

Verfügbarkeit von Industrie 4.0 Produktionsanlagen durch multiple Erdungen von Bezugspotentialen geerdeter betriebener 24 V DC-Versorgungssysteme gefährdet

Dipl.-Ing. Gerhard K. Wolff, Phoenix Contact GmbH & Co. KG, D-32825 Blomberg, TRABTECH

1 Art der Erdung von 24 V DC Stromversorgungen hat Einfluss auf System-Funktionsverfügbarkeit

Moderne Industrie 4.0 Produktionsanlagen haben sich unter vielerlei Aspekten im Vergleich zu Vorgängertechnologien gewandelt. Allerdings ist der Aufbau der Stromversorgungs-Infrastruktur nahezu unverändert geblieben. Dieser Beitrag befasst sich mit 24 V DC-Steuerspannungs-Versorgungen sowie damit verbunden mit der Erdung der Bezugspotential-Leitungen solcher Anlagen.

1.1 Minuspol geerdet – Isolationsmessungen nicht erforderlich?

24 V DC-Versorgungen werden in den meisten Fällen mit geerdetem Minuspol betrieben. [1, 2] Direkt am Stromversorgungs-Gerät wird der Minuspol geerdet. Isolationsmessungen in 24 V DC-Systemen werden in der Praxis nur vereinzelt vorgenommen. Anforderungen aus der DGUV Vorschrift 3 (Unfallverhütungsvorschrift Elektrische Anlagen und Betriebsmittel) [3] werden als nicht relevant betrachtet oder „hohe“ Prüfgleichspannungen als Argument vorgeschoben, um nicht zu messen.

1.2 Tür und Tor geöffnet für systemfremde Ströme

Diese Fehlerquellen werden auch in Industrie 4.0 Produktionsanlagen nicht ausreichend beachtet. Bereits eine zweite Bezugspotential-Erdung eröffnet System-fremden Strömen aus der Erdungsanlage direkte Wege in die Automatisierungstechnik. Galvanisch eingekoppelte Beeinflussungen verursachen so Störungen. Es bleibt nur eine Frage der Zeit, bis unvorhersehbare Geräteausfälle zum Produktionsstillstand führen.

2 Hilft viel viel?

Insbesondere bei mehreren Gewerke-Beteiligten wird die Art der Minuspol-Erdung ohne Abstimmung untereinander vorgenommen. Manche der verwendeten Betriebsmittel verfügen über herstellereitig eingebrachte – meist nicht dokumentierte – interne Erdverbindungen. Zunächst unentdeckte Mehrfacherdungen finden sich so in vielen Anlagen. Bislang denkt kaum jemand über die Konsequenzen hieraus nach – Betroffene ausgenommen.

2.1 Kein Überblick über ungeplante Mehrfacherdungen des Bezugspotentials

Mit dem Anschluss von internen oder externen Betriebsmitteln entstehen einige ungewollte Verbindungen zur Erde. Dieser Zustand ist beispielhaft in **Bild 1** dargestellt.

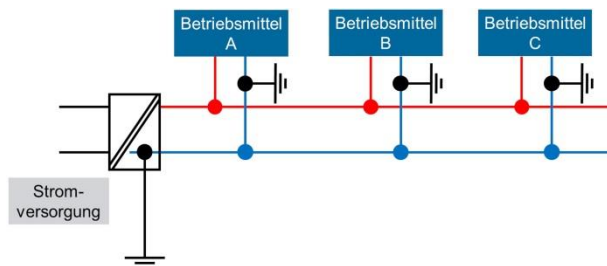


Bild 1: Steuerspannungsversorgung für drei Betriebsmittel – Bezugspotential mehrfach geerdet

Eine aus dem Wechselstromnetz gespeiste 24 V Gleichstromversorgung speist alle hieran angeschlossenen Betriebsmittel. In diesem Beispiel ist eine Anlage mit drei Betriebsmitteln dargestellt. Die jeweiligen Bezugspotentiale sind nicht nur miteinander, sondern auch mit den örtlichen geerdeten Potentialausgleichsanschlüssen verbunden.

