

Sonderdruck aus „etz“  
Reprint from „etz“



# Mobiles Messsystem zur Blitzstromerfassung *Mobile measuring system for lightning current detection*



# Mobiles Messsystem zur Blitzstromerfassung

Josef Birkl • Thomas Böhm • Edward Shulzhenko • Peter Zahlmann • Gerhard Diendorfer • Hannes Pichler

**Weltweit wurden in den vergangenen Jahrzehnten Blitzstrommessungen zur wissenschaftlichen Grundlagenforschung an verschiedenen Blitzmessstationen durchgeführt. Bedingt durch den wissenschaftlichen Ansatz dieser Untersuchungen sind deren Messsysteme technisch sehr aufwendig und somit nur bedingt für einen mobilen Einsatz an wechselnden Standorten geeignet. Das in diesem Beitrag vorgestellte mobile Blitzstromerfassungssystem erlaubt hingegen Messungen an unterschiedlichen Standorten und Anlagen, zum Beispiel Windenergieanlagen, Telekommunikationstürmen oder hohen Bürogebäuden. Die Erfassung und Bewertung von tatsächlich stattgefundenen Blitzeinschlägen in solchen Anlagen ermöglicht es beispielsweise, die Notwendigkeit von Wartungsmaßnahmen nach Blitzeinschlägen zu bewerten.**

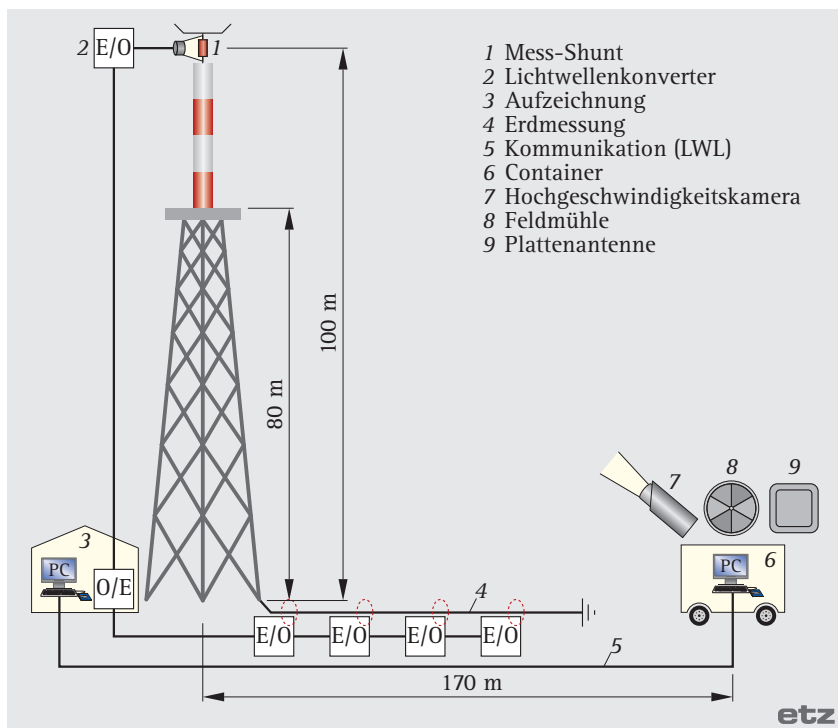
Zur Verifizierung der mobilen Blitzstromerfassungseinheit wurden über einen Zeitraum von mehr als vier Jahren Vergleichsmessungen mit einer zu wissenschaftlichen Zwecken betriebenen Blitzmessstation durchgeführt. Diese Messungen wurden am ORS-Sender Gaisberg bei Salzburg in Zusammenarbeit mit der Blitzforschungsgruppe Austrian Lightning Detection and Information System (Aldis) [1] durchgeführt.



**Bild 1.** Anordnung der Messeinrichtungen bei den vergleichenden Blitzstrommessungen

stationär am Sender Gaisberg installierten Messtechnik bewertet.

Während der Vergleichsmessungen waren am Sender Gaisberg mehrere Messeinrichtungen installiert (Bild 1). Der als Blitzstromsensor verwendete Hochstrom-Shunt ist direkt an der Turmspitze eingebaut. Die beim mobilen Blitzstrommesssystem verwendeten Rogowski-Spulen sind auf einer Plattform in etwa 80 m Höhe installiert. Von der Turmspitze bis zu dieser obersten Plattform ist der Turm als etwa 20 m langes Carbonrohr ausgeführt. Die Rogowskispulen umfassen den gesamten Turm inklusive der Blitzstromableitungen. Der Datenlogger und die Auswert-



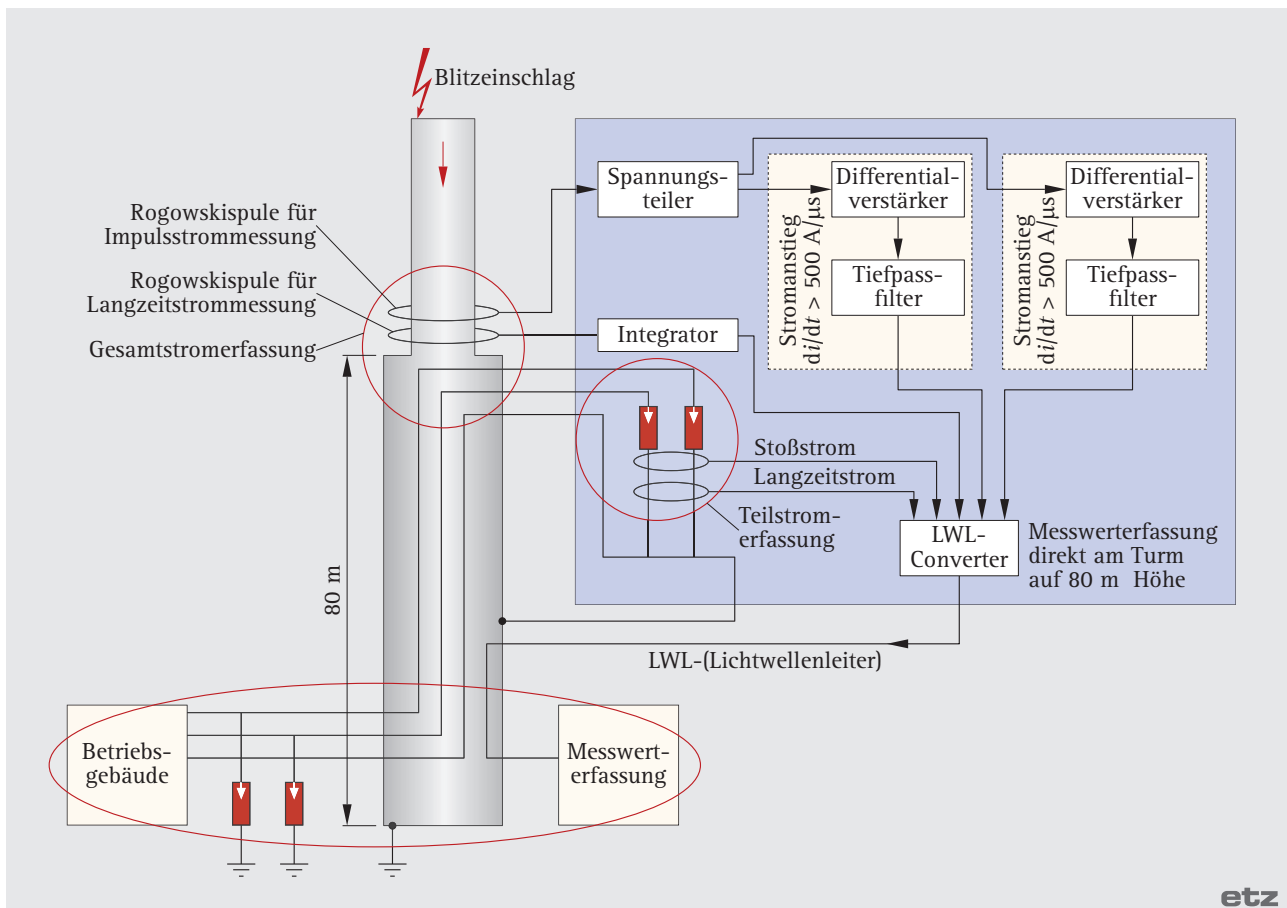
**Bild 2.** Konzept der von Aldis verwendeten Messeinrichtung am Gaisberg

Bei den Vergleichsmessungen wurden innerhalb von zwei getrennten Messperioden eine Vielzahl von Messdaten gewonnen. Die entsprechenden Ergebnisse stellt dieser Fachartikel vor und erläutert sie. Auch die Genauigkeit der mobilen Blitzstromerfassungseinheit wird im Vergleich zu der

elektronik der beiden Messsysteme befinden sich in einem Betriebsgebäude unmittelbar neben dem Sendemast.

## Die Messeinrichtungen der Forschungsgruppe

Am Sender Gaisberg, in der Nähe von Salzburg, werden seit 1998



**Bild 3.** Prinzip der mobilen Blitzstromerfassung

Blitzstrommessungen durchgeführt. Die dabei von der Aldis-Gruppe eingesetzten wissenschaftlichen Messeinrichtungen wurden der Öffentlichkeit bereits im Detail vorgestellt [2, 3]. Einen Überblick darüber liefert Bild 2. Neben der direkten Messung des Blitzstroms an der Mastspitze wird ein Blitzteilstrom in einem Horizontalerder in mehreren Punkten erfasst. Außerdem wird das elektrische Nahfeld in ca. 170 m Entfernung vom Sendemast mit einer Feldmühle und einer Plattenantenne gemessen. Eine Hochgeschwindigkeitskamera (500 Bilder/s) zeichnet jeden Blitzschlag auf, wobei die Sichtverhältnisse vor Ort nur in wenigen Fällen brauchbare Aufnahmen zulassen. Meistens herrscht vor Ort auf 1280 m Höhe zum Zeitpunkt der Blitzentladungen starker Nebel.

### Das Grundprinzip der mobilen Blitzstromerfassungseinheit

Ziel dieses Projekts war es, die seit Jahren unter Laborbedingungen bewährten Blitzstromsensoren zur Erfassung hoher Impulsströme weiter-

zuentwickeln, sodass ein Einsatz für mobile Blitzstrommessungen an wechselnden Orten in realen Anlagen und Gebäuden möglich ist [4]. Die Blitzstromsensoren sollten in der Lage sein, sowohl transiente Impulsströme, als auch relativ niederfrequente Langzeitströme korrekt zu erfassen. Dabei sollte der flexible Einbau der Messsensoren in unterschiedlichen Umgebungen möglich sein. Um Störungen durch elektromagnetische Felder während des Blitzereignisses auf den Übertragungsweg zwischen Spule und Datenlogger zu minimieren, werden die gemessenen elektrischen Größen in optische Signale konvertiert und über einen Lichtwellenleiter zum Datenlogger übertragen. Dort erfolgt die Rückwandlung der Signale und die Datenspeicherung. Die Kommunikation mit übergeordneten Steuerungs- und Diagnoseeinrichtungen geschieht über Standardschnittstellen.

