

# Erfassung und Auswertung von Blitzereignissen in Mitteldeutschland durch Video- und Feldmessdaten

## Lightning Events Evaluation in Central Germany by Video and Field Measurement Recordings

Stefan Jugelt<sup>\*1</sup>, Michael Rock<sup>\*2</sup>, Fachgebiet Blitz- und Überspannungsschutz, Technische Universität Ilmenau, Deutschland

Wolfgang Schulz, ALDIS – OVE Service GmbH, Wien, Österreich

Sebastian Schatz, Stephan Pack, Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement, Technische Universität Graz, Österreich

Julia Maier, Lukas Schwalt, Austrian Power Grid AG, Wien, Österreich

<sup>\*1</sup>stefan.jugelt@tu-ilmenau.de, <sup>\*2</sup>michael.rock@tu-ilmenau.de

### Kurzfassung

Durch die zunehmende Elektrifizierung von Gebäuden und Infrastruktur steigt das Risiko von schadhafte Wirkungen durch Blitzeinschläge. Für die Risikobewertung ist die Kenntnis über das Auftreten vergangener Blitzereignisse und die Blitzhäufigkeit bezogen auf einzelne Regionen daher von besonderer Bedeutung. Blitzortungssysteme wie BLIDS (Deutschland) bzw. ALDIS (Österreich) nutzen das von Blitzentladungen ausgesendete elektro-magnetische Feld für die Lokalisierung der Blitze und für die Berechnung von Blitzparametern. Die Qualität der berechneten Daten ist dabei abhängig von der Parametrierung der Auswerteverfahren, wobei jedoch zur Überprüfung keine Realdaten einzelner Blitzereignisse vorliegen.

Ziel der Studie war es daher, mit einem mobilen Messsystem, bestehend aus einer Hochgeschwindigkeits-Videokamera und einer Plattenantenne zur Messung des elektrischen Feldes, Realdaten von Wolke-Erde-Entladungen (sogenannte cloud-to-ground flashes) in Deutschland aufzuzeichnen. Die Messungen hierzu wurden an exponierten Standorten in der weiteren Umgebung der TU Ilmenau in der Mittelgebirgsregion in Deutschland im Jahr 2024 durchgeführt.

Bei den Untersuchungen wurde ein Anteil von 32 % an negativen Einzelblitzentladungen festgestellt. Der Wert liegt oberhalb dessen, was in Regionen mit höherer Blitzdichte ermittelt wurde. Entsprechend ist die Anzahl der Teilblitze je Blitz (Multiplicity) mit 3,05 niedriger als bei vorherigen Messungen. Aus den Messdaten ergibt sich eine Detection Efficiency für Blitze (Flashes) von 95 % (neg.) und 89 % (pos.), sowie für Teilblitze (Strokes) von 88 %... 89 % (neg. und pos.). Die ermittelte Ortungsgenauigkeit des Blitzortungssystems ist mit einem Median von etwa 60 m beachtlich hoch und unterstreicht die Qualität des Systems.

### Abstract

The increasing electrification of buildings and infrastructure increases the risk of damage caused by lightning strikes. Knowledge of the occurrence of past lightning events and the lightning frequency in relation to individual regions is therefore of particular importance for risk assessment. Lightning detection systems such as BLIDS (Germany) and ALDIS (Austria) use the electro-magnetic field emitted by lightning discharges to determine the lightning location and to calculate lightning parameters. The quality of the calculated data depends on the parameterization of the evaluation methods, but no real data of individual lightning events are available for verification.

The aim of the study was therefore to record real data of cloud-to-ground flashes in Germany using a mobile recording system consisting of a high-speed video camera and a flat-plate antenna for measuring the electric field. The measurements for this were carried out at exposed locations in the wider vicinity of TU Ilmenau in the low mountain region in Germany in 2024.

The investigations revealed a percentage of 32 % for negative single stroke flashes. This value is higher to ones determined in regions with a higher lightning density. Accordingly, the number of strokes per flash (multiplicity) of 3.05 is somewhat lower than in previous measurements. The measurement data results in a detection efficiency for flashes of 95 % (neg.) and 89 % (pos.), and for strokes of 88 %... 89 % (neg. and pos.). The determined location accuracy of the lightning detection system is remarkably high at approx. 60 m (median) and underlines the quality of the system.

## 1 Einleitung

Durch klimatische Veränderungen und die zunehmende Elektrifizierung steigt das Risiko von Schadensfällen durch Blitzeinschläge. Um das Naturphänomen besser zu verstehen, wird weltweit zum Thema Blitzentstehung und Blitzwirkung geforscht. Ein Schwerpunkt hierbei ist die

Ortung von atmosphärischen Entladungen, welche als Wolke-Erde-Blitze (Cloud-to-Ground / CG) zu Einschlägen auf der Erdoberfläche führen. In Deutschland wird hierfür das Blitzortungssystem BLIDS betrieben, für welches bisher Abgleiche mit Realdaten am Messpunkt Hoher Peißenberg erfolgt sind [1].