2.2 Mängel in der Bezugspotential-Erdung offenbaren sich nicht sofort

Produktionsanlagen können so möglicherweise jahrelang funktionieren. In den verschiedensten Betriebsstadien wird jedoch festgestellt, dass unerklärliche Phänomene zu Störungen bis hin zum Stillstand von Produktionsanlagen führen.

2.3 Fehlerursache: Hardware, Software – oder etwas anderes?

Anschließende Fehleranalysen offenbaren sporadische Ausfälle einzelner Systemkomponenten. Zerstörte Teile werden ausgewechselt. Nach erneuten Ausfällen werden vielleicht auch andere Fehlerursachen, wie etwa in der Software, in Betracht gezogen. Sind die Gründe für diese Verfügbarkeitseinbrüche vielleicht an ganz anderer Stelle zu suchen? Nachstehend wird der Blick auf scheinbar triviale Fakten gelenkt. Ein schrittweises Nachvollziehen der beschriebenen Vorgehensweise eröffnet „neue“ Perspektiven und ermöglicht Industrie 4.0 Produktionsanlagen eine angemessene Qualität der Verfügbarkeit. [6, 7]

3 Mehrfacherdungen des Bezugspotentials verursachen parasitäre Ströme in Steuerspannungsleitungen

Im Folgenden wird die in Bild 1 beschriebene Anlageninfrastruktur des 24 V DC Stromversorgungssystems beibehalten. Zunächst werden die im Schaltbild als Symbole dargestellten Erdverbindungen etwas genauer betrachtet.

3.1 Erde ist auch ein Stück Draht...

Das verwendete Erdungssymbol steht für eine elektrisch leitfähige Verbindung des angeschlossenen Potentials mit der örtlichen Erdungsanlage. Zwischen diesen einzelnen Erdungspunkten bestehen neben den Verbindungen über die Minuspol-Leitung auch solche über das Erdreich. In **Bild 2** sind diese über das Erdreich hergestellten Verbindungen in ohmschen Widerständen zusammengefasst.

3.2 Erdwiderstandsnetzwerk überlagert sich dem Bezugspotential-Leitungsnetz

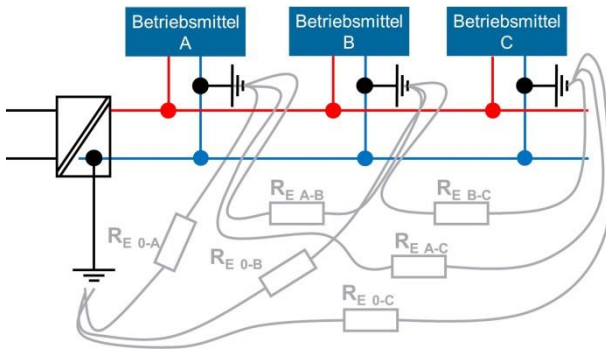


Bild 2: Elektrisch leitfähige Verbindungen zwischen Erdanschlüssen vereinfachend als Widerstände dargestellt

So gibt es eine Verbindung $R_{E\ 0-A}$ zwischen dem Erdungspunkt der Stromversorgung und dem des Betriebsmittels A. Weiterhin gibt es eine Verbindung $R_{E\ 0-B}$ zwischen der Erdung der Stromversorgung und dem geerdeten Anschlusspunkt des Betriebsmittels B. Darüber hinaus ist eine Erdverbindung $R_{E\ 0-A}$ zwischen dem geerdeten Bezugspotential der Versorgung und dem Erdanschluss des Betriebsmittels C vorhanden. Zusätzlich ist eine Erdverbindung $R_{E\ A-B}$ zwischen Betriebsmittel A und Betriebsmittel B sowie

mit $R_{E\ A-C}$ eine solche zwischen Betriebsmittel A und Betriebsmittel C und eine Erdverbindung $R_{E\ B-C}$ zwischen Betriebsmittel B und Betriebsmittel C vorhanden.

3.3 Beispiel kann auf alle Praxisverhältnisse übertragen werden

Dieses Beispiel soll auf drei an einer gemeinsamen 24 V Stromversorgung angeschlossene Betriebsmittel beschränkt bleiben. Die Erkenntnisse hieraus lassen sich singgemäß auf reale Anlagensituationen übertragen. Neben bewusst geplanter Verdrahtung ist immer auch das überlagerte Erdwiderstandsnetzwerk wirksam.

