

Reduzierung elektrischer Abstände von Oberleitungen zu Bauwerken

Martin Altmann, Wolfgang Braun, Axel Schmieder, Erlangen; Thomas Koch, Berlin

Bei Oberleitungsanlagen sind elektrische Abstände zu geerdeten Teilen wie Brücken, Überführungen und Tunnel, sowie zu Fahrzeugen gemäß EN 50119 einzuhalten. Überschlüge durch Überspannungen zum Bauwerk sind zu vermeiden. Eine speziell für 15- und 25-kV-Oberleitungsanlagen entwickelte Überspannungsableitereinrichtung ermöglicht es, Überspannungen am Bauwerk auf niedrigere Werte zu begrenzen, so dass kleinere Abstände erlaubt werden können. Ein Anwendungsbeispiel wurde in die neue EN 50119 aufgenommen.

Reducing of the electrical clearances from overhead contact lines to structures

For overhead contact line systems, electrical clearances to earthed parts such as bridges, overpasses and tunnels as well as to vehicles must be maintained in accordance with EN 50119. Flashovers due to overvoltages to the structure must be avoided. A surge arrester device, specially developed for 15 and 25 kV overhead line systems, makes it possible to reduce surge voltages at the structure to lower values, so that smaller distances can be permitted. An application example has been included in the new edition of EN 50119.

Réduction des distances électriques entre les lignes aériennes de contact et les ouvrages

Pour les lignes aériennes de contact, les distances d'isolement vis-à-vis des structures à la terre tels que pont, pont-rail et tunnels, et également les véhicules ferroviaires, doivent être maintenues en conformité avec la EN 50119. Des amorçages avec les ouvrages dus à des surtensions doivent être évités. Un parafoudre, particulièrement développé pour les systèmes d'alimentation 15 et 25 kV ont permis de réduire les tensions d'amorçage vis-à-vis de l'ouvrage à des valeurs minimales, afin d'autoriser des distances plus petites. Un exemple d'application a été inclus dans la nouvelle édition de la EN 50119.

1 Einführung

Als sich Dänemark 2015 entschloss, das gesamte Streckennetz des Landes zu elektrifizieren, gab es gemäß den technischen Unterlagen auch etliche Bauwerke, deren geringe lichte Höhe eine Streckenelektrifizierung nicht gestattete und für die zunächst aufwändige Umbaumaßnahmen vorgesehen waren. Eine Brücke und die zuführenden Straßen anzuheben, kostet schnell einen Millionenbetrag oder mehr. Abgesehen davon ist es manchmal überhaupt nicht möglich oder erlaubt, ein solches Bauwerk zu verändern oder zu ersetzen, weil zum Beispiel der Denkmalschutz oder die Stadtplanung keine Genehmigung erteilen. Alternativ mögliche Gleisabsenkungen erfordern die längerfristige Einstellung des Zugbetriebes.

Die Isolationskoordination für elektrische Anlagen bei Bahnen ist in EN 50124-1 [1] definiert. Den Nennspannungen für die Anlagen der Bahnenergieversorgung als auch für Fahrzeuge sind darin zulässige kurzzeitige und langzeitige Überspannungen zugeordnet. Da bei Oberleitungen sehr unterschiedliche Bedingungen vorkommen, dürfen dafür gemäß

EN 50124-1 unterschiedliche Luftstrecken für Werte von $U_{Nl}=95$ kV und höher verwendet werden wie, sie in der EN 50119 [2] angegeben sind. Diese gibt in Abschnitt 5.1.3, Tabelle 2 die erforderlichen elektrischen Abstände für die gängigen Nennspannungen der Bahnnetze an (Tabelle 1). Abschnitt 5.1.3 der Norm weist auch darauf hin, dass die Werte in deren Tabelle 2 in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern reduziert oder erhöht werden können. Jeder Fall ist jedoch individuell zu betrachten.

Die im Weiteren genannten elektrischen Abstände sind für den Anlagenschutz, das heißt den Schutz der Oberleitungsanlage und der Bauwerke, maßgeblich. Schutzabstände für die Sicherheit von Personen gegen direktes Berühren sind in der EN 50122-1 [3] definiert und enthalten einen Sicherheitszuschlag.