Die TU Ilmenau hat sich mit Unterstützung von ALDIS das Ziel gesetzt, Messdaten realer Einschläge von Blitzereignissen, sogenannte „ground-truth“-Daten, zu ermitteln. Die Datensätze wurden während einer Messkampagne im Jahr

2024 an 16 Standorten in Thüringen und den angrenzenden Bundesländern Sachsen, Sachsen-Anhalt, Bayern und Hessen in Deutschland aufgezeichnet, siehe Bild 1.

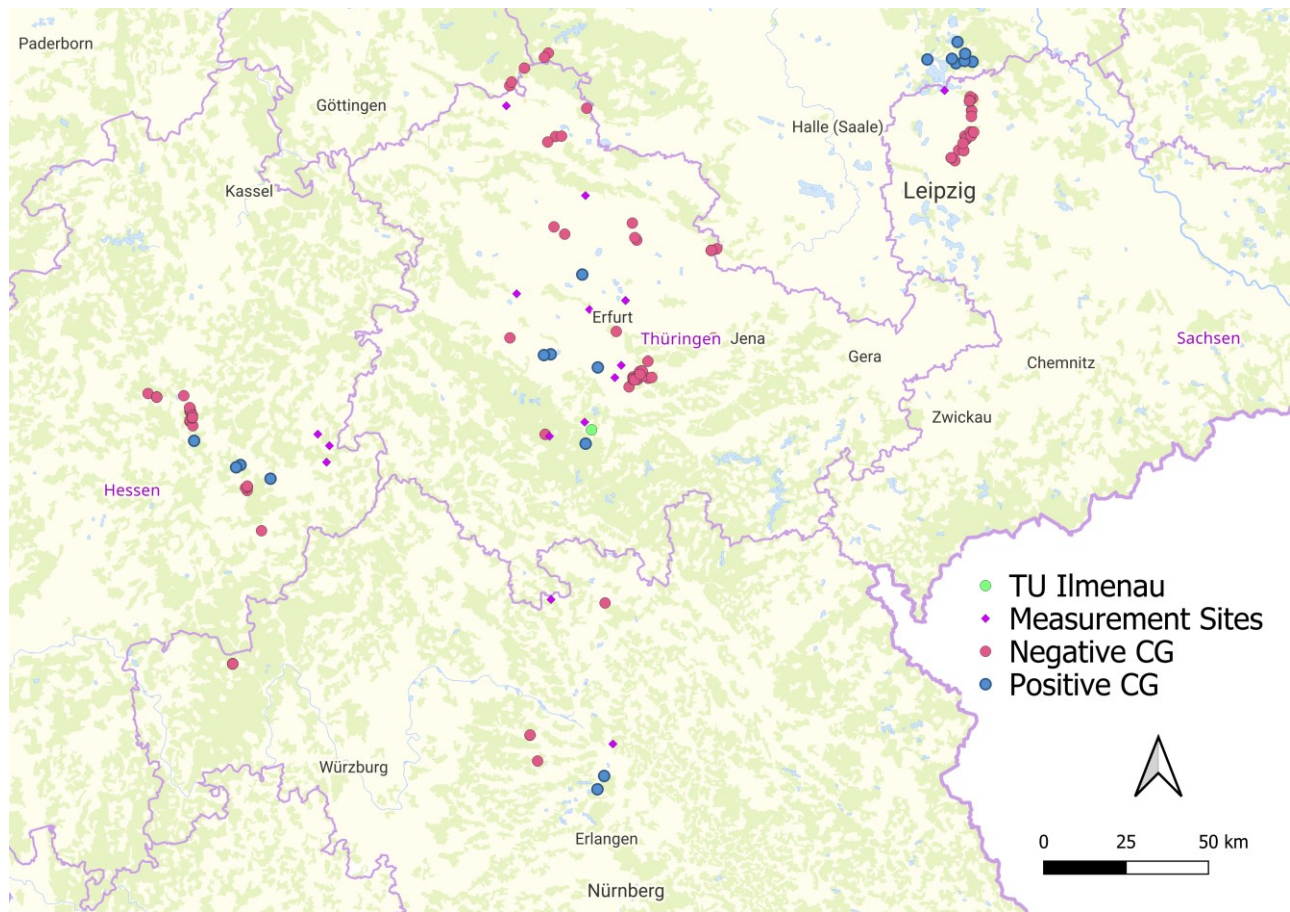


Bild 1: Messstandorte (violett) und geortete negative (rot) und positive (blau) Wolke-Erde-Teilblitze (Strokes)

In den nachfolgenden Abschnitten werden ausgewählte Blitzparameter, wie der Anteil von Einzelblitzen (Single-Stroke-Flashes) und die Anzahl von Teilblitzen (Multiplicity) betrachtet. Mit den aufgezeichneten Messdaten kann eine Verifikation von Blitzortungsdaten erfolgen. Die Qualität der Ortungsdaten kann beispielsweise anhand der Ortungsgenauigkeit („Location Accuracy“) und der relativen Anzahl korrekt detektierter Teilblitze („Detection Efficiency“) bemessen werden.

