

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses

Band: 78 (1987)

Heft: 5

Artikel: Fehlerstrom-Gebäudeschutz bei Bahnanlagen

Autor: Faust, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-903826>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 19.11.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Fehlerstrom-Gebäudeschutz bei Bahnanlagen

H. Faust

Mögliche Potentialdifferenzen zwischen Bahnerde und Ortsnetzerde führen bei Bahnanlagen zu Erdungsproblemen. Verschiedene Lösungen, die die Bedingungen des Personenschutzes erfüllen, werden erklärt und deren Vor- und Nachteile diskutiert. Als einfache und bewährte Schutzmassnahme wird die Anwendung von Fehlerstromschutzschaltungen für die gesamte Installation beschrieben.

Les différences de potentiel entre terre ferroviaire et terre du réseau de distribution donnent lieu à des problèmes de mise à la terre des installations de chemins de fer. Diverses solutions qui remplissent les conditions de la protection des personnes sont expliquées, de même que leurs avantages et inconvénients. Une mesure simple et efficace consiste à appliquer le couplage de protection à courant de défaut pour l'ensemble de l'installation.

Adresse des Auteurs

Hans Faust, dipl. El.-Ing. ETHZ, Sektionschef Elektrische Anlagen, Berner Alpenbahn BLS, Postfach, 3001 Bern.

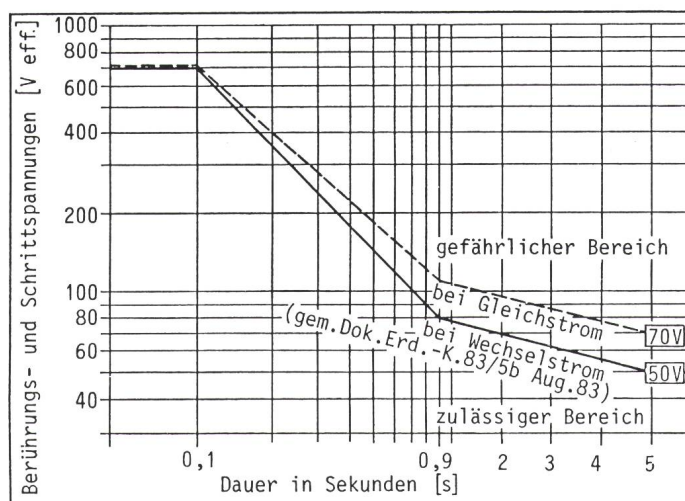
1. Erdungsverhältnisse in den 1-Phasen-Netzen der Bahnen

Im Höchstspannungsnetz der Bahnen wird ein 2-Phasen-Netz ($16\frac{2}{3}$ Hz) oder Drehstrom (50 Hz) verwendet. Es bietet keine besonderen Erdungsprobleme. Anders das Traktionsnetz. Um eine einfache Stromabnahme zu ermöglichen, muss für die Fahrleitung ein 1-Phasen- oder Gleichstromnetz verwendet werden. Dabei ist ein Leiter geerdet; über diesen geerdeten Zweig muss der volle Strom zurückfliessen. Die Fahrschiene ist nicht als Leiter voll isoliert, sie wirkt sowohl als Rückleiter wie auch als Erder und Schutzleiter. Andererseits ist ein gut verlegtes Geleise auf Holzschwellen oder mit Isolierzwischenlagen auf Betonschwellen (wie dies für Stellwerkanlagen notwendig ist) relativ wenig erdfühlig. Bei Gleichstrombahnen wird der Erdübergangswiderstand bewusst hochgehalten, um Streustromprobleme zu vermeiden. Nebst dem Geleise im Schotterbett sind auch die Fahrleitungsmasten mit ihren Fundamenten bei Wechselstrombahnen am Geleise geerdet; diese Fundamente tragen dann zu einem niedrigeren Erdungswiderstand bei. Die Grössenordnung des Erdübergangswiderstandes liegt bei $1 \text{ Ohm} \cdot \text{km}$, abhängig vom Zustand des Schotterbettes, Schwellenmaterial, der Witterung usw.

