daten des mobilen Feldmesssystems 27,27%. Durchschnittlich liegt die Anzahl der Teilblitze pro Blitz bei 3,51.

Daten des Ortungssystems:

Von den 154 mit dem mobilen Feldmesssystem gemessenen Blitzen der Jahre 2009 und 2010 wurden 151 Blitze vom Ortungssystem detektiert und geortet. Die Anzahl der Teilblitze die vom Ortungssystem detektiert und geortet wurden liegt bei 501 Teilblitzen. Der prozentuelle Anteil der Blitze mit nur einem Teilblitz liegt laut Daten des Ortungssystems bei 24,50% und die durchschnittliche Anzahl von Teilblitzen pro Blitz beträgt 3,32.

Vergleich der Daten des mobilen Feldmesssystems mit den Daten des Ortungssystems:

Für die Effizienz der Blitzortung ergibt sich für die Jahre 2009 und 2010 ein Wert von 98,05% und für die Teilblitzortungseffizienz ein Wert von 83,15%. Von den 501 vom Ortungssystem detektierten und georteten Teilblitzen wurden 449 Teilblitze vom Ortungssystem vollständig und richtig detektiert und geortet.

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Blitzparameter des mobilen Feldmesssystems und des Ortungssystems von negativen Wolke - Erde Entladungen.

	Mobiles Feldmesssystem		Ortungssystem	
	2010	2009 und 2010	2010	2009 und 2010
Anzahl der Blitze	109	154	107	151
Anzahl der Teilblitze	405	540	382	501
prozentueller Anteil der Blitze mit einem Teilblitz	30,28	27,27	24,30	24,50
durchschnittliche Anzahl der Teilblitze pro Blitz	3,72	3,51	3,57	3,32

Tabelle 5: Performance Parameter des Blitzortungssystems für negative Wolke - Erde Entladungen.

	Gegenüberstellung	
	2010	2009 und 2010
Effizienz der Blitzdetektion in %	98,17	98,05
Effizienz der Teilblitzdetektion in %	82,72	83,15
Vom Ortungssystem vollständig und richtig detektierte und geortete Teilblitze	335	449

Auffällig, sowohl für das Jahr 2010 als auch für die Jahre 2009 und 2010, sind die Unterschiede zwischen Anzahl der Teilblitze des Ortungssystems (Tabelle 4) und vollständig und richtig detektiert und geortete Teilblitze des Ortungssystems (Tabelle 5). Grund dafür ist, dass das Ortungssystem im Jahr 2010 in 47 von 382 Fällen ein Signal als Teilblitz kategorisiert hat wobei diese 47 vom Ortungssystem detektierten Teilblitze mit Hilfe des mobilen Feldmesssystems eindeutig als Wolke – Wolke Entladung identifiziert werden konnten. Für die Jahre 2009 und 2010 wurden 52 Teilblitze von 501 detektiert und georteten Teilblitzen vom Ortungssystem als Teilblitze kategorisiert die aufgrund der Überprüfung der Daten des mobilen Feldmesssystems nicht als Teilblitze identifiziert wurden. D.h. das Ortungssystem hat im Jahr 2010 fälschlicherweise 14,03% mehr Teilblitze registriert als eigentlich vorhanden waren. Für die Jahre 2009 und 2010 wurden vom Ortungssystem fälschlicherweise 11,58% mehr Teilblitze registriert als eigentlich vorhanden waren.

4.2.2. Positive Entladungen

Die Analyse der positiven atmosphärischen Entladungen zwischen Wolke und Erde umfasst die mit dem mobilen Feldmesssystem gemessenen Entladungen des Jahres 2010 sowie bereits vorhandene Messdaten der Jahre 2008 und 2009. In Summe umfasst die Analyse der positiven Entladungen zwischen Wolke und Erde 82 positive Blitze mit insgesamt 88 Teilblitzen. Die bereits vorhandenen Messdaten der Jahre 2008 und 2009 werden nicht getrennt analysiert, da

aus den Jahren 2008 und 2009 zu wenige Messdatensätze für eine sinnvolle Analyse zur Verfügung stehen.

Positive Entladungen der Jahre 2008, 2009 und 2010:

Daten des mobilen Feldmesssystems:

Aus den Jahren 2008 und 2009 standen Messdaten von insgesamt 10 positiven Blitzen, gemessen mit dem mobilen Feldmesssystem, zur Verfügung. 9 dieser 10 bereits vorhandenen Messdaten positiver Blitze stammen aus dem Jahr 2008, ein Messdatensatz eines positiven Blitzes stammt aus dem Jahr 2009. Die insgesamt 82 mit dem mobilen Feldmesssystem gemessenen Blitze der Jahre 2008, 2009 und 2010 bestanden aus insgesamt 88 Teilblitzen. Der prozentuelle Anteil der Blitze mit nur einem Teilblitz beträgt laut Daten des mobilen Feldmesssystems 92,68%. Durchschnittlich liegt die Anzahl der Teilblitze pro Blitz bei 1,07.

Daten des Ortungssystems:

Von den 82 mit dem mobilen Feldmesssystem gemessenen Blitzen der Jahre 2008, 2009 und 2010 wurden 80 Blitze vom Ortungssystem detektiert und geortet. Die Anzahl der Teilblitze der analyserelevanten Blitze, die vom Ortungssystem detektiert und geortet wurden liegt bei 127 Teilblitzen. Der prozentuelle Anteil der Blitze mit nur einem Teilblitz liegt laut Daten des Ortungssystems bei 58,75% und die durchschnittliche Anzahl von Teilblitzen pro Blitz beträgt 1,59.

Vergleich der Daten des mobilen Feldmesssystems mit den Daten des Ortungssystems:

Für die Effizienz der Blitzortung ergibt sich für die Jahre 2008, 2009 und 2010 ein Wert von 97,56% und für die Teilblitzortungseffizienz ein Wert von 92,05%. Von den 127 vom Ortungssystem detektierten und georteten Teilblitzen wurden 81 Teilblitze vom Ortungssystem vollständig und richtig detektiert und geortet.

Tabelle 6: Gegenüberstellung der Blitzparameter des mobilen Feldmesssystems und des Ortungssystems von positiven Wolke - Erde Entladungen.

	Mobiles Feldmesssystem	Ortungssystem
	2008 – 2010	2008 – 2010
Anzahl der Blitze	82	80
Anzahl der Teilblitze	88	127
Prozentueller Anteil der Blitze mit einem Teilblitz	92,68	58,75
Durchschnittliche Anzahl der Teilblitze pro Blitz	1,07	1,59

Tabelle 7: Performance Parameter des Blitzortungssystems für positiven Wolke - Erde Entladungen.

	Gegenüberstellung
	2008 – 2010
Effizienz der Blitzdetektion in %	97,56
Effizienz der Teilblitzdetektion in %	92,05
Vom Ortungssystem vollständig und richtig detektierte und geortete Teilblitze	81

Auffällig sind die Unterschiede zwischen Anzahl der Teilblitze (Tabelle 6) des Ortungssystems und vollständig und richtig detektiert und geortete Teilblitze des Ortungssystems (Tabelle 7). Zur Erklärung dieser Unterschiede sei auf Kapitel 4.2.1 verwiesen wo dieselben Unterschiede für negative Entladungen diskutiert werden. Interessant ist, dass 30 von 39 detektierten Teilblitzen der Jahre 2008, 2009 und 2010, die als Wolke – Wolke Entladung identifiziert wurden, vom Ortungssystem als Wolke – Erde Teilblitze mit negativer Polarität ausgewiesen wurden.

Unter den Messdaten des Jahres 2010 befinden sich zwei positive Blitze mit jeweils zwei Teilblitzen, bei denen die Teilblitze der jeweiligen Entladung denselben Kanal verwenden. Dass Teilblitze einer positiven mehrfach Entladung denselben Kanal verwenden ist selten zu beobachten. Beobachtungen von Wintergewittern in Japan (Ishi Shimizu Hojo Shinjo, 1998) ergaben, dass Teilblitze einer positiven mehrfach Entladung immer einen eigenen Entladungskanal gegen Erde ausbildeten (Uman Rakov, 2003).