Tabelle 1

Typische Abstände gemäß EN 50119, Abschnitt 5.1.3, Tabelle 2.			
Nennspannung U_N	kV	25	15
elektrischer Abstand dauernd (L_{stat})	mm	270	150
elektrischer Abstand kurzzeitig (L_{dyn})	mm	150	100

Es wird zwischen statischem und dynamischem Abstand unterschieden. Der statische elektrische Abstand L_{stat} berücksichtigt das Auftreten der höchsten betrieblich erlaubten Spannungen einschließlich Schaltüberspannungen und Blitzstoßspannungen. Dieser Abstand darf kurzzeitig bei der Durchfahrt eines Fahrzeugs aufgrund des Fahrdrahtanhubes durch den Pantographen bis zu einem Mindestwert, dem dynamischen elektrischen Abstand L_{dyn} , unterschritten werden. Für den dynamischen elektrischen Abstand L_{dyn} sind nicht die transienten Überspannungen maßgeblich, sondern die dauernd zulässige höchste betriebliche Spannung U_{max2} nach EN 50163 [4]. Dass darüber hinaus kurzzeitige Überspannungen bis U_{max3} für 20 ms auftreten ist unwahrscheinlich, zumal moderne Elektrofahrzeuge bei Werten oberhalb von U_{max2} abregeln. Diese Spannungen sind als sinusförmig zu betrachten. Der Mindestwert des dynamischen Abstands kann aus den Tabellen A.2, A.3 und A.8 der EN 50124 wie folgt abgeleitet werden.

Zunächst ist in den Tabellen A.2 und A.3, die Zuordnung der Bemessungs-Isolationsspannungen U_{Nm} zur Bemessungs-Stoßspannung U_{Ni} und folglich zu Mindestwerten für Luftstrecken bei verschiedenen Verschmutzungsgraden angegeben. Dabei ist mit der Tabelle A.8 auch eine Prüfspannung für den Nachweis von Luftstrecken vorgegeben. Solch ein Nachweis wird bevorzugt durch eine 1,2/50- μ s-Stoßprüfspannung U_i geführt. Der Tabelle A.8 können zudem auch äquivalente Wechsel- und Gleichspannungen entnommen werden. Im Umkehrschluss kann mit deren Hilfe auch die notwendige Luftstrecke für die Wechselspannung U_{max2} interpoliert werden. In Tabelle 2 ist für 15-kV- und 25-kV-Anlagen die Herleitung für einen tolerablen dynamischen Abstand angegeben. Darüber hinaus dürfen, wenn die elektrischen Abstände zu geerdeten Strukturen nicht ausreichen, nach Abschnitt 5.1.3 der EN 50119 Überspannungsableiter oder andere Mittel eingesetzt werden, um Überschläge in Bereichen zu vermeiden, in denen durch Blitzschlag Überspannungen auftreten können. Dies ist auf den statischen elektrischen Abstand zu beziehen.

2 Lösungsansatz

Um die geforderte Spannungsfestigkeit in elektrischen Anlagen zu erreichen, ist es in allen Spannungsebenen üblich, Überspannungsableiter einzusetzen. Dies wird vor allem zum Schutz vor Zerstörung bei besonders empfindlichen elektronischen Geräten angewendet, sowie bei Bauteilen deren Ausfall in betrieblicher und wirtschaftlicher Hinsicht zu vermeiden ist.

Die spannungsbegrenzende Wirkung eines Überspannungsableiters ist gekennzeichnet durch dessen

Schutzpegel. Damit wird diejenige Spannung bezeichnet, die zwischen den Ableiterklemmen abfällt, wenn durch den Ableiter sein Nenn-Ableitstoßstrom fließt. Letzterer ist ein Blitzstoßstrom von normtem zeitlichem Verlauf, dessen Amplitude in unterschiedliche Klassen eingeteilt wird. Für Bahnableiter sind dabei 10 kA ein üblicher Wert. Eine detaillierte Auslegungsbeschreibung findet sich in [5] und in [6].

Bei Frei- und Oberleitungen sorgen die vorhandenen Isolatoren bereits für eine systemeigene Begrenzung, das heißt Blitzüberspannungen, die als Folge von Blitzströmen auftreten und weit über 1 MV erreichen können, werden durch Überschläge auf das Niveau der Spannungsfestigkeit der Isolatoren herabgesetzt. Diese sind in dieser Hinsicht ein zentraler Baustein der Isolationskoordination für Oberleitungsanlagen. Zusätzliche Überspannungsableiter hätten nur einen lokal begrenzten Schutzbereich und sind deshalb nicht wirtschaftlich. Bei Hochspannungsfreileitungen verhindern Blitzschutzseile direkte Blitzeinschläge in die Stromleiter.

