

Leitfaden Netzqualität

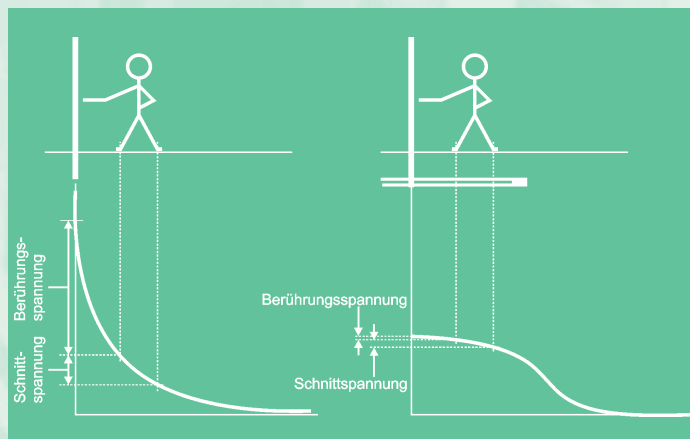


Leonardo da Vinci

Erdung und elektromagnetische Verträglichkeit

Erdung mit System

6.1



Erdung und elektromagnetische Verträglichkeit

Erdung und elektromagnetische Verträglichkeit

Erdung mit System

Reyer Venhuizen, KEMA T&D Power, May 2002

Übersetzung: Deutsches Kupferinstitut, August 2004



Diese Schrift wurde im Rahmen der Leonardo Power Quality Initiative (LPQI) erstellt, eines europäischen Ausbildungs- und Übungsprogramms unter der Schirmherrschaft und mit Unterstützung des Leonardo da Vinci Programms der Europäischen Union und der ICA International Copper Association. Weitere Informationen finden Sie unter: www.lpqi.org.



Deutsches Kupferinstitut (DKI)

Das Deutsche Kupferinstitut wurde 1927 als zentrale technisch-wissenschaftliche Auskunfts- und Beratungsstelle für Kupfer und Kupferlegierungen in Deutschland gegründet. Gegenstand und Anliegen seiner Beratungstätigkeit ist die Verwendung von Kupfer und Kupferlegierungen. Hier geht es um die Erhaltung herkömmlicher und um die Erschließung neuer Anwendungsgebiete.

Das Deutsche Kupferinstitut sammelt und verbreitet zu diesem Zweck alle zugänglichen Informationen aus Wissenschaft, Technologie und Praxis. Sein Ziel ist es, die dort gewonnenen Kenntnisse und Erfahrungen einem breiten Publikum bekannt zu machen und zu erläutern, und somit den allgemeinen Wissensstand und die Wertschätzung von Kupfer und Kupferlegierungen zu fördern und zu festigen.

Das Deutsche Kupferinstitut ist seit 1995 auch im Internet unter www.kupferinstitut.de und bei direkten Fragen per E-mail unter info@kupferinstitut.de zu erreichen. So können Informationen und Daten zum Werkstoff Kupfer und seinen Legierungen rund um die Uhr direkt abgefragt werden.



European Copper Institute (ECI)

Das Europäische Kupferinstitut ECI wird getragen von Mitgliedswerken der ICA (International Copper Association) und dem IWCC (International Wrought Copper Council, einem Zusammenschluss der Halbzeugwerke). Auf Basis dieser Mitgliedschaft handelt das ECI im Interesse der weltgrößten Kupfer-Erzeuger und der führenden europäischen Halbzeugwerke für den Einsatz von Kupfer. Seit seiner Gründung im Januar 1996 bündelt es die Aktivitäten eines Netzwerks aus 10 nationalen Kupferzentren in Benelux, Deutschland, Frankreich, Griechenland, Großbritannien, Italien, Polen, Skandinavien, Spanien und Ungarn und setzt die Aktivitäten fort, die 1959 von der Copper Products Development Association und 1961 von der INCRA (International Copper Research Association) begonnen wurden.

Haftungsausschluss

Der Inhalt dieses Projekts gibt nicht notwendigerweise die Meinung der Europäischen Union wieder, noch zeichnet diese in irgendeiner Weise hierfür verantwortlich.

ECI und DKI übernehmen keine Verantwortung für irgendwelche direkten oder indirekten Folge- oder Zufallsschäden, die aus dem sachgemäßen oder unsachgemäßen Gebrauch der in dieser Veröffentlichung enthaltenen Informationen und Daten entstehen.

Copyright© European Copper Institute und Deutsches Kupferinstitut.

Ungekürzter Nachdruck bei korrekter Angabe der Quelle erlaubt.

LPQI wird in Deutschland durch die Mitglieder der nationalen Partnerschaft unterstützt:



Erdung mit System

Einleitung

Die Erdung von Netzen und Betriebsmitteln ist ein Thema, das die Grenzen der verschiedenen an der Errichtung und Ausrüstung eines modernen Geschäfts- oder Bürogebäudes beteiligten Disziplinen überschreitet. Die Bauingenieure müssen mit den Messtechnikern sprechen, EDV-Techniker müssen sich mit Elektroingenieuren abstimmen und so weiter. Manchmal jedoch sprechen diese verschiedenen Ingenieure nicht dieselbe Fachsprache oder sind sich nicht einmal den Anforderungen des jeweils Anderen an die Anlagen bewusst. In diesem Schriftstück wird ein übergreifender Ansatz zur Erdung vorgestellt, der in multidisziplinären Gruppen als Grund legender Leitfaden zur Erdung und Störungsunterdrückung dienen kann.

Im Allgemeinen muss jedes Erdungssystem drei Anforderungen genügen:

- ◆ Blitze und Kurzschlüsse: Das Erdungssystem muss die Bewohner schützen, direkte Schäden wie Feuer, Über- und Durchschläge oder Explosionen durch direkten Blitzschlag und Überhitzung durch Kurzschlussströme verhindern.
- ◆ Stromschlag: Das Erdungssystem muss Blitz- und Kurzschlussströme ohne übermäßige Schritt- und Berührungsspannungen ableiten.
- ◆ Schutz und Funktionsfähigkeit der Betriebsmittel: Das Erdungssystem muss die Elektronik durch die Bereitstellung eines nieder-impedanten, die Betriebsmittel untereinander verbindenden Pfades schützen. Wichtige Gesichtspunkte sind die richtigen Leitungswege, Zonen-Einteilung und Abschirmung. Sie dienen dazu, Störquellen am Beeinträchtigen des Betriebs elektrischer Anlagen zu hindern.

Obwohl die Anforderungen für diese drei Aspekte oft getrennt festgelegt sind, erfordert ihre Umsetzung einen integrierten System-Ansatz.