## 2 Messmethodik

### 2.1 Video und Feldmesssystem (VFRS)

Um die „ground-truth“-Daten der Blitzereignisse zu erfassen, wurde ein mobiles Messsystem eingesetzt, welches von ALDIS und der TU Graz entwickelt wurde. Das System wurde mit einem Fahrzeug in die jeweilige Messregion gebracht und dort autark betrieben, siehe Bild 2. Das Video- und Feldmesssystem (VFRS) besteht aus einer Hochgeschwindigkeitskamera und einem System zur Messung des transienten elektrischen Feldes. Das elektrische Feldmesssystem setzt sich aus Plattenantenne, Integrator,

Verstärker, Glasfaser-Datenübertragungsstrecke (Transmitter), A/D-Wandler und einem PXI-System zusammen (siehe [2]).

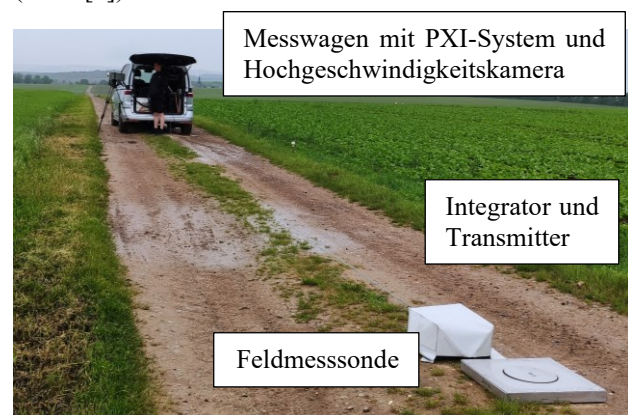


Bild 2: Messaufbau auf einem Feldweg in Thüringen

Für die durchgeführten Untersuchungen wurde die Hochgeschwindigkeitskamera mit einer Auflösung von 1632x336 Pixeln und einer Bildrate von 2000 Bildern pro Sekunde betrieben, da sich diese Parameter bei vorherigen Messkampagnen als günstig herausgestellt haben (siehe [3] und [4]). Die Kamera verfügt über einen Ringspeicher, bei

dem fortlaufend neue Daten in den Speicher geschrieben und alte Daten gelöscht werden. Dies ermöglicht den Aufnahmezeitpunkt vor den Trigger-Zeitpunkt zu setzen und so das Gesamtereignis einer Blitzentladung aufzuzeichnen. Das System wurde für jede Aufnahme manuell vom Beobachter getriggert, sofern ein Blitz im Sichtfeld der Kamera zu sehen war. Die Synchronisierung von Feldmesssystem und Kamera über ein GPS-Zeitsignal gewährleistete die korrekte Zuordnung der Daten jedes Blitzes.

Zusätzlich wurde eine GoPro (Hero 4) Kamera genutzt, welche ein fortlaufendes Video mit 240 fps speichert. Zu Beginn der Aufnahme wurde die GPS-Zeit im Video aufgenommen und in der Nachbereitung der Messungen für jedes Einzelbild die GPS-Zeit berechnet und in das Bild übertragen. Die GoPro wurde vorzugsweise in eine andere Richtung als die Hochgeschwindigkeitskamera gerichtet und ermöglichte so zusätzliche Aufnahmen.

Zur Auswahl geeigneter Messorte und Zeitfenster war eine aufwändige Vorausplanung nötig. Wesentlich hierfür war die Suche nach geeigneten Stellplätzen im Messgebiet unter den Bedingungen guter Fernsicht und geringer Bewaldung in der direkten Umgebung, sowie guter Erreichbarkeit mittels PKW. Die Auswahl einzelner Messstandorte erfolgte nach täglicher bzw. stündlicher Prüfung der regionalen Wettervorhersage, wobei sich das DWD Modell ICON-D2 [5] als besonders präzise herausgestellt hat. Beim Erreichen der Zielregion war erneut die aktuelle Wetersituation anhand der aktualisierten Wettervorhersage und den Live-Daten der BLIDS-Blitzortung zu beurteilen und ggf. ein Ausweichplatz in der näheren Umgebung zu favorisieren.

## 2.2 Blitzortungssystem BLIDS

Seit 1992 wird das Blitzortungssystem (Lightning Location System / LLS) BLIDS in Deutschland betrieben, zunächst von der Siemens AG und seit Ende 2023 durch den österreichischen Blitzortungssystembetreiber ALDIS. Für die Blitzortung werden in Deutschland 12 Messstationen eingesetzt. ALDIS verarbeitet zudem über einen der Zentralrechner des europäischen Blitzortungsnetzwerks EUCLID Blitzortungsdaten von über 160 Sensoren aus ganz Europa [6].

Die Ortungsgenauigkeit innerhalb des Netzwerkes ist ein wesentlicher Parameter, um eine Korrelation zwischen Einwirkungen von Blitzereignissen auf Infrastrukturen und Personen mit Blitzortungsdaten durchführen zu können.