3.4 Funktionsbeeinflussungen Tür und Tor geöffnet durch Mehrfacherdungen

Das Vorhandensein dieses unterlagerten Erdwiderstandsnetzwerkes hat merkbare Einflüsse auf die Betriebsverfügbarkeit der Stromversorgung. Im Folgenden werden die einzelnen Leitungsabschnitte des Bezugspotentials als elektrische Bauelemente behandelt. Für Gleichstrombetrachtungen wirkt der ohmsche Leitungswiderstand. Für Wechselstrombetrachtungen sind auch die Induktivitätsbeläge mit einzubeziehen.

4 Ursachen Schritt für Schritt ergründen

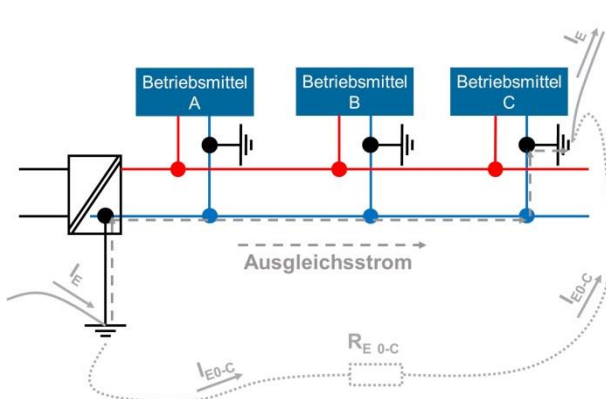


Bild 3: Zunächst wird nur die Erdverbindung zwischen Stromversorgung und Betriebsmittel C betrachtet.

Zwecks Vereinfachung der weiteren Untersuchung von in der Praxis auftretenden Phänomenen wird wie im **Bild 3** dargestellt angenommen, dass zunächst nur die Erdverbindung zwischen der Betriebserdung der 24 V Gleichstromversorgung und der Erdung des Bezugspotentials am Betriebsmittel C vorliegt. Alle weiteren Erdverbindungen werden hier außer Acht gelassen.

4.1 Strom aus der Erde

Ströme durch die Erde lassen sich nicht durch das Vorhandensein von irgendwie geerdeten Produktionsanlagen beeinflussen. Durch den Erdwiderstand $R_{E\ 0-C}$ können beliebige Ströme fließen – etwa 50 Hz Wechselströme aus Niederspannungsanlagen. In TN-C Systemen werden Betriebsströme nicht nur durch den PEN-Leiter geführt, sondern auch über die Mehrfacherdungen des PEN-Leiters durch die Erde. Auch bei Blitzeinschlägen in der weiteren oder näheren Umgebung fließen Ströme durch das betroffene Erdreich. TN-C Systeme sind nicht Anlagen-EMV gerecht. Sie führen in Industrie 4.0 Produktionsanlagen zu unzulässigen Beeinflussungen – bis hin zum Produktionsausfall. Gleiches gilt für TN-C-S Systeme. [4, 6]

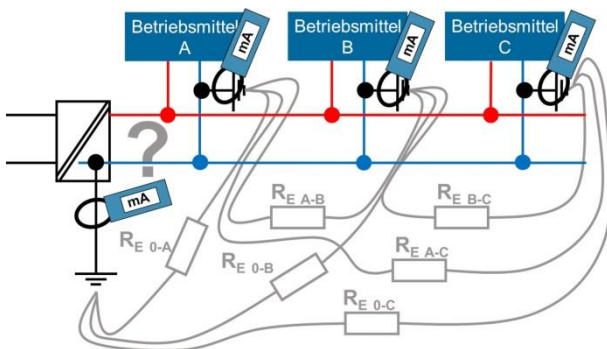


Bild 4: Ströme zwischen Bezugspotentialleitern und Erdungsanlage können mit Stromzangen jederzeit ohne Eingriff in die Verdrahtung offenbart werden.

Moderne TN-C-S Systeme mit **isoliert geführten** PEN-Leitern und Zentralem Erdungspunkt (ZEP) sind die zukunftsfähige Alternative.