Die Überspannungsableiter werden deshalb fast ausschließlich bei Einspeisungen und in Unterwerken zum Schutz der Kabel, Transformatoren und Sekundärtechnik eingesetzt. Will man dagegen die elektrischen Abstände bei Frei- und Oberleitungen reduzieren, ist es notwendig, das vorhandene übliche Überspannungsniveau im betroffenen Bereich erheblich abzusenken, um Überschläge auszuschließen.

Der Zusammenhang von Überschlagspannung und Luftstrecke ist von vielerlei Faktoren abhängig. Neben den Umgebungsbedingungen, wie Luftdruck, -feuchtigkeit und Temperatur spielt vor allem die Art des elektrischen Feldes eine große Rolle. Die Form der Elektroden bestimmt, ob sich ein homogenes oder inhomogenes elektrisches Feld ausbildet. Bei rauher Oberflächenbeschaffenheit kann dies zu lokalen Feldstärkeüberhöhungen führen. Dazu ist noch der zeitliche Verlauf der elektrischen Spannung bzw. die Anstiegsgeschwindigkeit maßgeblich. Wegen der konstanten, reproduzierbaren und physikalisch beschreibbaren Eigenschaften von Gasen ist es möglich, mit Hilfe eines physikalischen Modells eine Zündbedingung für den Einsatz von Entladungen mathematisch zu formulieren und ein Gesetz über

Tabelle 2				
Herleitung des dynamischen Abstandes.				
Norm	Größe		25-kV-System	15-kV-System
EN 50119 Tabelle 2	typischer elektrischer Abstand L_{dyn}	mm	150	100
EN 50163 Tabelle 1	Überspannungen U_{max2}	kV	29	18
EN 50124-1 Tabelle A.8 Annahme $U_{ac} = U_{max2}$	zugehörige Luftstrecke (interpoliert)	mm	80	45
	tolerabler elektrische Abstand L_{dyn}	mm	110	70

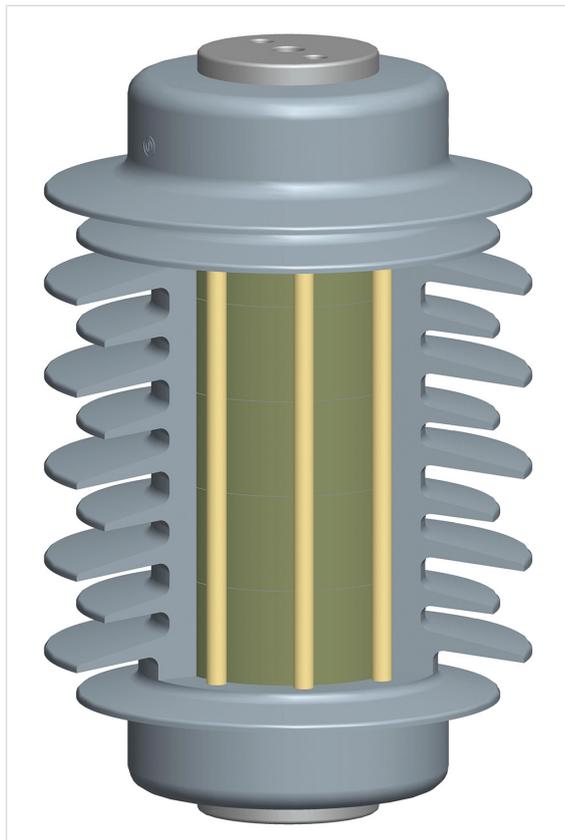


Bild 1:
Aufbau eines MO-Ableiters mit Silikongehäuse
(Grafik: Siemens Energy).

die Abhängigkeit der Durchschlagsspannung von Abstand, Druck und Temperatur im homogenen, raumladungsfreien Feld anzugeben. Detaillierte Beschreibungen dieses sogenannten *Townsend*-Mechanismus und des *Paschen*-Gesetzes finden sich in [7].