Ein systematischer Ansatz

Der ursprüngliche Zweck der Schutzerde bestand in der Gewährleistung der Sicherheit von Personen und Sachwerten innerhalb des durch das Erdungssystem abgedeckten Bereichs. Dies erfordert einen hoch stromtragfähigen Pfad mit relativ niedriger Impedanz bei Netzfrequenz, so dass unter extremen Fehlerstrom-Bedingungen sich aufbauende Spannungen keine gefährlichen Werte erreichen.

Eine gute Verbindung mit niedriger Impedanz zur Erde ist sehr leicht hergestellt. Dazu benötigt man nur einen korrosionsbeständigen Leiter mit hoher Leitfähigkeit (Kupfer ist stets eine gute Wahl), der in solcher Tiefe in der Erde vergraben wird, dass er weder einfriert noch austrocknet, der groß genug ist, um mit einem angemessenen Erdvolumen in Kontakt zu stehen, der einen ausreichenden Bereich abdeckt und derart angeordnet ist, dass er nicht von anderen Erdungssystemen beeinflusst wird. Ein großes Erdvolumen reduziert die Stromdichte im Erdreich und dadurch den Widerstand in der Erde. Eine großflächige Verbindung ermöglicht eine vollständige Gestaltung des elektrischen Feldes derart, dass die Schritt- und Berührungsspannungen begrenzt werden (wie weiter unten erläutert). Dies stellt eine saubere Erde dar – jedenfalls so sauber wie möglich.

Sobald Betriebsmittel an die Erdung angeschlossen werden, entstehen Probleme. In der Praxis wird die Sauberkeit der Erde durch andere Erdungssysteme und – normalerweise stärker noch – durch die Geräte in der Anlage selbst beeinflusst.

Die Anwendung kombinierter Schutz- und Neutralleiter (PEN-Leiter), wie sie für ein TN-C-System kennzeichnend sind, ist mit den Prinzipien für gute Auslegung nicht vereinbar, wie sie in diesem Leitfaden dargestellt werden. In einem TN-C-System mischen sich Neutralleiterströme – einschließlich Oberschwingungen dritter Ordnung – in Neutralleitern, Schutzleitern und allen angeschlossenen metallischen Bauteilen. Alle Anlagen sollten daher als TN-S-System ausgeführt sein, selbst wenn sie an der Einspeiseseite

Erdung mit System

des gemeinsamen Einspeisepunktes vom Stromversorger her aus einem TN-C-System gebildet werden. Es ist sehr wichtig, dass nur eine einzige Verbindung zwischen Erde und Neutralleiter besteht.

Die traditionelle Installationspraxis hat sich – mit Recht – auf die Personensicherheit konzentriert. Ursprünglich nahm man an, es genüge, einfach einen Erdfeld mit niedriger Impedanz bereit zu stellen. Die moderne Praxis erfordert eine „Formung“ des Feldes in der Erde, um die Spannungsgradienten um die Erdelektrode herum zu steuern. Der „Schutzleiter“ muss also für die in dem System arbeitenden Betriebsmittel eine Funktionserde liefern – das heißt, er muss einen Pfad bieten für die Ableitströme (bei Grundfrequenz) und die hochfrequenten Störströme, die zum Beispiel durch Funk-Entstörfilter in Schalt-Netzteilen entstehen, sowie diejenigen, die eine Spannungsreferenz für Signalschnittstellen darstellen.

Die Werte der Ableitströme variieren innerhalb der Anlage. Da Erdschlussströme hauptsächlich aus einphasigen Betriebsmitteln an den einzelnen Außenleitern stammen, neigen symmetrische Komponenten der Grundschwingung dazu, sich auszulöschen, so dass der Strom im Schutzleiter zu- oder abnehmen kann, je nachdem, wie sich die Stromkreise in einem Verteilungsnetz zusammensetzen. Oft ist es an einem (einphasigen) Endstromkreis am schlimmsten, der eine EDV-Anlage versorgt. Ableitströme sind harmlos, solange sie in die Erde fließen, können aber schnell tödliche Werte erreichen, wenn sie unterbrochen werden, und daher ist eine hochgradig vernetzte Auslegung erforderlich. Im Wesentlichen erfordert dies doppelte Pfade (von denen jeder in der Lage ist, den vollen Fehlerstrom zu führen) sowie robuste und zuverlässige Anschlüsse – zum Beispiel langlebige, korrosionsbeständige, von Elektrikern installierte Kupferleiter statt durch Bauarbeiter eingebaute Kabelführungen aus Stahl. Sofern die Bewehrung von Kabeln als einer der Wege benutzt wird, muss besonders darauf geachtet werden sicherzustellen, dass an Durchführungen zuverlässige Anschlüsse hergestellt werden und erhalten bleiben. Die Prinzipien hoch integrierter Planung müssen sich auf das gesamte System bis hin zum Schreibtisch erstrecken, zum Beispiel durch den Einbau einer ausreichenden Anzahl von Steckdosen, so dass Mehrfachstecker mit Verlängerungskabeln mit ihrem reservelosen, einadrigen Schutzleiter nicht erforderlich werden.

Bezüglich der Funktionsfähigkeit können Hochfrequenzströme ein größeres Problem darstellen. Viele der störenden Betriebsmittel sind ihrerseits hiergegen empfindlich – aber es gibt einen Unterschied: das Betriebsmittel erzeugt *Störströme* und reagiert empfindlich auf *Störspannungen*. Wenn die Störströme zur Erde abgeleitet werden können, ohne nennenswerte Spannungsfälle zu verursachen, ist alles in Ordnung. Dazu ist eine bei allen Frequenzen nieder-impedante Erdverbindung erforderlich. Zur Begrenzung abgestrahlter Störungen sollte der Erdfeld für den Störstrom dicht bei den Versorgungsleitungen verlaufen. Es ist zu beachten, dass wir uns in diesem Zusammenhang mehr um die Impedanz der Verbindung mit dem Erdungssystem kümmern müssen, die die umgangssprachlich „Erde“ genannte Referenz-Potenzialebene darstellt, als um die Verbindung zur physischen Erde selbst, anders als im Zusammenhang mit Sicherheit und Blitzschutz, wo die Impedanz zur Erde selbst von entscheidender Bedeutung ist.