Nach Reduzierung auf eine Erdverbindung $R_{E\ 0-C}$ in Bild 3 zeigt **Bild 4** wieder das vollständige Ersatzschaltbild. Die für die Verbindung zwischen Stromversorgungs-erdung und Betriebsmittel C anzunehmenden Beeinflussungen treten gleichermaßen in den anderen Erdverbindungen auf. So können an jeder Erdung des Bezugspotentials parasitäre Teilströme in das Stromversorgungssystem ein- und aus-

treten und an den Leitungsimpedanzen unerwartete Beeinflussungen hervorrufen.

Abhängig von der Stromanstiegsgeschwindigkeit und Amplitude der in die Leitungen galvanisch eingekoppelten Ströme entstehen Spannungsüberhöhungen vielleicht von einigen 100 mV bis hin zu Werten im Kilovolt-Bereich. Funktionsbeeinflussungen, Störungen, Zerstörungen oder gar komplette Ausfälle werden nicht auszuschließen sein.

4.2 Strom in die Erde

Über die gleichen Erdverbindungen dringen aus der Gleichstromversorgung Ströme in die Erdungsanlage ein. Aus den geerdeten Verbindungsknoten des Bezugspotentials fließt ein Teil des Gleichstromes über die durch Mehrfacherdung entstandenen parallel geschalteten Wege der Erdungsanlage. Im Betrieb fällt dies nicht sofort auf.

Temporäre Strommessungen an elektrisch passiven Systemen in der Nähe solcher Anlagen offenbaren Gleichströme in diesen. Korrosionserscheinungen an Materialübergängen an den Armaturen zeigen, dass dort Gleichströme fließen.

4.3 Beeinflussungsströme auch bei ausgeschalteter Produktionsanlage

Diese Beeinflussungen aus der Erdungsanlage wirken nicht nur bei eingeschalteter Anlage, sondern auch bei ausgeschaltetem System. Die beschriebenen Beeinflussungen treten auch bei längeren Produktionsstillständen auf.

5 Mehrfacherdungen suchen, finden und dauerhaft beseitigen

Nachstehend wird eine praxisgerechte Vorgehensweise beschrieben, die mit einfachen Messmitteln die zuvor beschriebenen Mängel aufdeckt. [7]

5.1 Mehrfacherdungen zufällig entstanden oder beabsichtigt?

Zunächst muss sichergestellt sein, dass vorhandene Mehrfacherdungen tatsächlich als Mangel zu bewerten sind. Ein detaillierter Austausch mit dem Anlagenplaner insbesondere in Bestandsanlagen verschafft darüber Klarheit. Vor irgendwelchen Eingriffen in die Erdung ist ein einvernehmliches Miteinander für die anstehenden verfügbarkeitserhöhenden Maßnahmen zu schaffen.

5.2 Im laufender Betrieb offenbaren sich Mängel

Für die weitere Vorgehensweise ist es auch aus den Erfahrungen des Autors erforderlich, dass sich die Produktionsanlage im bestimmungsgemäßen Betrieb befindet. Reine Widerstandsmessungen an ausgeschalteten Anlageteilen führen selten zu verwertbaren Ergebnissen.

5.3 Einfache Stromzangen genügen

Stromzangen für DC und AC mit mindestens einem Messbereich im unteren mA-Bereich haben sich bewährt. Preiswerte Immer-dabei-Betriebsmessgeräte erfüllen vollauf ihren Zweck. Geübte Fehlersucher verwenden an einer Messstelle gleichzeitig eine Zange für Wechselstrom und eine für Gleichstrom. Große 1000 A Zangen sind für diese Messungen eher weniger geeignet.

5.4 Bildgebende Messmittel – nicht nur für den Profi

Mobile Oszilloskope mit Zangen für kleine Ströme (Signalfrequenzen von DC bis etwa in den zig kHz Bereich) stellen Strom- und Spannungsverläufe bildhaft dar. So lässt sich im Verlauf periodisch wiederkehrender Betriebsabläufe feststellen, ob irgendwelche Auffälligkeiten bestimmten Betriebsmitteln zugeordnet werden können. Die Bewertung der zeitlichen Verläufe der Ströme durch die Verbindungsleitungen zwischen Minuspol und Erde sowie weitere von diesen speziellen Messgeräten aufbereitete elektrische Kennwerte liefern ergänzende Fakten für eine tiefgehende Analyse der Ist-Situation. Erfahrungsgemäß sind die oben beschriebenen einfachen Stromzangen in der Hand einer geübten Elektrofachkraft für einen ersten Überblick vollauf ausreichend.