Der Strom, den die Triebfahrzeuge aus der Fahrleitung beziehen, fliesst einerseits durch das Gleissystem, die parallel geschalteten Erdseile sowie die Kabelmäntel der längs dem Geleise liegenden Fernmeldekabel (um den Reduktionsfaktor der Kabelmäntel auch auszunutzen), andererseits über den Erdübergangswiderstand und das Erdreich zurück zum Unterwerk. Bei Strecken mit Erdseilen gilt als grobe Regel für die Rückstromaufteilung: je $\frac{1}{3}$ in den Schienen, den Erdseilen und im Erdreich.

All die erwähnten «Leiter» weisen Impedanzen auf. Mit den Strömen entstehen Spannungen, erhöht noch durch die Spannungen, welche die im System Fahrleitung/Geleise/Erdseil/Erde fliessenden Ströme induzieren. Als wesentlich muss festgehalten werden, dass das Potential der sogenannten «Bahnerde» nicht dem Erdpotential der fernen Erde weit ab des Geleises entspricht; zwischen benachbarten Bahnstationen kann eine erhebliche Differenzspannung entstehen, die abhängig ist vom Fahrleitungsstrom und von den örtlichen und momentanen Erdungsverhältnissen. Mit zunehmender Unterwerks- und Triebfahrzeugleistung steigen diese Potentialdifferenzen. Die Rückleitungsimpedanz beträgt, wieder als grobe Regel, 10% der Speise- und Fahrleitungsimpedanz. Bei elektrischer Verstärkung der Fahrleitung (Erhöhung der Querschnitte, Erhöhung der Unterwerksleistung, Verbesserung der geometrischen Leiteranordnung, Einsatz von Stromschienen an Stelle der Fahrdrähte) sind die Auswirkungen auf die Rückleitungsverhältnisse sorgfältig abzuklären.

In der Praxis kann das Potential der «Bahnerde» in einer Bahnstation während des Bahnbetriebs gegenüber der fernen Erde zwischen null und einigen Dutzend Volt variieren, abhängig vom Traktionsstrom. Im Kurzschlussfall (der im Fahrleitungsnetz etwa 10mal häufiger auftritt als in einem Mittelspannungsnetz) kann die Differenz im ungünstigsten Fall sogar mehrere 100 V betragen. Deshalb sind ein schneller Fahrleitungsnetzschutz und schnelle Speisepunktschalter von grosser Bedeutung. Figur 1 zeigt im Spannungszeitdiagramm, welche Spannung ohne Gefahr für Menschen wie lange auftreten darf. Wird die Installation einer Bahnstation aus einem normalen 50-Hz-Ortsnetz versorgt, dessen speisender Transformator mit seinem Sternpunkt an eine (bahn-)ferne Erde



Figur 1
Spannungszeit-
diagramm mit
Grenzkurve zwischen
zulässigem und
gefährlichem Bereich

angeschlossen ist, treten zwischen dem Neutralleiter des Ortsnetzes und der Bahnerde die erwähnten Potentialdifferenzen auf, oder es fließen Ausgleichsströme.

2. Bahnerdung in Bahngebäuden

Das Gleispotential ist in einer Bahnstation überall vorhanden. Aus Gründen des Personenschutzes gegenüber den Gefahren der Fahrleitungsspannung müssen Fahrleitungstragwerke, aber auch Dachrinnen, Perrondachstützen usw. bahngeerdet werden. Metallteile, die gleichzeitig mit Bahnfahrzeugen oder bahngeerdeten Teilen wie Fahrleitungsmasten berührt werden können (Abschrankungen, Fördermittel, Billett- und Warenautomaten, Telefonapparategehäuse usw.), müssen ebenfalls bahngeerdet werden, wenn sie sonst gefährliche Potentialdifferenzen gegenüber der Bahnerde annehmen könnten.