Als die Zahl der installierten Betriebsmittel noch gering war, hat man üblicherweise einen getrennten, starken Erdleiter direkt zum Haupterdungsanschluss oder sogar zu einem separaten Tiefenerder gelegt (der zur Erfüllung lokaler Vorschriften auch an den Haupterdanschluss angeschlossen war). Normalerweise war dies hinreichend, zum Teil, weil diese Anlagen und ihre Peripheriegeräte in einem geografisch eng begrenzten Gebiet beieinander installiert waren und so an einen Potenzial-Ausgleich angeschlossen werden konnten, anstatt an ein Nullpotenzial. Der Störungsrückleiterpfad lag ebenfalls dicht bei den Versorgungsleitern, was Störungen reduziert. Die langen, radialen Erdverbindungen zeigen jedoch Viertelwellen-Resonanzeffekte¹, die die Impedanz bei einigen Frequenzen erhöht und diese Technik für heute weit verbreitete Anlagentypen ungeeignet macht. Moderne Computer-Anlagen erstrecken sich für gewöhnlich über mehrere Stockwerke eines Gebäudes. Ein „Äquipotenzial“ (bei hoher Frequenz) zwischen diesen verteilten Geräten aufrecht zu erhalten, erfordert eine bessere Lösung.

Es ist eine Tatsache, dass die meisten weiträumigen Computer-Netzwerke funktionieren. Während sich die mikroelektronischen Bauelemente weiter entwickelt haben und die Betriebsspannungen gesunken sind, hat die zum Schalten logischer Zustände notwendige Energie und die Immunität gegenüber Störspannun-

¹ Die Planung des Erdungssystems eines Gebäudes einschließlich des Blitzschutzsystems erfordert große Sorgfalt, wenn alle Ziele erreicht werden sollen. Wie üblich, ist es am besten und billigsten, wenn es von Anfang an korrekt geplant wird, anstatt es nachzurüsten, nachdem das Gebäude bezogen wurde.

gen ganz allgemein abgenommen, so dass die Schaltungen für Störungen anfälliger geworden sind. Die Auswirkung dieses Trends wurde durch Verbesserungen im Systemkonzept ausgeglichen, wodurch die Störfestigkeit verbessert wurde. Diese Maßnahmen umfassen die Verwendung differentieller Schnittstellen und bessere Software-Konzeption, wie etwa den Einsatz von Fehlererkennungs- und Fehlerkorrektur-Protokollen in Netzen. Diese Techniken sind sehr wirkungsvoll, reduzieren jedoch den Datendurchsatz des Netzes, indem sie redundante (Fehlerkontroll-)Daten senden und die erneute Übertragung fehlerhafter Datenpakete erzwingen. In dem Maße, wie die elektrischen Störungen zunehmen, nimmt die Fehlerquote zu, und der Datendurchsatz nimmt so weit ab, bis die nutzbare Kommunikation zum Erliegen kommt. Dem Nutzer erscheint es so, als ob das System plötzlich versagt hat, während es in Wirklichkeit nur so viel schlechter geworden ist, dass die vorhandenen Wiederaufnahme-Mechanismen nicht mehr ausreichen. Wenn die elektrischen Störungen auf eine hinreichend niedrige Höhe reduziert werden können, wird auch die Fehlerquote gesenkt, und die Datenübertragung wird wieder möglich. Höhere Störpegel führen zur Reduzierung des Durchsatzes durch wiederholte Übertragung und schränken die Effizienz ein. Der Wirkungsgrad des Netzes steht eindeutig mit dem Wirkungsgrad der Datenverarbeitung in Zusammenhang, und dieser wiederum mit der Effizienz des Unternehmens. Wie so oft, ist der Wirkungsgrad am schlechtesten, wenn der Bedarf am größten ist – wenn das Netz stark belastet wird. Die Reduktion des Störpegels in der Datenverarbeitung ist entscheidend für die Steigerung des Wirkungsgrades. Leider sind bei spekulativen Bauvorhaben die beliebtesten Datenleitungen für Netzwerke ungeschirmte verdrillte Doppelleitungen. Für IT-intensive Gebäude und für Datenübertragungsmengen von 100 Mb/s und mehr sollten bevorzugt abgeschirmte verdrillte Doppelleitungen (STP-Leitungen) eingesetzt werden.

Der beste Weg, um Störungen auf ein Minimum zu reduzieren, ist die Verwendung eines Kupfernetzes als Bezugsebene. Diese Technik wurde oft für „Computerräume“ eingesetzt, wenn die Datenverarbeitung zentral erfolgte, und sie ist auch heute noch häufig die einzige machbare Lösung. Sie funktioniert, weil es eine unendliche Zahl von Pfaden mit offensichtlich unterschiedlichen elektrischen Längen durch das Gitter gibt – während einige dieser Pfade Vielfache von einer Viertelwellenlänge sein können, gibt es zweifellos viele andere parallele Pfade, die es nicht sind. Das Ergebnis ist eine über einen weiten Frequenzbereich nieder-impedante Verbindung. Ein solches Gitter sollte den gesamten Bereich abdecken, in dem die Betriebsmittel installiert sind – heutzutage für gewöhnlich das gesamte Gebäude –, und es sollte nicht vergessen werden, dass sich dies sowohl auf die Vertikale als auch die Horizontale bezieht. Es hat wenig Sinn, die horizontalen Maschen auf jedem Stockwerk mit einer einzigen vertikalen Ableitung nach unten zu verbinden. Die Gitter werden normalerweise aus flachen Streifen hergestellt, um Skineffekte auf ein Minimum zu begrenzen. Wo Gebäudeteile als Gitter benutzt werden, wie beispielsweise die Träger für einen Zwischenboden, die eher nach ihren mechanischen als ihren elektrischen Eigenschaften ausgewählt wurden, muss sichergestellt werden, dass diese Elemente an jedem Kreuzungspunkt – mit *kurzen* Kupferlitzen – elektrisch verbunden werden.

Man mag die Installation eines vollständigen Kupfergitters in gewöhnliche Geschäftsgebäude für ziemlich teuer halten – besonders im Falle von Spekulationsobjekten. Die Kosten sind jedoch nicht hoch, und offensichtlich lassen sich die niedrigsten Gesamtkosten durch Einbau der Gitter im Planungsstadium erreichen, während die Nachrüstung eines Gebäudes nach Einzug der Nutzer den teuersten Weg darstellt. Ein wirkungsvolles Erdungssystem stellt sicher, dass das Gebäude für ein größeres Nutzungsspektrum geeignet und daher besser zu vermarkten ist. Das Gebäude kann einen höheren Mietertrag erzielen, der sich durch die Reduktion der Häufigkeit (und Kosten) von Problemen für die Mieter und die daraus folgenden Betriebskosten rechtfertigen lässt.

