

Evaluierung des lokalen Blitzrisikos in Echtzeit im Einzugsbereich der Hochspannungsnetze

Lukas SCHWALT¹, Stephan PACK¹, Gerhard DIENDORFER²

¹ Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement, TU Graz,
Inffeldgasse 18, 8010 Graz, Österreich, Tel.: +43 316 873 7416,
E-Mail: pack@tugraz.at, www.ihs.tugraz.at

² OVE Service GmbH, Abt. ALDIS, Kahlenberger Straße 2a, 1190 Wien, Österreich,
Tel.: +43 1 370 58 06 211, E-Mail: g.diendorfer@ove.at, www.aldis.at

Kurzfassung: Gewitter und damit einhergehende Wolke-Erde-Blitzentladungen haben einen bedeutenden Einfluss auf unsere elektrischen Energiesysteme und damit auf unser gesellschaftliches Leben. Die unvorhersehbare Entwicklung von Gewittern, die lokalen meteorologischen Einflüsse und die Änderungen der klimatischen Situation erschweren eine zuverlässige Einschätzung dieser Naturereignisse.

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Evaluierung des lokalen Blitzrisikos in Echtzeit – Kombination von Feldmühlen, Blitzortung und Wetterdaten“ soll durch den lokalen Einsatz mehrerer elektrischer Feldmühlen im Bereich kritischer Infrastrukturen die zeitliche elektrostatische Feldverteilung aufgezeichnet werden. Feldmühlen stellen die einzige technisch geeignete Möglichkeit dar, um Information über den aktuellen elektrischen Ladungszustand und die Entwicklung der Ladungsverteilung einer Gewitterzelle vor Ort zu erfassen, noch bevor der erste Blitz auftritt.

Durch die Zusammenführung der Daten der elektrischen Feldmühlen, der Blitzortungsdaten und der meteorologischen Daten in Echtzeit, werden die vorherrschenden Ladungsverhältnisse der Wolke und damit das aktuelle Blitzrisiko vor Ort abgebildet. Die geografische Verteilung der Feldmühlen lässt Aussagen über den dynamischen Verlauf von Gewittern zu.

Das Ziel des Projekts ist einerseits die Risikoeinschätzung des Auftretens einzelner Blitze in einem begrenzten geografischen Bereich (z.B. Netzknoten und Umspannwerke, Freileitungssysteme, Flughäfen etc.) und andererseits die Bestimmung des Zeitpunkts einer möglichst sicheren Entwarnung. Eine Optimierung des Zeitpunkts der Gewitter-Vorwarnung und der Entwarnung führt hier sowohl sicherheitstechnisch als auch wirtschaftlich zu Vorteilen beim Betrieb kritischer Infrastrukturen.

Keywords: Energiesysteme, Hochspannungsnetze, Flughafen, Feldmühlen, Blitzortung, Gewitter, Risikoabschätzung, Versorgungssicherheit

1 Einleitung

Gewitter und Blitzentladungen stellen ein ernst zu nehmendes Sicherheitsrisiko für Personen dar und haben einen wesentlichen Einfluss auf unsere Infrastruktursysteme. Ihr unvorhersehbares zeitliches Auftreten stellt unsere Gesellschaft immer wieder vor Herausforderungen bei arbeitsrelevanten und privaten Aktivitäten. Die Änderungen der klimatischen Situation und lokale meteorologische Einflüsse erschweren eine Einschätzung des Ablaufs solcher Naturereignisse.

Wissenschaftliche Vorarbeiten haben gezeigt, dass es im Bereich der qualitativen und lokalen Prognose von Gewittern noch großen Forschungsbedarf gibt. Der unterschiedliche Verlauf eines jeden Gewitters macht eine Vorhersage der ersten und letzten auftretenden Blitzentladung durch bereits verfügbare meteorologisch Messprinzipien, wie Radar- oder Satellitendaten als auch Daten von Wetterstationen, unmöglich. Auch Blitzortungssysteme können keine vorausschauenden Messdaten liefern und frühestens ab der ersten Entladung für Entscheidungen und Maßnahmen zum Schutz von Personen und Infrastrukturen herangezogen werden.

Diese gegebene Unsicherheit bei der Vorwarnung, aber auch der Entwarnung nach einem Gewitter, mit den derzeit verfügbaren Messdaten bilden den Forschungsschwerpunkt für das Projekt „Evaluierung des lokalen Blitzrisikos in Echtzeit – Kombination von Feldmühlen, Blitzortung und Wetterdaten“, gefördert durch die FFG.