## 2.3 Auswertung

Die VFRS-Daten wurden zunächst Bild für Bild ausgewertet, ob eine Wolke-Erde Entladung sichtbar ist. In diesem Fall wurden die LLS-Daten hinzugezogen, wobei beide Datensätze durch die eindeutige GPS-Zeit verknüpft sind. Die Auswertung beider Datensätze erlaubt dann die Ermittlung der nachfolgenden Parameter.

# 3 Nomenklatur der Parameter

## 3.1 Ortungsgenauigkeit

Anhand der Videoaufnahmen kann analysiert werden, welche Teilblitze im gleichen Entladungskanal aufgetreten sind und damit den gleichen Erdeinschlagspunkt aufweisen. Anhand der begrenzten Messgenauigkeit des LLS werden diese Teilblitze fast immer mit unterschiedlichen Einschlagspunkten berechnet. Durch den Vergleich der LLS-Geodaten mit den kategorisierten Teilblitzen der Videodaten konnte eine Abweichung der Ortung berechnet werden. Dieser Parameter wird als Ortungsgenauigkeit (Location Accuracy / LA) bezeichnet.

## 3.2 Relative Anzahl erfasster Ereignisse

Das LLS erfasst und bewertet jeden Teilblitz einzeln auf Grundlage des davon ausgesendeten elektro-magnetischen Feldes. Die Klassifizierung nach Wolke-Erde-Blitz oder Wolke-Wolke-Blitz kann dabei fehlerhaft sein. Weiterhin kann es vorkommen, dass einzelne Teilblitze oder auch Flashes nicht erfasst werden, wenn das elektro-magnetische Feld nicht hinreichend charakteristisch ist. Aus den Videodaten ist jedoch eine eindeutige Zuordnung von CG-Flashes und der Anzahl der Teilblitze möglich. Der Vergleich von LLS-Daten mit den kategorisierten Teilblitzen der Videodaten ermöglicht die Bestimmung der Effizienz, einzelne (Teil-) Blitzereignisse richtig zu erfassen. Dieser Parameter wird als Detection Efficiency (DE) bezeichnet. Hierbei ist zu unterscheiden in Flash DE und Stroke DE. Erste beschreibt die Effizienz einen Flash grundsätzlich zu erfassen. Letztere beschreibt die Effizienz jeden einzelnen Teilblitz im Flash korrekt zu erfassen.

## 3.3 Anzahl von Teilblitzen

Blitzentladungen können aus einzelnen oder mehreren aufeinander folgenden Teilblitzen bestehen. Die Anzahl etwaiger Folgeblitze ist von Parametern, wie z.B. der Polarität der Entladung, der Jahreszeit, und weiteren Parametern abhängig. Die Anzahl von Entladungen je Blitzereignis wird als Wiederholrate (Stroke-Multiplicity) bezeichnet. Für negative CG-Flashes liegt sie typischerweise im Bereich von 3 bis 4 [7].

# 4 Ergebnisse

Der ausgewertete Datensatz umfasst insgesamt 54 Flashes, welche sich aus 123 Strokes (LLS-Daten) bzw. 131 Strokes (VFRS-Daten) zusammensetzen. Die Daten wurden an 16 Messstandorten aufgenommen.

## 4.1 Ortungsgenauigkeit (LA)

Bild 3 zeigt die ermittelten Werte der Ortungsgenauigkeit negativer CG-Teilblitze (CG-Strokes) des BLIDS Blitzortungssystems.

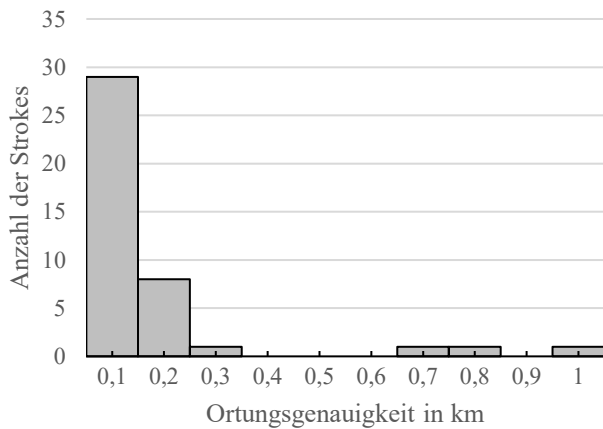


Bild 3: Ortungsgenauigkeit LA negativer CG-Teilblitze in km

Der überwiegende Teil der Strokes wurde mit einer LA von kleiner 200 m erfasst. Insgesamt wurde ein Medianwert von 60 m und ein 95 %-Wert von 660 m ermittelt. Alle beobachteten Folgeblitze mit gleichem CG-Flash liegen innerhalb einer LA von 1 km. Im Vergleich zu LA-Werten, welche am Messpunkt Hoher Peißenberg mit 100 m bis 240 m ermittelt wurden [1], sind die in der Mittelgebirgsregion Deutschlands ermittelten LA-Werte etwas besser (kleiner). Dies wird darauf zurückgeführt, dass durch die verhältnismäßig flache Orographie des Messgebiets weniger Verzerrungen im elektro-magnetischen Feld der Blitzentladungen auftreten, welche die LLS-Ortung negativ beeinflussen.