Die Umsetzung des Konzepts in die Praxis

Der Erder

Die Gestaltung des Erders – seine Größe, Form und Anordnung – sind nicht nur zur Erzielung einer hinreichend niedrigen Impedanz, sondern auch für die Steuerung der Form des elektrischen Feldes an der Erdoberfläche von entscheidender Bedeutung.

Erdung mit System

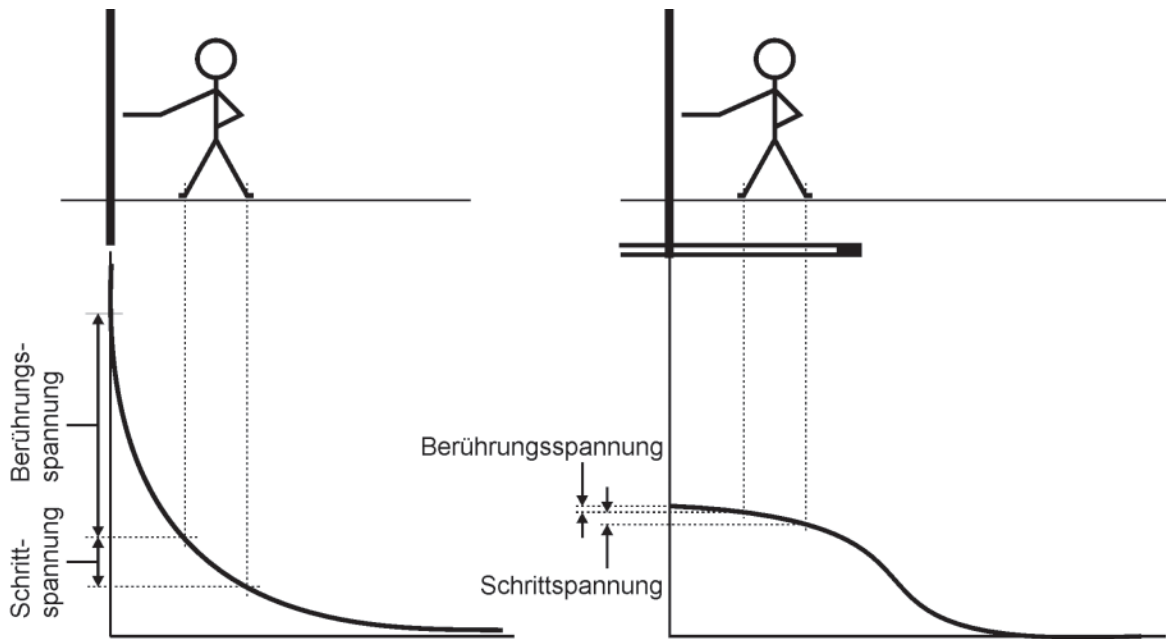


Bild 1: Schritt- und Berührungsspannung

Der Widerstand des Erdungssystems und der Stromfluss in das Erdreich bestimmen den Spannungsunterschied zwischen dem Netz und der Erde. Bei großen Erdschlussströmen ist diese Spannung am Erder sehr hoch und fällt mit zunehmendem Abstand von diesem, da das vom Strom durchflossene Erdvolumen größer wird. Dieser Anstieg des Erdpotenzials kann zu gefährlichen Situationen führen.

Bevor wir dieses Problem weiter analysieren, müssen einige Begriffe definiert werden (siehe Bild 1). Das „Berührungspotenzial“ ist der Spannungsunterschied zwischen dem geerdeten Gebäude und einer in Reichweite des Gebäudes auf der Erde stehenden Person. Das „Schrittpotenzial“ ist die Spannung zwischen den Füßen einer auf der Erde stehenden Person (angenommener Abstand zwischen den Füßen: 1 Meter). Die maximalen Berührungs- und Schrittpotenziale wurden durch verschiedene Normen begrenzt.

Es ist durchaus möglich – bei der entsprechenden Bodenbeschaffenheit –, mit einem einzelnen Tiefenerder eine niedrige Impedanz zu erreichen. Ein typisches Feldmuster ist in Bild 1 links dargestellt. Man beachte, dass die Erdpotenzialkurve sehr steil abfällt – d.h. die Schritt- und Berührungsspannungen wären sehr hoch –, so dass solch ein Erder nicht in Frage kommt. Auf der rechten Seite zeigt Bild 1 die Auswirkung eines Schutzringes auf das System, der im Abstand von einem Meter um das Gebäude einen halben Meter tief eingegraben ist. Dies reduziert nicht nur die Impedanz und somit den Anstieg des Erdpotenzials (weil ein größeres Erdvolumen den Strom aufnimmt), sondern darüber hinaus wird die Form des Feldes innerhalb des Schutzringes gesteuert und dadurch die Schritt- und Berührungsspannungen reduziert.

Wie man sieht, sind die Schritt- und Berührungsspannungen bei Einsatz eines Ringerders viel kleiner. Die Spitze des „Potenzialberges“ wird durch das Feld steuernde Eigenschaften des Ringes im Erdreich flacher und niedriger. Wenn kein Ring verwendet wird, ist der „Berg“ steiler und höher, besonders neben einem Tiefenerder oder einem Betonpfeiler, so dass möglicherweise gefährliche Situationen entstehen.

Der eingegrabene Ringerder um das Gebäude sollte sich in einem Abstand von wenigstens einem Meter von der Außenwand befinden. Er sollte tief genug liegen, um sicherzustellen, dass er im Winter nicht von Frost bedroht ist und im Sommer nicht austrocknet. Sofern keine anwendbaren örtlichen Richtwerte vorliegen, sollte die Tiefe mindestens 0,5 Meter betragen. Der Ring sollte aus Kupfer bestehen und eine Querschnittsfläche von mindestens 50 mm² aufweisen.

Der Ringerder muss an ein Maschennetz unter dem Gebäude und, soweit vorhanden, an das Maschennetz im Umkreis des Gebäudes angeschlossen werden. An mehreren Punkten müssen Verbindungen zwischen dem Ring und dem übrigen Erdungssystem des Gebäudes oder Standortes hergestellt werden.