4.3. Ortungsgenauigkeit

4.3.1. Bestimmung der Ortungsgenauigkeit

Ein wesentliches Kriterium für die Qualität eines Ortungssystems ist die Ortsgenauigkeit eines vom Ortungssystem ausgewiesenen Einschlagpunkts einer atmosphärischen Entladung. Die Genauigkeit der Ortung in Österreich wird von den Mitarbeitern der Forschungsgruppe ALDIS laufend durch die Messungen an der Blitzmessstation am Gaisberg bei Salzburg überprüft. Im Zuge dieser Diplomarbeit wird die Ortungsgenauigkeit des Ortungssystems durch einen Vergleich der Kameradaten des mobilen Feldmesssystems mit den Daten des Ortungssystems überprüft. Überprüft werden mit dem mobilen Feldmesssystem gemessene Entladungen der Jahre 2009 und 2010 bei denen der Entladungskanal zur Erde hin deutlich sichtbar ist. Weiters müssen die ausgewählten Entladungen aus mehreren Teilblitzen bestehen, bei denen mindestens zwei Teilblitze denselben Entladungskanal nutzen. Es wird angenommen, dass Teilblitze, die denselben Entladungskanal nutzen, auch denselben Einschlagpunkt auf der Erdoberfläche besitzen. Verglichen werden Koordinatenangaben des Ortungssystems für Teilblitze, die laut Kameradaten denselben Entladungskanal nutzen. Für die Überprüfung der Ortungsgenauigkeit ist es notwendig, dass die Teilblitze vom Ortungssystem geortet wurden. Aus den Koordinaten der Teilblitze werden die Entfernungen der Teilblitze zum ersten Teilblitz mit diesem Erdkontaktpunkt berechnet und statistisch ausgewertet.

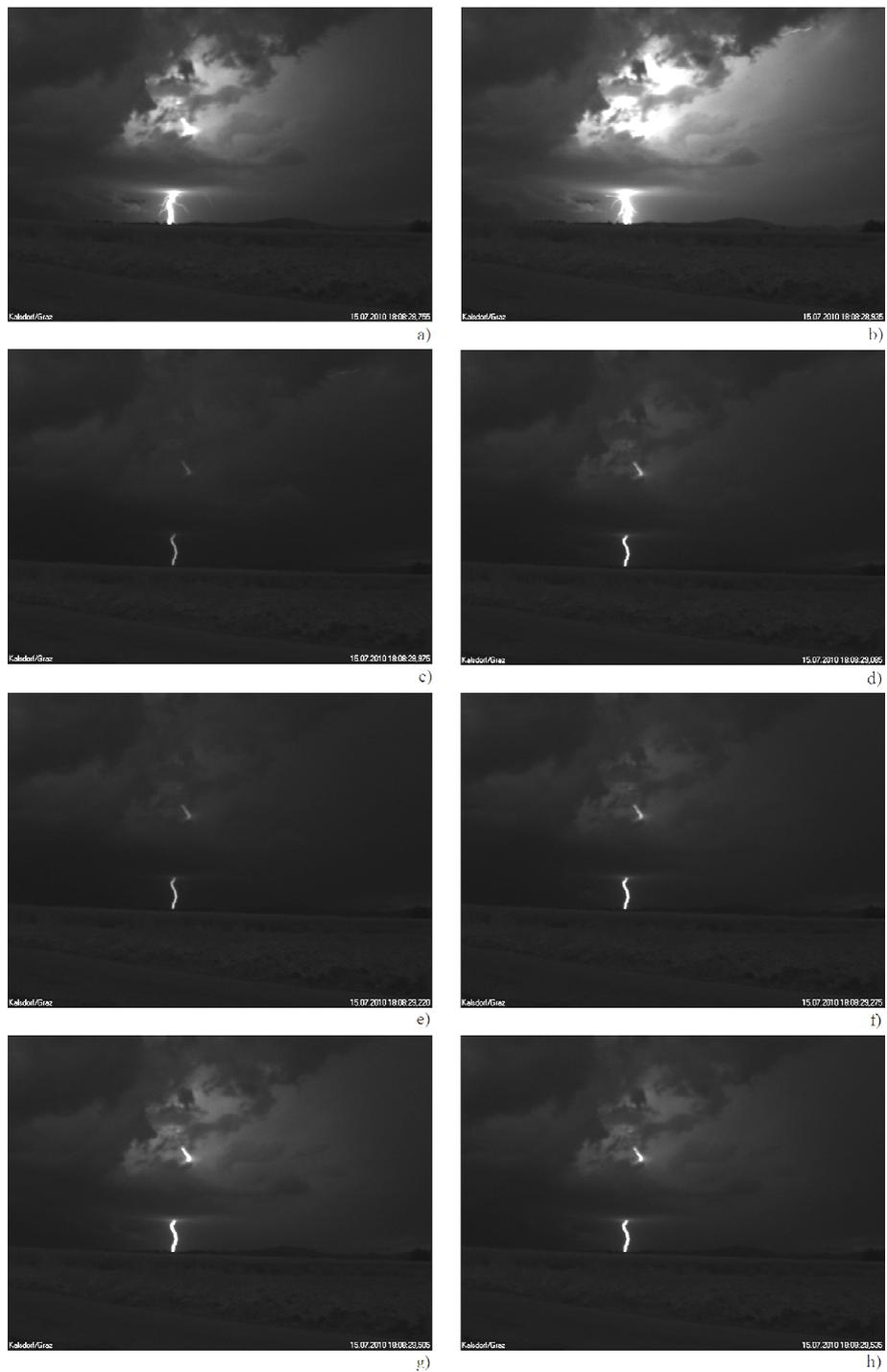


Abbildung 28: Kameradaten eines aus acht Teilblitzen bestehenden Blitzes aufgenommen am 15. Juni 2010 in Kalsdorf bei Graz. Sieben der acht Teilblitze (Bild b) bis Bild h)) verwenden denselben Entladungskanal.

LLS Data																	AO	AP		
	Data Nb.	Date	Time	Nano	Longitude	Latitude	Peak Current	Distance	Num	ns	sn	calc	nb	nc	bc	ic	maxis	ki2	Distance to first detected stroke	Scaled Distance
669																				
670	N175	15.07.2010	180827	232131939	015.2018	47.1786	-013.9	0029.8	142051	02	001	114	07	05	0	02.70	01.50			
671		15.07.2010	180827	343767464	015.1628	47.1705	-004.2	0031.0	142051	02	002	114	06	06	0	00.30	00.90			
672		15.07.2010	180828	756455699	015.2705	47.0840	-019.1	0018.5	142060	07	001	114	16	16	0	00.20	01.39			
673		15.07.2010	180828	936605567	015.2657	47.0854	-026.2	0018.9	142060	07	002	114	23	22	0	00.20	00.50			
674		15.07.2010	180828	979710915	015.2929	47.0804	-004.6	0017.0	142060	07	003	114	03	03	0	00.69	00.69			
675		15.07.2010	180829	087904882	015.2647	47.0877	-008.6	0019.1	142060	07	004	114	08	08	0	00.30	00.50	2,114148765	1,49492893	
676		15.07.2010	180829	221793629	015.2673	47.0849	-005.1	0018.7	142060	07	005	114	06	06	0	00.30	00.90	0,2660885	0,18815298	
677		15.07.2010	180829	278157762	015.2710	47.0883	-006.5	0018.8	142060	07	006	114	09	09	0	00.20	03.29	0,132212896	0,09348864	
678		15.07.2010	180829	507396653	015.2705	47.0842	-018.8	0018.5	142060	07	007	114	13	13	0	00.30	02.10	0,511493754	0,3616807	
679			180829	535000000														0,383851846	0,27142424	
680		15.07.2010	180831	369828939	015.1670	47.1595	0005.6	0030.0	142084	01	001	114	04	03	0	00.40	01.89			