5.5 Ohne Eingriff in die Installation berührungslos messen

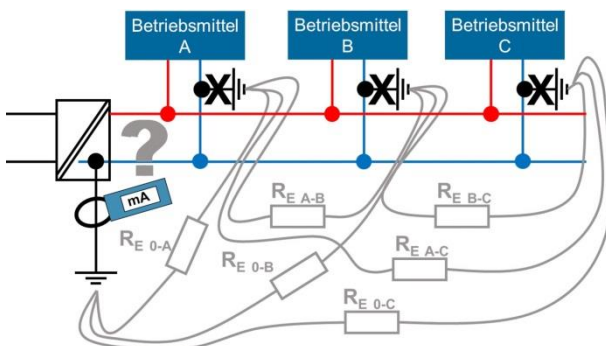
In Abstimmung mit den Betriebsverantwortlichen und unter Beachtung der Sicherheitsregeln werden nun mit einer Stromzange die mit dem Produktionsablauf wechselnden Stromwerte durch die vorhandene Erdungsverbinding ermittelt.

5.5.1 Wechselströme messen

In kompakten Anlagensituationen wird der gemessene Wechselstrom einen nur leicht schwankenden Wert von etwa einigen zig Milliampere bis zu einigen hundert Milliampere annehmen. Diese Wechselströme stellen sich auf Grund der durch Leitungs- und Gerätekapazitäten, Filterkondensatoren sowie weitere EMV Maßnahmen gebildeten Systemkapazitäten ein. Aus diesem Messwert lassen sich unter anderem Hinweise zur Verbesserung des örtlichen Potentialausgleichs ableiten. Eine im laufenden Betrieb durchgeführte reine Wechselstrommessung lässt erfahrungsgemäß keine zuverlässigen Rückschlüsse auf möglicherweise vorhandene Mehrfacherdungen zu.

5.5.2 Gleichströme messen

Der Gleichstromanteil wird in Abhängigkeit vom Produktionsablauf mehr oder weniger stark schwanken. Die zugehörigen Betriebsströme führen zu unterschiedlichen Stromanteilen in Bezugspotential-Leitungen und in Zweigen von Mehrfacherdungen. Der DC-Anteil in Leitungen zwischen Bezugspotential und Erde ist Indiz für Mehrfacherdungen oder gravierende Isolationsfehler des geerdeten Minuspols. Der DC-Anteil fließt ausschließlich über ohmsche Verbindungswege. Unter Beobachtung des Gleichstromwertes am Messmittel an der Verbindungsleitung zwischen Minuspol und Erde werden, wie in **Bild 5** dargestellt, nacheinander die vorhandenen Verbindungsleitungen zwischen Minuspol und Erde an den Betriebsmitteln A, B und C entfernt. Der Gleichstromwert wird sich bei jeder Modifikation verändern.



Eine genaue Berechnung der einzelnen Impedanzen der Leitungswege des Stromversorgungssystems und der hierzu parallel überlagerten Erdwiderstände des Erdungs- und Potentialausgleichs-Netzwerkes sowie die sich hieraus ergebenden Teilströme ist für den praktischen Gebrauch nicht erforderlich. Die Beobachtung der Strommesswerte genügt.

Bild 5: Nacheinander werden die einzelnen Verbindungen des Bezugspotentials mit der lokalen Erde entfernt.

5.6 Modifikationen nachvollziehbar dokumentieren

Die jeweiligen Arbeitsschritte sind zu protokollieren. So sollten die gemessenen Stromwerte in Abhängigkeit vom Betriebszustand der Anlage vor und nach vorzunehmenden Abänderungen in der Verdrahtung festgehalten werden. Fotodokumentationen ergänzen die aufgenommenen Messwerte.