Eine weitere Anforderung war die Übertragung der Messdaten sowie die Parametrierung des Systems, das unter Umständen an abgelegenen,

schwer zugänglichen Messorten zum Einsatz kommt, über eine Datenfernübertragung. Bild 3 gibt einen Überblick über das Grundkonzept dieses mobilen Messsystems. Aufgrund des vorgesehenen Einsatzes in wechselnden Anlagen war das System auch im Hinblick auf die Beanspruchung durch externe Umwelteinflüsse zu untersuchen. Im Besonderen wurden Umgebungsparameter, wie Betriebstemperatur, relative Feuchte und mechanische Beanspruchungen, berücksichtigt. Das mobile Messsystem ist so konzipiert, dass die Impulsstromamplituden und die Ladung der Blitzströme mit hinreichender Genauigkeit aufgezeichnet werden. Für die exakte Erfassung der Stromsteilheiten, insbesondere von Folgeblitzen, mit  $di/dt$ -Werten ab  $100 \text{ kA}/\mu\text{s}$  ist die mobile Messeinheit nicht ausgelegt.

### Blitzstromsensoren mit Rogowski-Spulen

Die Erfassung extrem schnell veränderlicher, transients Vorgänge durch induktive Stromwandler, so-

genannter Rogowski-Spulen, ist ein in der Hochspannungsmesstechnik bekanntes und bewährtes Verfahren [5]. Rogowski-Spulen sind im eigentlichen Sinne um einen magnetischen Spannungsmesser. Aufgrund ihrer mechanischen Robustheit, des weiten Strommessbereichs, der Potentialtrennung zwischen dem stromdurchflossenen Primärkreis und dem empfindlichen Messkreis sowie der relativ einfachen Möglichkeit der Anpassung an unterschiedliche, (blitz-)stromführende Leitungen bieten sie sich für den geforderten, mobilen Einsatz als Messwertaufnehmer an.

Da Rogowski-Spulen auf der Basis des Induktionsgesetzes arbeiten, also eine entsprechende Stromänderung notwendig ist, kann man damit keine reinen Gleichströme erfassen. Um also, wie gefordert, auch Langzeitströme mit einer relativ niedrigen Stromänderungsgeschwindigkeit zu erfassen, muss die Erfassungseinheit eine möglichst niedrige untere Grenzfrequenz haben. Eine Möglichkeit, auch Ströme mit einer relativ niedrigen Grenzfrequenz zu erfassen, bieten zum Beispiel kapazitiv gegengekoppelte, integrierende Operationsverstärker.

Um sowohl Impulsströme mit hohen Stromänderungsgeschwindigkeiten im Bereich von 10 kA/μs und

Peakwerten bis zu 100 kA, als auch Langzeitblitzströme von einigen 10 A mit entsprechend niedrigem  $di/dt$  zu messen, wurde die Erfassung dieser unterschiedlichen Blitzströme in zwei separate Messkreise unterteilt. Zusätzlich zur Erfassung der Impulsströme werden im Messkreis 1 getrennte Signale, einerseits für den raschen Anstieg bis zum Maximalwert, und andererseits für den vergleichsweise langsamen Abfall nach dem Maximalwert, aufgezeichnet (Bild 3). Bei der Auswertung werden die beiden Teile dann stückweise zusammengesetzt.

### Signalübertragung mittels Lichtwellenleiter

Um Störungen durch elektromagnetische Felder während eines Blitzeinschlags auf dem Übertragungsweg zwischen Messspule und Transienten-Rekorder zu minimieren, werden die gemessenen elektrischen Größen in optische Signale konvertiert und frequenzmoduliert über eine LWL-Strecke zum Datenlogger übertragen. Das Signal des optischen Empfängers erreicht über einen Frequenzdemodulator einen Tiefpass, der die Trägeranteile der Modulation herausfiltert.

Für die Übertragungsstrecke wurde eine Bandbreite von 10 MHz ermittelt. Für die Impulsströme wird das

Signal der Stromänderung  $di/dt$  bis zum Datenlogger übertragen und dort gespeichert. Die digitale Integration dieses Signals erfolgt erst in der Auswerteeinheit. Das hat den Vorteil, dass sich Störimpulse kaum auf das integrierte Signal auswirken. Bild 4 zeigt die Elektronikeinheit, welche die elektrischen Größen aufbereitet und in optische Signale konvertiert.

### Datenspeicherung

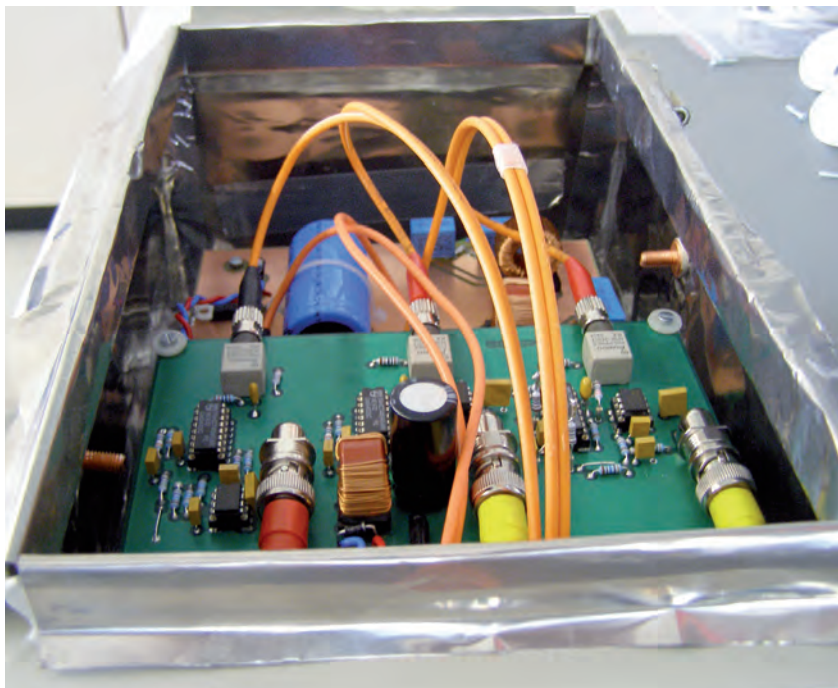
Ein Datenlogger zeichnet die Messsignale auf und speichert sie. Dieser muss eine ausreichende Bandbreite haben, um wie gefordert, auch Impulsströme mit Anstiegszeiten im μs-Bereich erfassen zu können. Der verwendete Datenlogger hat laut Hersteller eine Bandbreite bis 6,5 MHz. Das ist ein Kompromiss zwischen den Anforderungen an ein kompaktes mobiles Messsystem und den Erfordernissen einer möglichst schnellen Abtastung.

Wichtig ist auch eine hohe vertikale Auflösung, um Ströme in ausreichender Genauigkeit über einen weiten Strombereich aufzeichnen zu können. Die vorgestellte Blitzstromerfassungseinheit weist eine vertikale Auflösung bis 16 Bit auf. Um auch die Blitzstromverteilung auf den einzelnen Ableitungen einer Blitzschutzanlage zu erfassen, kann der Datenlogger gleichzeitig bis zu acht Kanäle aufzeichnen. Für die Erfassung von Langzeitströmen mit überlagerten, multiplen Impulsströmen ist die Abtastung mit maximaler Abtastrate über eine Aufzeichnungsdauer von bis zu 5 s möglich. Um die zeitliche Zuordnung von Triggerereignissen zum Beispiel mit den Daten eines Blitzortungssystems zu ermöglichen, wurde alternativ eine DCF77- oder GPS-Echtzeituhr integriert.

Die Datenübertragung kann entweder drahtlos über ein GSM-Modem oder per Internet über die integrierte Ethernet-Schnittstelle erfolgen. Über diese Schnittstelle ist auch die Diagnose zum Status des Messsystems sowie dessen Parametrierung per Fernwartung möglich.

### Erste Vergleichsmessungen am Sendemast

Um die Genauigkeit und die Stabilität des neuen Messsystems unter re-



**Bild 4.** Konvertierung der elektrischen Messgrößen in optische Signale

alen Bedingungen zu verifizieren, werden seit 2007 in Zusammenarbeit mit der Blitzforschungsgruppe Aldis Vergleichsmessungen am Sendemast des ORS am Gaisberg bei Salzburg durchgeführt. Die Erkenntnisse der ersten Messperiode von Juli 2007 bis Mai 2009, in der 132 Blitzereignisse registriert wurden, waren die Basis für eine weitere Optimierung des Systems. In dieser Zeit wurden ausschließlich Aufwärtsentladungen detektiert. Für Blitze, die keine überlagerten oder nachfolgenden Stoßströme aufweisen, – sogenannte „ICOnly“-Entladungen [2] – war die Triggerschwelle des mobilen Messsystems zu hoch eingestellt.

Dieser Entladungstyp ist nach [2] für einen Anteil von fast 50 % aller aufgezeichneten Entladungen verantwortlich. Er kann in der Regel auch von Blitzortungssystemen nicht erfasst werden, da die Feldsensoren nur Stromimpulse mit entsprechenden großen Stromänderungen  $di/dt$  erfassen können.

Die Blitzmessstation Gaisberg zeichnete im Zeitraum der ersten Messperiode auch einzelne sogenannte bipolare Blitzentladungen auf [6]. Dabei wechselt der Stromfluss innerhalb einer Entladung die Polarität. Einem einleitenden negativen Langzeitstrom kann sich beispielsweise noch eine positive Entladung anschließen. Solche bipolaren Entladungen lassen sich möglicherweise dadurch erklären, dass während einer einzigen Blitzentladung die Ladungen aus mehreren Wolkenregionen unterschiedlicher Polarität ausgeglichen werden. Die mobile Blitzfassung zeichnete diese bipolaren Entladungen nicht auf, da diese zu dem Zeitpunkt erwartet wurde.