Abbildung 29: Berechnungsergebnisse der Entfernungen der Teilblitze zum Erstblitz der in Abbildung 28 dargestellten Teilblitze. Bild a) zeigt die Daten des Ortungssystems, Bild b) zeigt die Entfernungen der Teilblitze zum Erstblitz im Entladungskanal, der auch von den folgenden Teilblitzen genutzt wird. Für die Berechnung werden die Daten in den Zeilen 673 bis 678 der Tabelle herangezogen, da diese Teilblitze denselben Entladungskanal verwenden und diese vom Ortungssystem detektiert und geortet wurden. Der Teilblitz aus Zeile 672 (Abbildung 28a) hat nicht denselben Erdkontaktpunkt wie die restlichen Teilblitze (bei genauer Betrachtung der Bilder erkennbar). Der Teilblitz aus Zeile 679 wurde vom Ortungssystem nicht detektiert und besitzt aufgrund dessen keine Angaben über Längen- und Breitengrade.

Die Berechnung der Entfernung der Teilblitze mit demselben Entladungskanal bezogen auf den ersten Teilblitz mit demselben Entladungskanal wird folgendermaßen durchgeführt:

Wird die Erde als Kugel betrachtet so entspricht ein Bogengrad der Hauptkreise einer Länge von rund 111 Kilometer. Bewegt man sich entlang eines konstanten Längengrades, was unterschiedlichen Breitengraden entspricht, so können Entfernungen zwischen zwei Punkten entlang konstanter Längengrade näherungsweise mit dem Faktor F_L von 111 km pro Breitengrad von Dezimalgrad auf Längenmaße umgerechnet werden.

Zur Umrechnung von Dezimalgradangaben zweier Punkte entlang eines konstanten Breitengrades auf Längenmaße muss der Cosinus des Breitengrades mit einbezogen werden.

$$F_B = \frac{\pi r \cos \varphi}{180^\circ} \tag{5}$$

Der Faktor F_B gibt die Länge in km an, die einer Längengraddifferenz von 1° entlang eines gewählten Breitengrades entspricht. Der Winkel φ entspricht dem Breitengrad, für den der Faktor F_B berechnet werden soll. Der Radius r entspricht dem Erdradius mit circa 6370 km.

Für den gewählten Breitengrad von $47,5^\circ$ der mitten durch Österreich läuft ergibt sich ein Faktor von rund 75 km pro Längengrad (Bartsch, 2004).

Die Entfernung d in km zwischen zwei georteten Teilblitzen mit gleichen Erdkontaktpunkten aber unterschiedlichen Ortungsdaten errechnet sich aus den Faktoren F_L und F_B sowie den Differenzen der Längengrade L_1 und L_2 und Breitengrade B_1 und B_2 der jeweils betrachteten Teilblitze.

$$d = \sqrt{[(L_1 - L_2) * F_B]^2 + [(B_1 - B_2) * F_L]^2} \quad (6)$$

Zufällige Fehler der Ortung:

Das Ortungssystem bestimmt den Einschlagpunkt eines Teilblitzes aus einer Kombination von Richtungs- und Laufzeitmessungen (siehe 2.3). Die Bestimmung des Einschlagpunkts beinhaltet zufällige Abweichungen aufgrund der beschränkten Genauigkeit der Messungen. Grundlage dieser Betrachtung sind die vom Ortungssystem für einen Einschlagpunkt angegebenen Koordinaten in Längen- und Breitengraden.

Der zufällige Ortungsfehler ist eine Kombination aus zwei Gaußverteilungen in Längen- und Breitengraden (oder x – und y – Richtung). Da die Entfernung d für eine Messung mittels

$$d = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (7)$$

berechnet wird, ergibt sich für den resultierenden zufälligen Fehler eine Rayleigh Verteilung R mit

$$R = \sqrt{N_x^2 + N_y^2} \quad (8)$$

wobei

$$N_x = N_x(0, \sigma_x) \quad (9)$$

und

$$N_y = N_y(0, \sigma_y) \quad (10)$$

ist. Es wird angenommen dass die Standardabweichung in x – und y – Richtung gleich sind ($\sigma_x = \sigma_y$).

Die Ortungsangaben des Erstblitzes und eines Folgeblitzes im selben Kanal können als zwei unabhängige Messungen derselben Entfernung gesehen werden und unterliegen ebenfalls einer Gaußverteilung in Längen und Breitengraden (oder x – und y – Richtung). Die Abweichung der beiden Ortungsdaten wird mittels

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (11)$$

bestimmt. Somit ergibt sich für den zufälligen Fehler bei zwei unabhängigen Messungen

$$N_{\Delta x} = N_x(0, \sigma_x) - N_x(0, \sigma_x) = N_{\Delta x}(0, \sigma_x * 1,414) \quad (12)$$

$$N_{\Delta y} = N_y(0, \sigma_y) - N_y(0, \sigma_y) = N_{\Delta y}(0, \sigma_y * 1,414) \quad (13)$$

Die resultierende Verteilung hierfür ist wieder eine Rayleigh Verteilung mit

$$R = \sqrt{N_{\Delta x}^2 + N_{\Delta y}^2} \quad (14)$$

Werden Berechnungen mit oben genannten Zusammenhängen in genügender Anzahl durchgeführt, so nähert sich das Verhältnis von Standardabweichung σ , Median und Mittelwert zwischen einer Messung und zwei unabhängigen Messungen dem Faktor $\frac{1}{\sqrt{2}}$ an.

Um die aus zwei unabhängigen Messungen berechneten Werte (z.B. Analyse von Videodaten) erhaltene Standardabweichung σ , Median und Mittelwert der Ortungsgenauigkeit mit Messungen von einem absolut genauen Punkt (z.B. bei Turmmessungen oder bei Messungen von getriggerten Blitzen) vergleichen zu können, müssen die Standardabweichung σ , Median und Mittelwert einer Korrektur um den Faktor $\frac{1}{\sqrt{2}}$ unterzogen werden (Biagi Cummins Kehoe Krider, 2007).

4.3.2. Ortungsgenauigkeit in Süd- und Ostösterreich:

Zur Überprüfung der Ortungsgenauigkeit werden 37 negative Entladungen zwischen Wolke und Erde mit insgesamt 140 Teilblitzen herangezogen. Positive Entladungen zwischen Wolke und Erde werden aufgrund der geringen Anzahl von Teilblitzen pro Blitz nicht berücksichtigt.

Die Ortungsfehler der 140 Teilblitze zum jeweils zugehörigen Erstblitz mit gleichem Erdkontaktpunkt betragen im Durchschnitt 580 m. Der Medianwert der Entfernungen zwischen Teilblitz und Erstblitz mit selben Erdkontaktpunkt beträgt 370 m. Für die Standardabweichung der Entfernungen ergibt sich ein Wert von 650 m⁷. Die maximale Entfernung zwischen Teilblitz und Erstblitz beträgt 4,41 km, die minimale Entfernung beträgt 0,03 km.