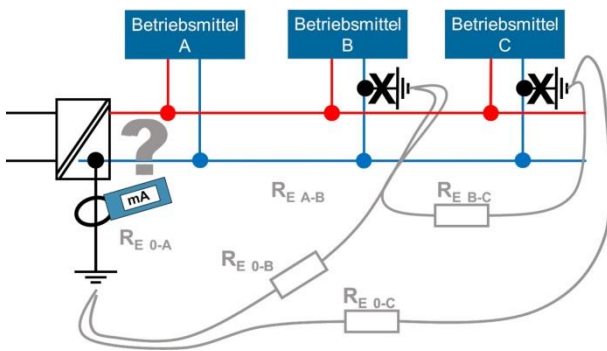


Bild 6: Die Erdverbindung zwischen Stromversorgung und Betriebsmittel A ist hier bereits entfernt.

Wird am Betriebsmittel C auch die letzte aus Anlagen-EMV Gründen unzulässige Verbindung zwischen Minuspol und Erde entfernt, so wird, wie in **Bild 8** dargestellt, der in der Erdverbindungsleitung am Versorgungsgerät gemessene Gleichstromwert auf null sinken.

Schritt um Schritt werden die zum Bezugspotentialleiter parallel liegenden unzulässigen Erdverbindungen entfernt. In **Bild 6** ist bereits am Betriebsmittel A die Verbindung zwischen Minuspol und Erde entfernt. **Bild 7** zeigt den Zustand nach der Entfernung der Brücke auch am Betriebsmittel B.

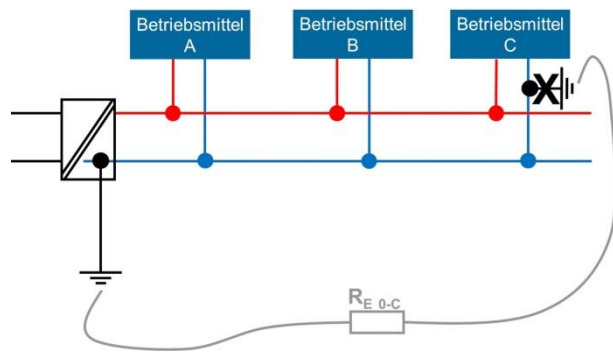


Bild 7: Am Betriebsmittel B ist die Masse-Erde Brücke ebenfalls entfernt.

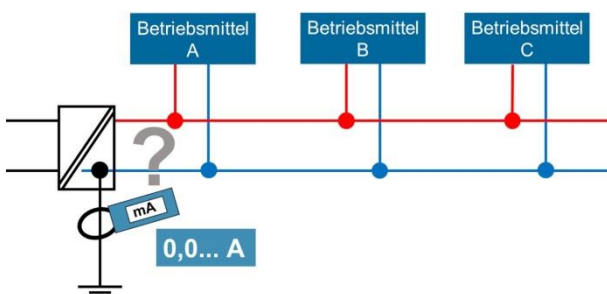


Bild 8: Alle ungeplanten Mehrfacherdungen sind beseitigt. Es fließt kein Gleichstrom mehr.

5.7 Nur in geschlossenen Maschen fließt Strom

Bei nur an einer einzigen Stelle geerdetem Minuspol gibt es keine geschlossenen Stromwege mehr. Ein EMV-sauberer Zustand ist erreicht.

Hinweis: Geräteinterne Erdverbindungen oder EMV-Schutzbeschaltungen lassen trotz Entfernung sichtbarer Mehrfacherdungen noch Erdungsleitungsströme zu. Hierbei ist es nicht unbedingt erforderlich, auf einen Gleichstromwert von 0 mA hin zu arbeiten. Ziel ist es, den Gleichstromanteil im Vergleich zum Ausgangswert deutlich zu reduzieren, etwa von einigen 1000 mA auf Werte von unter 100 mA.

5.8 Produktionsanlage auf Dauer ohne unzulässige Brücken

Für den weiteren Betrieb solchermaßen modifizierter Verdrahtungen der 24 V Versorgung ist es wichtig, den durch diese Maßnahme erreichten EMV-sauberen Zustand für die Restnutzungsdauer der Anlage möglichst sicher aufrecht zu halten.