### Verbesserte Blitzstromerfassung

Die verbesserte Ausbaustufe der mobilen Blitzstromerfassung wurde im Juni 2009 wiederum an der Blitzforschungsstation Gaisberg für eine zweite Messperiode installiert. Bedingt durch eine höhere Abtastrate des Datenloggers und ein verbessertes Impulsverhalten der Sensoren, konnten nun auch die Maximalwerte der Stoßströme genauer erfasst werden. Durch die Erhöhung der Anzahl der Messkanäle auf maximal acht

The screenshot shows the 'GAISBERG DATABASE' web interface. At the top, there are navigation links for 'Sign In', 'Report', and 'About'. Below that, there are tabs for 'Region query', 'Add', 'Base Export', 'Graphics', and 'Amplitude distribution'. The main content area is titled 'Criteria of the sample' and includes radio buttons for 'Date choice', 'Total charge', 'Total energy', and 'Number of strokes'. The 'Date choice' option is selected, and there are input fields for 'From: 2010-04-1' and 'to: 2010-05-6'. Below this, there is a 'Reload the table' button and a section titled 'The base sample from 2010-04-1 to 2010-05-6. Criterion is Date'. This section contains a table with columns: ID, Date, Time, Channel, Total Charge, Tot. Enrg. [s (kA)²], MaxPeak, [kA], and Strokes.n. The table shows two rows of data. Below the table, there is a 'Multiplexed information' section with fields for 'Quantity of sessions: 2', 'Max Total Charge: 4.577686 [s A], was registered 2010-05-01', and 'The maximum number of strokes: 8'. At the bottom, there is a copyright notice: 'Copyright © 2009 DEHN+SÖHNE'.

ID	Date	Time	Channel	Total Charge	Tot. Enrg. [s (kA)²]	MaxPeak, [kA]	Strokes.n
13	2010-05-01	16:03:00	1, 2, 3	4.577686	0.02504394	13.4532	8
17	2010-05-01	16:03:00	4, 5	0.03644	0.000003373	0.152	7

Bild 5. Datenbank der Blitzstromparameter

Eingänge war nun auch die Erfassung der Blitzstromverteilung innerhalb des Turms und seiner Installationen möglich. Damit ließen sich auch die auftretenden Blitzteilströme in einer Energieversorgungsleitung am Sendemast in 80 m Höhe aufnehmen.

Die Auswertung der Messergebnisse erfolgte für den Zeitraum von August 2009 bis Juni 2010. Für die Datenspeicherung und -analyse wurde eine Datenbank entwickelt, die es erlaubt, die wichtigsten Kenndaten der einzelnen Blitzentladung schnell und übersichtlich darzustellen (Bild 5). Jedem Blitzereignis ordnet die integrierte GPS-Echtzeituhr einen entsprechenden Zeitstempel zu. Damit ist auch ein Vergleich der direkt gemessenen Blitzströme mit den Daten, die von Blitzortungssystemen geliefert werden, möglich. Für jede aufgezeichnete Blitzentladung werden die normativ festgelegten Blitzstromparameter berechnet:

- der Scheitelwert,
- die Ladung und
- die spezifische Energie.

Zusätzlich wird bei multiplen Blitzentladungen die Anzahl der überlagerten Stoßströme ermittelt.

In der zweiten Messperiode regis-

trierten die Aldis-Einrichtungen 22 Blitzereignisse mit Impulsströmen. Davon erfasste die mobile Messeinrichtung 18 Blitzströme. Die vier nicht detektierten Blitzentladungen waren Blitzströme mit einem maximalen Peakwert unterhalb der Erfassungsschwelle der mobilen Blitzstromerfassungseinrichtung von 1,5 kA.

Auch während der zweiten Messperiode war die überwiegende Zahl der erfassten Blitze aufwärtsgerichtete Vorentladungen vom geerdeten Sendeturm zur Wolke ohne nachfolgende Return Strokes (Folgeblicke). Bei der Interpretation der Ergebnisse ist deshalb zu berücksichtigen, dass aufgrund der exponierten Lage des Senders am Gaisberg und seiner Objekthöhe vorwiegend Aufwärtsblitze auftraten. Dies deckt sich mit den Aussagen in der IEC 62305-1 [7], dass an hohen exponierten Objekten die im Vergleich zu den Wolke-Erde-Blitzen relativ stromschwachen Erde-Wolke-Entladungen dominieren.

Bei Blitzeinschlägen im flachen Gelände und bei niedrigen Gebäuden treten hingegen praktisch nur Abwärtsblitze auf. Dabei folgen einem eher stromstarken Erstblitz eventuell

	Stoßstrom	
	Mobile Einheit	ALDIS aus [2] <sup>1)</sup>
Größte gemessene Stoßstromamplitude	24 kA <sup>2)</sup>	29 kA <sup>2)</sup>
Median (50%-Wert) der Stoßstromamplitude	7,5 kA für Folgeblitze und ICC-Pulse (N = 15)	9,2 kA (N = 615) Folgeblitze 4,2 kA (N = 728) ICC-Pulse
Maximale Ladung	3,4 As <sup>2)</sup>	4,4 As <sup>2)</sup>
Durchschnittliche Ladung	0,3 As für Folgeblitze und ICC-Pulse (N = 193)	0,51 C (N = 615) Folgeblitze 0,33 C (N = 728) ICC-Pulse
Maximale Anzahl von Stoßströmen bei einem Blitzereignis	25	
Durchschnittliche Anzahl	8	4,4 nur Folgeblitze
Langstrom		
Spitzenwert	0,55 kA	–
Maximale Ladung	76 As <sup>3)</sup>	138 As <sup>3)</sup>
Durchschnittliche Ladung	45,5 As	37 As (N = 457)

**Tabelle 1.** Kennwerte der vergleichenden Blitzstrommessungen während der zweiten Messperiode

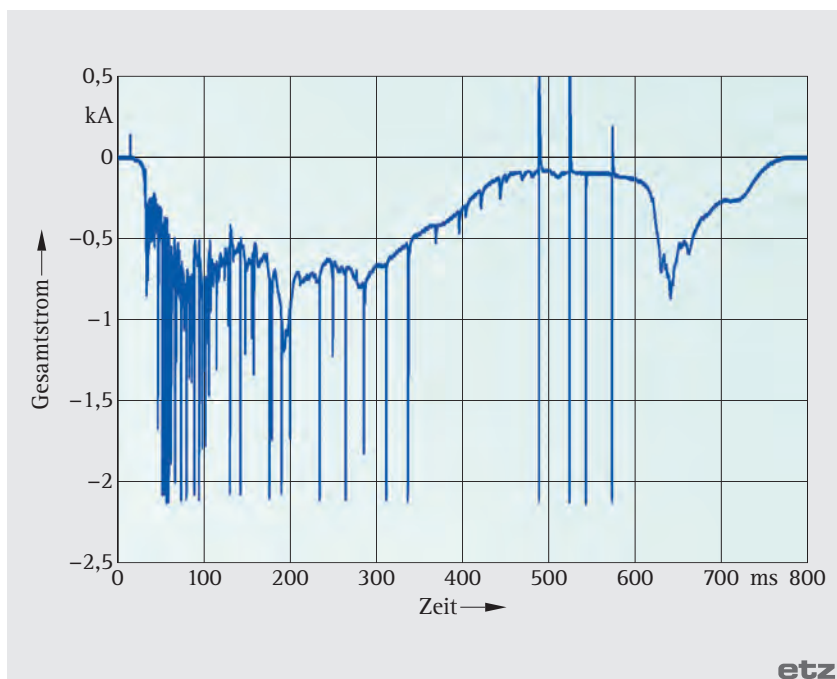
- 1) Die Aldis-Daten in [2] betreffen den Zeitraum 2000-2009 und enthalten auch Blitzereignisse, bei denen keine Impulsströme auftraten. Zudem wurden dem ICC überlagerte Pulse und Folgeblitze getrennt ausgewertet. Die in der Tabelle angeführten statistischen Parameter sind daher nur begrenzt direkt vergleichbar
- 2) Die Angabe der größten gemessenen Stoßstromamplitude und die damit einhergehende maximale Ladung beziehen sich auf den in Bild 8 dargestellten Abwärtsblitz vom 2. August 2009. Von Aldis wurden mehrfach auch höhere Stoßstromwerte registriert, die die obere Aufzeichnungsgrenze von 40 kA des Systems überschritten haben. Diese Stoßstromamplituden sind in dieser Vergleichstabelle nicht aufgeführt.
- 3) Die aufgeführten maximalen Ladungswerte gelten für die zweite Messperiode von August 2009 bis Juni 2010. Der Langstrom mit 138 As wurde vom mobilen System nicht aufgezeichnet, da diesem Langstrom keine Impulsströme größer 1,5 kA überlagert waren. Damit lagen die Blitzstromamplituden für diese Blitzentladung unterhalb der Triggerschwelle des mobilen Messsystems. Dies erklärt die erheblichen Abweichungen bei den aufgezeichneten maximalen Ladungen.

ein oder mehrere Folgeblitze. Bei der Auslegung von Blitzschutzmaßnahmen sind auch die hohen Impulsströme, die besonders bei den eher seltenen positiven Wolke-Erde-Blitzen auftreten können, zu berücksichtigen. Der Vergleich der registrierten Aufwärtsblitze mit den Parametern und dem Stromverlauf des aufgezeichneten

Abwärtsblitzes bestätigt diese Annahmen. Tabelle 1 fasst die wesentlichen Blitzstromparameter der zweiten Messperiode zusammen.

### Parameter der Norm bestätigt

Die Ergebnisse der zweiten Messperiode bestätigen im Wesentlichen die Blitzstromparameter, wie sie in



**Bild 6.** Langzeitstrom mit einer Gesamtladung von 405 As vom Januar 2007

der aktuellen Blitzschutznorm IEC 62305-1 beschrieben sind. Bei den aufgezeichneten Aufwärtsblitzen fällt jedoch die hohe Anzahl von überlagerten Impulsströmen auf. Mit durchschnittlich acht Stoßströmen (entweder dem ICC überlagert oder dem ICC nachfolgend) bei den aufgezeichneten Blitzereignissen werden deutlich mehr Impulsströme beobachtet als die etwa vier Folgeblitze, die typischerweise bei Abwärtsblitzen auftreten.

Von 2000 bis 2009 zeichnete Aldis bei insgesamt zehn Blitzen Gesamtladungen auf, die den maximalen Ladungswert von 300 As nach IEC 62305-1 überschreiten. Diese hohen Ladungswerte wurden ausnahmslos während Wintergewittern aufgezeichnet. Langzeitströme bei Wintergewittern mit Ladungen größer als für die Blitzschutzklasse LPL I angegeben, konnten auch mit dem mobilen System während der ersten Messperiode korrekt aufgezeichnet werden (Bild 6).

Zusätzlich zu diesen allgemeinen Bewertungen stellen nachfolgend zwei beispielhafte Messungen die Bewertung von realen Blitzströmen dar.