Für positive Entladungen kann keine Ortungsgenauigkeit angegeben werden, da hierfür Folgeblitze im gleichen Entladungskanal (gleicher Blitzfußpunkt, Ground Strike Point GSP) notwendig sind. Bei den Messungen wurde jedoch nur ein einzelner Flash mit einem Stroke, jedoch mit zwei unterschiedlichen GSP, erfasst.

#### 4.2 Detection Efficiency

Die nachfolgende Tabelle 1 gibt die Detection Efficiency (DE) für Flashes bei positiver und negativer Polarität der Entladungen an. Positive Flashes wurden zu 89 % korrekt erfasst. Wobei -korrekt erfasst- bedeutet, dass der Blitz nicht nur detektiert, sondern auch richtig als Wolke-Erde Blitz kategorisiert wurde. Negative Flashes wurden mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % korrekt erfasst. Dieser Wert ist vergleichbar mit Messungen, welche über längere Zeiträume in Österreich durchgeführt wurden (Flash-DE: 96 % bis 99 %, [6] [8]). Betrachtet man die DE unabhängig von der Kategorisierung wurden alle Flashes (Pos. und Neg.) zu 100 % detektiert.

|      | VRFS-Daten | LLS-Daten | Flash DE in % |
|------|------------|-----------|---------------|
| Neg. | 37         | 35        | 95            |
| Pos. | 17         | 15        | 89            |

Tabelle 1: Detection Efficiency für Flashes

Die Auswertung der Detection Efficiency nach Strokes in Tabelle 2 zeigt, dass nicht alle Teilblitze korrekt erfasst

wurden. Für positive Entladungen ist sie leicht höher und sehr ähnlich der Detection Efficiency für positive Flashes, da nahezu alle positiven Strokes (Einzelblitze) auch zugleich Flashes sind. Bei den negativen Strokes sind insbesondere die stromschwachen Folgeblitze durch das LLS schwer zu erfassen. Insgesamt zeigt sich jedoch eine sehr gute Stroke Detection Efficiency im Vergleich zu anderen Messungen (bspw. ~85 %...88 % in [9], oder 80 % in [1]).

|      | VRFS-Daten | LLS-Daten | Stroke DE in % |
|------|------------|-----------|----------------|
| Neg. | 113        | 99        | 88             |
| Pos. | 18         | 16        | 89             |

Tabelle 2: Detection Efficiency für Strokes

#### 4.3 Wiederholrate (Multiplicity)

Bild 4 zeigt die prozentuale Anzahl an negativen Strokes je Flash. Hierbei ergibt sich für die LLS-Daten eine mittlere Multiplicity von 2,86 und für die VRFS-Daten eine mittlere Multiplicity von 3,05. Diese Werte liegen etwas niedriger, als sie bei anderen Messungen in Europa ermittelt wurden. So wurden von der TU Graz in den österreichischen Alpen Werte von 3,11 (LLS) bzw. 3,29 (VRFS) gemessen [8]. Bei Messungen in Schweden wurden von Cooray und Pérez [10] ein Wert von 3,4 ermittelt. Poelmann et. al. [11] berichtet für Messungen in Belgien von Werten um 3,7 sowohl für LLS als auch für VRFS-Messungen. In gewitterreichen Regionen wie Florida oder Brasilien wurden darüber hinaus Multiplicity-Werte um 4,5 ermittelt [12] [13].

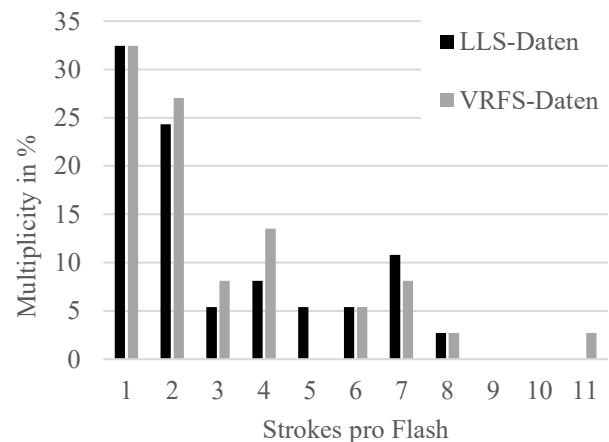


Bild 4: Multiplicity negativer CG-Flashes anhand der LLS-Daten und VRFS-Daten in %