5.8.1 Strom in Erdungsleitung permanent überwachen

Zur verlässlichen Erlangung dieses Zieles ist es obligatorisch, diese einzige bestimmungsgemäß vorhandene Erdungsleitung dauerhaft zuverlässig auf Stromfluss zu überwachen. So werden unzulässige Erdungen oder andere Isolationsmängel sofort erkannt und gemeldet. Situationsgerechte Wartungsmaßnahmen können im laufenden Betrieb zeitnah umgesetzt werden.

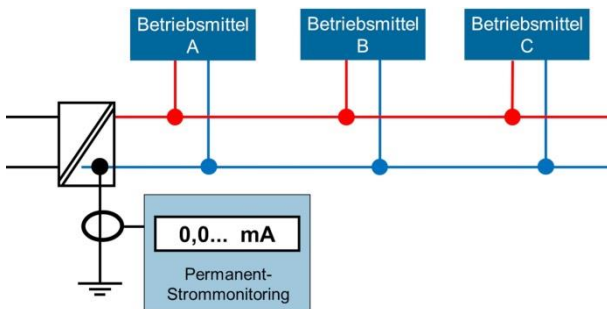


Bild 9: Der Isolationszustand des geerdeten Steuerspannungssystems wird dauerhaft überwacht.

Ein solches permanent wirkendes Strommonitoring System ist in **Bild 9** dargestellt. Es offenbart in Echtzeit Verschlechterungen des Isolationszustands. Abhängig von anlagenspezifisch wählbaren Schwellwerten werden Wartungsmaßnahmen unterschiedlicher Eskalationsgrade aktiviert. Das Messsystem ist ein reines DC-System oder ein allstromsensitives. Eine alleinige AC-Messung ist nicht ausreichend.

So werden Ausfallrisiken aufgrund von Isolationsfehlern rechtzeitig im laufenden

Betrieb erkannt. Plötzlichem Produktionsanlagen-Ausfall wird vorgebeugt.

Bei mehreren geerdeten 24 V Versorgungen ist nur ein Monitoringsystem erforderlich. Die zentrale Systemerdung erfolgt dort, wo alle Minuspotentiale zusammengeführt werden. So ergibt sich ähnlich wie in Niederspannungsanlagen am ZEP ein zentraler Erdungspunkt. Beide dürfen nicht miteinander verwechselt werden.

5.8.2 Auf der Lauer – auch bei Stillstand

Sofern Isolationsfehler auch während Stillstandzeiten detektiert werden sollen, ist das dort einzubringende Monitoringsystem autark zu betreiben, etwa durch Anschluss auf der speisenden Seite des Anlagenhaupt Schalters.

6 Isolationsmessung in geerdeten 24 V DC Stromversorgungen erforderlich

An dieser Stelle soll ein eng mit zuvor beschriebenen Problemen aus Mehrfacherdungen des Minuspols verbundener Aspekt beleuchtet werden: Isolationsmessungen in geerdeten 24 V Stromversorgungen.

6.1 Bei 24 V Gleichspannung muss doch keine Isolation gemessen werden ...

Weit verbreitete Praxis ist, dass geerdete 24 V Systemgleichspannungen keinen Isolationsmessungen unterzogen werden, bevor sie in Betrieb gehen. Auch bei wiederkehrenden Prüfungen werden dort keine Isolationsmessungen vorgenommen.

Für viele Elektrofachkräfte scheint die in Starkstromanlagen obligatorische Isolationsmessung (DIN VDE 0100-600 (VDE 0100-600):2008-06) [5] keine Bedeutung in 24 V DC-Versorgungen zu haben. Die meisten Errichter und Prüfer vertrauen darauf, dass nur das sein kann und sein darf, was im Schaltplan steht oder was von eigener Hand

verdrahtet worden ist. Dass die wirkliche Welt manche Überraschungen bereit hält, ist zuvor ausführlich beschrieben worden.

Sorge vor möglicher Zerstörung empfindlicher Betriebsmittel oder Unsicherheit bei der Durchführung einer Isolationsmessung in 24 V Systemen scheinen bei vielen Elektrofachkräften Grund dafür zu sein, keine Isolationsmessungen durchzuführen.

Anderen fehlt es vielleicht an ausreichender Sensibilisierung, auch in geerdeten 24 V Systemen diese Messung ernst zu nehmen. Weitere sehen einen Widerspruch zwischen geerdeten Steuerspannungen und Isolationsmessungen.