Durch Messungen mithilfe eines Netzwerks aus elektrischen Feldmühlen, welche kontinuierlich die vor Ort vorherrschende Feldstärke an einige Kilometer auseinanderliegenden Punkten aufzeichnet, sollen Aussagen über den zeitlichen Verlauf von Gewittern am Standort getroffen werden. Die im Projekt geplanten Vorortmessungen sollen in den Jahren 2022 bis 2024 durchgeführt und ausgewertet werden. Anfang 2022 soll das Messnetzwerk in Betrieb genommen und die Verarbeitung und Sicherung der aufgezeichneten Daten durchgeführt werden. Von 2023 bis 2024 soll das entwickelte Modell, welches die logische Verknüpfung der Messdaten zur Aufgabe hat, am Flughafen Graz im Hinblick auf eine zuverlässige Einschätzung des lokalen Blitzrisikos erprobt werden (Bild 1).

Die gewonnenen Erkenntnisse sollen es in Zukunft ermöglichen, eine Evaluierung des lokalen Blitzrisikos in Echtzeit für Systeme der elektrischen Energieversorgung als auch andere kritische Standorte (z.B. Flughäfen) einzusetzen, um gewitterbedingte Einflüsse und Störungen zu minimieren.

2 Methodik

Für das geplante Messsystem mit mehreren strategisch positionierten Feldmühlen wurde der Bereich des Flughafens Graz als Projektstandort gewählt. Die Infrastruktur des Flughafens und dessen Umgebung liefert optimale Gegebenheiten, um ein Feldmühlen-Messnetzwerk über längere Zeit störungsfrei zu betreiben.

Die wissenschaftliche Fragestellung lässt sich im ersten Schritt auf den sicheren Betrieb von Flughäfen der zivilen Luftfahrt (Personentransport- und Luftfrachtsektor) abbilden und bringt hier alle einzubeziehenden Bereiche im Hinblick auf nötigen Aktivitäten im Freien (z.B. am Vorfeld, im Luftraum) bzw. außerhalb von durch Blitzschutzsysteme geschützte Infrastrukturen

mit sich. Im nächsten Schritt bietet das Projekt die Implementierung des neuen Verfahrens zur lokalen Blitzrisikobeurteilung durch Feldmessung vor Ort mittels mehrerer Feldmühlen in kritische Infrastrukturbereiche jeglicher Art (z.B. im Energieversorgungsbereich Freileitungssysteme des Übertragungs- oder Verteilnetzes).

Derzeit wird in der internationalen Luftfahrt bei Ortung von Blitzentladung in einem definierten Radius von 8 km um einen Flughafen eine Warnung ausgegeben. Bei der Ortung einer Blitzentladung im Umkreis von 5 km um einen Flughafen erfolgt die Einstellung der Vorfelddararbeiten bzw. ein sogenannter Shutdown (Beendigung aller Arbeiten im Freien und ein Verbot des Aufenthalts im ungeschützten Außenbereich des Flughafens). Alle am Vorfeld befindlichen Personen müssen sich zu diesem Zeitpunkt in einen vor Blitzentladungen geschützten Bereich begeben. Erst wenn im Umkreis von 5 km um den Flughafen über einen vorgegebenen Zeitraum keine Blitzentladungen mehr geortet werden und sich die Entladungsfußpunkte von diesem Radius entfernen, können die Vorfeldaktivitäten wiederaufgenommen werden [1].

Das geplante Netz von mehreren Feldmühlen soll ein deutliches Bild über die aktuell vorhandenen Ladungsstrukturen in der Gewitterwolke liefern. Die raschen zeitlichen und örtlichen Veränderungen der elektrischen Ladungsstruktur in der Gewitterwolke werden durch stetige Aufzeichnung und Verarbeitung der Feldmühlen-Daten als zusätzliche Indikatoren für Warnungen bzw. Entwarnung miteinbezogen, da die Komplexität der Ladungsstruktur von Gewitterwolken sehr unterschiedlich sein kann und sich mit jeder Blitzentladung verändert.

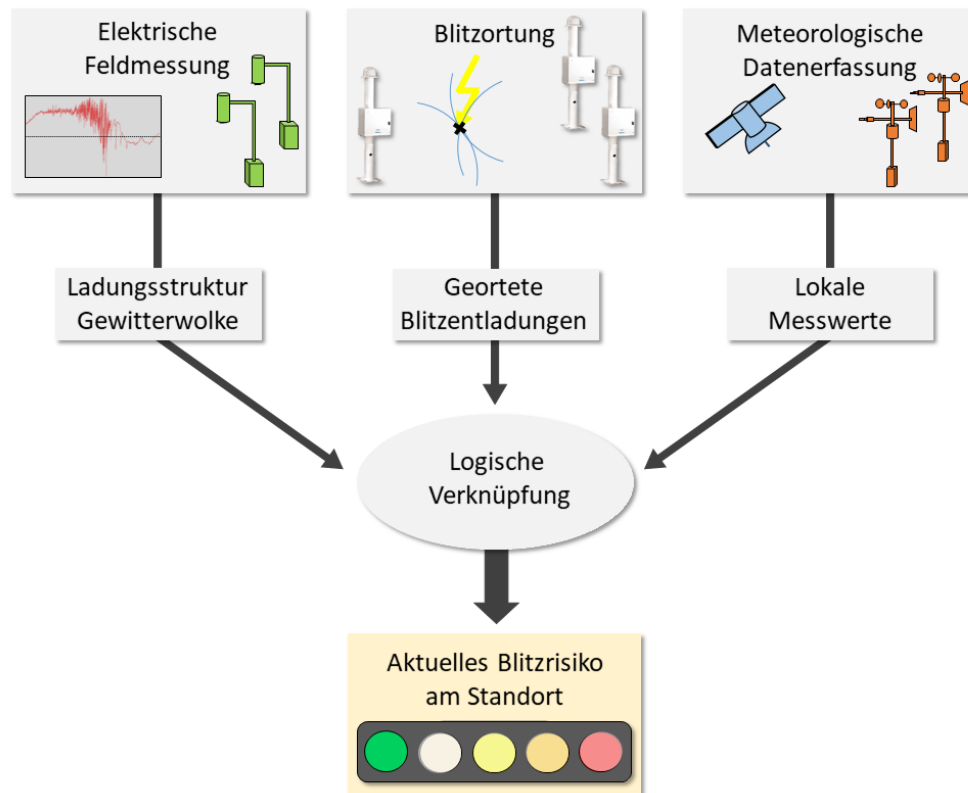


Bild 1: Logische Verknüpfung der elektrischen Feldmessung, Blitzortung und lokaler meteorologischer Daten zur Evaluierung des aktuellen Blitzrisikos

Die notwendige Anzahl der Feldmühlen soll am Flughafen Graz ermittelt werden, derzeit sind in der Projektplanung fünf Feldmühlen vorgesehen.

Analysen der aufgezeichneten Daten bieten die Möglichkeit, Entscheidungsbäume für zukünftige Maßnahmen im Fall eines herannahenden Gewitters zu erstellen. Entscheidungen über das Beenden bzw. die Wiederaufnahme des Vorfeldbetriebs sollen im Fall eines Gewitters durch Einbeziehung unterschiedlichster Parameter bzw. des aktuellen Messdatensatzes und durch Vorgabe von Schwellwerten unterstützt werden (Bild 1). Bereits eingetretene Blitzentladungen im Einzugsgebiet, die erfassten elektrischen Ladungszustände in der Gewitterwolke und die meteorologischen Daten werden kontinuierlich verarbeitet und verknüpft, um damit das aktuelle lokale Blitzrisiko zu bewerten.

3 Messung der elektrischen Feldstärke

Der erste Hinweis auf die Entstehung eines Gewitters ist eine deutliche Veränderung der elektrischen Bodenfeldstärke (Veränderung des Gleichfeldes) durch beginnende Ladungsansammlungen in der Wolke. Eine Feldmühle ist ein Messgerät, mit dem die elektrische Feldstärke der Umgebung in Form der Influenz gemessen wird. Bei diesem Gerät befindet sich ein geerdeter, mit Aussparungen versehener Drehteller über einer Sensorplatte (Bild 2). Wenn der Drehteller rotiert und die Sensorplatte durch die vorhandenen Aussparungen abwechselnd dem vorherrschenden elektrischen Gleichfeld ausgesetzt oder abgeschirmt wird, wird aufgrund dieses fortlaufenden Prozesses ein Messsignal auf der Sensorplatte erzeugt [2].