Das Erdpotential der Bahn wird mit der Armierung aller Kabel aus dem Geleisefeld (Weichenantriebe, Signale, Beleuchtungskörper auf Fahrleitungstragwerken, Telefone usw.) auch in das Gebäude verschleppt. Ein besonderes Problem bilden die Gleichstrom-Schienenstromkreise, also Überwachungsstromkreise, die direkt galvanisch an die Fahrschienen angeschlossen sind. Aus Gründen der signaltechnischen Fehlersicherheit müssen die dazugehörigen Speisernetze, aber auch die Apparatekasten und Relaisgestelle bahngeerdet sein, ebenso das Metallteile aufweisende Bedienungspult im Stationsbüro. Aus all diesen Gründen gilt bei Wechselstrom-

bahnen die Bauwerkserde als mit der Bahnerde verbunden.

3. Probleme des Zusammentreffens Ortsnetzerde-Bahnnetz-erde

Bei jedem elektrischen Verbraucher im oder am Stationsgebäude, aber auch an jedem Gewerbe- oder Industriebau unmittelbar an einem Anschlussgeleise, stellt sich die Frage, wie die korrekte Erdung vorzunehmen ist. Für gewisse Geräte, wie Billettautomaten in der Nähe von Fahrleitungstragwerken (wie erwähnt), ist dies eindeutig klar. Aber wo sollen Beleuchtungskörper im Relaisraum der Stellwerkanlage oder am Perrondach, Uhrenbeleuchtungen, Steckdosen für bewegliche Verbraucher im Gleisfeld (Förderbänder) usw. geerdet werden? Wo wird der Ölbrenner der Zentralheizung geerdet, wenn das Stellpult im Stationsbüro gleichzeitig mit einem Heizkörper berührt werden kann?

Sofern die Potentialdifferenz zwischen Ortsnetzerde und Bahnerde kleiner als die zulässige Berührungsspannung bleibt, ist auf den ersten Blick sowohl eine Schutzerdung an die Bahnnetzerde wie auch eine Nullung ans Ortsnetz denkbar. Damit wäre jedenfalls der Personenschutz gewährleistet. Übersteigt die Potentialdifferenz die Gefährdungsgrenze zeitweise, z.B. beim Verkehren schwerer Güterzüge oder im Falle des Kurzschlusses im Bahnnetz, ist eine Bahnerdung der 50-Hz-Verbraucher nicht zulässig, weil der Personenschutz nicht sicher eingehalten wird. Das Auslösen des Überstromunterbrechers 50-Hz-seitig ist

wegen das relativ hohen Erdübergangswiderstandes des Bahnnetzes nicht in jedem Fall gewährleistet, ebenso wenig, dass die Fehlerspannung Gehäuse-Neutralleiter nicht 50 V übersteigt. Eine Nullung kann auch nicht in Frage kommen, weil sonst bei starker Belastung im Bahnnetz bei gleichzeitiger Berührung von Apparategehäusen und Bauwerkserde (= Bahnerde) eine Gefährdung entsteht.

In älteren Anlagen wurde dem Zusammentreffen Ortsnetzerde-Bahnerde kaum Bedeutung beigemessen, die Spannungsdifferenzen erreichten keine gefährlichen Werte. Die meisten Verbraucher wurden ans Ortsnetz genullt. Spezielle Personengefährdungen sind bei solchen Anlagen nicht bekannt. Dagegen sind mehrere Fälle von Brandgefährdungen durch überhitzte Neutral- oder Schutzleiter zu verzeichnen. Entsteht nämlich unbeabsichtigt irgendwo in der Anlage eine Verbindung zwischen Neutralleiter und Bahnnetzerde, so bedeutet dies für den Traktionsrückstrom eine neue Erdverbindung, die meist eine verglichen mit der Gleisbettung sehr gute Erdfähigkeit aufweist. Ein Teil des Traktionsrückstromes wird seinen Weg über diese Verbindung zur Ortsnetzerde nehmen und dabei über den Neutralleiter bis zur