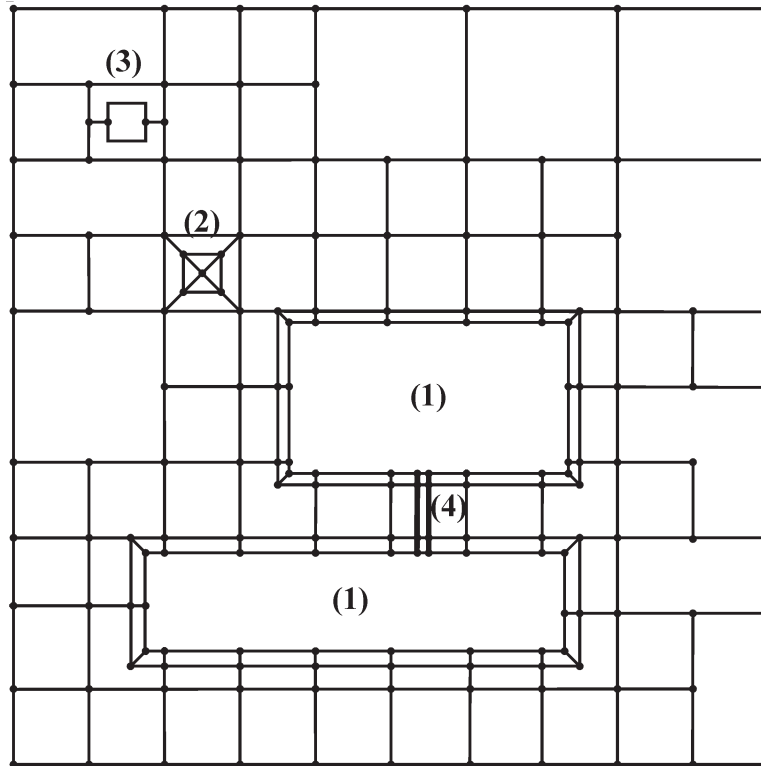


Bild 2: Maschenerder (nach IEC 61312-2, Bild 8)

Ein Erdungssystem für die gesamte Anlage

Um Blitzströme und Kurzschlussströme in das Erdreich abzuleiten, ist ein Erdfeld mit niedriger Impedanz erforderlich. Dieses Haupterdungssystem muss aus einem Netz bestehen, das eine nieder-impedante Verbindung zwischen allen Objekten und einen breitflächigen Kontakt zum Erdreich bereitstellt. Es muss in der Lage sein, alle möglichen auftretenden Ströme zu leiten und dabei gleichzeitig gefährliche Berührungsspannungen sowie hohe Ströme auf entfernte Objekte verbindenden Leitungen zu vermeiden.

Bild 2 zeigt die Draufsicht auf das Maschenerdungssystem einer Produktionsstätte. Bei den Gebäuden (1) bilden die Stahlträger ein enges Maschennetz, das zur Vermeidung von Schritt- und Berührungsspannungen mit einem blanken vergrabenen Kupferring um das Gebäude herum verbunden ist. Anderswo ist ein Maschenerdungssystem installiert. Der Durchmesser der Maschen direkt um das Gebäude herum beträgt 5 Meter. Ein Turm (2) und ein allein stehendes Betriebsmittel (3) sind ebenfalls an dieses Maschennetz angeschlossen. Jedes Objekt ist durch mehrfache Anschlüsse mit dem Erdungssystem verbunden. Zwischen den Gebäuden kommt zum Schutz für zwischen den Gebäuden verlaufenden Leitungen ein Kabelkanal (4) zum Einsatz.

Blitzschutzsystem

Um den durch Blitzschlag an einem Gebäude verursachten Schaden zu begrenzen, muss ein nieder-impedanter Pfad vom Dach des Gebäudes bis zur Erde bereitgestellt werden. Auf Bodenhöhe wird das Blitzschutzsystem direkt mit dem Erder und dem restlichen Erdungssystem verbunden. Bild 3 zeigt eine typische Gebäudestruktur.

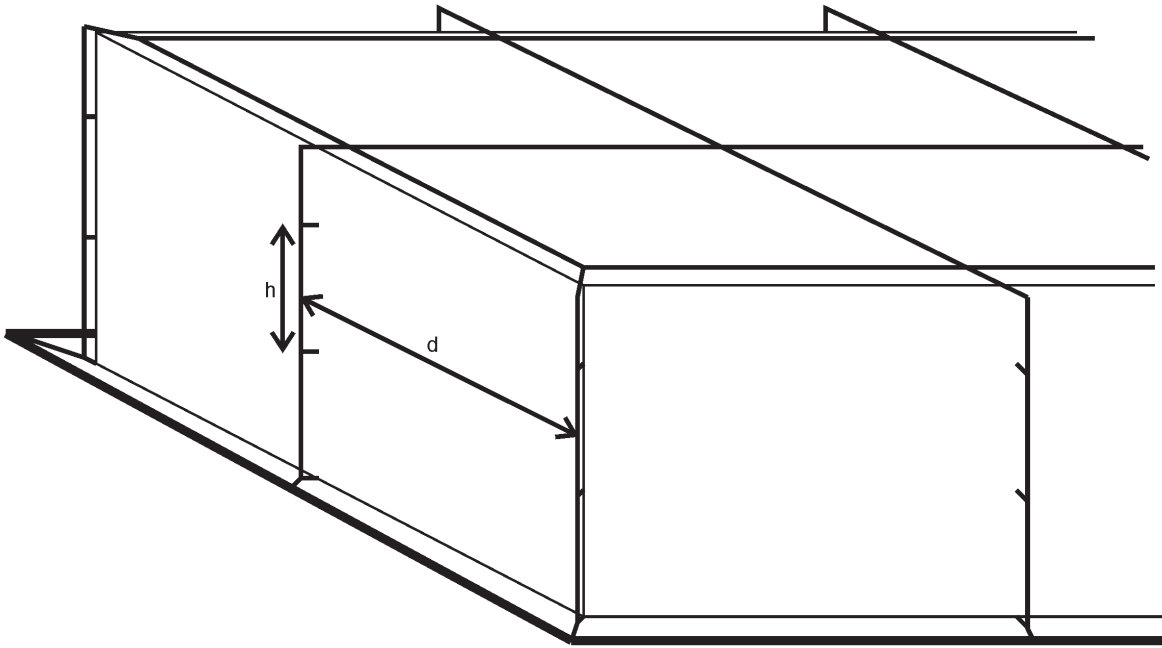


Bild 3: Positionierung der Blitzschutzleiter

Der höchste Abstand der vertikalen Leiter d beträgt 10 Meter für normalen Schutz und 5 Meter für hohen Schutzpegel. Wenigstens zwei Vertikalleiter mit einer Querschnittsfläche von mindestens 20 mm^2 müssen verwendet werden. Am besten auf jedem Stockwerk, mindestens jedoch alle 20 Meter sollten die Vertikalleiter mit dem Erdungssystem des Gebäudes verbunden werden. Das Ziel ist die Errichtung eines Faraday'schen Käfigs um das Gebäude herum, der die Reihung der äußeren Vertikalleiter und die horizontalen Verbindungen auf jedem Stockwerk beinhaltet und so lokale Bereiche mit gleichem Potenzial für jedes Stockwerk aufbaut.