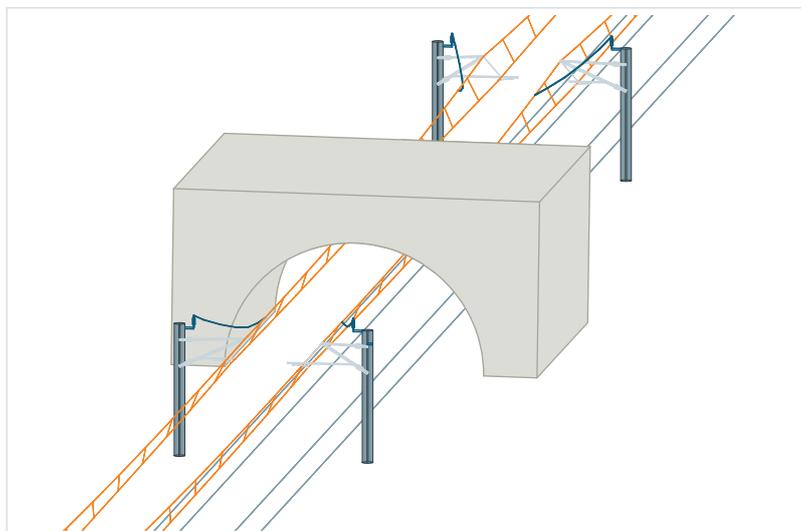


Bild 2:
Anordnung der Ableiter am Bauwerk
(Grafiken Bilder 2 bis 5: Siemens Mobility).

Wenn man die genannten Bedingungen eingrenzt, kann man die Abhängigkeit von Durchschlagsspannung und Luftstrecke standardisieren.

Für Bahnanlagen ist derjenige Zusammenhang von Luftstrecke und Schutzpegel Tabelle A.3 der EN 50124-1 zu entnehmen, der auf den schlechtesten Isolationsbedingungen zwischen den Elektroden beruht.

Dabei ist zunächst der Verschmutzungsgrad festzulegen. In Freiluftanlagen muss als *Worst-Case*-Annahme PD4 angesetzt werden. Beispielsweise ist für eine Bemessungs-Stoßspannung U_{Ni} von 75 kV eine Luftstrecke von 150 mm erforderlich. Der Blitzstoßspannung Schutzpegel $U_{10kA8/20\mu s}$ des Ableiters sollte für diese Bedingungen kleiner gleich U_{Ni} gewählt werden. Auf der anderen Seite muss ein Ableiter bei betrieblichen Spannungen hochohmig sein.

Die Bemessungsspannung U_r und die Dauerspannung U_c eines Ableiters stehen in einem festen Verhältnis zueinander. Dieses hat, fast ausnahmslos und herstellerunabhängig, einen Wert von 1,25. Dabei entspricht die Dauerspannung U_c dem Wert der höchsten nichtpermanenten Spannung U_{max2} aus der EN 50163. Diese Werte sind wichtig für einen stabilen thermischen Dauerbetrieb eines Ableiters, bei dem der Leckstrom des Ableiters auch bei Vorbelastung nicht zu einer unzulässigen Temperaturerhöhung führt.

3 Umsetzung

Um den anspruchsvollen Anforderungen für Bahnanlagen gerecht zu werden, wurden für die Dimensionierung eines diesen Kennwerten entsprechenden Mittelspannungsableiters große Metalloxid-Widerstände aus dem Hochspannungsbereich verwendet. Der typische Aufbau eines modernen MO-Ableiters ist in Bild 1 gezeigt. Die Metalloxid-Widerstände sind das Herzstück des Überspannungsableiters und werden bei Überspannung, wie sie beispielsweise bei einem Blitzeinschlag auftritt, besonders leitfähig. Sie sind zudem so dimensioniert, dass kurzzeitige betriebliche Überspannungen nicht zu ihrer thermischen Überlastung führen. Die Kenndaten des resultierenden Überspannungsableiters sind in Tabelle 3 angegeben.

Für die Anwendung an einer Brücke oder am Tunnel sind Abstände und Leiterlängen zu beachten. Ableiter sind generell direkt am zu schützenden Objekt anzuordnen. Die auf den Überspannungsableiter zulaufende Spannungswelle wird am Einbauort auf den Wert der Restspannung reduziert. Die Welle läuft nun mit diesem Wert weiter und baut sich über die Leitungskapazität und die Isolationswiderstände weiter ab. Ist allerdings der Wellenwiderstand nicht konstant sondern ändert sich, verändert sich auch die

Höhe der Spannungswelle. Bei Stellen, an denen sich der Wellenwiderstand erhöht, kommt es zu einer Reflexion, das heißt es entsteht eine rücklaufende Welle, die sich mit der hinlaufenden Welle überlagert. Erst am Überspannungsableiter wird die rücklaufende Welle wieder auf den Wert der Restspannung reduziert. An einer Streckentrennung wird der Wellenwiderstand unendlich groß. Dadurch wird die Amplitude der rücklaufenden Welle gleich der der hinlaufenden, was zu einer Verdoppelung der Spannung im Vergleich zur Restspannung des Überspannungsableiters führt. Für die Oberleitung jedes Gleises ist deshalb vor und hinter dem Bauwerk jeweils ein Überspannungsableiter anzuordnen (Bild 2). Damit können Überspannungen zwischen diesen Überspannungsableitern konstant auf deren Restspannungsniveau begrenzt werden. Als Installationsort kann der jeweils erste Fahrleitungsmast auf beiden Seiten der Brücke verwendet werden. Die Mastfundamente wirken als Tiefenerder und leiten den Ableitstrom in die Erde. Es ist auf eine kurze Verbindung zum Trageil zu achten, damit die induktiven Spannungsfälle möglichst klein bleiben.