Transformator-Sternpunktterdung, über andere gute Erdverbindungen in andern Gebäuden und über die Wasserleitungen ins Erdreich und zurück zum speisenden Bahnunterwerk fließen. Die Grösse der Ströme hängt kaum vom benutzten Leiterquerschnitt ab, sondern ist vom Traktionsstrom, den Erdübergangswiderständen und der geometrischen Gesamtanordnung abhängig. Da die Neutral- und Schutzleiter nicht abgesichert sind, können sie durch Bahnstrom stark überlastet werden. Dazu zwei Beispiele aus jüngster Zeit (Fig. 2):

1. Ein Metallblech (Unterlage zu Blumenstock, Fig. 2, Pos. 6) stellte eine Verbindung zwischen Stellpult (Bahnerde) und Zentralheizungskörper her. Als Auswirkung wurde ein Ausfall der Ölheizung festgestellt. Die Untersuchung ergab einen Unterbruch im Anschluss des Neutralleiters des Ölbrenners, nachdem der Neutralleiter thermisch überlastet war.
2. Bei Arbeitsbeginn wurde im Relaisraum der Stellwerkanlage festgestellt, dass die Isolation des Anschlusskabels einer Arbeitsleuchte

In grösseren Anlagen, auch Industriebetrieben mit Geleiseanschluss, die ohnehin über eine eigene Trafostation gespeist werden, wird die ganze Installation bahngeerdet (Zusammenchluss der Bahn- und Bauwerkserde). Alle Produkteleitungen vom und zum Gebäude sind dann mit Isoliermuffen zu versehen. Bei rechtzeitiger Planung lassen sich auch grösste Anlagen ohne Mehrkosten richtig bauen.

Eine Trennung der Erdungssysteme wäre bei einfachen Anlagen zulässig, wenn nachgewiesen werden kann, dass die Berührungsspannungen zwischen Ortsnetzerde und Bahnerde keine gefährlichen Werte annehmen können und die Nullungsbedingungen immer erfüllt sind. Alle Verbraucher werden an das Bahnpotential als Schutz Erde gelegt, eine gewollte Verbindung Ortsnetzerde-Bahnerde wird nicht eingelegt, die Nullungserdleitung darf nicht bestehen. Die Produkteleitungen (Wasser usw.) sind mit Isoliermuffen zu versehen. Diese Lösung ist aber nicht sehr zweckmässig, vermeidet sie doch Fehler wie die in Kapitel 3 beschriebenen nur, solange die Anlage in Ordnung ist. Bei Defekten oder nachträglichen, unsachgemäss durchgeführten Installationsänderungen (z. B. durch bahnfremde Installateure, die über die besonderen Erdungsverhältnisse nicht im Bild sind) können nachträglich trotz allem Verbindungen von einem Schutzleiter zum Neutralleiter entstehen. Dabei sind nicht die bahndienstlichen Installationen das Hauptproblem, sondern Installationen in Wohnungen oder Gewerbebetrieben in Bahngebäuden.

6. Gewährleistung der Trennung Bahnerde-Ortsnetzerde

Vor allem für kleine und mittlere Anlagen ohne eigene Transformatorstation hat sich die folgende Lösung bewährt: Die ganze Installation wird an die Geleiseanlage Schutzgeerdet, das Geleise dient als Erdelektrode. Ein Fehlerstromschutz (oder eine doppelte Isolation) garantiert, dass in der ganzen Anlage keine Verbindung Neutralleiter-Schutzleiter besteht. Der Fehlerstromschutz löst auch aus, wenn bei defektem Polleiter der Fehlerstrom über den Schutzleiter zur (relativ hochohmigen) Gleisanlage den vorgeschalteten Überstromunterbrecher nicht zum Auslösen bringt; somit sind auch die Nullungsbedingungen erfüllt. Bei doppelter Isolation kann ein Fehler-

strom Polleiter-Schutz Erde ausgeschlossen werden. Damit die Massnahmen wirksam sind, sind wiederum alle Produkteleitungen mit Isoliermuffen zu versehen. Der Hausanschlusskasten hat aus Isoliermaterial zu bestehen, und das ankommende Netzzuleitungskabel ist isoliert einzuführen, damit keine Berührungsmöglichkeit und keine Verbindung zwischen Kabelmantel oder Neutralleiter und Bauwerkserde (= Bahnerde) entstehen kann.