### Negativer Aufwärtsblitz mit überlagerten ICC-Pulsen

Bild 7 zeigt den Vergleich zwischen dem Stromverlauf, wie er durch das mobile Messsystem erfasst worden ist und als Referenzgröße den ungefilterten Blitzstromverlauf, aufgezeichnet vom Messsystem der Blitzforschungsgruppe Aldis. Der Blitzstromverlauf zeigt einen typischen negativen Aufwärtsblitz, gekennzeichnet durch einen einleitenden Langzeitstrom mit negativer Polarität. Der Langzeitstrom, mit einer Amplitude von einigen 100 A, steigt am Anfang relativ langsam an und fließt für eine relativ lange Zeit von mehreren 100 ms. Dieser Stromverlauf ist charakteristisch für negative Aufwärtsblitze.

Dem Langzeitstrom sind mehrere Impulsströme (ICC-Pulse) mit ebenfalls negativer Polarität überlagert. Diese überlagerten Impulse werden entsprechend der Messungen der deutschen Blitzforschungsgruppe am Peissenberg auch als  $\alpha$ -Komponenten bezeichnet [8].



Nach dem Abklingen des einleitenden Langzeitstroms schließen sich mehrere Impulsströme an. Die nachfolgenden Impulse nennt man in der internationalen Blitzforschung „Subsequent Return Strokes“ und entsprechen den am Peissenberg als  $\beta$ -Komponenten klassifizierten Pulsen. Es wird allgemein angenommen, dass diese Return Strokes mit den Folgeblitzen von Wolke-Erde-Blitzen identisch sind.

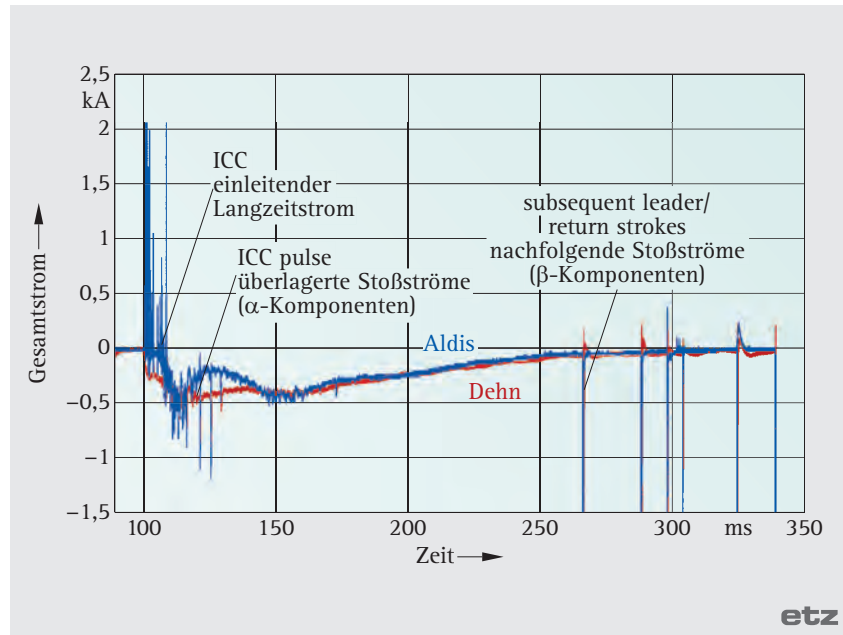
Der visuelle Vergleich beider Verläufe zeigt eine gute prinzipielle Übereinstimmung der beiden Messsysteme. Das mobile Messsystem gab sowohl den Verlauf des Langzeitstroms als auch die Anzahl der Impulsströme korrekt wieder. Für den in Bild 7 dargestellten Blitzstrom vom mobilen System ermittelte es eine Gesamtladung von etwa 50 As. Im Vergleich dazu lieferte die Auswertung des Aldis-Stromverlaufs für diesen Blitz eine Ladung von 46 As.

Dem ICC sind auf Basis der Aldis-Auswertung fünf ICC-Pulse ( $\alpha$ -Impulse) überlagert. An den ICC schließen sich sechs Return Strokes ( $\beta$ -Komponenten) an, wobei einer der Return Strokes zusätzlich eine sogenannte M-Komponente zeigt.

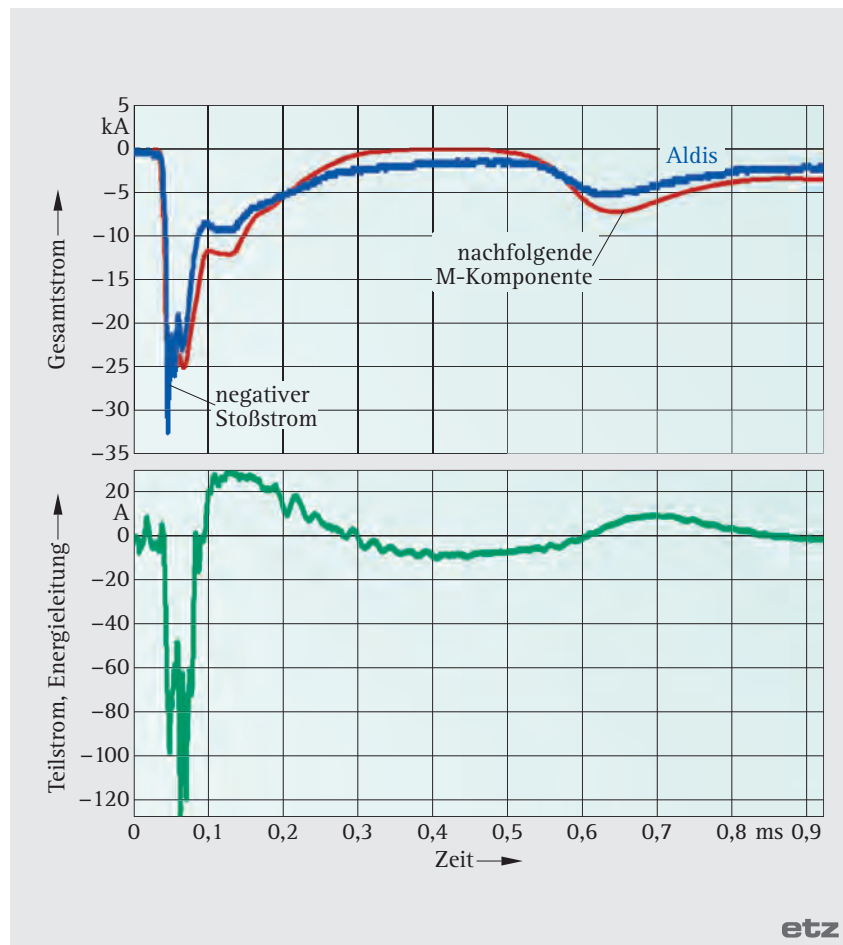
Ein quantitativer Vergleich der in Tabelle 1 aufgeführten Gesamtladungen der zweiten Messperiode zeigt zwischen den beiden Messsystemen eine durchschnittliche Abweichung von unter 20 %.

Eine größere Zahl kurzer positiver Strompulse am Beginn des Messsignals der Aldis-Gruppe (blaue Linie in Bild 7) wird immer wieder beobachtet. Ob es sich dabei um HF-Einstreuungen in das Messsystem oder tatsächliche Ströme an der Mastspitze handelt, ist derzeit Gegenstand verschiedener Untersuchungen bei der Aldis-Gruppe. In [3] wurden die Stromkurven mit 250 kHz gefiltert, womit diese HF-Komponenten unterdrückt wurden.

Die positiven Komponenten bei den Folgeblitzen in beiden Messsystemen sind eine Reaktion der Messelektronik beziehungsweise der LWL-Konverter aufgrund einer aufgetretenen Übersteuerung. Diese Reaktion der Messelektronik auf eine Übersteuerung am Eingang ist vermutlich auch der Grund für die etwas unter-



**Bild 7.** Negativer Aufwärtsblitz mit überlagerten ICC-Pulsen ( $\alpha$ -Komponenten) und nachfolgende Return Strokes ( $\beta$ -Komponenten)



**Bild 8.** Negativer Abwärtsblitz mit M-Komponente (oben) und Teilblitzstrom in der Energieversorgungsleitung (unten)

schiedlichen Kurvenverläufe am Beginn der Entladung.

## Negativer Abwärtsblitz und zugehöriger Teilblitzstrom

Im zweiten Beobachtungszeitraum konnte ein negativer Wolke-Erde-Blitz aufgezeichnet werden. Dieser Abwärtsblitz kennzeichnet sich im Vergleich zu den vorher beschriebenen Aufwärtsblitzen durch einen deutlich höheren Stoßstromwert. Der detektierte negative Abwärtsblitz hat ein Strommaximum von ungefähr 29 kA und eine Ladung von etwa 4,4 As. Bild 8 zeigt den Vergleich der aufgezeichneten Stromkurven von dem wissenschaftlichen Aldis-Messsystem und von der mobilen Blitzstromerfassung. Beide Stromverläufe stimmen gut überein. Dem abfallenden Stoßstrom ist ein weiterer langsam ansteigender negativer Blitzstrom von etwa 5 kA überlagert. Diese charakteristische Blitzstrom-Komponente bezeichnet man in der Blitzforschung auch als M-Komponente.

Bedingt durch die erhöhte Anzahl von Messkanälen war es in der zwei-

ten Messperiode auch möglich, mit der mobilen Blitzstromerfassung den Teilstrom in einem der Niederspannungskabel aufzuzeichnen, die zwischen der Plattform auf 80 m Höhe und dem Betriebsgebäude am Mastfuß verlegt sind. Zwischen diesen beiden Installationspunkten bieten sich dem Blitzstrom eine Vielzahl paralleler Ableitpfade. Der Blitzstrom teilt sich zwischen der metallenen Mastkonstruktion sowie den zahlreichen Energie-, Daten- und Antennenleitungen auf. Somit ist der gemessene Absolutwert des Blitzteilstroms in einem einzelnen Niederspannungskabel nicht aussagekräftig. Es konnte jedoch nachgewiesen werden, dass der Blitzteilstrom in dem betrachteten Niederspannungskabel die gleiche Polarität und eine dem primären Blitzstrom an der Turmspitze vergleichbare Wellenform und Stromflussdauer aufweist. Ein zum Schutz dieser Leitung eingebautes Überspannungsschutzgerät muss also in der Lage sein, Blitzteilströme ableiten zu können.

## Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte mobile Messsystem ist, im Vergleich zur wissenschaftlichen Blitzmessstation der Forschungsgruppe Aldis, in der Lage, die Blitzstromverläufe mit hinreichender Genauigkeit zu messen. Das trifft auf den zeitlichen Verlauf der Blitzströme, die Anzahl und die Höhe der Impulsströme sowie die Ladung der Blitze zu.