Es ist zu bedenken, dass Blitze transiente Ereignisse sind, so dass Induktivität und Skineffekte durch den Einsatz flacher, streifenförmiger Leiter niedrig gehalten werden müssen.

Die Errichtung von Gebäudeschutzleitern

Der „Schutzleiter“ für Gebäude dient mehreren Zwecken:

- ◆ Der Ableitung von Fehlerströmen zurück zur Erde, so dass ein wirksamer Schutz vor Überströmen gegeben ist,
- ◆ der Ableitung von Erdschlussströmen zurück zur Erde,
- ◆ als Signal-Bezugsebene, damit Signalschnittstellen von miteinander verbundenen Betriebsmitteln bestimmungsgemäß funktionieren,
- ◆ der elektromagnetischen Verträglichkeit,
- ◆ der Ableitung der Störströme von Funk-Entstörfiltern etc. zurück zur Erde.

Allzu häufig wird der „Schutzleiter“ so ausgelegt, als wäre er in Wirklichkeit nur ein Schutzleiter, und die verschiedenen anderen Aufgaben werden völlig übersehen. Es ist daher sehr bedauerlich, dass kein passenderer Name gewählt wurde.

Fehlerströme

Es ist allgemein bekannt, wie geplant werden muss, um mit Fehlerströmen fertig zu werden. Mit richtig geplantem Überstrom- und Fehlerschutz wird während der Dauer eines Fehlers der Strom begrenzt und die

„durchgelassene“ Energie auf sichere Werte beschränkt. Dies gehört zur Standard-Auslegung elektrischer Netze. Im hier behandelten Zusammenhang sind jedoch der absolute Erdungswiderstand und der Schleifenwiderstand von Stromquelle, Verkabelung und Schutzleiter die entscheidenden Kriterien.

Ableitströme

Ableitströme werden oft übersehen. Sie entstehen hauptsächlich durch Filter, die Funkstörungen verringern sollen, und obwohl der Beitrag jedes Einzelgerätes klein ist, können sie in der Summe beträchtlich sein. Diese Ströme stammen aus einem kapazitiven Spannungsteiler an der Versorgungsspannung und haben daher eine Quellenspannung im offenen Stromkreis von der halben Netzspannung. Normalerweise ist dieser Quellpunkt über den Schutzleiter geerdet. Wird ein Abschnitt des Schutzleiters getrennt, zum Beispiel bei Bruch des Schutzleiters in einer Stichleitung vom Verteiler, dann schwebt dieser getrennte Schutzleiter auf der halben Netzspannung vor sich hin. Der zur Verfügung stehende Quellstrom hängt von der Zahl der angeschlossenen Geräte ab – dabei ist es unerheblich, ob sie eingeschaltet sind oder nicht – und kann die Stärke übersteigen, ab der eine Berührung tödlich ausgeht. Die richtige Praxis ist sicherzustellen, dass die Integrität des „Schutzleiters“ verbessert wird, indem mehr als ein Weg vom Anschlusspunkt der Betriebsmittel zurück zum Verteiler bereitgestellt wird. Wenigstens ein Weg muss ein mechanisch robuster, speziell für diesen Zweck bestimmter Leiter sein, während die anderen Leitpfade aus Armierungen, Kabelkanälen oder Kabelpripschen bestehen können. Es ist zu beachten, dass ein solcher Pfad so installiert und in Stand gehalten werden muss, dass die Integrität des Durchgangs gesichert ist. Da diese Art von Ableitstrom tatsächlich ein Konstruktionsmerkmal der Funk-Entstörfilter in den Endgeräten ist, wird er heute in einigen Installationsvorschriften einfach als „Schutzleiterstrom“ bezeichnet.

Der wichtigste Gesichtspunkt bei Ableitströmen ist die Integrität des Schutzleiters. Die Ströme sind relativ klein, so dass der Widerstand keine Rolle spielt, aber das Stromschlagrisiko bei unterbrochenem Durchgang ist sehr hoch. Das schwierigste Problem ist die Erhaltung der Schutzleiter-Integrität – es gibt keine einfache Methode zur Feststellung der Fehlerfreiheit durch den Ausfall eines Strompfads. Ebenso gibt es keinen Hinweis auf den Ausfall – bis ein Pechvogel ihn entdeckt.

Signal-Bezugsebene

Damit der Schutzleiter als Spannungsreferenz dienen kann, so dass die miteinander verbundenen Betriebsmittel ordnungsgemäß funktionieren, ist eine sehr niedrige Impedanz über einen weiten Frequenzbereich erforderlich. Das Hauptproblem ist hier, dass das gesamte durch den Schutzleiter dargestellte Erdungssystem eine Oberfläche mit gleichem Potenzial darstellen sollte, mit anderen Worten, die Potenzialdifferenz zwischen zwei beliebigen Punkten sollte im gesamten betroffenen Frequenzbereich und im gesamten Bereich des Gebäudes Null sein. In der Praxis bedeutet dies nicht, dass die Potenzialdifferenz wirklich Null ist, sondern dass sie niedrig genug sein sollte, um keinerlei Fehlfunktion der installierten Geräte zu verursachen. Viele Signal-Schnittstellen benutzen differentielle Spannungspegel (Netz-Schnittstellen, RS 485) und tolerieren relativ hohe Unterschiede zur Referenzspannung (ein paar Volt). Einige ältere Schnittstellen-Normen, wie etwa die „RS 232 Schnittstellen“ für Modems und die „IEEE 1284“ für Drucker, sind einadrig und weniger störfest.

Bild 4 zeigt typische Eindraht- und Zweidraht-Schnittstellen. Eine Eindraht-Schnittstelle nutzt einen einzelnen Signalleiter und einen Erdungspfad. Es ist klar, dass jede Potenzialdifferenz zwischen der lokalen „Erde“ beim Sender und dem Empfänger in Reihe mit dem Signal erscheint und wahrscheinlich zu Daten-Übertragungsfehlern führt. Die scheinbar einfache Lösung, einen weiteren Signalleiter zwischen den beiden Punkten zu installieren, ist nicht machbar – es würde ein starker und undefinierter Strom fließen, der Störungen und möglicherweise Schäden verursachen würde.