Bild 4 zeigt weiterhin, dass 32 % aller negativen Flashes Single Stroke Flashes sind. Dieser Wert ist vergleichbar mit den von Schwalt et al. [14] über mehrere Jahre ermittelten Werten von um 27 % in den österreichischen Alpen. In anderen Regionen wurden jedoch wesentlich niedrigere Werte ermittelt. Beispielsweise wird durch Cooray und Pérez [10] für Messungen in Schweden von nur 18% Single Stroke Flashes berichtet. Für Belgien wird von Poelmann et. al. [11] ein Wert von 19 % für die Anzahl der Single Stroke Flashes genannt. In gewitterintensiven Weltregionen sinkt die Wahrscheinlichkeit für Single Stroke Flashes

noch weiter ab. So wird von Rakov und Uman [12] für Florida ein Wert von 17% berichtet und für Malaysia berichtet Baharudin et. al. [15] von lediglich 16 %. Es kann demzufolge abgeleitet werden, dass die Wahrscheinlichkeit für Single Stroke Flashes in Regionen mit geringer Gewitterintensität höher ist.

Positive CG-Flashes treten fast immer nur als einfache Entladung auf [7]. Entsprechend wurde bei den durchgeführten Untersuchungen auch eine Multiplicity von 1,0 (LLS) bzw. 1,06 (VRFS) festgestellt. Es wurde lediglich eine positive Entladung in den VRFS-Daten mit zwei Strokes ermittelt, wobei diese unterschiedliche Erdschlagpunkte aufweisen.

#### 4.4 Blitzstromamplitude

Die VRFS-Messungen selbst können keine exakten Informationen über die Blitzstromamplitude liefern. Es können lediglich Modellansätze, wie das Leitungsmodell (Transmission Line Model), zur Abschätzung der Blitzstromamplitude aus den Daten der Amplitude des elektrischen Feldes bei Blitzentladungen genutzt werden [16].

Daher wurden für die Auswertung die Blitzstromamplituden der LLS-Daten verwendet, um die „ground-truth“-Daten zu ergänzen.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Verteilung der Blitzstromamplitude für alle negativen Strokes (Bild 5), also Erst (FI)- und Folgeblitze (SU) und positiven Strokes (Bild 7). Dies umfasst 113 negative Strokes und 18 positive Strokes.

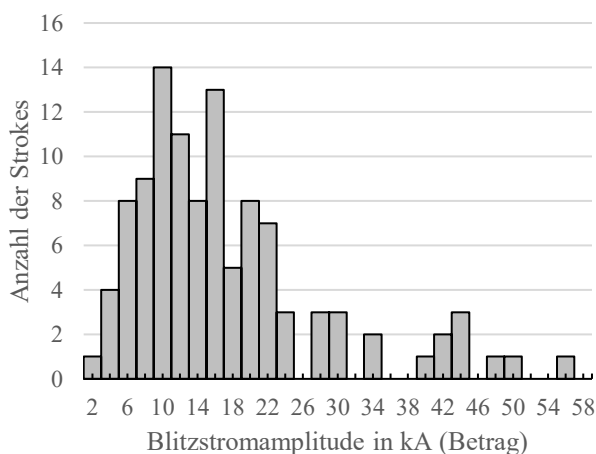


Bild 5: Verteilung der Blitzstromamplitude für negative CG-Flashes (Erst- und Folgeblitze)

Für die negativen Strokes wurde eine minimale Amplitude von -2 kA und eine maximale Amplitude von -58 kA ermittelt. Mittelwert und Median liegen bei -16,7 kA und -13,9 kA. Die Werte liegen etwas höherer, als sie beispielsweise von der TU Graz in den Alpen ermittelt wurden (Mittelwert etwa -13,5 kA, Median etwa -11 kA [9]).

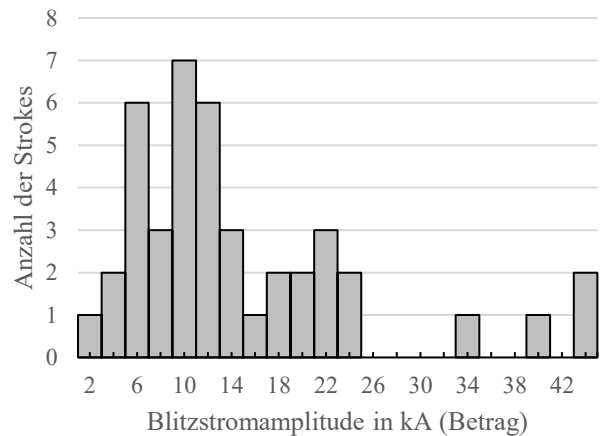


Bild 6: Verteilung der Blitzstromamplitude für negative Folgeblitze (SU)

Bild 6 zeigt als Teildatensatz von Bild 5 die Verteilung der Blitzstromamplitude für negative Folgeblitze. Es wird deutlich, dass diese in ähnlicher Verteilung auftreten, wie die Gesamtanzahl aller negativen Entladungen. Der Mittelwert beträgt hier -14,1 kA und der Median -10,8 kA.