Aufgrund der exponierten Lage des Senders Gaisberg wurden während der beiden Messperioden hauptsächlich relativ stromschwache Aufwärtsblitze gemessen. In der zweiten Messperiode konnte ein einziger negativer Abwärtsblitz mit einer, im Vergleich zu den Aufwärtsblitzen, wesentlich höheren Stromamplitude aufgezeichnet werden.

Die Blitzstromparameter während beider Messperioden stimmen mit den allgemeinen Blitzstromstatistiken, wie sie auch die Basis für die aktuellen Blitzschutznormen bilden, überein. Charakteristisch war bei den aufgezeichneten Aufwärtsblitzen ei-

ne höhere Zahl von überlagerten Impulsströmen, als dies in den zurzeit gültigen Blitzschutznormen angegeben wird. Die dort angegebenen drei bis vier Impulsentladungen pro Blitz gelten nur für Abwärtsblitze. Bei Wintergewittern konnten bei Aufwärtsblitzen Gesamtladungen aufgezeichnet werden, die den Ladungswert von 300 As der Blitzschutzklasse I übersteigen.

Mit dem mobilen Messsystem war es auch möglich, Blitzteilströme in einer Energieleitung aufzuzeichnen. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass der Stromverlauf dieser Blitzteilströme in den Niederspannungsleitungen nahezu dem primären Blitzstromverlauf folgen. Das vorgestellte mobile Messsystem zur Blitzstromerfassung wird kontinuierlich optimiert. Eine größere Anzahl von registrierten Blitzereignissen erweitert die Datenbasis. Die Blitzstromvergleichsmessungen werden deshalb über das Jahr 2011 hinaus fortgesetzt.

## Literatur

- [1] Austrian Lightning Detection and Information System, Wien/Österreich: [www.aldis.at](http://www.aldis.at)
- [2] Diendorfer, G.; Mair, M.; Pichler, H.: „Blitzstrommessung am Gaisberg“, Schriftenreihe der Forschung im Verbund (2005) Band 89
- [3] Diendorfer, G.; Mair, M.; Pichler, H.: „Some Parameters of Negative Upward-Initiated Lightning to the Gaisberg Tower (2000-2007)“ IEEE Trans. Electromagn. Compat. 51 (2009) H. 3, S. 443-452 (ISSN 0018-9375)
- [4] Birkl, J.; Böhm, T.; Zahlmann, P.: „Blitzstrommessungen an realen Anlagen mit einem mobilen Erfassungssystem“, 8. VDE/ABB-Blitzschutztagung 2009, Neu-Ulm
- [5] Bellm, H.; Küchler, A.; Herold, J.; Schwab, A.: „Rogowski-Spule und Magnetfeldsensoren zur Messung transienter Ströme im Nanosekundenbereich“, Archiv für Elektrotechnik (1985) H. 68, S. 63-74
- [6] Zhou, H.; Diendorfer, G.; Thottappillil, R.; Pichler, H.; Mair, M.: „Upward Bipolar Lightning Flashes Observed at the Gaisberg Tower“ (2010) 30th Int. Conf. Lightning Protection (ICLP), Cagliari, Italy
- [7] IEC 62305-1:2010-12 Protection against lightning – Part 1: General principles. Genf/Schweiz: Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale
- [8] Fuchs, F.; Landers, E. U.; Schmid, R.; Wiesinger, J.: „Lightning current and magnetic field parameters caused by lightning strikes to tall structures relating to interference of electronic systems“, IEEE- Transactions on EMC 40 (1998) H. 4, S. 444 - 451 (ISSN: 0018-9375)

Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Diendorfer ist Geschäftsführer bei dem Gemeinschaftsprojekt Aldis des Österreichischen Verbandes für Elektrotechnik (OVE) in Graz/Österreich.  
E-Mail: [g.diendorfer@ove.at](mailto:g.diendorfer@ove.at)

Dipl.-Ing. Hannes Pichler ist wissenschaftlicher Mitarbeiter bei dem Gemeinschaftsprojekt Aldis des Österreichischen Verbandes für Elektrotechnik (OVE) in Graz/Österreich.  
E-Mail: [h.pichler@ove.at](mailto:h.pichler@ove.at)

Edward Shulzhenko ist Mitarbeiter in der Entwicklung bei der Dehn + Söhne GmbH + Co.KG. in Neumarkt.  
E-Mail: [edward.shulzhenko@technik.dehn.de](mailto:edward.shulzhenko@technik.dehn.de)

Dipl. Ing. (FH) Josef Birkl ist Leiter der Entwicklungs-Laboratorien bei der Dehn + Söhne GmbH + Co.KG. in Neumarkt.  
E-Mail: [josef.birkl@technik.dehn.de](mailto:josef.birkl@technik.dehn.de)

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Böhm ist Entwicklungssingenieur bei der Dehn + Söhne GmbH + Co.KG. in Neumarkt.  
E-Mail: [thomas.boehm@technik.dehn.de](mailto:thomas.boehm@technik.dehn.de)

Dr.-Ing Peter Zahlmann ist der für die Technik zuständige Geschäftsführer bei der Dehn + Söhne GmbH + Co.KG. in Neumarkt.  
E-Mail: [peter.zahlmann@technik.dehn.de](mailto:peter.zahlmann@technik.dehn.de)





# Mobile measuring system for lightning current detection

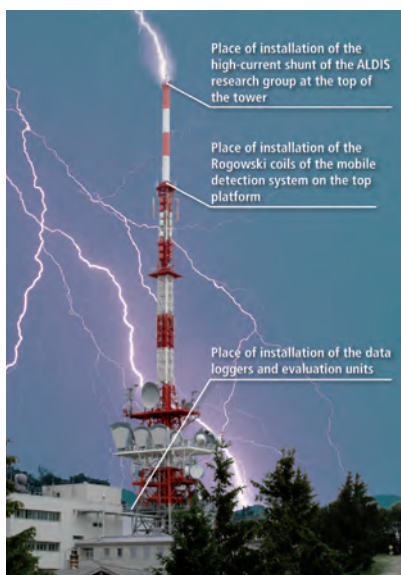
Josef Birkl • Thomas Böhm • Edward Shulzhenko • Peter Zahlmann • Gerhard Diendorfer • Hannes Pichler

**Over the last decades lightning current measurements have been carried out throughout the world on different lightning measuring stations for basic scientific research. Due to the scientific approach of these measurements, their measuring systems are technically very complex and thus only suitable to a limited extent for mobile use at different locations. The mobile lightning current detection system presented in this paper, however, allows to carry out measurements at different locations and systems such as wind turbines, telecommunication towers or high office buildings. The detection and evaluation of actual lightning strokes in such systems would, for example, allow to assess if maintenance measures must be taken after a lightning stroke.**

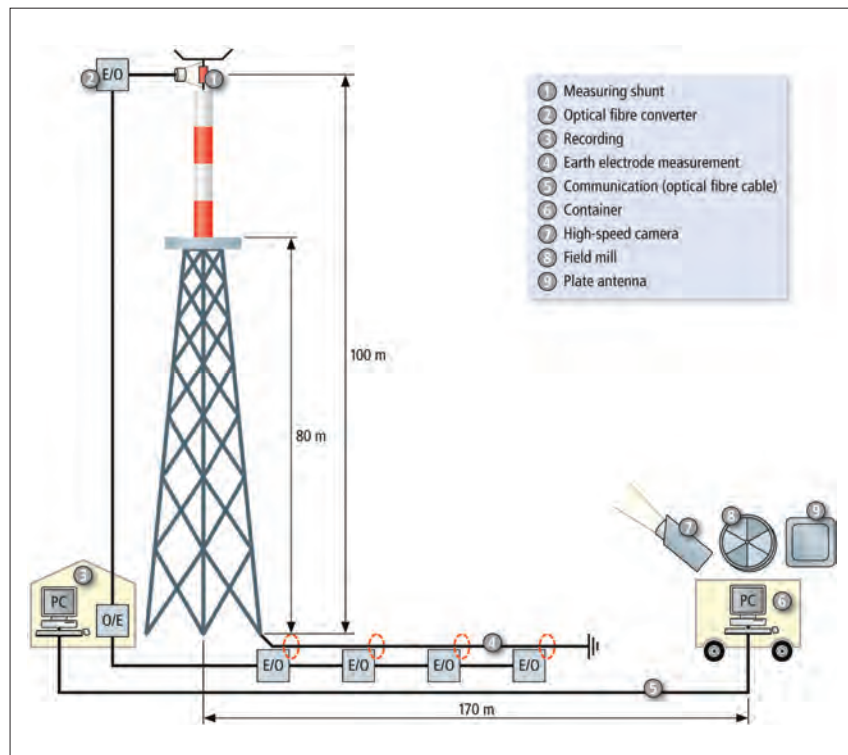
could be collected in two separate measuring periods. The relevant results are presented and described in this paper. Moreover, the accuracy of the mobile lightning current detection unit is compared with the accuracy of the stationary installed measuring equipment on the Gaisberg mountain.

During the comparison measurements several pieces of measuring equipment were installed on the Gaisberg transmitter (Figure 1). The high-current shunt used as lightning current sensor is directly mounted at the top of the tower. The Rogowski coils of the mobile lightning current measuring system are installed on a platform at a height

To verify the mobile lightning current detection unit, comparison measurements with a lightning measuring station used for scientific purposes were carried out over a period of more than four years. These measurements were performed on the ORS Gaisberg transmitter near Salzburg in cooperation with