Erdung mit System

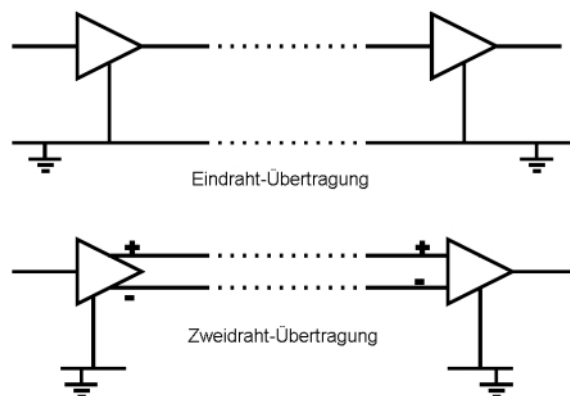


Bild 4: Eindraht- (oben) und Zweidraht-Schnittstellen

Eine Zweidraht-Schnittstelle verfügt über zwei Signalleiter, und die Daten werden als Spannungsunterschied zwischen ihnen gesendet. Im Idealfall ist der Empfänger nur für die Differenzspannung zwischen den Signalleitungen empfänglich und unempfindlich gegen die mittlere Spannung der Signalleitungen (gegen Erde). In der Praxis ist dies nicht so, und die mittlere Spannung muss immer noch begrenzt werden, jedoch auf einen Pegel, der vielleicht um eine oder zwei Größenordnungen höher liegt, als es für eine Eindraht-Schnittstelle erforderlich ist. Das Verhältnis von differentieller Empfindlichkeit zu Gleichtakt-Empfindlichkeit wird als Gleichtakt-Unterdrückungsmaß (Common mode rejection ratio, CMRR) bezeichnet und wird in dB (Spannung) ausgedrückt. Für die meisten Halbleiter-Empfänger ist der CMRR bei niedrigen Frequenzen hoch, nimmt jedoch bei steigenden Frequenzen rasch ab. Mit anderen Worten, während der Einsatz differentieller Schnittstellen zur Senkung der Fehlerrate hilfreich ist, so sorgen sie doch nicht für Entspannung bei den Anforderungen an das Schutzleitersystem.

Man beachte, dass hier nicht die absolute Impedanz gegen die Erde wichtig ist, sondern die Impedanz (in einem weiten Frequenzbereich) zwischen verschiedenen Punkten am Schutzleiter.

Generell gleichen die Maßnahmen, die für die Bereitstellung einer guten Signal-Bezugsebene erforderlich sind, denen zur Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV), die im Folgenden behandelt wird.

Elektromagnetische Verträglichkeit

Jedes elektrische oder elektronische Betriebsmittel produziert ein gewisses Maß an elektromagnetischer Strahlung. Zugleich reagiert jedes Betriebsmittel auch mehr oder weniger empfindlich auf elektromagnetische Strahlung. Wenn alles funktionieren soll, muss die kumulative Strahlungsmenge in einer Umgebung um einiges geringer als das Ausmaß sein, das die Funktion der in dieser Umgebung in Betrieb befindlichen Betriebsmittel zum Erliegen bringt. Um dieses Ziel zu erreichen, werden die Baugruppen in Übereinstimmung mit Normen entworfen, gebaut und geprüft, deren Sinn es ist, die abgegebene Strahlungsmenge zu reduzieren und die hinnehmbare Menge zu vergrößern.

In der Normenreihe IEC 61000 wird die EMV wie folgt definiert:

„Elektromagnetische Verträglichkeit ist eine Bedingung der elektromagnetischen Umgebung solcherart, dass für jedes Phänomen der Störaussendungspegel ausreichend niedrig ist und die Störfestigkeiten hinreichend hoch sind, so dass alle Geräte, Einrichtungen und Systeme bestimmungsgemäß funktionieren.“

Die Aufrechterhaltung dieser Verträglichkeit in der Praxis erfordert große Sorgfalt bei der Planung und Errichtung der Anlage und des Erdungssystems. Detaillierte Anleitungen hierzu werden in späteren Bänden dieses Leitfadens gegeben; hier wird nur ein allgemeiner Überblick vorgestellt.

In der traditionellen Elektrotechnik kamen getrennte Erdungssysteme zum Einsatz, zum Beispiel Erde der Nachrichtentechnik, Erde der Netzwerktechnik, Erde der Energietechnik, Blitzschutz-Erdung usw. In der

Erdung mit System

heutigen Elektrotechnik wurden neue Erkenntnisse über den Aspekt der Erdung und ihrer Beziehung zum Geräteschutz gewonnen. Das Konzept getrennter Erdungssysteme wurde aufgegeben, und die internationalen Normen schreiben nun umfassende Erdungssysteme vor. So etwas wie „saubere“ und „schmutzige“ Erde gibt es nicht.

Dieses Konzept der Einfach-Erdung bedeutet in der Praxis, dass Schutzerdungsleiter (PE-Leiter), parallele Erdungsleiter, Schaltschrank-Erdungen und die Abschirmungen von Daten- oder Energieleitungen alle miteinander verbunden sind. Auch stählerne Gebäudeteile und Wasser- und Gasleitungen sind Teile dieses Systems. Im Idealfall müssen alle Leitungen, die in eine Zone hineinführen, dies an einem einzelnen Punkt tun, an dem alle Schirme und andere Erdleiter angeschlossen sind.

Zur Senkung der auf die Betriebsmittel einwirkenden gegenseitigen Störungen müssen die Erdungsschleifen zwischen Kabelschirmen und anderen Erdungsstrukturen klein gehalten werden. Wenn Leitungen mit Metallstrukturen verbunden werden, verhalten sich diese Strukturen als parallele Erdungsleiter. Parallele Erdungsstrukturen werden sowohl für Energie- als auch Datenleitungen verwendet. Beispiele dafür sind in aufsteigender Reihenfolge ihrer Wirksamkeit: Erdanschlusskabel, Kabelpritschen, flache metallische Oberflächen, Kabelkanäle und schließlich Rohrleitungen aus Metall. Der parallele Erdleiter senkt die Impedanz der aus der Leitung und dem Erdungsnetz gebildeten Schleife. Der Erdungswiderstand gegen Mutter Erde ist für den Geräteschutz meist nicht wichtig. Eine sehr wirkungsvolle Form eines parallelen Erdungsleiters ist ein engmaschiger oder völlig geschlossener, an beiden Enden der Leitung aufgelegter Kabelschirm mit einem großen Metallquerschnitt.

Um die Impedanz der Potenzial-Ausgleichsanschlüsse im Erdungsnetz bei hohen Frequenzen klein zu halten, müssen Litzen (einzeln isoliert) oder Metallstreifen mit einem Verhältnis von Länge zu Breite von unter 5 zum Einsatz kommen. Für Frequenzen größer als 10 MHz sollten keine runden Leitungen eingesetzt werden.