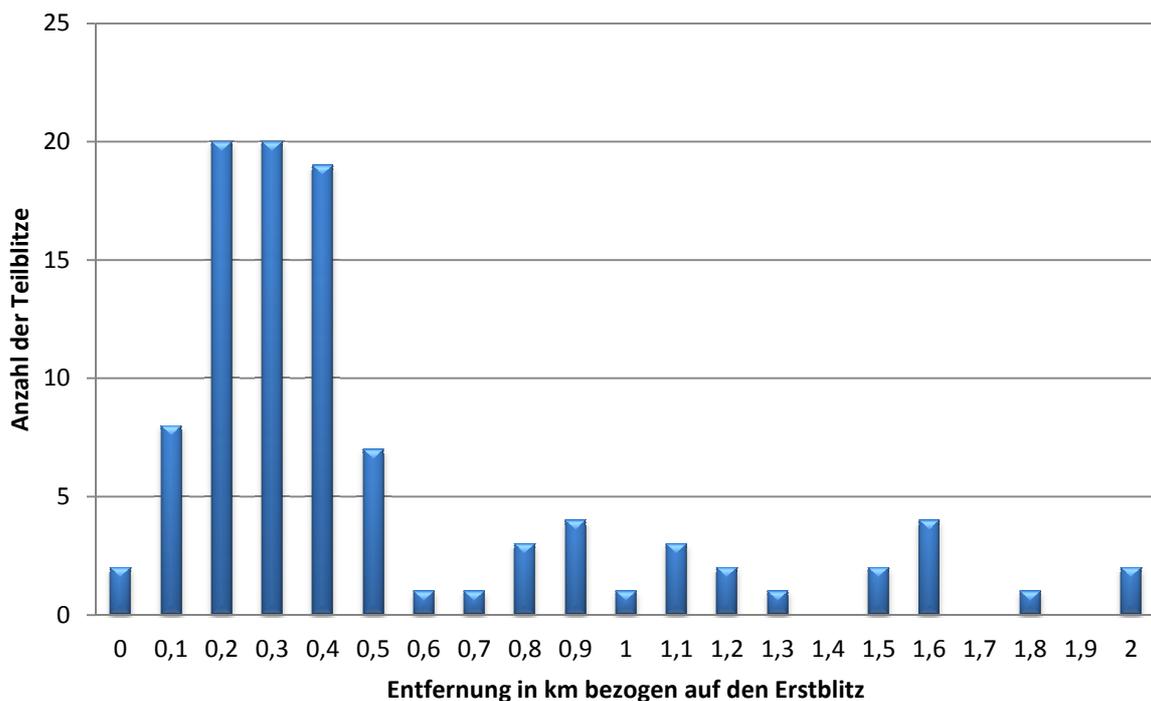


Abbildung 30: Verteilung der Entfernungen der Teilblitze mit gleichem Erdkontaktpunkt bezogen auf den ersten Blitz in gleichen Kanal.

⁷ Die angegebenen Werte für Standardabweichung, Median und Mittelwert sind bereits um den Faktor $\frac{1}{\sqrt{2}}$ korrigiert

In Abbildung 30 werden die Entfernungen der Teilblitze mit gleichem Erdkontaktpunkt bezogen auf den ersten Blitz im gleichen Kanal bis 2 km dargestellt. Nur 2 der untersuchten Teilblitze weisen eine größere Entfernung als 2 km zum ersten Teilblitz im gleichen Kanal auf (3,20 km und 4,41 km).

4.4. Verteilung der Teilblitze pro Blitz

Gegenübergestellt werden jeweils die Daten des Ortungssystems den analysierten Daten des mobilen Feldmesssystems.

Negative Entladungen des Jahres 2009:

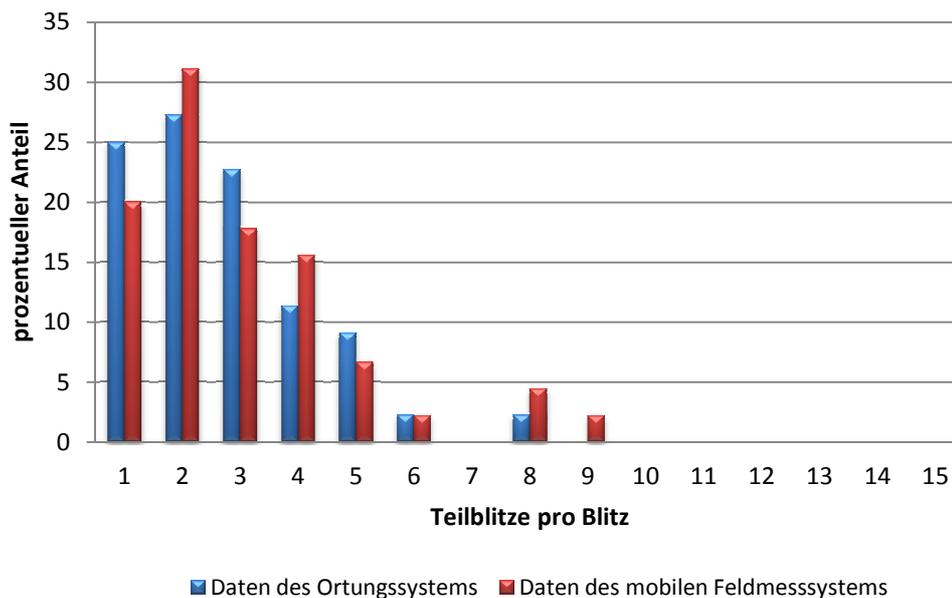


Abbildung 31: Verteilung negativer Teilblitze pro Blitz für das Jahr 2009.

Aus den Daten des Ortungssystems ergibt sich ein durchschnittlicher Wert von 2,70 Teilblitzen pro Blitz, der Median liegt bei 2 Teilblitzen pro Blitz. Aus den Daten des mobilen Feldmesssystems ergibt sich ein durchschnittlicher Wert von 3,00 Teilblitzen pro Blitz, der Median liegt bei 2 Teilblitzen pro Blitz.

Negative Entladungen des Jahres 2010:

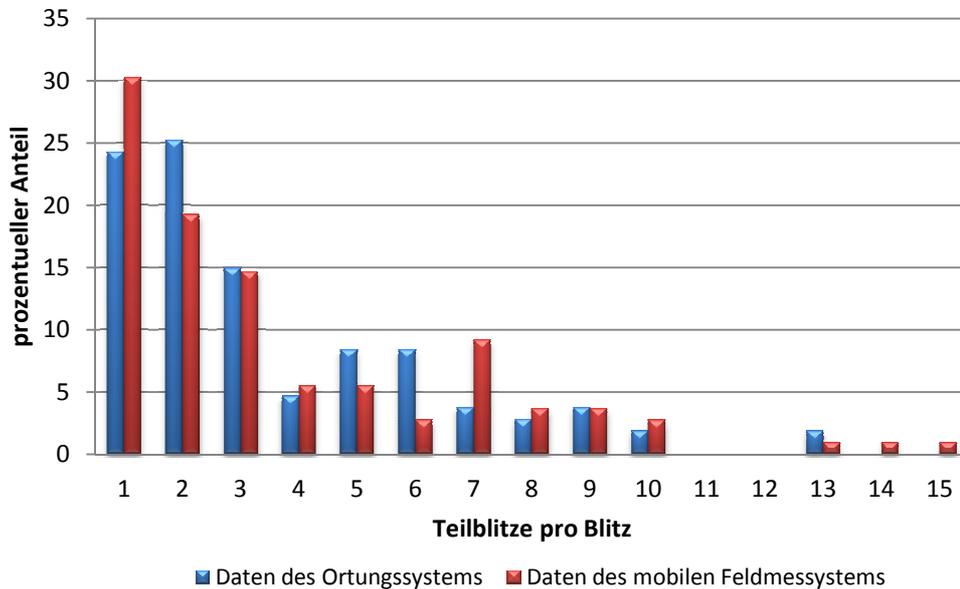


Abbildung 32: Verteilung negativer Teilblitze pro Blitz für das Jahr 2010.

Für die Daten des Ortungssystems ergibt sich ein durchschnittlicher Wert von 3,57 Teilblitzen pro Blitz, der Median liegt bei 3 Teilblitzen pro Blitz. Für die Daten des mobilen Feldmesssystems ergibt sich ein durchschnittlicher Wert von 3,72 Teilblitzen pro Blitz, der Median liegt bei 3 Teilblitzen pro Blitz.