**Figure 1.** Arrangement of the measuring equipment during the lightning current measurements

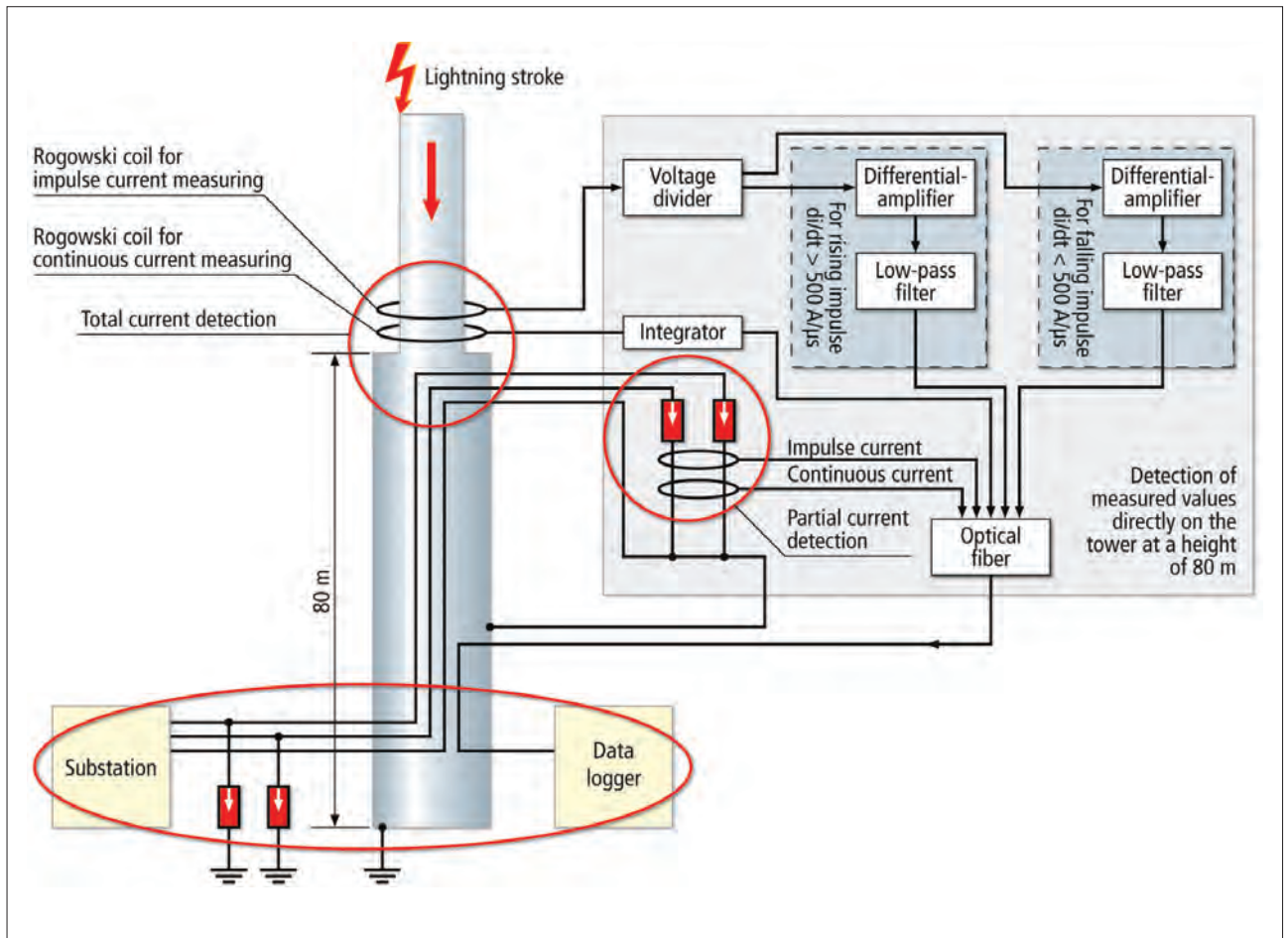


**Figure 2.** Measuring equipment used by Aldis on the Gaisberg mountain

the Aldis (Austrian Lightning Detection and Information System) [1] lightning research group.

During the comparison measurements a variety of measured data

of about 80 m. From the top of the tower to this top platform the tower is designed as an approximately 20 m long carbon tube. The Rogowski coils cover the entire tower includ-



**Figure 3.** Principle of the mobile lightning current detection system

ing the down conductors. A substation next to the transmitter mast houses the data logger and the evaluation electronics of both measuring systems.

### Measuring equipment used by the research group

Since 1998 lightning current measurements have been carried out on the Gaisberg transmitter near Salzburg. The scientific measuring equipment used for this purpose by the Aldis group has already been described in detail [2, 3]. Figure 2 gives an overview of the measuring equipment. Apart from direct lightning current measurements on top of the tower, a partial lightning current is detected at several points in a horizontal earth electrode. Moreover, the electrical near field is measured at a distance of about 170 m from the transmitter mast by means of a field mill and a plate antenna. A high-speed camera (500 images/s)

records every lightning stroke, however, images are only usable in few cases due to the visibility conditions on site. Most of the time, there is heavy fog at a height of 1280 m during the lightning discharges.

### Basic principle of the mobile lightning current detection unit

The goal of this project was to advance the lightning current sensors for detecting high impulse currents that have proven themselves under laboratory conditions over many years so that they can be used for mobile lightning current measurements at different locations in real systems and buildings [4]. The lightning current sensors should be able to correctly detect both transient impulse currents and continuing currents with a relatively low frequency. For this purpose, it should be possible to flexibly install

the measuring sensors at different locations. To minimise faults caused by electromagnetic fields during a lightning stroke in the transmission path between the coil and the data logger, the measured electrical parameters are converted into optical signals and are transmitted to the data logger via a fibre optic cable. There, the signals are reconverted and data is logged. Standard interfaces are used for communication with higher-level control and diagnosis equipment.

Another requirement was the transmission of the measured data and the parameterisation of the system, which may be used in distant measuring locations that are difficult to access, via remote data transmission. Figure 3 gives an overview of the basic principle of this mobile measuring system. Since the system is intended for use in different systems, it had to be tested with regard to exposure to external environmental influences. In par-



ticular, environmental parameters such as operating temperature, relative humidity and mechanical stress were taken into account. The mobile measuring system is designed in such a way that the impulse current amplitudes and the charge of the lightning currents are recorded with sufficient accuracy. The mobile measuring unit is not able to exactly detect the current steepness, in particular that of subsequent strokes with  $di/dt$  values of more than 100 kA/ $\mu$ s.

### **Lightning current sensors with Rogowski coils**

The detection of extremely fast changing transient processes by means of inductive current transformers, so-called Rogowski coils, is a known and approved procedure in high-voltage measuring technology [5]. Rogowski coils are magnetic voltage meters. Thanks to their mechanical robustness, the wide current measuring range, the electrical isolation between the current carrying primary circuit and the sensitive measuring circuit as well as the relatively easy adoption to different (lightning) current carrying conductors, Rogowski coils are ideally suited for mobile use.

Since Rogowski coils are based on the law of induction, meaning that the current must be changed accordingly, it is not possible to detect pure direct currents. In order to detect continuing currents with a relatively low rate of current change as required, the lower cut-off frequency of the detection unit must be as low as possible. Capacitive degenerative IC operational amplifiers, for example, allow to detect currents with a relatively low cut-off frequency.

In order to detect both impulse currents with high rates of current change in the range of 10 kA/ $\mu$ s and peak values up to 100 kA as well as continuing partial lightning currents of some 10A with correspondingly low  $di/dt$ , these different lightning currents were detected in two separate measuring circuits. In addition to the detection of the impulse currents, separate signals are recorded in measuring circuit 1 to

ensure a quick rise to the maximum value and a comparatively slow decrease after reaching the maximum value (see Figure 3). These two parts are then put together piece by piece during evaluation.

### **Signal transmission via optical fibres**

In order to minimise interference caused by electromagnetic fields during a lightning stroke in the transmission path between the measuring coil and the transient recorder, the measured electrical parameters are converted into optical signals and transmitted to the data logger via a fibre-optic transmission system using frequency modulation. The signal of the optical detector is fed into a frequency demodulator and filtered by means of a low-pass filter.

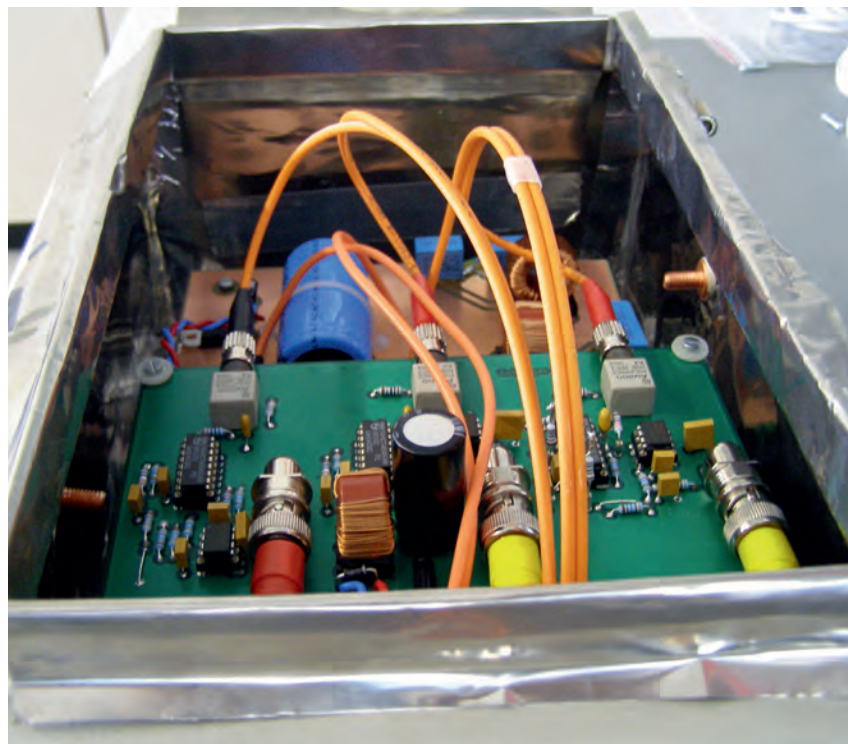
A bandwidth of 10 MHz was determined for the transmission path. In case of impulse currents the signal of the current change  $di/dt$  is transmitted to and saved in the data logger. It is only in the evaluation unit that the signal is digitally integrated. This has the advantage that interference pulses have almost no impact on the integrated signal. Figure 4 shows the electronics unit

used to process the electrical parameters and to convert them into optical signals.

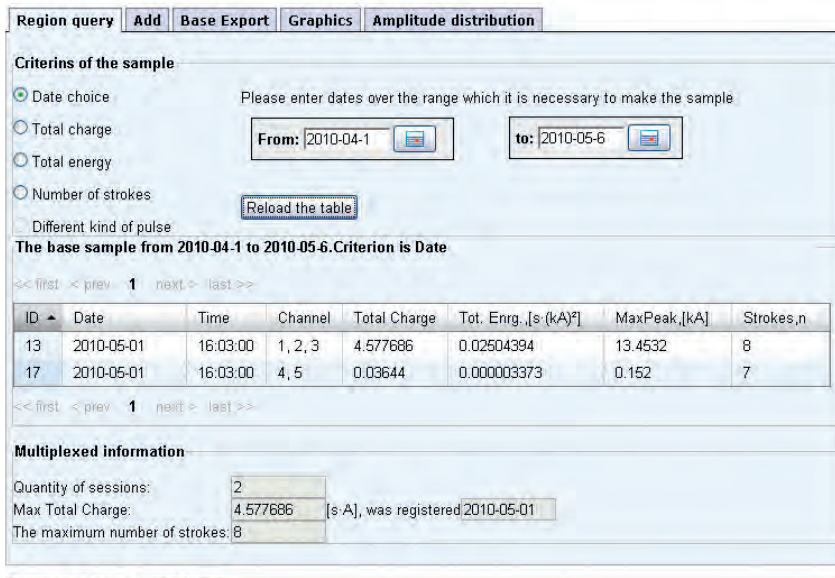
### **Data logger**

A data logger records the measuring signals and saves them. It must have a sufficient bandwidth to detect also impulse currents with rise times in the  $\mu$ s range as required. According to the manufacturer the data logger used has a bandwidth of up to 6.5 MHz. This is a compromise between the requirements for a compact mobile measuring system and the necessity of a fast measured value acquisition.