Ein Zwischenboden kann als gute Äquipotenzialebene dienen. Das Kupfergitter darunter muss maximale Abstände von 1,2 Metern haben und durch viele Potenzial-Ausgleichsanschlussleitungen an das gemeinsame PA-Netz angeschlossen werden. Das Gitter sollte an einen um den Bereich der Zwischendecke verlaufenden Kupferring mit 50 mm² Querschnitt angeschlossen sein, innerhalb der Begrenzungen des Stockwerks in Abständen von 6 Metern. Energie- und Signalleitungen sollten wenigstens 20 cm voneinander getrennt sein, und sofern sie sich kreuzen, sollte dies im rechten Winkel geschehen.

Schlussfolgerung

Das Erdungssystem eines Gebäudes oder einer Produktionsstätte ist ein entscheidender Bestandteil der elektrischen Infrastruktur und kann für die künftige Lebensfähigkeit der in ihnen tätigen Firmen entscheidend sein. Es muss mit kurzzeitigen Fehlerströmen von mehreren hundert Ampere, ständigen Strömen/Dauerströmen von einigen Ampere und hochfrequenten Störströmen fertig werden, indem es sie zur Quelle oder zur Erde ableitet, und dies mit nahezu null Spannungsfällen bei Störströmen und ohne Schadensrisiko bei Fehlerströmen. Gleichzeitig muss es die Betriebsmittel und das Personal in dem Gebäude vor Blitzschlägen (schnellen Transienten im Kiloampere-Bereich) im angeschlossenen Erdungssystem schützen.

Die Planung des Erdungssystems eines Gebäudes einschließlich des Blitzschutzsystems erfordert große Sorgfalt, wenn alle Ziele erreicht werden sollen. Wie üblich, ist es am besten und preiswertesten, wenn es von Beginn an korrekt geplant wird, wobei die Nutzungsdauer des Gebäudes und, so weit dies möglich ist, die potenzielle Nutzung während dieser Nutzungsdauer in Betracht zu ziehen sind. Der nachträgliche Einbau nach Bezug des Gebäudes ist immer eine teure Angelegenheit.

Notizen

Notizen

Notizen

Leonardo internationale und Gründungspartner:

**European Copper Institute
(ECI)**
www.eurocopper.org

**Akademia Górniczo-Hutnicza
(AGH)**
www.agh.edu.pl

**Centre d'Innovació
Tecnològica en
Convertidors Estàtics i
Accionaments
(CITCEA)**
www.citcea.upc.es

**Comitato Elettrotecnico Italiano
(CEI)**
www.ceiuni.it

Copper Benelux
www.copperbenelux.org

**Copper Development
Association
(CDA UK)**
www.cda.org.uk

**Deutsches Kupferinstitut e.V.
(DKI)**
www.kupferinstitut.de

**Engineering Consulting and Design
(ECD)**
www.ecd.it

**Escuela Técnica Superior de
Ingenieros Industriales
(ETSII)**
www.etsii.upm.es

**Hochschule für Technik und
Wirtschaft des Saarlandes
(HTW)**
www.htw-saarland.de

Istituto Italiano del Rame
www.iir.it

**Katholieke Universiteit Leuven
(KU Leuven)**
www.kuleuven.ac.be

Politechnika Wroclawska
www.pwr.wroc.pl

**Polskie Centrum Promocji Miedzi
(PCPM)**
www.miedz.org.pl

**Provinciale Industriële Hogeschool
(PIH)**
www.pih.be

Università di Bergamo
www.unibg.it

University of Bath
www.bath.ac.uk

**University of Manchester
Institute of Science and
Technology
(UMIST)**
www.umist.ac.uk

**Union International de
l'Electrotechnique
(UIE)**
www.uie.org

**Universidade de Coimbra
(ISR)**
www.uc.pt

Redaktionsrat

David Chapman
Prof. Angelo Baggini
Dr. Araceli Hernández Bayo
Prof. Ronnie Belmans
Franco Bua
Prof. Anibal de Almeida
Hans De Keulenaer
Gregory Delaere
Prof. Jan Desmet
Marcel Didden
Dr. Johan Driesen
Stefan Fassbinder
Prof. Zbigniew Hanzelka
Dr. Antoni Klajn
Reiner Kreutzer
Prof. Wolfgang Langguth
Jonathan Manson
Prof. Henryk Markiewicz
Carlo Masetti
Dr. Jovica Milanović
Dr. Miles Redfern
Andreas Sumper
Roman Targosz

Copper Development Association
Università di Bergamo
ETSII - Universidad Politécnica de Madrid
UIE
ECD-Engineering Consulting & Design
ISR - Universidade de Coimbra
European Copper Institute
Lemcko
Hogeschool West-Vlaanderen
Laborelec
KU Leuven
Deutsches Kupferinstitut
Akademia Górniczo-Hutnicza
TU Breslau
HTW-Hochschule für Technik und Wirtschaft
HTW-Hochschule für Technik und Wirtschaft
Gorham & Partners Ltd.
TU Breslau
CEI
UMIST
University of Bath
CITCEA
Polish Copper Promotion Centre

david.chapman@copperdev.co.uk
angelo.baggini@unibg.it
ahernandez@etsii.upm.es
ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be
franco.bua@ecd.it
adealmeida@isr.uc.pt
hdk@eurocopper.org
gregory.delaere@howest.be
jan.desmet@howest.be
marcel.didden@mech.kuleuven.ac.be
johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be
sfassbinder@kupferinstitut.de
hanzel@uci.agh.edu.pl
antoni.klajn@pwr.wroc.pl
rkreutzer@htw-saarland.de
wlang@htw-saarland.de
jonathanm@gorham.org
henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
masetti@ceiuni.it
jovica.milanovic@umist.ac.uk
eesmar@bath.ac.uk
sumper@citcea.upc.es
cem@miedz.org.pl



Reyer Venhuizen



KEMA T&D Power
Utrechtseweg 310
PO Box 310
6800 ET Arnhem
Niederlande

Tel: 00 31 26 356 3724
Fax: 00 31 26 443 3843
Email: r.venhuizen@kema.nl
Web: www.kema.nl



Deutsches
Kupferinstitut

Deutsches Kupferinstitut
Am Bonnheshof 5
D-40474 Düsseldorf

Tel.: +49 211 4796300
Fax: +49 211 4796310
E-Mail: info@kupferinstitut.de
Internet: www.kupferinstitut.de



European Copper Institute
Tervurenlaan 168 / b 10
B-1150 Brussel

Tel.: +32 2 7777070
Fax: +32 2 7777079
E-Mail: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org