Vergleicht man den Anteil der Blitze mit nur einem Teilblitz der Jahre 2009 und 2010 so fällt auf, dass der prozentuelle Anteil von Blitzen mit einem Teilblitz der Daten des Ortungssystems im Jahr 2009 höher und im Jahr 2010 niedriger gegenüber den Daten des mobilen Feldmesssystems ist. Diese Auffälligkeit ist folgendermaßen zu begründen:

Im Jahr 2009 wurden von den 45 mit dem mobilen Feldmesssystem gemessenen negativen Blitze 9 Blitze eindeutig als Blitze mit einem Teilblitz identifiziert. Von diesen 9 Blitzen mit einem Teilblitz hat das Ortungssystem 8 Blitze richtig als Blitz mit einem Teilblitz kategorisiert. Ein Blitz mit einem Teilblitz wurde vom Ortungssystem nicht detektiert. Zusätzlich zu den vom Ortungssystem richtig kategorisierten Blitzen mit einem Teilblitz wurden 3 Blitze vom Ortungssystem als Blitze mit einem Teilblitz kategorisiert, die aufgrund der Daten des mobilen Feldmesssystems als Blitze mit zwei Teilblitzen identifiziert werden

konnten. Aufgrund dessen ergibt sich für die Daten des Ortungssystems ein höherer prozentueller Anteil an Blitzen mit einem Teilblitz gegenüber den Daten des mobilen Feldmesssystems. Konkret ergibt sich für die Daten des Ortungssystems $\frac{11}{44} 100\% = 25\%$ und für das Mobile Feldmesssystem $\frac{9}{45} 100\% = 20\%$ Blitze mit nur einem Teilblitz.

Im Jahr 2010 wurden von den 109 mit dem mobilen Feldmesssystem gemessenen negativen Blitzen 33 Blitze eindeutig als Blitze mit einem Teilblitz identifiziert. Von diesen 33 Blitzen mit einem Teilblitz hat das Ortungssystem 18 Blitze richtig als Blitz mit einem Teilblitz kategorisiert. Zwei Blitze mit einem Teilblitz wurden vom Ortungssystem nicht detektiert. Zusätzlich zu den vom Ortungssystem richtig kategorisierten Blitzen mit einem Teilblitz wurden 8 Blitze vom Ortungssystem als Blitze mit einem Teilblitz kategorisiert, die aufgrund der Daten des mobilen Feldmesssystems als Blitze mit 2 oder mehr Teilblitzen identifiziert wurden was zu einer Erhöhung von 18 auf 26 Blitzen mit einem Teilblitz führt. Zusätzlich wurden im Jahr 2010 13 Blitze vom Ortungssystem als Blitze mit mehr als einem Teilblitz kategorisiert die laut Daten des mobilen Feldmesssystems eindeutig als Blitze mit einem Teilblitz identifiziert werden konnten (dieses Phänomen wurde für das Jahr 2009 nicht beobachtet). Somit sinkt der prozentuelle Anteil der Blitze mit einem Teilblitz der Daten des Ortungssystems gegenüber den Daten des mobilen Feldmesssystems, da diese 13 Blitze mit einem Teilblitz von Ortungssystem als Blitze mit mehr als einem Teilblitz kategorisiert wurden. Konkret ergibt sich $\frac{26}{107} 100\% = 24,30\%$ für den Anteil von Blitzen mit einem Teilblitz für die Daten des Ortungssystems und $\frac{33}{109} 100\% = 30,28\%$ für den Anteil von Blitzen mit einem Teilblitz für die Daten des mobilen Feldmesssystems.

Somit kann der Unterschied der Anteile von Blitzen mit einem Teilblitz der beiden betrachteten Jahre durch das Phänomen erklärt werden, dass im Gegensatz zum Jahr 2009 im Jahr 2010 13 Blitze mit einem Teilblitz nicht als solche kategorisiert wurden. Für den Fall, dass diese durch die Daten des mobilen Feldmesssystems eindeutig identifizierten Blitze mit einem Teilblitz auch als solche identifiziert worden wären würde der prozentuelle Anteil der Blitze mit einem Teilblitz der Daten des Ortungssystems bei 36,45% liegen was dem Verhalten der Daten des Jahres 2009 ähnlich wäre.

Negative Entladungen der Jahre 2009 und 2010:

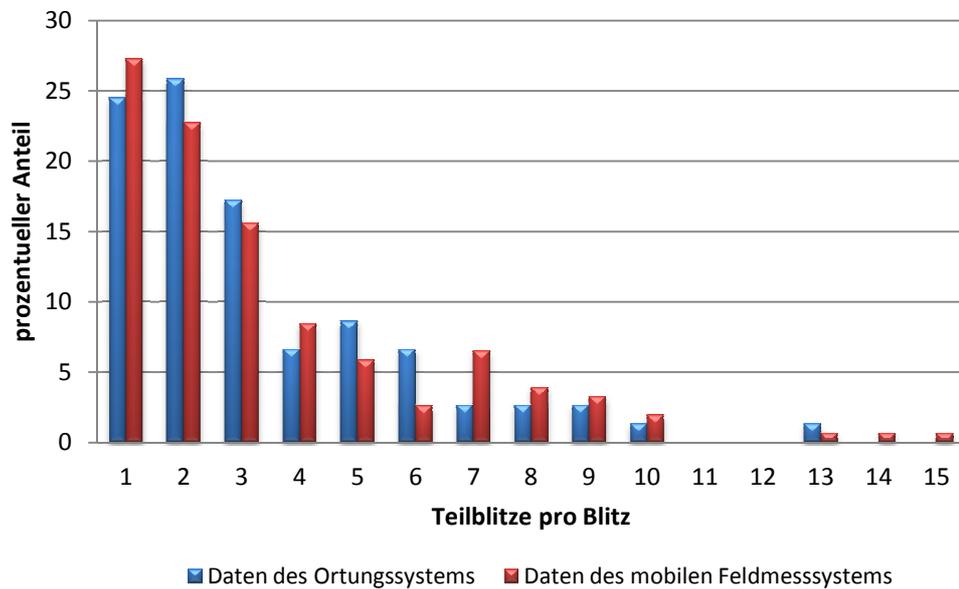


Abbildung 33: Verteilung negativer Teilblitze pro Blitz für die Jahre 2009 und 2010.

Aus den Daten des Ortungssystems ergibt sich ein durchschnittlicher Wert von 3,32 Teilblitzen pro Blitz, der Median liegt bei 2 Teilblitzen pro Blitz. Aus den Daten des mobilen Feldmesssystems ergibt sich ein durchschnittlicher Wert von 3,51 Teilblitzen pro Blitz, der Median liegt bei 2,5 Teilblitzen pro Blitz.

Positive Entladungen der Jahre 2008, 2009 und 2010:

Analysiert und dargestellt werden die Gesamtdaten der Jahre 2008, 2009 und 2010 da aus den Jahren 2008 und 2009 zu wenig Messdaten für eine getrennte Betrachtung vorhanden sind.