A high vertical resolution is equally important to be able to record currents with sufficient accuracy over a wide current range. The lightning current detection unit described in this paper has a vertical resolution of up to 16 bits. In order to detect the lightning current distribution to the individual down conductors of a lightning protection system, the data logger is able to record up to eight channels at the same time. To detect continuing currents with superimposed multiple impulse currents, sampling with a maximum sampling rate is possible



**Figure 4.** Conversion of the measured electrical parameters into optical signals



Copyright © 2009 DEHN+SÖHNE.

Figure 5. Database of the lightning current parameters

over a recording period of up to 5 s. To assign the time of the trigger events, for example to the data of a lightning detection system, a DCF77 or GPS real-time clock was integrated.

Data can be transmitted either wirelessly via a GSM modem or via internet using an integrated Ethernet interface. The interface also allows to diagnose the status of the measuring system and to parameterise it via remote maintenance.

### First comparison measurements on the transmitter mast

Since 2007 comparison measurements have been performed on the ORS transmitter mast on the Gaisberg mountain near Salzburg in cooperation with the Aldis lightning research group to verify the accuracy and stability of the new measuring system under real conditions. The results of the first measuring period from July 2007 to May 2009, during which 132 lightning strikes were registered, formed the basis for further optimisation of the system.

During this time only upward leaders were detected. The trigger threshold of the mobile measuring system was set too high for lightning strokes without any superimposed or subsequent impulse currents – also referred to as “ICC-Only” discharges [2]. In accordance with [2] this type of discharge makes up almost 50% of all recorded discharges. It is normally not detected by lightning detection systems since the field sensors are only able to detect current pulses with accordingly high current changes  $di/dt$ .

During the first measuring period, the Gaisberg measuring station also recorded some so-called bipolar lightning discharges [6]. This means that the current flow changes polarity during a discharge process. An initial continuing current with negative polarity may be followed by, for example, a positive discharge. Such bipolar discharges could result from the compensation of charges from several cloud regions with different polarity during a single lightning discharge. The mobile lightning current detection system did not record these bipolar dis-

charges since it was maintained at that time.

### Enhanced lightning current detection

In June 2009 the improved mobile lightning current detection system was installed again on the Gaisberg lightning research station for a second measuring period. A higher sampling rate of the data logger and an improved pulse behaviour of the sensors now also allowed to record the maximum values of the impulse currents more precisely. The lightning current distribution within the tower and its installations could now also be detected due to the increase of the number of measuring channels to maximum eight inputs. Thus, partial lightning currents in a power supply line on the transmitter mast at a height of 80 m could be recorded.

The measuring results were evaluated from August 2009 to June 2010. A database that allows quick and clear display of the most important parameters of the individual lightning discharges was developed for data storage and analysis (Figure 5). The integrated GPS real-time clock assigns a time stamp to every lightning stroke. This allows to compare the directly measured lightning currents with the data of the lightning detection systems. The lightning current parameters specified in the standard are calculated for every recorded lightning discharge:

- Peak value,
- Charge and
- Specific energy.

In case of multiple lightning discharges the number of superimposed impulse currents is also determined.

In the second measuring period the Aldis devices recorded 22 lightning strokes with impulse currents. The mobile measuring system detected 18 of these lightning currents. The four undetected lightning discharges were lightning currents with a maximum peak value below the detection threshold of the mobile lightning current detection system of 1.5 kA.

In the second measuring period most of the detected lightning



strokes were also upward leaders from the earthed tower to the cloud without subsequent return strokes (subsequent strokes). For this reason, it has to be considered for the interpretation of the result that mostly upward flashes occurred due to the exposed location and height of the transmitter installed on the Gaisberg mountain. This corresponds to the information provided in IEC 62305-1 [7]. This standard specifies that earth-to-cloud discharges that have relatively low currents compared to cloud-to-earth flashes occur more frequently at high exposed objects.

Downward flashes occur mainly in case of lightning strokes into flat areas and in case of low buildings. A rather high-current first stroke may be followed by one or more subsequent strokes. When implementing lightning protection measures, the high impulse currents, which may in particular occur in case of rather seldom positive cloud-to-earth flashes, also have to be considered. A comparison of the recorded upward flashes with the parameters and the current characteristic of the recorded downward flash confirms these assumptions. Table 1 summarises the most important lightning current parameters of the second measuring period.

### Parameters of the standard confirmed

The results of this second measuring period basically confirm the lightning current parameters as described in the latest IEC 62305-1 lightning protection standard. The recorded upward flashes have a remarkably high number of superimposed impulse currents. With an average of 8 impulse currents (either superimposed over the ICC or following the ICC) recorded during the lightning strokes considerably more impulse currents are observed than the approximately 4 subsequent strokes which typically occur in case of downward flashes.

From 2000 to 2009 Aldis recorded total discharges exceeding the maximum charge of 300 As in accordance with IEC 62305-1 for a total of 10 lightning strikes. These high

	Impulse current	
	Mobile unit	ALDIS from [2] <sup>1)</sup>
Maximum recorded impulse current amplitude	24 kA <sup>2)</sup>	29 kA <sup>2)</sup>
Median (50% value) of the impulse current amplitude	7.5 kA for subsequent strokes and ICC pulses (N = 15)	9.2 kA (N = 615) subsequent strokes 4.2 kA (N = 728) ICC pulses
Maximum charge	3.4 As <sup>2)</sup>	4.4 As <sup>2)</sup>
Average charge	0.3 As for subsequent strokes and ICC pulses (N = 193)	0.51 C (N = 615) subsequent strokes 0.33 C (N = 728) ICC pulses
Maximum number of impulse currents in case of a lightning stroke	25	
Average number	8	4.4 subsequent strokes only
Continuing current		
Peak value	0.55 kA	–
Maximum charge	76 As <sup>3)</sup>	138 As <sup>3)</sup>
Average charge	45.5 As	37 As (N = 457)

**Table 1.** Parameters of the lightning current measurements carried out during the second measuring period

- 1) The Aldis data in [2] refer to the period between 2000 to 2009 and also include lightning events without impulse currents. Moreover, pulses superimposed over the ICC and subsequent strokes were evaluated separately. For this reason, the statistic parameters listed in the above table can only be compared to a limited extent.
- 2) The value of the maximum recorded impulse current amplitude and the resulting maximum charge refer to the downward flash of 2<sup>nd</sup> August 2009 shown in Fig. 8. Aldis also repeatedly recorded higher impulse current values which exceeded the upper recording limit of 40 kA of the system. These impulse current amplitudes are not listed in the above table.
- 3) The maximum charge values listed in the table were obtained during the second measuring period from August 2009 to June 2010. The mobile system did not record the continuing current of 138 As since no impulse currents exceeding 1.5 kA were superimposed over this continuing current. Hence the lightning current amplitudes for this lightning discharge were below the trigger threshold of the mobile measuring system. This explains the significant deviations of the recorded maximum charges.

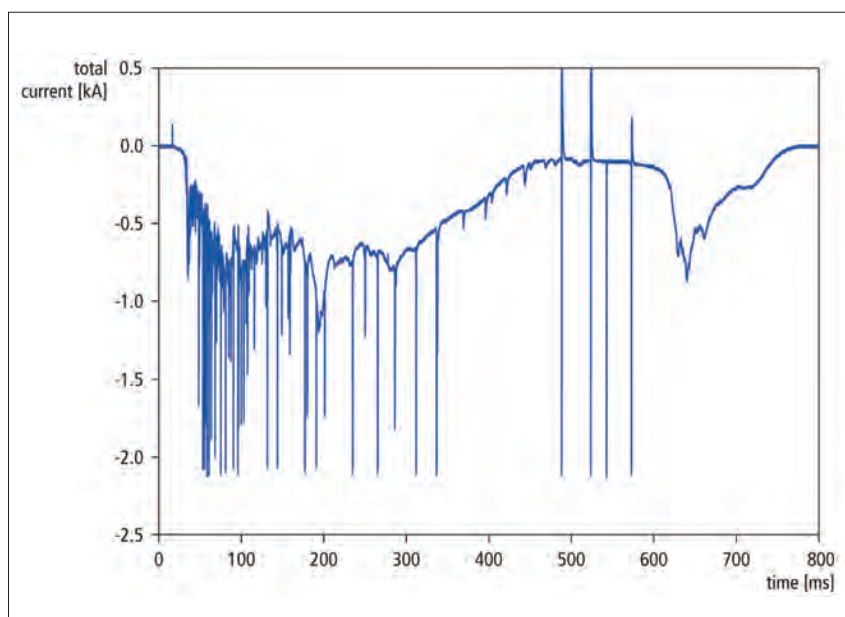
charge values were, without exception, recorded during winter thunderstorms. During the first measuring period, the mobile system also correctly recorded continuing currents with charges higher than specified for LPL I during winter thunderstorms (Figure 6).

In addition to these general evaluations, real lightning currents are

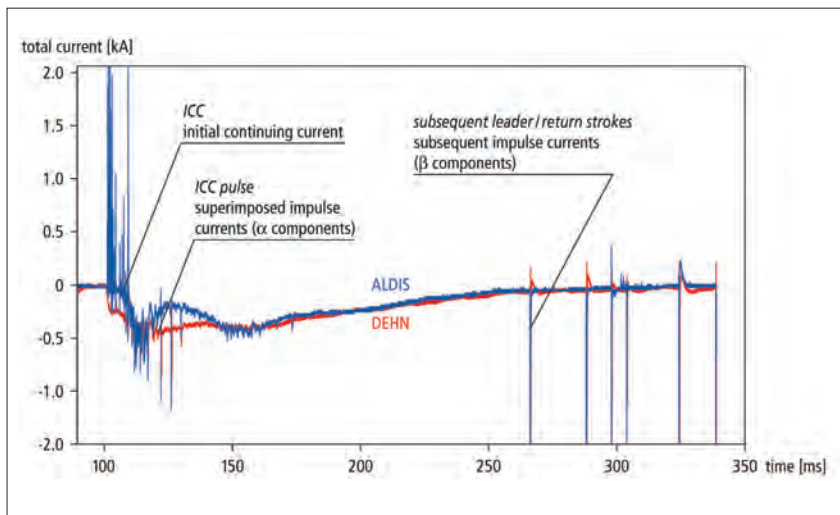
evaluated below based on two sample measurements.

### Negative upward flash with superimposed ICC pulses

Figure 7 shows a comparison between the current characteristic as detected by the mobile measuring system and the unfiltered lightning



**Figure 6.** Continuing current with a total charge of 405 As (January 2007)



**Figure 7.** Negative upward flash with superimposed ICC pulses ( $\alpha$  components) and subsequent return strokes ( $\beta$  components)

current characteristic as recorded by the measuring system of the Aldis lightning research group. The lightning current characteristic shows a typical negative upward flash characterised by an initial continuing current with negative polarity. The continuing current with an amplitude of some 100 A rises relatively

slowly at the beginning and flows for a relatively long period of some 100 ms. This is characteristic of negative upward flashes.

Several impulse currents (ICC pulses) which also have a negative polarity are superimposed over the continuing current. According to the measurements of the German light-

ning research group on the Peissenberg mountain, these superimposed pulses are also referred to as  $\alpha$  components [8].

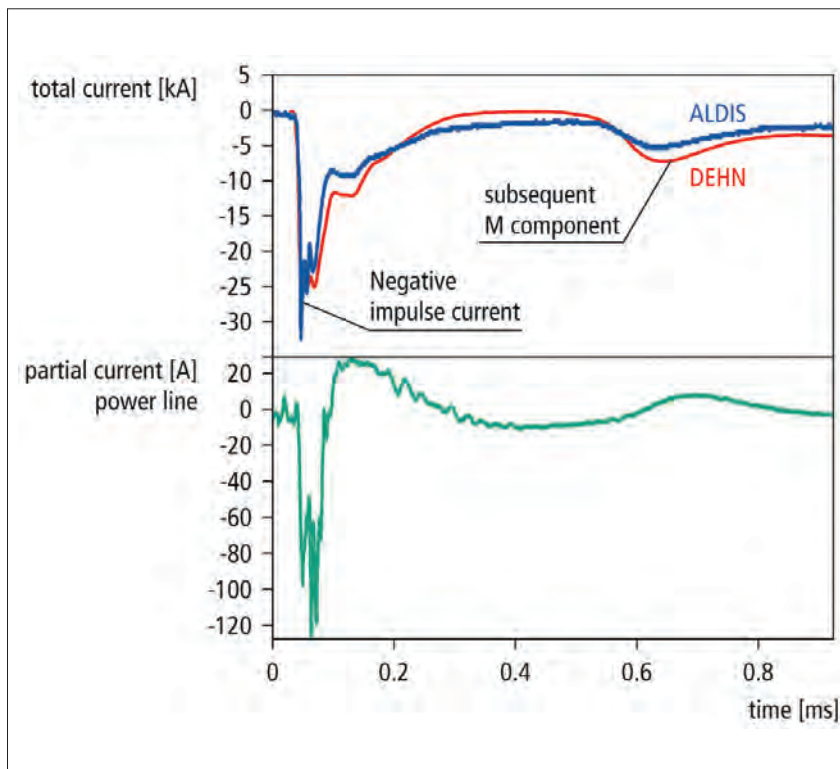
The decrease of the initial continuing current is followed by several impulse currents. In international lightning research, the subsequent pulses are referred to as “subsequent return strokes” and correspond to the pulses classified as  $\beta$  components on the Peissenberg mountain. It is generally assumed that these return strokes are identical with the subsequent strokes of cloud-to-earth flashes.

A visual comparison of both characteristics shows a good agreement of both measuring systems. The mobile measuring system correctly reproduced both the continuing current characteristic and the number of impulse currents. A total charge of about 50 As was determined for the lightning current of the mobile system shown in Figure 7. In comparison, the evaluation of the Aldis current characteristic led to a charge of 46 As for this lightning stroke. Based on the Aldis evaluation, five ICC pulses ( $\alpha$  pulses) are superimposed over the ICC. The ICC is followed by six return strokes ( $\beta$  components), one of the return strokes additionally showing a so-called M component.

A quantitative comparison of the total charges during the second measuring period listed in Table 1 shows an average deviation below 20% between both measuring systems.

Various short positive current pulses at the beginning of the measuring signal of the Aldis group (blue line in Figure 7) are observed again and again. Whether these are HF injections into the measuring system or actual currents at the top of the mast is currently part of different studies of the Aldis group. In [3] the bandwidth of the current curves was limited to 250 kHz, thus suppressing these HF components.

The positive components in case of subsequent strokes in both measuring systems are a reaction of the electronic measuring equipment or the optic fibre converter to an over-control. This reaction of the electronic measuring equipment to an



**Figure 8.** Negative downward flash with M component (above) and partial lightning current in the power supply line (below)



overcontrol at the input is probably also the reason for the different curve characteristics at the beginning of the discharge.

### Negative downward flash and associated partial lightning current

A negative cloud-to-earth flash could be recorded in the second measuring period. The impulse current of this downward flash is considerably higher than the impulse current of the upward flashes described before. The detected negative downward flash has a maximum current of about 29 kA and a charge of about 4.4 As. Figure 8 shows a comparison of the current characteristics as recorded by the scientific Aldis measuring system and the mobile lightning current detection system. Both current characteristics are almost identical. Another slowly rising negative lightning current of about 5 kA is superimposed over the decreasing impulse current. In lightning research this characteristic lightning current component is also referred to as M component.

Owing to the increased number of measuring channels, in the second measuring period the mobile lightning current detection system was also able to record the partial current in one of the low-voltage cables installed between the platform at a height of 80 m and the substation at the mast base. Between these two installation points a variety of parallel discharge paths are provided for the lightning current. The lightning current splits up between the metallic mast construction and the numerous power, data and antenna lines. Hence, the measured absolute value of the partial lightning current is not reliable in a single low-voltage cable. However, it could be proven that the partial lightning current in the considered low-voltage cable has the same polarity and a wave form and current flow duration comparable to the primary lightning current at the top of the tower. A surge protective device installed to protect this line must also be able to discharge partial lightning currents.

### Summary and outlook

The mobile measuring system presented in this paper allows to measure the lightning current flow with sufficient accuracy in comparison with the scientific lightning measuring station of the Aldis research group. This applies to the time characteristic of the lightning currents, the number and magnitude of the impulse currents and the charge of the lightning strokes.

Due to the exposed location of the Gaisberg transmitter, mainly relatively low-current upward flashes were measured during both measuring periods. In the second measuring period a single negative downward flash with a considerably higher current amplitude than upward flashes could be recorded.

The lightning current parameters recorded during both measuring periods are in line with the general lightning current statistics which are also the basis for the latest lightning current standards. A higher number of superimposed impulse currents than specified in the currently applicable lightning protec-

tion standards was characteristic of the recorded upward flashes. The three to four pulse discharges per flash specified in these standards only apply to downward flashes. During winter thunderstorms total charges exceeding the charge value of 300 As for LPL I could be recorded in case of upward flashes.

The mobile measuring system also allowed to record partial lightning currents in a power supply line. It could be proven that the current characteristic of these partial lightning currents in the low-voltage lines is almost identical with the primary lightning current characteristic. The mobile lightning current detection system presented in this paper is continuously optimised. A large number of recorded lightning events extend the database. For this reason, the lightning current comparison measurements will be continued beyond 2011.

### References

- [1] Austrian Lightning Detection and Information System, Wien/Österreich: www.aldis.at
- [2] Diendorfer, G.; Mair, M.; Pichler, H.: „Blitzstrommessung am Gaisberg“, Schriftenreihe der Forschung im Verbund (2005) Band 89
- [3] Diendorfer, G.; Mair, M.; Pichler, H.: „Some Parameters of Negative Upward-Initiated Lightning to the Gaisberg Tower (2000–2007)“ IEEE Trans. Electromagn. Compat. 51 (2009) H. 3, S. 443–452 (ISSN 0018-9375)
- [4] Birkl, J.; Böhm, T.; Zahlmann, P.: „Blitzstrommessungen an realen Anlagen mit einem mobilen Erfassungssystem“, 8. VDE/ABB-Blitzschutztagung 2009, Neu-Ulm
- [5] Bellm, H.; Küchler, A.; Herold, J.; Schwab, A.: „Rogowski-Spule und Magnetfeldsensoren zur Messung transienter Ströme im Nanosekundenbereich“, Archiv für Elektrotechnik (1985) H. 68, S. 63–74
- [6] Zhou, H.; Diendorfer, G.; Thottappillil, R.; Pichler, H.; Mair, M.: „Upward Bipolar Lightning Flashes Observed at the Gaisberg Tower“ (2010) 30th Int. Conf. Lightning Protection (ICLP), Cagliari, Italy
- [7] IEC 62305-1:2010-12 Protection against lightning – Part 1: General principles. Genf/Schweiz: Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale
- [8] Fuchs, F.; Landers, E. U.; Schmid, R.; Wiesinger, J.: „Lightning current and magnetic field parameters caused by lightning strikes to tall structures relating to interference of electronic systems“, IEEE- Transactions on EMC 40 (1998) H. 4, S. 444 – 451 (ISSN: 0018-9375).

Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Diendorfer is the Managing Director of the Aldis project of the Austrian Electrotechnical Committee (OVE) in Graz/Austria.  
e-mail: g.diendorfer@ove.at

Dipl.-Ing. Hannes Pichler is scientific employee in the the Aldis project of the Austrian Electrotechnical Committee (OVE) in Graz/Austria.  
e-mail: h.pichler@ove.at

Edward Shulzhenko is employee in the R&D Department of Dehn + Söhne GmbH + Co.KG. in Neumarkt.  
e-mail: edward.shulzhenko@technik.dehn.de

Dipl.-Ing. (FH) Josef Birkl is Head of the R&D laboratories at Dehn + Söhne GmbH + Co.KG. in Neumarkt.  
e-mail: josef.birkl@technik.dehn.de

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Böhm is development engineer at Dehn + Söhne GmbH + Co.KG. in Neumarkt.  
e-mail: thomas.boehm@technik.dehn.de

Dr.-Ing. Peter Zahlmann is the Technical Managing Director at Dehn + Söhne GmbH + Co.KG. in Neumarkt.  
e-mail: peter.zahlmann@technik.dehn.de



Überspannungsschutz  
Blitzschutz / Erdung  
Arbeitsschutz

*Surge Protection  
Lightning Protection / Earthing  
Safety Equipment*

DEHN + SÖHNE  
GmbH + Co.KG.  
Hans-Dehn-Str. 1  
Postfach 1640  
92306 Neumarkt  
Germany

Tel. +49 9181 906-0  
Fax +49 9181 906-100

**NEU ab / NEW as of 01.01.2012:**  
**Fax +49 9181 906-1100**

[www.dehn.de](http://www.dehn.de)  
[info@dehn.de](mailto:info@dehn.de)