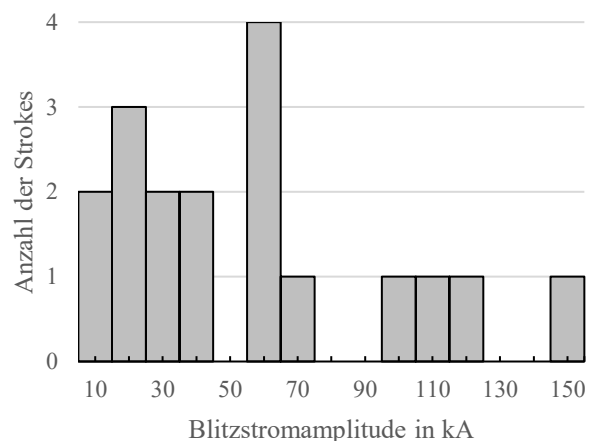


Bild 7: Verteilung der Blitzstromamplitude für positive CG-Flashes (Erstblitze)

Für die positiven Strokes wurde eine minimale Amplitude von +4,6 kA und eine maximale Amplitude von +150 kA ermittelt. Mittelwert und Median liegen bei +52,8 kA und +45,2 kA. Diese Werte sind etwas niedriger als die durch die TU Graz in den Alpen ermittelten Werte von 59,3 kA (Mittelwert) und 47,4 kA (Median) [17].

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Austrian Lightning Detection and Information System (ALDIS, OVE Service GmbH) für die Bereitstellung des Messsystems und für die fachlichen Diskussionen.

## 5 Literatur

- [1] C. Paul, F. H. Heidler and W. Schulz, "LLS Detection for Negative First and Subsequent Return Strokes Measured at Peissenberg Tower Germany," in *11th Asia-Pacific International Conference on Lightning (APL)*, Hong Kong, China, 2019.
- [2] W. Schulz, B. Lackenbauer, H. Pichler and G. Diendorfer, "LLS Data and correlated continuous E-field measurements," in *VIII International Symposium on Lightning Protection (SIPDA)*, São Paulo, Brazil, 2005.
- [3] C. Vergeiner, S. Pack, W. Schulz and G. Diendorfer, "Negative Cloud-to-Ground Lightning in the Alpine Region: A new Approach," in *CIGRE C4 International Colloquium on EMC, Lightning and Power Quality Considerations for Renewable Energy Systems*, Curitiba, Brazil, 2016.
- [4] D. R. Poelmann, W. Schulz, G. Diendorfer and M. Bernardi, "The European lightning location system EUCLID – Part 2: Observations," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 16, no. 2, pp. 607-616, 2016.
- [5] D. Reinert, F. Prill, H. Frank, M. Denhard, M. Baldauf, C. Schraff, C. Gebhardt, C. Marsigli, J. Förstner, G. Zängl and L. Schlemmer, "DWD Database Reference for the Global and Regional ICON and ICON-EPS Forecasting System," Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach am Main, 2024.
- [6] W. Schulz, G. Diendorfer, S. Pedebay and D. R. Poelman, "The European lightning location system EUCLID – Part 1: Performance analysis and validation," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 16, no. 2, pp. 595-605, 2016.
- [7] DIN EN 62305-1 VDE 0185-305-1:2011-10, *Blitzschutz, Teil 1: Allgemeine Grundsätze*.
- [8] L. Schwalt und S. Pack, „Blitzforschung LiOn – Erfassung von atmosphärischen Entladungen im österreichischen Alpenraum,“ in *VDE Blitzschutztagung*, Aschaffenburg, 2019.
- [9] L. Schwalt, S. Pack and W. Schulz, "LiOn Ground Truth Data in Correlation With ALDIS LLS Detections," in *34th International Conference on Lightning Protection (ICLP)*, Rzeszów, Poland, 2018.
- [10] V. Cooray and H. Pérez, "Some features of lightning flashes observed in Sweden," *Journal of Geophysical Research*, vol. 99, no. D5, pp. 10683-10688, 1994.
- [11] D. R. Poelman, W. Schulz and C. Vergeiner, "Performance Characteristics of Distinct Lightning Detection Networks Covering Belgium," *Cover Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 30, no. 5, p. 942-951, 2013.
- [12] V. A. Rakov and M. A. Uman, "Some properties of negative cloud-to-ground lightning flashes versus stroke order," *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, vol. 95, no. D5, pp. 5447-5453, 1990.
- [13] M. G. Ballarotti, C. Medeiros, M. M. F. Saba, W. Schulz and O. Pinto Jr., "Frequency distributions of some parameters of negative downward lightning flashes based on accurate-stroke-count studies," *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, vol. 117, no. D6, 2012.
- [14] L. Schwalt, S. Pack and W. Schulz, "Number of Single Stroke Flashes in the Alpine Region of Austria," in *XII International Symposium on Lightning Protection (SIPDA)*, São Paulo, Brazil, 2019.
- [15] Z. A. Baharudin, N. A. Ahmad, J. S. Mäkelä, M. Fernando and V. Cooray, "Negative cloud-to-ground lightning flashes in Malaysia," *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol. 108, pp. 61-67, 2014.
- [16] V. Cooray, *The Lightning Flash*, The Institution of Engineering and Technology, 2014.
- [17] L. Schwalt, S. Schatz, S. Pack and W. Schulz, "A five-year analysis of ground truth data for positive flashes," *Electric Power Systems Research*, vol. 231, p. 110307, 2024.