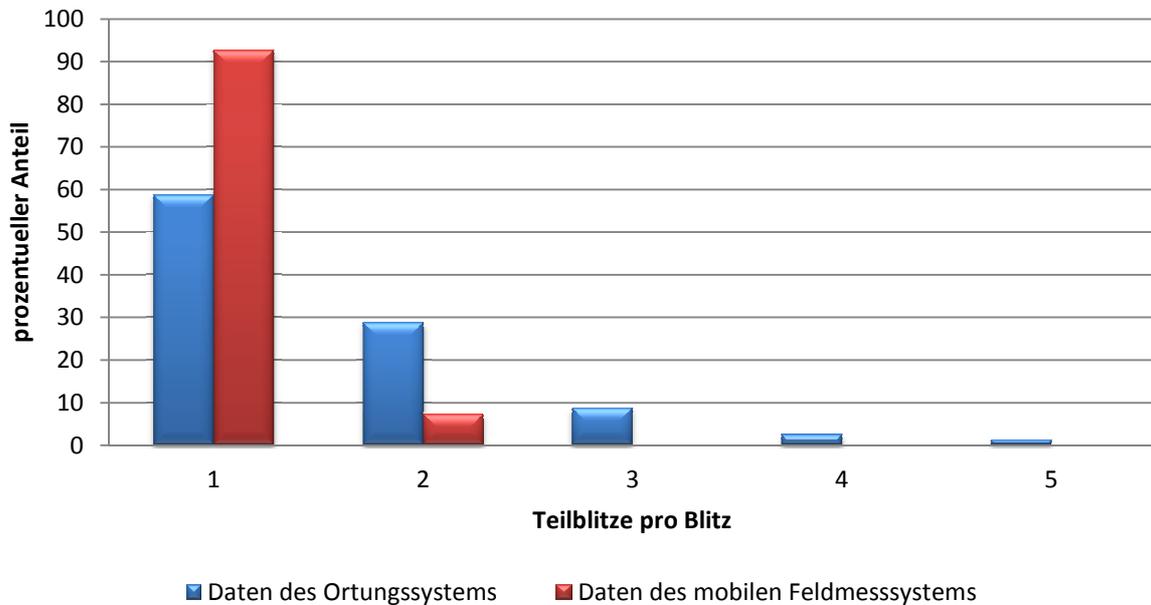


Abbildung 34: Verteilung positiver Teilblitze pro Blitz für die Jahre 2008, 2009 und 2010.

Aus den Daten des Ortungssystems ergibt sich ein durchschnittlicher Wert von 1,59 Teilblitzen pro Blitz, der Median liegt bei 1 Teilblitz pro Blitz. Aus den Daten des mobilen Feldmesssystems ergibt sich ein durchschnittlicher Wert von 1,07 Teilblitzen pro Blitz, der Median liegt bei 1 Teilblitz pro Blitz.

4.5. Verteilung der Blitzstromamplituden

Die Daten des Ortungssystems liefern für jeden detektierten und georteten Teilblitz Angaben über die Blitzstromamplitude des georteten Teilblitzes. Für die mit dem mobilen Feldmesssystem gemessenen und vom Ortungssystem vollständig und richtig detektierten Teilblitze kann eine Verteilung der Blitzstromamplituden dargestellt werden. Weiters können minimale- und maximale Blitzstromamplitude sowie Mittelwert und Median der betrachteten Blitzstromamplituden berechnet werden.

Für die folgenden Darstellungen werden nur Daten des Ortungssystems verwendet. Für die Richtigkeit der Blitzstromamplitudenberechnung des Ortungssystems werden regelmäßig Referenzmessungen an der Blitzmessstation Gaisberg bei Salzburg von den Mitarbeitern der Forschungsgruppe ÖVE – ALDIS durchgeführt. Bei einem Blitzeinschlag in die Messstation am Gaisberg wird eine Strommessung mittels ohmschen Messwiderstandes durchgeführt und der gemessene Strom dieser Entladung mit den zugehörigen Daten des Ortungssystems verglichen. Eine Veröffentlichung der Mitarbeiter der Forschungsgruppe ÖVE – ALDIS aus dem Jahr 2002 gibt an, dass die angegebenen Blitzstromscheitelwerte des Ortungssystems im Durchschnitt um 5% unter den am Gaisberg direkt gemessenen Blitzstromscheitelwerten liegt (Diendorfer Hadrian Hofbauer Mair Schulz, 2002).

Negative Entladungen:

Tabelle 8: Blitzstromamplitudenparameter für negative Wolke – Erde Entladungen

	2009	2010	2009 und 2010
Anzahl der Teilblitze	113	335	448
Betragsmäßig kleinste Blitzstromamplitude	-3,8 kA	-2,3 kA	-2,3 kA
Betragsmäßig größte Blitzstromamplitude	-58,8 kA	-171,0 kA	-171,0 kA
Mittelwert	-14,6 kA	-15,0 kA	-14,9 kA
Median	-13,2 kA	-10,9 kA	-11,5 kA

In Abbildung 35 werden Blitzstromamplituden bis -100 kA dargestellt. Für alle vollständig und korrekt detektierten Teilblitze der Jahre 2009 und 2010 wurden nur zwei Teilblitze, mit einer Blitzstromamplitude betragsmäßig größer -100 kA detektiert (-136,8 kA und -171,0 kA).

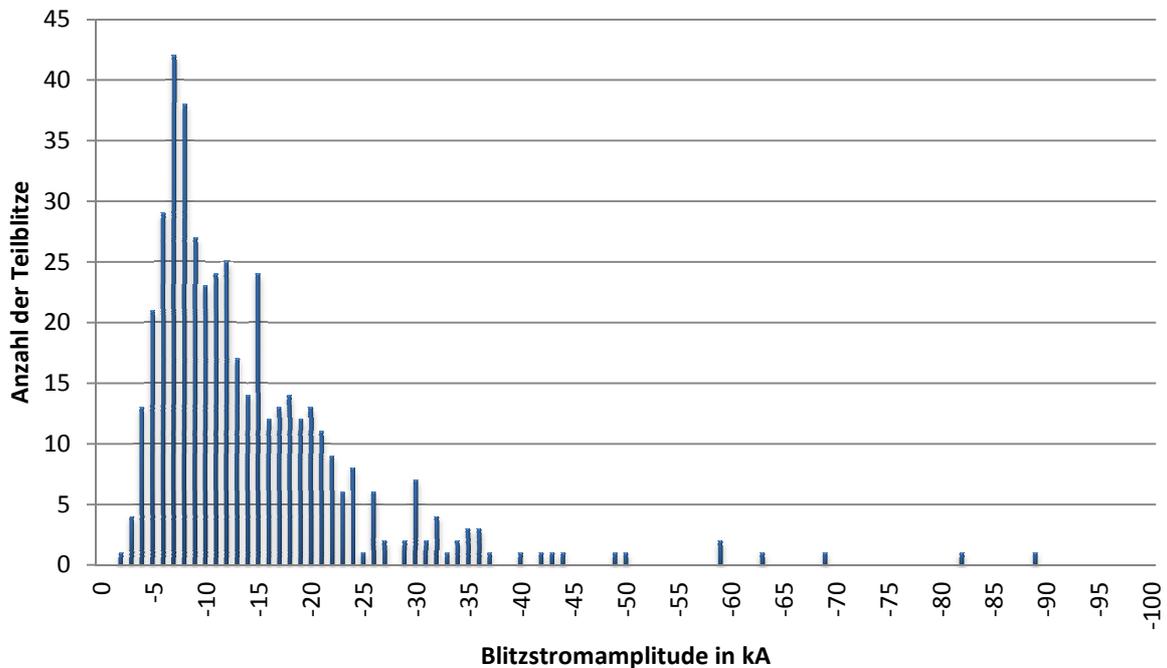


Abbildung 35: Blitzstromverteilung negativer Teilblitze der Jahre 2009 und 2010.

Positive Entladungen der Jahre 2008, 2009 und 2010:

Für die Darstellung der Blitzstromverteilung positiver Teilblitze der Jahre 2008, 2009 und 2010 werden Daten des Ortungssystems von 81 Teilblitzen verwendet die vom Ortungssystem vollständig und richtig detektiert wurden. Durchschnittlich beträgt die Blitzstromamplitude für die betrachteten positiven Entladungen der Jahre 2008, 2009 und 2010 43,7 kA, der Median liegt bei 33,7 kA. Die kleinste Blitzstromamplitude eines betrachteten positiven Teilblitzes der Jahre 2008, 2009 und 2010 liegt bei 9,3 kA, die größte Blitzstromamplitude liegt bei 207,6 kA.