Da kaum alle Verbraucher mit doppelter Isolation versehen sind, müssen mindestens die Abgänge, welche Steckdosen aufweisen, mit Fehlerstromschutzmassnahmen geschützt werden. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass bei komplizierten Anlagen nur schon die Realisierung der doppelten Isolation für die Hauptverteilung inklusive Netzkommandoempfänger, Waschmaschinen-Zählerumschaltung usw. Probleme bietet. Hier hilft eine Fehlerstrom-Vollschutz, das heisst, die Fehlerstromerfassung wird direkt nach dem Hausanschlusskasten, also noch vor Zählern und Netzkommandoempfängern, eingebaut. Der Vorteil der Fehlerstromüberwachung gegenüber der doppelten Isolation ist, dass dauernd die ganze Installation überwacht wird, unsachgemässe Änderungen zwingen sofort zur Instandstellung.

Dieser Fehlerstromschutz dient in erster Linie dazu, die Trennung Bahnerde-Ortsnetzerde permanent zu überwachen und Überlastungen von Schutz- und Neutralleitern zu verhindern. In gewissen Fällen dient er auch, um zu unterbrechen, wenn ein Fehlerstrom Phase-Schutz Erde den Überstromunterbrecher nicht zur Auslösung bringt, obwohl die Spannungsdifferenz Neutralleiter-Schutz Erde die Gefährdungsgrenze übersteigt. Der Neutralleiter wird also wirklich zum stromführenden Leiter mit voller, überwachter Isolation gegenüber der Bauwerkserde; dass er irgendwo fern ab der Bahn noch geerdet ist, bleibt dabei nebensächlich. Für die Dimensionierung dieses Fehlerstromschutzes gelten deshalb auch andere Kriterien als z. B. bei der Verwendung in Badezimmern usw.

7. Einsatzkonzept des Fehlerstromschutzes

Nach dem bisher Gesagten genügt ein Fehlerstromschutz beim Hausanschlusskasten für das ganze Gebäude.

Aufgrund der Erdungssymmetrien der oft ausgedehnten angeschlossenen Anlagen, inklusive Kabel zu Gleisfeldbeleuchtungen, ist mit einer Ansprechempfindlichkeit von 300 mA zu dimensionieren.