Die Verfügbarkeit von Bahnenergieversorgungsanlagen wird durch Ableiter nicht signifikant beeinflusst. Die mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen (MTBF) liegt bei modernen Metalloxidableitern mit GFK-Käfig und Silikongehäuse bei > 1 000 Jahren. Es kann jedoch vorkommen, dass bei besonders starken Blitzentladungen direkt am Ableiter eine thermische Überlastung auftritt, bei der das Metalloxid dauerhaft niederohmig leitend wird und zu einem Dauerkurzschluss führt. Je nach Lage des Bauwerks entlang der Strecke kann damit für Suche und Austausch eines defekten Überspannungsableiters eine längere Ausfallzeit der Anlage verbunden sein, die bei pönalisierten Verfügbarkeitsanforderungen leicht ein Mehrfaches des Instandhaltungsaufwandes kosten könnte. Für eine noch größere Zuverlässigkeit ist deshalb der Überspannungsableiter (1) mit einer Abtrennvorrichtung (3) in Verbindung mit einem Isolator (4) und einer Erdungsverbinding (2) ausgestattet (Bild 3).

Die Erdungsverbinding wird durch ein freischwingendes Seil hergestellt. In einem normalen Ableitvorgang wird, wie zuvor beschrieben, die Spannung am Überspannungsableiter durch Ableiten der elektrischen Ladung begrenzt. Dieser Ableitstrom fließt über den Metalloxid-Widerstand, die Abtrennvorrichtung und die Erdungsverbinding in den Mast und schließlich in die Erde ab. Während einer einzelnen Ableitung werden die Metalloxid-Widerstände thermisch nicht überbelastet. Nach einer Ableitung kühlt der Überspannungsableiter ab und ist wieder betriebsbereit.

Im Falle einer thermischen Überlastung bleibt dieser Überspannungsableiter allerdings dauerhaft niederohmig und die Restspannung bricht zusammen, sodass ein durch die Bahnspannung getriebener

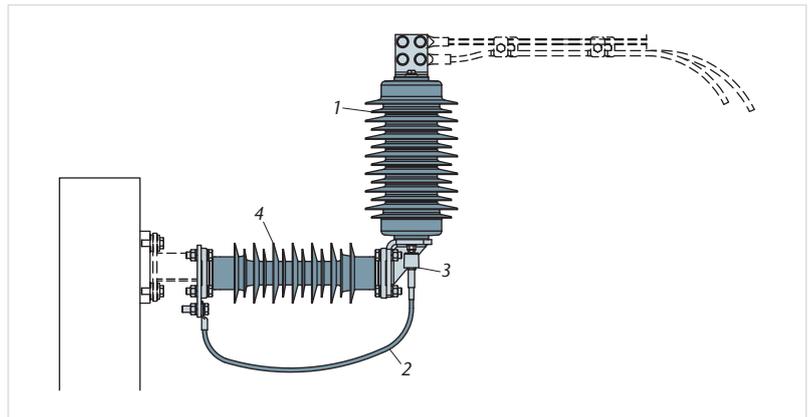


Bild 3: Aufbau des Ableitersystems (Erläuterung im Text).

Kurzschlussstrom fließt. Durch die Überlastung zerreißt das umgebende Kunststoffgehäuse der Abtrennvorrichtung und bewirkt damit die Abtrennung der Erdungsverbinding vom Überspannungsableiter. Die Erdungsverbinding hängt in diesem Fall dann lose nach unten, woran dann auch einfach der defekte Überspannungsableiter erkennbar ist. Da der Überspannungsableiter an einen Isolator montiert ist, wird eine direkte Erdungsverbinding der Oberleitungsanlage über den defekten Überspannungsableiter im Weiteren verhindert. Selbst in diesem extrem seltenen Fall ist noch ein Schutz vor Überspannungen im vorgesehenen Bereich durch den auf der anderen Seite der Brücke befindlichen Ableiter gegeben.