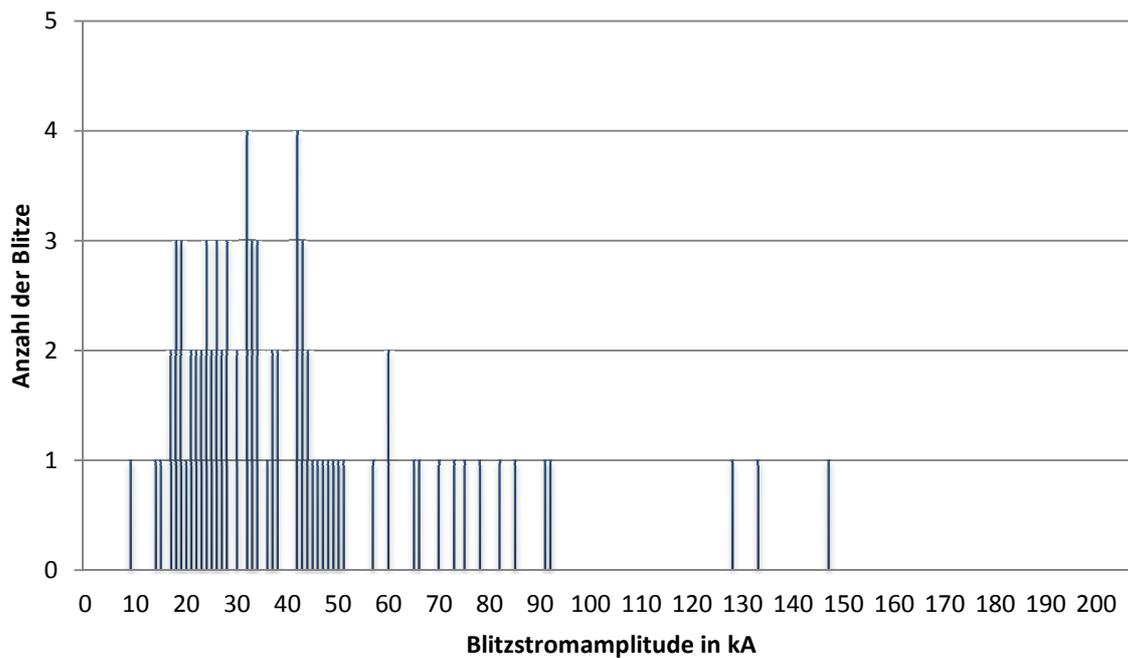


Abbildung 36: Blitzstromverteilung positiver Teilblitze der Jahre 2008, 2009 und 2010.

5. Diskussion

Die Ergebnisse dieser Arbeit haben gezeigt, dass elektrische Feldmessung atmosphärischer Entladungen in Kombination mit Kameramessung ein geeignetes Mittel zur Überprüfung der Detektionseffizienz und Ortungsgenauigkeit eines Blitzortungssystems ist. Die im Zuge dieser Arbeit bestimmten Werte für die Detektionseffizienz und Ortungsgenauigkeit des Blitzortungssystems ALDIS bzw. EUCLID in Süd- und Ostösterreich entsprechen durchaus bereits vorhandenen Analysen aus Österreich und den USA (siehe (Schulz Pichler Diendorfer, 2009), (Biagi Cummins Kehoe Krider, 2007)). Weiters konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, dass die Werte der Detektionseffizienz verschiedener Jahre nur gering variieren (maximal um 0,12% für Blitz- und 0,43% für Teilblitzdetektionseffizienz). Die ermittelten Werte für Standardabweichung und Median der Entfernung von Teilblitzen mit selben Entladungskanal bezogen auf den Erstblitz entsprechen den Ergebnissen der Ortungsgenauigkeitsüberprüfungen an der Blitzmessstation Gaisberg bei Salzburg wobei anzumerken ist, dass die Ortungsgenauigkeitsüberprüfung an der Blitzmessstation Gaisberg zusätzlich noch die systematischen Fehler des Ortungssystems enthält und aufgrund dessen nicht direkt mit der im Zuge dieser Diplomarbeit durchgeführten Ortungsgenauigkeitsüberprüfung vergleichbar ist.

Die vom Hersteller der Blitzortungssensoren VAISALA angegebenen Werte für die Detektionseffizienz von Wolke – Erde Entladungen und den Medianwert der Ortungsgenauigkeit im Netzwerkbetrieb der Sensoren werden eingehalten (siehe Kapitel 2.4.2., Tabelle 5, Tabelle 7 und Kapitel 4.3.2.).

Die wesentliche Erkenntnis dieser Arbeit ist, dass:

- Zwischen 98,05% und 98,17% der negativen Blitze
- Zwischen 82,72% und 83,15% der negativen Teilblitze
- 97,56% der positiven Blitze
- 92,05% der positiven Teilblitze

innerhalb der betrachteten Jahre (2009 und 2010 für negative Entladungen bzw. 2008, 2009 und 2010 für positive Entladungen), richtig detektiert und geortet wurden.

Die ermittelten Werte für Standardabweichung und Medianwert des zufälligen Ortungsfehlers liegen bei:

- Standardabweichung: 650 m
- Medianwert: 370 m

Durch die in dieser Arbeit erstellten Datenbank konnten für atmosphärische Entladungen, sowohl positiver als auch negativer Polarität, in Süd- und Ostösterreich typische Werte für den prozentuellen Anteil an Blitzen mit einem Teilblitz, durchschnittliche Anzahl der Teilblitze pro Blitz sowie Durchschnitts- und Medianwerte von Blitzstromamplituden ermittelt werden. Weiters konnten Verteilungen der Teilblitze pro Blitz und Verteilungen der Blitzstromamplitude für Teilblitze dargestellt werden. Wesentliches Qualitätsmerkmal dieser ermittelten Werte und Verteilungen ist, dass aufgrund der Daten des mobilen Feldmesssystems eindeutig die Existenz von Entladungen festgestellt werden konnte.

6. Weiterführende Gedanken

Im diesem Kapitel soll ein Ausblick auf zukünftige Tätigkeiten, basierend auf dieser Arbeit, diskutiert werden. Es werden Tätigkeiten zur weiteren Überprüfung der Detektionseffizienz, der Erweiterung der Datenbank sowie Verbesserungen des mobilen Feldmesssystems diskutiert. Zusätzlich sollen offene Fragen dieser Arbeit aufgelistet und Lösungsansätze geboten werden.

Eine regelmäßige Überprüfung der Detektionseffizienz sowie der Ortungsgenauigkeit kann das Vertrauen in die Daten eines Ortungssystems langfristig sichern. Aufgrund dessen sollte in regelmäßigen Abständen eine Überprüfung der Detektionseffizienz und Ortungsgenauigkeit durch Messungen mit dem mobilen Feldmesssystem durchgeführt werden. Durch weitere Messungen atmosphärischer Entladungen mit dem mobilen Feldmesssystem würde sich die Datenmenge der bestehenden Datenbank erhöhen was eine höhere Qualität der zu analysierenden Parameter zur Folge hat. Zusätzlich können, aufgrund von Messungen über Jahre, Trends für gewisse Parameter festgestellt werden.

Für die im Zuge dieser Arbeit erstellte Datenbank stehen Daten aus Süd- und Ostösterreich zur Verfügung. Messungen für die Bereiche westliches und nördliches Niederösterreich, Oberösterreich, Salzburg, Nordtirol und Vorarlberg würden Aufschluss über die Detektionseffizienz für ganz Österreich geben.

Das mobile Feldmesssystem in seiner derzeitigen Form liefert Messdaten elektrischer Wechselfelder in Abhängigkeit der Zeit sowie Kameradaten. Ein Messkanal des mobilen Feldmesssystems ist derzeit noch frei. Es wäre von Vorteil, wenn das mobile Feldmesssystem um eine magnetische Rahmenantenne erweitert werden würde, damit zukünftig die Messung magnetischer Wechselfelder zusätzlich zu den bereits bestehenden Messungen möglich ist.