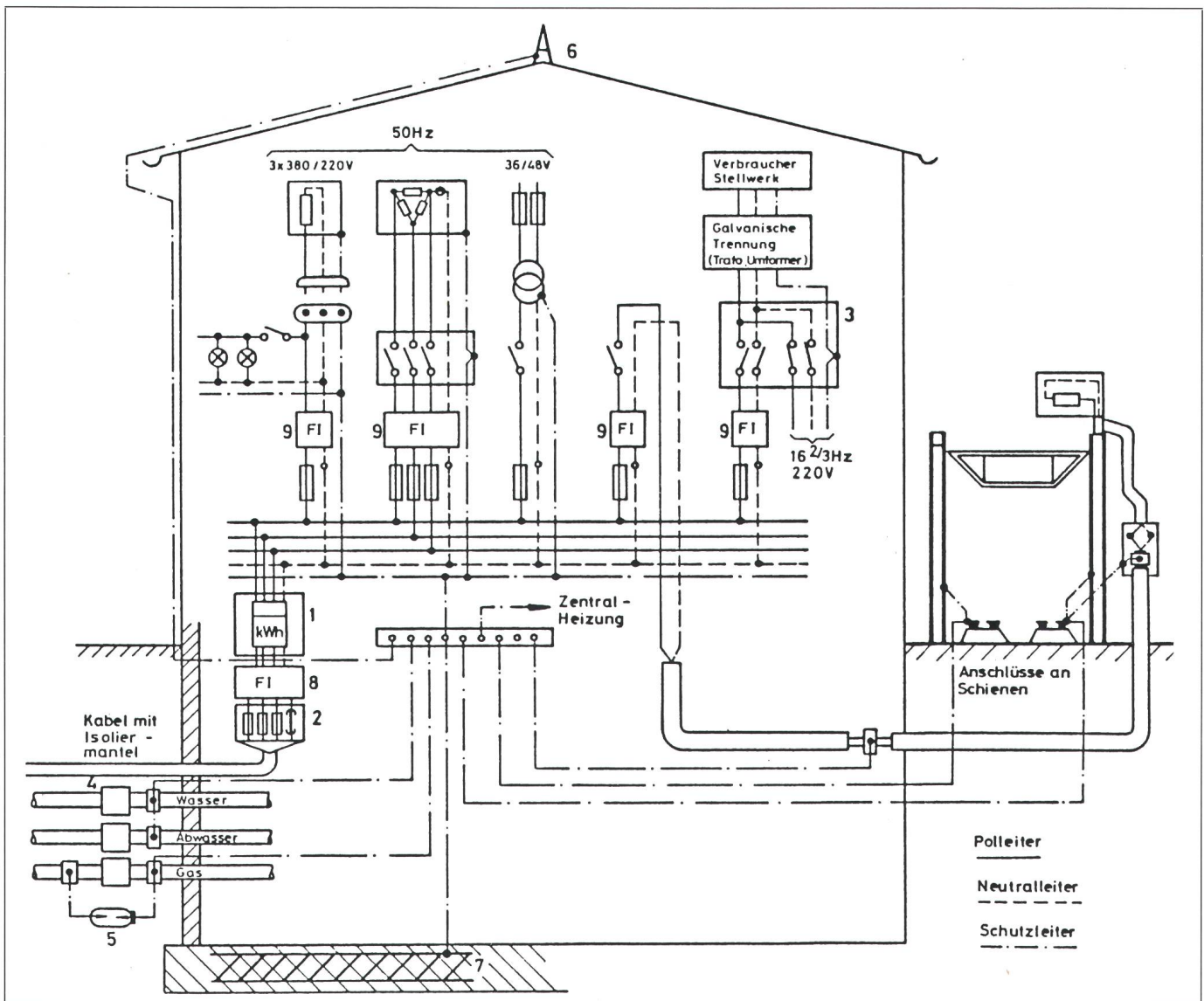
Damit nicht bei jeder Unregelmässigkeit die ganze Anlage ausgeschaltet wird, ist es zweckmässig, die meisten Abgänge ab der Hauptverteilung zusätzlich mit Einzelfehlerstromschaltern auszurüsten, insbesondere die Wohnungs- und Werkstättezuleitungen mit 30-mA-Auslösung. Bei Abgängen, die keine Steckdosen speisen und unmittelbar nur Transformatoren versorgen, kann auf den separaten Fehlerstromschutz verzichtet werden (Prinzipskizze Figur 3).

Von diesem Konzept unbeeinflusst bleiben natürlich die 10-mA-Fehlerstromschalter für einzelne Steckdosen im Freien, Badezimmeranschlüsse usw.

Da die Fehlerstromschalter nicht wie Überstromauslöser selektiv sind, sondern bei hohem Fehlerstrom sämtliche in Serie liegenden Geräte auslösen, muss mindestens der Hauptfehlerstromschutz zeitlich verzögert sein, damit allfällig nachgeschaltete Fehlerstromschutzschalter vor Auslösung des zentralen Schutzes auch unterbrechen können.