4 Anwendungsbeispiele

Bei der Elektrifizierung der ersten Sektion im Rahmen des dänischen Elektrifizierungsprogrammes wurden mehrere Bauwerke mit zu niedrigen Höhen identifiziert [8]. Neben Brücken auf freier Strecke konnten besonders für ein Brückenbauwerk im mehrgleisigen Einfahrtbereich des Bahnhofes Esbjerg und kurz dahinter folgend ein Einkaufszentrum, ebenfalls mehrgleisig unterfahren, die für ein AC 25 kV System gemäß EN 50119 erforderlichen 270 mm statischer elektrischer Abstand nicht eingehalten werden. Bild 4 zeigt einen Bauzustand des Shoppingcenters. Für beide Bauwerke hätten die üblichen Maßnahmen Neubau oder Gleisabsenkung einen immensen finanziellen und zeitlichen Aufwand bedeutet, der den Zeitplan und das Budget für die Elektrifizierung stark beeinflusst hätte. Um dies zu vermeiden, war es notwendig, den geltenden Normabstandswert von 270 mm mit Hilfe des Überspannungsableiters auf 150 mm zu reduzieren. Durch diese Anwendung konnten ohne Verzögerung und mit geringem Aufwand alle Gleise mit Oberleitung überspannt wer-

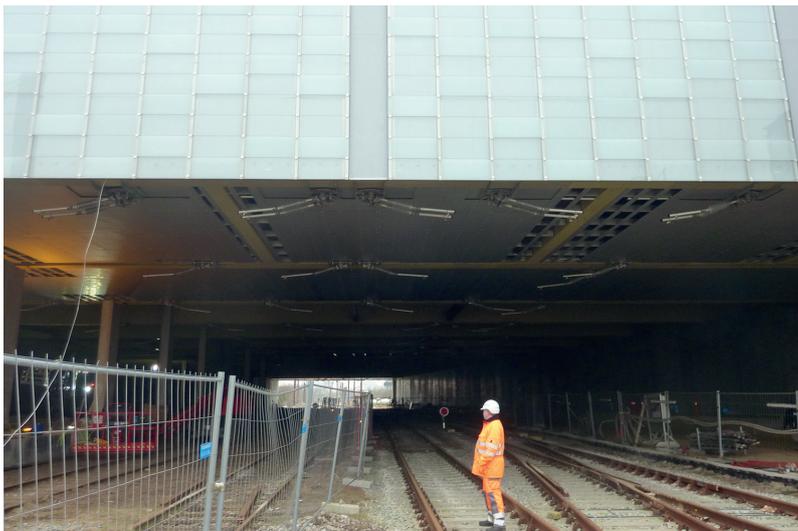


Bild 4:
Bauzustand am Shoppingcenter Esbjerg.



Bild 5:
Frodesgard Brücke mit Ableitersystem.

den. Am Esbjerg Shoppingcenter und an der Frodesgade Brücke sind dabei jeweils acht Überspannungsableitereinrichtungen installiert worden (Bild 5).

Für sehr viele weitere Brücken entlang des dänischen Streckennetzes sind 150 mm der größtmögliche Abstand zum Bauwerk. Durch den Einsatz des neuen Überspannungsableiters mussten nun weder Gleise abgesenkt noch Brücken oder Überführungen angehoben werden.

Als weiteres Beispiel sei die Cardiff Intersection Bridge in Wales genannt. Dabei handelt es sich um eine sehr niedrige und stark geneigte Brücke kurz vor dem Hauptbahnhof von Cardiff, die eine Lokalbahn über die *Great Western Main Line* führt, und gleichzeitig einen Kanal überquert. Der Wiederaufbau wurde mit 40 bis 50 Mio. GBP veranschlagt. Die Kosten für die Gleisabsenkung und die Umleitung des Kanals wurden auf 10 bis 15 Mio. GBP geschätzt, und

beide Optionen hätten zu erheblichen, langfristigen Störungen des Eisenbahnverkehrs geführt [9].

Bereits im Vorfeld hatte *Network Rail* den Überspannungsableiter zusammen mit Isolationsmaßnahmen in einem Hochspannungslabor an typischen Auslegeranordnungen getestet. Mit dem Überspannungsableiter als alleinige Maßnahme traten dabei erst bei Luftstrecken < 60 mm Durchschläge auf, wobei mit 193 kV prospektiver Stoßspannung der Form 1,2/50 getestet wurde. Durch die Kombination mit anderen Isolationsmaßnahmen konnte in den Versuchen der Abstand bis auf 0 mm abgesenkt werden [10], das heißt in der Testanordnung kam es zu keinem Überschlag zwischen den Elektroden.