Das mobile Feldmesssystem verfügt derzeit über das in 3.2.4 besprochene faradaysche Loch. Zur Verringerung des Risikos für die messende Person sollten die Schutzleiter und Masseleitungen der in den PKW führenden Kabel galvanisch mit der Karosserie des PKW verbunden werden.

Weiters sollte eine Lösung für den Witterungsschutz der im Freien liegenden Komponenten des mobilen Feldmesssystems gesucht werden. Im speziellen handelt es sich um Komponenten der elektrischen Feldmessung und deren Energieversorgung (Messverstärker mit Integrator, Elektro – Opto – Wandler, Akkumulatoren). Als möglicher Witterungsschutz

für diese Komponenten würde sich ein spritzwassergeschützter Koffer aus elektrisch nicht leitfähigem Material, in dem die zu schützenden Komponenten fix integriert sind, anbieten.

Für alle Messtage und Messzeiträume des Jahres 2010 sind meteorologische Daten vorhanden. Diese meteorologischen Daten bestehen aus den Screenshots der Wetterradarbilder verschiedener Darstellungen (MaxCAPPI 2D und WR 3D⁸) und den Stüve Diagrammen zu den Radiosondenaufstiegen aus Wien, Graz, Zagreb und Udine sowie meteorologischer Prognose- und Analysekarten. Die Vorhandenen Radarbilder in 3D Darstellung sind in etwa auf die theoretisch berechnete -10 °C Höhe eingestellt. Die Gegenüberstellung von meteorologischen Daten und Blitzmessdaten würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. In Bezug auf die Art und Polarität der in verschiedenen Gewittersituationen aufgetretenen atmosphärischen Entladungen wäre eine Gegenüberstellung von Wetterradardaten und der in dem betrachteten Zeitraum aufgetretenen atmosphärischen Entladungen interessant.

⁸ Die WR 3D Bilder stehen nur für einige Messtage zur Verfügung

7. Zusammenfassung

Diese Diplomarbeit befasst sich mit der Überprüfung der Detektionseffizienz und der Ortungsgenauigkeit des Blitzortungssystems ALDIS in Süd und Ostösterreich, sowie der Ermittlung einiger für Süd- und Ostösterreich typischer Blitzparameter.

Im Theorieteil werden die grundsätzlichen meteorologischen Voraussetzungen der Gewitterbildung, der Ladungstrennungsprozess innerhalb einer Gewitterwolke und die elektrische Struktur von Gewitterwolken sowie der Vorgang bei Blitzentladungen beschrieben. Weiters beschäftigt sich der Theorieteil mit der Ortung atmosphärischer Entladungen, den für die Ortung atmosphärischer Entladungen relevanten Messgrößen und einer Auflistung und Beschreibung der in Österreich und Europa wesentlichen Blitzortungssysteme.

Es folgt eine ausführliche Beschreibung des mobilen Feldmesssystems mit all seinen Komponenten und deren Funktion. Es wird beschrieben wie Messen mit dem mobilen Feldmesssystem vor sich geht, worauf zu achten ist um effizient zu messen und welche Probleme sich beim Messen mit dem mobilen Feldmesssystem ergeben können. Zusätzlich werden die Messplätze, Messtage und die Verteilung der Messplätze über Südösterreich angeführt.

Kern der Diplomarbeit ist neben der Gewinnung von Messdaten höchster Qualität die Analyse und Selektion der mit dem mobilen Feldmesssystem gemessenen Daten und die Gegenüberstellung der Daten des mobilen Feldmesssystems den zugehörigen Daten des Ortungssystems. Aussagen bezüglich Detektionseffizienz, Ortungsgenauigkeit und Verteilung der Teilblitze pro Blitz werden getroffen. Zusätzlich zur Gegenüberstellung werden noch spezielle Parameter des Ortungssystems statistisch ausgewertet und für Süd und Ostösterreich typische Werte ermittelt.

In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass das österreichische Blitzortungssystem ALDIS eine Detektionseffizienz und Ortungsgenauigkeit aufweist, die bereits veröffentlichten Detektionseffizienz- und Ortungsgenauigkeitsanalysen entspricht. Weiters konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, dass das von den Mitarbeitern der Forschungsgruppe ÖVE – ALDIS entwickelte mobile Feldmesssystem ein geeignetes Mittel zur Analyse der Detektionseffizienz und Ortungsgenauigkeit ist.

Literaturverzeichnis:

ALDIS, Datalogger 3 Field Measuring System Hardware Installation & User Manual, 2009

Bartsch, H.-J., Taschenbuch mathematischer Formeln, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2004

Biagi, C., Cummins, K., Kehoe, K., Krider, E., National Lightning Detection Network (NDLN) performance in southern Arizona, Texas, and Oklahoma in 2003 – 2004, Journal of geophysical research, Vol. 112, 2007

Diendorfer, G., Hadrian, W., Hofbauer, F., Mair, M., Schulz, W., Evaluation of lightning location data employing measurements of direct strikes to a radio tower, CIGRÉ Session 2002, 2002⁹

Ishii, M., Shimizu, K., Hojo, J., Shinjo, K., Termination of multiple – stroke flashes observed by electromagnetic field, 24th international conference on lightning protection, 1998

Jayarathne, E. R., Saunders, P. R., The “rain gush”, lightning, and the lower positive charge center in thunderstorms, Journal of geophysical research, Vol. 89, 1984

Klose, B., Meteorologie, Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 2008

Krehbiel, P. R., The electrical structure of thunderstorms, Washington DC: National Academy Press, 1986

Le Vine, D. M., Willett, J. C., Bailey, J. C., Comparison of fast electric field changes from subsequent return strokes of natural and triggered lightning, Journal of geophysical research, Vol. 94, 1989

Meinberg, Handbuch Meinberg GPS169PCI, 2006

Pichler, H., Amplifier with automatic offset correction for recording the E – Field of lightning pulses, 2004

Pistotnik, G., Evapotranspiration und konvektiver Niederschlag im Ausschnittsmodell “ALADIN – AUSTRIA“, 2006

⁹ Diese Veröffentlichung hat Daten des ALDIS Systems unter Verwendung der IMPACT Sensoren zugrunde liegen.

Schulz, W., Pichler, H., Diendorfer, G., Evaluation of 45 negative flashes based on the E – Field measurements, video data and lightning location data in Austria, 30th international conference on lightning protection, 2010

Uman, M. A., Rakov, V. A., Lightning physics and effects, Cambridge university press, 2003

Internet Recherche:

ALDIS, <http://www.aldis.at>, März 2011

EUCLID, <http://www.euclid.org>, März 2011

Google, Google Earth, März 2011

Google, <http://maps.google.at>, 2010 bis 2011

ORF, <http://wetter.orf.at/oes>, Mai bis August 2010

University of Wyoming, <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>, Mai bis August 2010

VAISALA, Vaisala thunderstorm CG enhanced lightning sensor LS7000,
<http://www.hobeco.net/pdf/LS7000.pdf>, April 2011

Wetterzentrale, <http://www.wetterzentrale.de>, 2011

ZAMG, <http://www.zamg.ac.at>, Mai bis August 2010

Abkürzungsverzeichnis

ALDIS	Austrian Lightning Detection And Information System
CAPE	Convective Available Potential Energie
CIN	Convective Inhibition
ESSL	European Severe Storms Laboratory
EUCLID	European Cooperation For Lightning Detection
GPS	Global Positioning System
LCL	Lifted Condensation Level
LFC	Level Of Free Convection
MDF	Magnetic Direction Finding
ORF	Österreichischer Rundfunk
ÖVE	Österreichischer Verband für Elektrotechnik
PC	Personal Computer
PE	Protection Earth
PKW	Personenkraftwagen
TOA	Time Of Arrival
UTC	Coordinated Universal Time
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik