# HOCHSPANNUNGSSYSTEME UNTER TRANSIENTER BEANSPRUCHUNG – KORRELATIONSMETHODIK

#### Jürgen PLESCH(\*), Lukas SCHWALT(\*), Stephan PACK

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

**Kurzfassung:** Die Kenntnis von transienten Signalverläufen in Hochspannungssystemen ermöglicht eine zielorientierte Analyse der höherfrequenten Beanspruchung einzelner Betriebsmittel. Neue Korrelationsmethoden können eine eindeutige Zuordnung von Ursache und Auswirkung auf die Netzspannung darstellen. Eine der Korrelationsvarianten zeigt, dass beispielsweise transiente Messdaten eindeutig atmosphärischen Entladungen zugeordnet werden können [1].

Neben direkten Blitzeinschlägen mit Leitungsausfall werden so auch direkte und indirekte Wirkungen atmosphärischer Entladungen erkennbar, bei denen keine Schutzanregung auftritt. Die Analyse der Systemkonfiguration kann auch auf diese Fälle ausgedehnt werden und lässt bei steigender Netzflexibilität zukünftig neben störungsbasierten Informationen auch punktuelle Aussagen über transiente Netzabläufe in Hochspannungssystemen zu [1, 2, 3].

Diese innovative Zusammenführung von einzelnen unabhängigen Datensätzen ermöglicht durch die entwickelte Korrelationsmethode und durch den Einsatz moderner Messteiler eine eindeutige Analyse der auftretenden transienten Beanspruchung im Hochspannungssystem.

Keywords: Transiente Messung, Blitzortungsdaten, Geoinformationsdaten, Korrelation

### 1 Einleitung

Höherfrequente transiente Ereignisse können aufgrund von nichtlinearen Übertragungsmechanismen von induktiv arbeitenden Messwandlern nur unzureichend dargestellt werden [4]. Konventionelle induktive Messwandler erzeugen für Mess-, Schutz- und Verrechnungszwecke ein Abbild der 50-Hz-Komponente und sind für diesen niederfrequenten ausgelegt Bereich [2]. Der Einsatz breitbandiger kapazitiver Messteiler in Hochspannungssystemen bietet die Möglichkeit, Frequenzkomponenten bis in den höherfrequenten Bereich qualitativ und quantitativ richtig zu erfassen und ermöglichen dadurch eine zielorientierte Analyse der aufgezeichneten transienten Messdaten [4, 5, 6].

### 2 Grundlegende Methodik der Korrelation

Die Grundlage für die Korrelation sind einerseits die Messdaten der transienten Spannungsverläufe versehen mit einem Zeitstempel und andererseits geographische Daten von Hochspannungsfreileitungen (Mastposition), Informationen eines Blitzortungssystems (Zeitstempel, Amplitude, Einschlagsort, Anzahl der atmosphärischen Entladungen). Der Median der Ortungsgenauigkeit des Blitzortungssystems liegt in Zentrum des europäischen Blitzortungsnetzes (EUCLID) derzeit im Bereich von 100 m [7]. Zur Durchführung einer Korrelation wurde im Zuge dieser Forschungsarbeit ein Analyseprogramm entwickelt, welches die notwendigen Daten und Informationen aus dem vorhandenen Rohdatensatz verarbeitet und grafisch dargestellt sowie als neu generierten Datensatz zur Verfügung stellt.

Die grundlegende Herangehensweise an die Korrelation der voneinander unabhängigen Datenklassen (Transiente Messung, Blitzortung, Geoinformationen der Hochspannungsfreileitungen) kann aus Bild 1 entnommen werden.



Bild 1: Schematische dreistufige Struktur der Korrelation

Für die in Bild 1 definierten Datenklassen stehen folgende Attribute zur Verfügung:

- Transiente Messung
  - o Datum und Zeit
  - Transiente Spannungsverläufe
  - Signalparameter (Spitzenwerte, Frequenzbereiche)
- Blitzortungsdaten
  - Datum und Zeit
  - o Blitzstromamplitude

- Haupt- und Folgeblitze
- o Zeitdifferenz zwischen Teilblitzen
- Geographische Daten
- o Identifikationsnummer
- Geoinformationen der Hochspannungsfreileitungen
  - o Maststandorte
  - o Spannfeldlänge
  - o Geländeprofil

Speziell für atmosphärische Entladungen kann über die Vorgabe von Parametern ein frei wählbarer Korridor entlang eines Freileitungszugs gewählt werden und damit eine Filterung der gesamt aufgetretenen Ereignisse getroffen werden. Um eine Zuteilung von Haupt- und Folgeblitzen zu transienten Messungen durchzuführen, kann aus dem vorhandenen vollständigen Datensatz ein für die gewählten Rahmenbedingungen (Auswahl von Hochspannungsfreileitungen mit definierter Korridorbreite um den Leitungszug) reduzierter Datensatz generiert werden. Auf Basis der gefundenen Korrelationen kann der Einschlagort und die Darstellung der Netzspannung mit überlagerter Spannung visualisiert sowie die zeitliche Differenz zwischen den Ereignissen errechnet werden. Neben Leitungsausfällen durch direkte Blitzeinschlägen werden so auch direkte und indirekte Wirkungen atmosphärischer Entladungen erkennbar, bei denen keine Schutzanregung auftritt. Die Analyse der Systemkonfiguration kann durch zusätzliche transiente Messung auch auf diese Fälle ausgedehnt werden und lässt bei steigender Netzflexibilität zukünftig neben störungsbasierten Informationen auch punktuelle Aussagen über transiente Netzabläufe in Hochspannungssystemen zu [1, 2, 3].

### 3 Verifikation

#### 3.1 Überprüfung anhand eines Hochspannungsnetze

Für die Verifikation des Korrelationsprogramms wurde im Zuge der Untersuchung ein modifizierter, anonymisierter Netzausschnitt aus dem realen Hochspannungssystem generiert. Das Netz besteht aus fünf Hochspannungsfreileitungen und einem Netzknoten, in welchem das transiente Messsystem installiert ist (Tabelle 1). Dieser modifizierte Netzausschnitt beinhaltet drei Berg- und zwei Talleitungen.

Leitungsnummer	Gesamtlänge	Durchschnittliche Spannfeldlänge	Geländeprofil
1	19,1 km	390 m	Berg
2	18,1 km	370 m	Tal
3	14,8 km	304 m	Berg
4	18,2 km	371 m	Tal
5	36,4 km	343 m	Berg

Tabelle 1: Daten der Hochspannungsfreileitungen für den Netzausschnitt

#### 3.2 Datensätze in Rohstruktur

Da die wesentlichen Datenklassen für die Durchführung der Korrelation in Rohstruktur (Objekt mit vollständigem Satz an Attributen) vorhanden sind, ist es im ersten Schritt notwendig, diese für die Korrelation vorzubereiten. In diesem Fall erfolgt aus den Datenklassen "transienten Messung" und "Blitzortung" die Selektion der wesentlichen Attribute. Die verwendeten Daten der Blitzortung enthalten alle atmosphärischen Entladungen für ein ausgewähltes Messgebiet und einen vorgegebenen Zeitraum (Bild 2).



Bild 2: Modifizierter Netzausschnitt mit den Blitzortungsdaten vor der Selektion der Datenklassen "Transiente Messung" und "Blitzortung"

#### 3.3 Selektion und Bindung der Parameter

Nach durchgeführter Korrelationen beinhaltet der selektierte Datensatz die Informationen der "transienten Messung", die Daten der "Blitzortung" sowie die Leitungszüge des betrachteten Netzausschnittes. Die Zuordnung der Attribute erfolgte wie in Bild 1 dargestellt:

- Zeitliche Bindung der transienten Messung zur Blitzortung (Funktionsblock Blau)
- Geographische Bindung der Blitzortung zu den Hochspannungsfreileitungen (Funktionsblock Grün)
- Bindung der elektrischen Spannungsverläufe mit den geographisch gebundenen Daten (Funktionsblock Orange)

Die Zusammenführung der ortsunabhängigen transienten Messungen und der zeitunabhängigen Leitungsdaten mit orts- und zeitabhängigen Daten der Blitzortung ermöglicht eine Analyse einer konkreten atmosphärischen Entladung (Haupt- und Folgeentladungen) und dessen Auswirkung auf das Hochspannungssystem. Bild 3 zeigt die Anwendung der Korrelation für den Netzausschnitt mit einer gewählten Korridorbreite von 5 km um die Freileitungszüge.



Bild 3: Selektierter Datensatz nach zeitlicher, geographischer und elektrischer Bindung der Datenklassen durch Wahl einer Korridorbreite von ± 5 km um die Leitungszüge

Tabelle 2 zeigt die Anzahl der verfügbaren Informationen für Blitzortung, der transienten Messung und der Geoinformationen vor und nach der Bindung für den Bereich des Hochspannungsnetzes und für den betrachten Zeitraum von einem Jahr bei einem Korridor um den Leitungszug von  $\pm$  3 km (Variante 1: 5437 Blitze geortet, 877 transiente Messungen), bei einem Korridor um den Leitungszug von  $\pm$  1 km (Variante 2: 1519 Blitze geortet, 347 transiente Messungen), und einem Tag bei einem Korridor um den Leitungszug von  $\pm$  1 km (Variante 3: 412 Blitze geortet, 107 transiente Messungen) (Tabelle 2).

Zeitschritt	Blitzortung	Transiente Messung	Korridor	Bindung
Gesamtdaten	300.000	3000		
Blau	12220	1472		Zeitlich
Grün	8265	1025	± 5 km	Zeitlich und geographisch
Orange	10943	1351	± 5 km	Zeitlich, geographisch und elektrisch
Filter Variante 1	5437	877	± 3 km	Funktionsblock Orange Parameter: Geographisch
Filter Variante 2	1519	347	± 1 km	Funktionsblock Orange Parameter: Geographisch
Filter Variante 3	412	107	± 1 km	Funktionsblock Orange Parameter: Zeitlich und geographisch

Tabelle 2: Anzahl der verfügbaren Informationen für Blitzortung, der transienten Messung und der
Geoinformationen vor und nach der Bindung

#### 3.4 Filterung, Visualisierung und Analyse

Die im untersten Funktionsblock dargestellte Filterung aus Bild 1 nimmt keinen Einfluss auf die bereits durchgeführte zeitliche, geographische und elektrische Bindung, sondern generiert wiederum eine geographische Bindung der georteten Entladungen um das Hochspannungssystem (z. B. engere Wahl des Korridors, Festlegung des Spitzenwerts der Überspannung, Freileitungszug) im betrachteten Hochspannungsnetz (Tabelle 2, Variante 1 bis 3).

Nach der durchgeführten Bindung und Filterung kann nun die Visualisierung und Analyse der zu atmosphärischen Entladungen (Haupt- und Folgeentladungen) korrelierten transienten Messung und des detektierten Einschlagpunkts zu einem geographischen Punkt eines Leitungszuges des Netzausschnitts erfolgen. Tabelle 3 zeigt die Aufteilung der eindeutig zugeordneten transienten Messungen welche in einem weiteren Schritt beispielsweise Aussagen über Ausfallwahrscheinlichkeit bzw. Exposition des Leitungszugs zulassen. In der Nähe des Netzknotens muss bei erweitertem Korridor (Funktionsblock "Orange", Variante 2: ± 3 km) und Betrachtung mehrerer Freileitungszüge beispielsweise aber von einer quantitativen über die Zuordnung der atmosphärischen Entladungen zu einzelnen Aussage Hochspannungsfreileitungen abgesehen werden. Hier muss es in der Nähe des Netzknotens, aufgrund der Korridorbreite von ± 3 km, zu Mehrfachzuordnungen kommen, da atmosphärische Entladungen auf alle Hochspannungsfreileitungen im Umkreis Auswirkungen haben können. Solche induzierten Überspannungen, welche durch Entladungen in ca. 3 km Entfernung des Hochspannungssystems detektiert wurden konnten bereits mit transienten Signalen korreliert werden [1].

Leitungsnummer	Geländeprofil	Transiente Messung Korridor: ± 3 km	Transiente Messung Korridor: ± 1 km
1	Berg	174	82
2	Tal	184	58
3	Berg	148	46
4	Tal	144	45
5	Berg	227	116

Tabelle 3: Daten der einzelnen Freileitungszüge für den betrachteten Netzausschnitt und den gesamten Messzeitraum

Die Visualisierung bietet die Möglichkeit einer graphischen Darstellung der Blitzaktivität im betrachteten Netzausschnitt bzw. entlang eines Leitungszuges. Die Analyse der Auswirkungen von atmosphärischen Entladungen auf die Netzspannung kann mithilfe der zeitlichen Zuordnung der absoluten Zeit (Tabelle 4: Zeitdifferenz Δt oder synchronisierter Zeitstempel) zwischen den Entladungen zu bestimmten Signalanteilen erfolgen. In einem Netzknoten aufgezeichnete transiente Ereignisse können so einer atmosphärischen Entladung im Feld (Haupt- und Folgeblitze) und einem geographischen Ort einer Hochspannungsfreileitung (Mastposition, Spannfeld) zugeordnet werden. Bild 4 und Bild 5 zeigt die Auswertung der gebundenen Datensätze für Leitungszug 5 des Hochspannungsnetzes. Tabelle 4 zeigt die absolute Zuordnung der Teilblitze zu den superponierten transienten Spannungsverläufen.



Bild 4: Ergebnis der zeitlich, geographisch und elektrisch gebundenen Parameter – atmosphärische Entladungen an einem Tag innerhalb eines Korridors von ± 1 km auf Leitung 5 des Hochspannungsnetzes



Bild 5: Ergebnis der zeitlich, geographisch und elektrisch gebundenen Parameter – transiente Messung für eine Entladung, bestehend aus eine Haupt- und zwei Folgeentladungen an einem Tag innerhalb eines Korridors von ± 1 km auf Leitung 5 des Hochspannungsnetzes

Tabelle 4: Daten des Blitzortungssystems mit Zeitstempel, Blitzstromstärke in kA, Zeitdifferenz zwischen den
Teilblitzen ( $\Delta t$ ), Teilblitzanzahl und -nummer

Uhrzeit	17:34:02	17:34:02	17:34:02
Nanosekunden	508352768	640848896	692887808
Blitzstromstärke in kA	-55,03	-17,64	-29,19
∆t in ms	0	132,4	52,0
Summe ∆t in ms	0	132,4	184,4
Anzahl Teilblitze	3	3	3
Teilblitznummer	1	2	3
Distanz in km	0,86	1,12	0,93

#### 4 Ausblick

Erweiterungsmöglichkeiten bietet in Zukunft die zusätzliche Einbindung von internen Informationen des Netzbetreibers in diese Methodik. Hier seien als Beispiel das Schaltmeldeprotokoll sowie Daten von Erdungsmessungen der Freileitungsmasten genannt. Auch die Überprüfung der Parametrierung der Schutzgeräte und des Übertragungsverhaltens der fix installierten Messwandler ist bei Vorhandensein eines Datensatzes einer transienten Messung denkbar. Im Falle einer Leitungsabschaltung kann auch der vom Distanzschutzgerät aufgezeichnete Störschrieb mit den transienten Spannungsverläufen verglichen werden [3].

## 5 Zusammenfassung

Diese innovative Zusammenführung von einzelnen unabhängigen Datensätzen ermöglicht durch die entwickelte Korrelationsmethode und durch den Einsatz moderner Messteiler eine eindeutige Analyse der auftretenden transienten Beanspruchungen in Hochspannungssystemen. Diese Daten liegen separiert von gängigen installierten Messgeräten vor, welche für Mess-, Schutz- und Verrechnungszwecke ein Abbild der 50-Hz-Komponente erzeugen und nicht für die Messung höherfrequente Bereich ausgelegt sind.

Der aktuelle Stand der wissenschaftlichen Untersuchungen zeigt, dass eine Möglichkeit der Korrelation der voneinander unabhängigen Daten aus der transienten Messung und den atmosphärischen Entladungen erfolgen kann. Die Rohstrukturen der wesentlichen Informationen werden für die Durchführung der Korrelation vorbereitet. In Abhängigkeit der Korridorbreite erfolgt die Zuordnung von transienter Messung zu einer atmosphärischen Entladung zu einem geographischen Punkt eines Hochspannungssystems.

Eine Reduktion des Datensatzes der ursprünglichen atmosphärischen Entladungen bietet die Möglichkeit, deren Auswirkung auf die Leiter-Erde-Spannung im Detail zu analysieren. Ausgewählte Ergebnisse der Korrelation zeigen, dass atmosphärische Entladungen eine zusätzliche Spannung in das Hochspannungssystem einkoppeln. Für die Erhöhung der Sensitivität besteht die Möglichkeit, neben der transient betrachteten Freileitung, auch alle ankommenden Freileitungen des Hoch- bzw. Höchstspannungsnetzes einzubinden und mit einer definierten Korridorbreite um die Leitungszüge zu analysieren.

### Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Austrian Lightning Detection & Information System – ALDIS für die Bereitstellung der Blitzortungsdaten.

# Quellen

[1] L. Schwalt, J. Plesch, S. Pack, W. Schulz, G. Achleitner: "Transient Measurements in the Austrian High Voltage Transmission System", International Symposium on Lightning Protection (XIV SIPDA), Natal, Brazil, 2017

[2] S. Pack, J. Plesch, L. Schwalt: "Blitzphänomene im österreichischen Hoch- und Höchstspannungsnetz - transient erfasst", e & i Elektrotechnik und Informationstechnik (8), Wien, Österreich, 2017

[3] L. Schwalt: "Analysis of lightning caused outages of APG operated high voltage transmission lines", Masterthesis, University of Technology Vienna, Austria, 2016

[4] J. Plesch, E. Sperling, G. Achleitner, S. Pack: "Measurement of Transient Voltage in a Substation", CIGRE Symposium "Across Borders – HVDC Systems and Market Integration", Lund, Sweden, Report 255, 2015

[5] J. Plesch, S. Pack, U. Schichler, G. Wurzer: "Erfassung von transienten Spannungen an einer 110-kV-Hochgebirgsleitung", VDE - Hochspannungstechnik 2016, ETG-Fachtagung, Berlin, Germany, 2016

[6] J. Plesch, S.Pack: "On-site measurement of switching transients in high voltage systems",11. Höfler's Days, Portoroz, Slovenia, 2013

[7] W. Schulz, G. Diendorfer, S. Pedeboy, D. R. Poelman: "The European lightning location system EUCLID–Part 1: Performance analysis and validation", Natural Hazards and Earth System Sciences, 16.2, 595-605, 2016