Eine anschließende Studie über die Brücken zwischen Cardiff und Swansea kam zum Ergebnis, dass mit Hilfe dieser Techniken die Kosten für Brückenmaßnahmen um bis zu 70 % gesenkt werden könnten [9].

Neben der Überspannungsableitereinrichtung bestehend aus acht Überspannungsableitern mit Abtrennvorrichtung, angeordnet vor und hinter der Brücke, hat *Network Rail* noch ein digitales Monitoringsystem (ACM) installiert. Dieses ermöglicht die Messung und Anzeige des Gesamtleckstroms, die Zählung und Anzeige der Ableitimpulse sowie die Analyse der dritten Harmonischen des Leckstroms zur Bestimmung der resistiven Komponente. Mittlerweile hat dieses Monitoringsystem bereits mehr als 25 Ableitungen seit 2019 gezählt.

Durch die Weiterentwicklung ist nun eine cloud-basierte Überwachungslösung verfügbar. Bei sogenannten Sensarrestern werden alle elektrischen Hauptfunktionen eines Überspannungsableiters miteinander überwacht, sodass der Status jedes Überspannungsableiters über Online-Anwendungen in Echtzeit überprüft werden kann und der Anwender über jede Überspannung per SMS oder E-Mail benachrichtigt wird. Zusammen mit der Datenanalyse erhöhen sie die Effizienz und Nachhaltigkeit der Anlagen und die Instandhaltungsabläufe.

5 Ausblick

Die positiven Erfahrungen aus den Anwendungen in beiden Ländern konnte bei der Überarbeitung der EN 50119 berücksichtigt werden. Es ist nun ein Auslegungsbeispiel für das 25-kV-System beschrieben. Die Methode ist durch geeignete Parametrierung leicht auf das 15-kV-System übertragbar. Die Dauerspannung, Bemessungsspannung und der Schutzpegel können entsprechend der Tabellen A.2 und A.3 der EN 50124 gewählt werden. In Tabelle 3 sind die wesentlichen elektrischen Kenngrößen für einen 25-kV- und 15-kV-Überspannungsableiter angegeben. In der 15-kV-Anwendung ist dabei eine Reduzierung

des statischen elektrischen Abstandes von 150 mm auf 100 mm möglich. Eine weitere Reduzierung ist denkbar bis hin zum dynamischen Abstand, wenn wie in [10] beschrieben, die angedachte Einbausituation im Hochspannungslabor nachgestellt und geprüft wird. Bei der Bewertung der Elektrifizierungswürdigkeit ausgewählter Strecken des deutschen Eisenbahnnetzes können die verbundenen Investitionskosten deutlich gesenkt und damit zusammen mit den Lebenszykluskosten in ein günstigeres Verhältnis bei einer Nutzen-Kosten Analyse gestellt werden, das heißt die Wirtschaftlichkeit kann erhöht werden.

Weitere Einsatzmöglichkeiten bieten sich im Dachgarten von Lokomotiven und Triebfahrzeugen an, wo es oft bei der Anordnung der Hochspannungskomponenten um den Stromabnehmer wenig Platz gibt.

Der Grundgedanke der Anwendung ist nicht allein auf den Bahnbereich begrenzt, sondern kann auch auf die Energieerzeugung, -übertragung und -versorgung übertragen werden. Dies können beispielsweise kompakte Freileitungskonzepte im Zuge der Energiewende oder auch eine innovative Schaltanlagen-gestaltung im Zusammenspiel mit alternativen Isoliermedien sein. Auch hier müssen die geltenden Normen angepasst werden.

Literatur

- [1] EN 50124-1:2017: Bahnanwendungen – Isolationskoordination – Teil 1: Grundlegende Anforderungen – Luft- und Kriechstrecken für alle elektrischen und elektronischen Betriebsmittel.
- [2] EN 50119: 2020: Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen – Oberleitungen für die elektrische Zugförderung.
- [3] EN50122-1:2011 + A1:2011 + AC:2012 + A2:2016 + A3:2016 + A4:2017: Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen – Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung.
- [4] EN 50163:2004 + AC:2013, Bahnanwendungen – Speisespannungen von Bahnnetzen.
- [5] *Hinrichsen, V.*: Metalloxid-Ableiter in Hochspannungsnetzen – Grundlagen (Hrsg.:Siemens AG, 2012).
- [6] *Göhler, R.; Steinfeld, K.*: Metalloxidableiter für elektrische Bahnen. In: Elektrische Bahnen 100 (2002), H. 8-9, S. 321–328.
- [7] *Küchler, A.*: Hochspannungstechnik Grundlagen – Technologie – Anwendungen. Heidelberg: Springer Verlag, 2009.
- [8] *Hahn, G.; Kunz, D.; Matthes, R.*: Oberleitung Sicat SX für die Elektrifizierung in Dänemark. In: Elektrische Bahnen 116 (2018), H. 4-5, S. 130–138.
- [9] Railway Industry Association: RIA Electrification Cost Challenge, March 2019.
- [10] *Stainton, R.; Naylor, P.*: Reducing 25 kV electrical clearances. In: Elektrische Bahnen 117 (2019), H. 10, S. 404–409.

Tabelle 3

Elektrische Daten Überspannungsableitereinrichtung 8WL6538-5 und 8WL6538-6.

		25-kV-System	15-kV-System
Bemessungsspannung U_r	kV	35	22
maximale Dauerspannung U_c	kV	30	18
Blitzstoßspannung Schutzpegel $U_{10kA-8/20\mu s}$	kV	75	47
thermische Nenn-Energieaufnahmefähigkeit W_{th}	kJ	560	352
Nennableitstrom $I_n (8/20 \mu s)$	kA	20	20
Ladungsableitvermögen Q_{rs}	C	6	6
Nenn-Kurzschlussstrom $I_S (0,2 s)$	kA	40	40

Autoren



Dipl.-Ing. (FH) Martin Altmann (54), Studium elektrische Energietechnik an der TH Regensburg; von 1991 bis 2007 bei Siemens AG, jetzt Siemens Mobility GmbH, erst als Inbetriebsetzungs- und Projekt-Ingenieur und ab 1996 in der Systemauslegung für Bahnelektrifizierung; Senior Key Expert im Center of Competence System Engineering Rail Infrastructure – Electrification; Mitarbeit in Normungsgremien, unter anderem Convenor CENELEC SC9XC WG 21 und IEC PT 633, sowie stellvertretender Obmann DKE AK 351.2.9.
 Adresse: Siemens Mobility GmbH, SMO RI EL COC SE, Mozartstraße 33b, 91052 Erlangen, Deutschland;
 Fon: +49 1721087656;
 E-Mail: martin.altmann@siemens.com



Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Braun (51), Studium der Elektrotechnik, Schwerpunkt Elektrische Energietechnik, an der Fachhochschule Würzburg-Schweinfurt bis 1997; seit 1997 Mitarbeiter bei Siemens AG, jetzt Siemens Mobility GmbH, Senior Key Expert im Center of Competence System Engineering Rail Infrastructure – Electrification; Mitarbeit in nationalen und internationalen Normungsgremien, darunter Convenor IEC TC9 WG49 und PT62848-3 sowie stellvertretender Obmann DKE AK 351.2.1.
 Adresse:siehe oben;
 Fon: +49 1721087583;
 E-Mail: wolfgang.a.braun@siemens.com



Dr.-Ing. Axel Schmieder (64), Studium und Promotion im Fachgebiet Bahnenergieversorgung an der Moskauer Verkehrsuniversität (MIIT); 1981 bis 1995 Deutsche Reichsbahn und Deutsche Bahn AG, Entwicklung, Planung und Errichtung von Oberleitungsanlagen und Normschaltanlagen; seit 1995 Siemens AG, jetzt Siemens Mobility GmbH, Entwicklung und Qualitätsmanagement von Fahrleitungen, Principal Engineer und Gutachter, Leiter der Technischen Liaison im Segment Electrification, Convenor von IEC TC9 MT 60913 und PT 62917, Obmann des DKE AK 351.2.2.
 Adresse: Siemens Mobility GmbH, SMO RI EL COC LE, Mozartstraße 33b, 91052 Erlangen, Deutschland;
 Fon: +49 1721087401
 E-Mail: axel.schmieder@siemens.com



Dipl.-Ing (TU) Thomas Koch (35), Studium Wirtschaftsingenieur mit der Vertiefung Energieversorgung von 2004 bis 2010; von 2010 bis 2011 Teil-Projektleiter von GIS-Anlagen; von 2011 bis 2016 Technischer Vertrieb von Überspannungsableitern; von 2016 bis 2020 Produkt Manager; seit 2020 Teamleitung Business Development
 Adresse: Siemens Energy AG, SE GP T SP BD AR BD, Nonnendammallee 104, 13629 Berlin, Deutschland;
 Fon: +49 1734974338;
 E-mail: thomas.kt.koch@siemens-energy.com