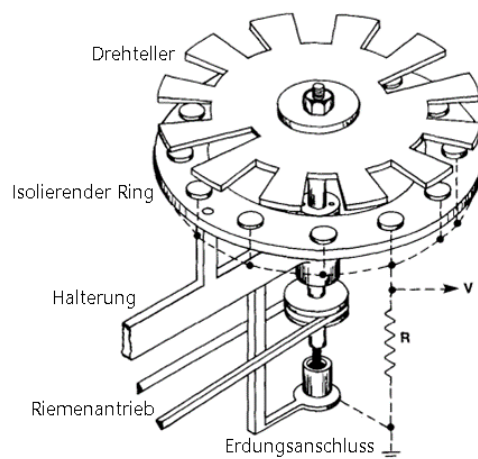


Bild 2: Aufbau einer elektrischen Feldmühle angelehnt an [3]

Unter wolkenfreiem Himmel misst man die Schönwetterfeldstärke (ca. 100 bis 200 V/m), hervorgerufen durch die elektrisch geladene Ionosphäre. Im Fall der Entwicklung einer Gewitterwolke ändert sich das elektrostatische Feld hervorgerufen durch die sich bildenden Ladungszentren in der Wolke. Die lokale elektrostatische Feldstärke wird durch die Umgebung beeinflusst (z.B. Vegetation, Metallmasten, Freileitungen), daher ist bei Installation ein Kalibrierungsprozess erforderlich, um den Kalibrierfaktor zwischen dem ungestörten elektrischen Feld in der Umgebung und dem von der Feldmühle gelieferten Messwert zu ermitteln.

4 Evaluierung des lokalen Blitzrisikos

Sobald sich ein Gewitter in einem bestimmten Umkreis bildet bzw. heranzieht, müssen an vulnerablen Infrastruktureinrichtungen wie Flughäfen oder Hochspannungs-Schaltanlagen, sowie an Standorten mit hoher Gewitterexposition (z.B. Windränder, Großbaustellen) zum Schutz der ArbeitnehmerInnen alle Arbeiten und Aktivitäten in ungeschützten Bereichen eingestellt werden.

Im Hinblick auf Gewittervorwarnung sind neben Wolke-Erde- auch Wolke-Wolke-Blitze von Bedeutung, da diese Entladungsformen in manchen Fällen als erstes bei der Bildung einer neuen Gewitterzelle beobachtet werden. Eine Vorhersage, wann und wo genau der nächste Blitz einschlagen wird, ist nicht möglich [4]. Bei Gewittern treten auch vereinzelt Blitze auf, die mehrere Kilometer vom eigentlichen Kern der Gewitterzelle entfernt am Boden einschlagen, diese werden oft als „Out of the blue“-Entladungen bezeichnet. Auch in der Steiermark wurden bereits Personenschäden durch diesen Entladungstyp verzeichnet [5]. Durch Video-untersuchungen von natürlichen Blitzentladungen ist bekannt, dass zwischen 50 % und 80 % aller Blitze mehrere Bodenfußpunkte aufweisen [6], welche bis zu 6,9 km voneinander entfernt auftraten [7].

Die Fachabteilung Wettervorhersage der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) bietet für die Abhaltung von Großveranstaltungen, für Großbaustellen oder exponierte Arbeitsstätten eine begleitende Beratung durch einen Meteorologen an, welcher mit verfügbaren Messdaten die aktuelle Situation abschätzt und gegebenenfalls einen Abbruch einleiten lässt. Zusätzliche Messdaten werden vor Ort nicht erhoben und auch rechnerische Vorhersagemodelle bieten aufgrund ihrer Komplexität nur Abschätzungen.

Die erstmalige Zusammenführung von elektrischen Feldmessdaten eines Feldmühlen-Netzwerks, der ALDIS-Blitzortungsdaten¹ und meteorologischer Daten in Echtzeit liefert objektive Kriterien zur Bewertung des aktuellen Blitzrisikos. Damit können Aussagen über die kurzfristige Entwicklung der lokalen Gewittersituation im Einzugsbereich getroffen werden und ermöglichen das damit einhergehende Gefährdungspotential zu reduzieren. Diese nachvollziehbaren Entscheidungsabläufe erhöhen einerseits die Personensicherheit und andererseits die Betriebssicherheit.

Entscheidungen dieser Art sind für alle Unternehmensbereiche mit Aktivitäten im Außenbereich anwendbar. In der elektrischen Energieversorgung können Einwirkungen von Blitzentladungen die Versorgungssicherheit beeinflussen [8, 9]. Anhand von historischen Blitzereignissen und Erfahrungswerten der Netzbetreiber kann evaluiert werden welche Netzbereiche einem erhöhten Blitzrisiko ausgesetzt sind und sich für den Einsatz der vorgestellten Methode anbieten. In internationalen Forschungsgruppen werden Methoden zur dynamischen Steuerung des Stromnetzes auf der Grundlage der Echtzeitverfolgung von Blitzortungsdaten bearbeitet. Dort wird durch angepasste Netzführung bei Gewitterwarnung ein stabiler Betrieb angestrebt, um das Ausfallrisiko zu reduzieren [10]. Weitere Projekte im Bereich der Kurzzeitvorhersage von Gewittern mithilfe von „Machine-Learning-Algorithmen“ [11] konnten sich bis dato nicht durchsetzen.

¹ „Austrian Lightning Detection and Information System (ALDIS)“, <https://www.aldis.at/>

5 Zusammenfassung

Der unterschiedliche Verlauf eines jeden Gewitters macht eine Vorhersage der ersten und letzten auftretenden Blitzentladung durch die heute verfügbaren metrologischen Messprinzipien, wie Radar- oder Satellitendaten als auch Daten von Wetterstationen, unmöglich. Auch Blitzortungssysteme können keine vorausschauenden Messdaten für Entscheidungen zum zuverlässigen Betrieb von Infrastruktursystemen und Maßnahmen zum Schutz von Personen liefern.

Die logische Verknüpfung von Blitzortungsdaten, meteorologischer Daten und lokaler elektrischer Feldmessungen aus einem Feldmühlen-Netzwerk kann die Vorhersage dieser Naturereignisse deutlich präzisieren.

Für das geplante Projekt wurde der Bereich des Flughafens Graz als Standort gewählt. Die Infrastruktur des Flughafens und dessen Umgebung liefert optimale Gegebenheiten, um ein Feldmühlen-Messnetzwerk über längere Zeit störungsfrei zu betreiben.

Die gewonnenen Erkenntnisse sollen es in Zukunft ermöglichen, dieses Verfahren zur Evaluierung des lokalen Blitzrisikos in Echtzeit für vulnerable Standorte anzupassen und dort einzusetzen, um gewitterbedingte Ablaufänderungen und Störungen zu minimieren. Dazu zählt auch eine angepasste Netzföhrung von elektrischen Energiesystemen, welche sich in die aktuellen Themen auf dem Gebiet der Versorgungssicherheit eingliedert.

Der präsentierte Forschungsansatz bietet die Möglichkeit, das Wissen aus den Bereichen der Blitzforschung, der Blitzortung und der Gewitteranalyse zu bündeln und mit den validierten Daten eine solide Grundlage für zukünftige Vorhersagealgorithmen zu entwickeln.

Danksagung

Das vorgestellte Forschungsprojekt „Evaluierung des lokalen Blitzrisikos in Echtzeit – Kombination von Feldmühlen, Blitzortung und Wetterdaten (RTLRA)“ wird durch die österreichische Forschungsfördergesellschaft FFG gefördert (Nr.: 888118). Das Projekt wird durch die Austro Control GmbH (ACG) und die Austrian Power Grid AG (APG) unterstützt.

Referenzen

- [1] “IATA Airport Handling Manual (AHM)”, International Air Transport Association, 2022
- [2] M. A. B. Sidik, H. Shahroom, Z. Buntat, Y. Z.Arief, Z. Nawawi, M. I. Jambak, “Developmet of wireless electric field mill for atmospheric electric field observation”, Telkomnika, 12(4), 1113-1122, 2014
- [3] M. A. Uman “The lightning discharge”, Courier Corporation, 2001
- [4] E. R. Williams, “Lightning and climate: A review”, Atmospheric Research, 76(1–4), 272–287, 2005
- [5] M. Kompacher, S. Pack, G. Kindermann, “Examples of direct lightning hazards and their scientific analyses”, International Conference on Lightning Protection (ICLP), 2006
- [6] D. R. Poelman, S. Pédeboy, W. Schulz, “Performance validation of a ground strike point algorithm”, Asia -Pacific International Conference on Lightning (APL), 2019
- [7] L. Schwalt, S. Pack, W. Schulz, “Specific Ground Truth Data Analysis of Lightning Discharges in Austria”, International Conference on Lightning Protection (ICLP), IEEE, 2021

- [8] S. Pack, J. Plesch, L. Schwalt, „Blitzphänomene im österreichischen Hoch- und Höchstspannungsnetz – transient erfasst“, e & i Elektrotechnik und Informationstechnik (8), Österreich, 2017
- [9] L. Schwalt, J. Plesch, S. Pack, W. Schulz, G. Achleitner, “Transient measurements in the Austrian high voltage transmission system”, International Symposium on Lightning Protection (SIPDA), 2017
- [10] M. Xiang, Y. Xu, C. Tong, J. Zheng, Y. Cai, X. Hua, J. Zhang, Y. Wu, “A Method of Dynamic Control of the Power Grid based on Real-time Lightning Tracking”, International Conference on Lightning Protection (ICLP-SIPDA), 2021
- [11] K. Bala, D. K. Choubey, S. Paul, “Soft computing and data mining techniques for thunderstorms and lightning prediction: A survey”, International Conference of Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA), 2017