8. Betriebserfahrungen

Erste Anlagen wurden versuchsweise nur mit einer zentralen Fehlerstrommeldung versehen und im Betrieb überwacht, da Bedenken wegen zu häufiger Fehlauflösungen bestanden. In der Zwischenzeit sind alle Anlagen auf automatische Auslösung geschaltet, mit gleichzeitiger Fernsignalisierung auf die zentrale Betriebsleitstelle. Es betrifft dies Installationen in Bahnhöfen und Stationen, aber auch in Unterstationen der Bahnstromversorgung. Praktisch alle Fehlerstromauslösungen erwiesen sich im Laufe der Zeit als berechtigte, begründete Auslösungen, sei es wegen Isolationsdefekten in den Anlagen, andern Mängeln oder falsch eingesetzten Apparaten. Beispielsweise gibt es Störschutzfilter zu elektronischen Geräten mit kapazitiver Ableitung zwischen Neutralleiter und Schutz Erde sowie zwischen Phasenleiter und Schutz Erde, wobei die Summe dieser Ableitströme ungleich null ist und den Fehlerstromschalter beeinflusst. Durch Änderung des Störschutzes sind hier Abhilfemassnahmen möglich.



Figur 3 Installation mit Gewährleistung der Trennung Bahnerde/Ortsnetzerde durch Einsatz von Fehlerstromschutzschalter

- | | | | |
|---|---|---|---------------------------------|
| 1 | Verteiltafel | 6 | Blitzschutz |
| 2 | Hausanschlusskasten aus Isoliermaterial | 7 | Fundamenterde, Betonarmierung |
| 3 | Netzumschalter 50/16 ² / ₃ Hz | 8 | Fehlerstromschutz zeitverzögert |
| 4 | Isolierstücke messbar in allfällig vorhandenen Zuleitungen aus leitendem Material | 9 | Fehlerstromschutzschalter |
| 5 | Funkenstrecke | | |

Die systematische Fehlersuche stellt hohe Anforderungen an das Personal. So hat sich gezeigt, dass die bisherigen Methoden der Isolationsprüfung und Installationskontrolle nur per Zufall zum Auffinden eines Fehlers führen. Innert vernünftiger Frist kann in einer Grossanlage z.B. die zeitweise bei feuchtem Wetter mangelhafte Isolation einer einzelnen Gleisfeldleuchte kaum gefunden werden. Um Fehler einzugrenzen, muss der Fehlerstrom messbar sein, und zwar schon weit unterhalb des Ansprechbereiches. Durch Ein- und Ausschalten der Verbrauchergruppen kann der grösste Fehlerstromkonsument ermittelt werden, notfalls auch durch Registrierung

über mehrere Tage. Aus dieser Erkenntnis und um rasch einen Überblick über den Isolationszustand der Anlagen zu erhalten, werden neu direkt nach dem Hausanschlusskasten Fehlerstromwandler für Messzwecke fest eingebaut.

Nach anfänglicher Skepsis ist heute auch das Montage- und Unterhaltspersonal vom Einsatz der Fehlerstromschalter überzeugt. Auch bei den beteiligten EWs ist für dieses Konzept Verständnis vorhanden. Diese Lösungsmöglichkeit ist im Entwurf vom 1. Mai 1986 für die Revision der «Verordnung über die elektrischen Einrichtungen von Bahnen» aufgeführt, so dass sie bald auch vorschrittskonform sein

wird. Probleme bestehen noch bei gewissen Wasserversorgungsunternehmen, die die einfachste Trennmöglichkeit für die Wassereinführung, nämlich die Verwendung von Kunststoffröhren, nicht bewilligen oder auf dem Anschluss des mitlaufenden Kupferbandes an die Bauwerkserde beharren wollen. Ein weiteres Problem ist die Blitzschutzinstallation der Bahngelände, die «unbedingt» mit dem «Wasser» verhängt sein müsse. Um diesem Problem auszuweichen, wurden die Trennstellen für die Wasserleitungen und anderen Produkteleitungen aus dem Hausinnern in Schächte in genügender Entfernung vom Gebäude verlegt.