## Autoren



Stefan Jugelt, Dr.-Ing., Jahrgang 1991, studierte Elektrotechnik an der Technischen Universität Ilmenau und erlangte 2013 und 2015 seinen Bachelor und Master of Science. Seit 2015 ist dort er wissenschaftlicher Mitarbeiter und beschäftigt sich mit Fragestellungen zu Hochspannungsisoliersystemen, der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung, sowie der Entstehung und den Wirkungen von Blitzenentladungen.



Michael Rock, Prof. Dr.-Ing. habil., Jahrgang 1971, hat die Professur für Blitz- und Überspannungsschutz an der Technischen Universität Ilmenau inne. Er war 1997 bis 2009 wissenschaftlicher Mitarbeiter und Assistent am Institut für Elektrische Energie- und Steuerungstechnik der Technischen Universität Ilmenau, hat 2002 promoviert, war von 2009 bis 2011 als Projektingenieur bei DEHN SE in Neumarkt/OPf. im Bereich Entwicklung tätig und hat sich 2012 an der TU Ilmenau habilitiert. Er arbeitet in den Normengremien UK 441.1 und K 251 im DKE mit, ist Mitglied im ABB und im Technischen Ausschuss des ABB und seit 2016 Vorsitzender des ABB im VDE.



Wolfgang Schulz ist Leiter der Abteilung ALDIS (Austrian Lightning Detection & Information System) beim Österreichischen Verband für Elektrotechnik (ÖVE). Seine Forschungsschwerpunkte umfassen Blitzortung und Feldmessung von Blitzentladungen. Der Matura am TGM in Wien (1985) folgte das Studium an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Elektrotechnik, Sponsion 1992 und Promotion 1997. Wolfgang Schulz ist Autor bzw. Koautor von mehr als 150 wissenschaftlichen Beiträgen.



Sebastian Schatz hat 2020 und 2022 seinen Bachelor- und Masterstudium in Elektrotechnik mit Schwerpunkt Blitzforschung an der Technischen Universität Graz in Österreich absolviert. Von 2022 bis 2024 arbeitete er als Doktorand im öffentlich geförderten Projekt „Real Time Lightning Risk Assessment – RTLRA“. Aktuell arbeitet er an der Fertigstellung seiner Dissertation, die das abgeschlossene RTLRA Projekt behandelt. Sebastian Schatz ist Mitglied der CIGRE NGN und der ÖVE Young Engineers und nimmt an Workshops und Exkursionen teil.



Stephan Pack, Studium der Elektrotechnik an der Technischen Universität Graz, von 1985 bis 2024 am Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement der TU Graz und an der VAH Graz GmbH. Fachbereiche: transiente Vorgänge in Hochspannungssystemen und Übertragungsnetzen, Isolationskoordination, Blitzschutz, Schutzzonenkonzepte, EMV und Erdungsanlagen. Allg. beeid. und gerichtl. zertif. Sachverständiger für Hochspannungstechnik und Blitzschutzwesen, diplomierter Umwelttechniker. Mitarbeit in ÖVE, VDE/ABB und CIGRE (SC C4 Strategic Advisory Group).



Julia Maier, schloss ihr Bachelor- und Masterstudium der Elektrotechnik an der Technischen Universität Graz 2021 und 2024 ab und war anschließend als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Technischen Universität Graz tätig. Dort arbeitete sie auf dem Gebiet der Blitzforschung und der Echtzeit-Blitzrisikobewertung. Seit Herbst 2024 ist sie bei der Austrian Power Grid AG im Asset Management im Bereich Freileitungen beschäftigt. Julia Maier ist Mitglied der CIGRE NGN und des ÖVE Österreichischer Verband Junger ElektrotechnikerInnen, wo sie an Workshops und Exkursionen teilnimmt



Lukas Schwalt, studierte Elektrotechnik an der TU Wien. Ab 2016 arbeitete er an der TU Graz im Bereich Gewitterereignisse im Alpenraum in Verbindung mit aktuellen Klimaentwicklungen und schloss dort 2019 seine Promotion ab. Seit 2024 ist er bei der Austrian

Power Grid AG als Experte im Bereich transienter Vorgänge in Hochspannungsfreiluft- und GIS-Anlagen, der Isolationskoordination und des Blitzschutzes tätig. Er ist der österreichische Vertreter im CIGRE-Studienkomitee C4 „Power System Technical Performance“ sowie Mitglied des technischen Komitees der CIGRE ICLPS, des internationalen technischen Komitees der ICLP sowie des technischen Komitees „Blitzschutz“ und Arbeitsgruppen des Österreichischen Verbands für Elektrotechnik ÖVE.