Der kompetenten Elektrofachkraft erschließen sich nicht nur die oben beschriebenen Zusammenhänge, sondern auch Fragen zur Isolationsfestigkeit einzelner Betriebsmittel. Jede neben der gewollten ersten Erdverbindung in der Nähe der Stromversorgung eingebrachte weitere Erdung verschlechtert insbesondere die Widerstandsfähigkeit des Gesamtsystems gegen dynamische Stoßbeaufschlagungen aus der Erdungsanlage mit weiteren Ausfallursachen. Detaillierte Betrachtungen hierzu werden in diesem Beitrag nicht weiter ausgeführt.

6.2 Isolationsmessungen sind einfach durchzuführen

Bild 10 zeigt, wie einfach und unkompliziert für die Elektrofachkraft und wie ungefährlich für die Betriebsmittel der Anlage Isolationsmessungen in 24 V Systemen sind.

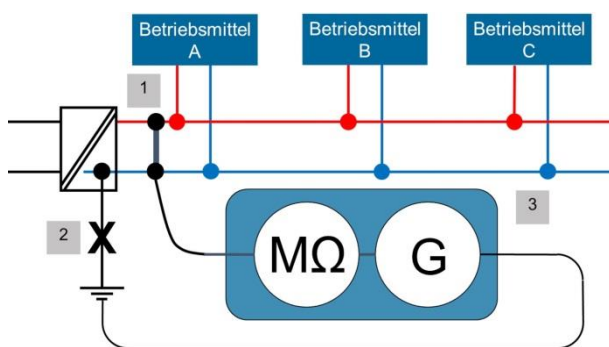


Bild 10: Durchführung einer Isolationsmessung an 24 V Stromversorgungssystemen.

Die einzelnen Arbeitsschritte zur fachgerechten Isolationsmessung sind verständlich und überschaubar. Bei ausgeschalteter Versorgung werden Plus- und Minus-Leitungen der Stromversorgung vorübergehend untereinander kurzgeschlossen (1). Zuvor sollte die speisende Spannung abgeschaltet werden. Hieran anschließend wird in Bestandsanlagen die bereits eingelegte Erdung am Minuspol oder am Erdungsanschluss geöffnet (2) oder die Leitung heraus genommen.

Daran anschließend wird ein herkömmliches Isolationsmessgerät zwischen der kurzgeschlossenen Stromversorgung und Erde angeschlossen. [5]

Am Messgerät wird eine Prüfspannung von 250 V oder 500 V DC eingestellt. Danach wird die Isolationsmessung durchgeführt.

Sofern der ermittelte Isolationswiderstand oberhalb des geforderten Mindestwertes liegt, wird dieser Wert dokumentiert und die Prüfung abgeschlossen. Bei 250 V sollte der Isolationswiderstand größer als 500 kΩ sein. [5] Bei nicht ausreichenden Isolationswiderstandswerten muss der Mangel behoben werden. Eine erneute Messung muss einen akzeptablen Zustand bestätigen. Erst danach darf die Anlage in Betrieb genommen werden. Geringere Isolationswiderstandswerte sind anlagenspezifisch individuell zu bewerten. So können etwa komplexe Anlagenteile in kleinere Einheiten untergliedert werden. Nach Protokollierung des Messwertes wird das Messgerät abgenommen, die Kurzschlussbrücke entfernt und die Erdung wieder hergestellt. Danach ist der geprüfte Anlagenteil bereit für die Inbetriebnahme.

Der Zeitbedarf für eine solche Prüfung beträgt lediglich wenige Minuten – im Vergleich zu Folgekosten eines Produktionsstillstandes ein zu vernachlässigender Aufwand.

6.3 Klare Verhältnisse von Anfang an

In komplexen Anlagen werden so einzeln geprüfte Anlagenteile zusammen gefügt. Abschließend wird für die gesamte Anlage zuvor beschriebene Messung durchgeführt. Der ermittelte Wert dient als Referenzwert für nachfolgende Messungen.

Im Vergleich von Anlagen mit nicht durchgeführten Isolationmessungen in den 24 V Systemen zu solchen mit vorliegenden Isolationswiderstands-Messwerten steht bei letzteren einer hohen Verfügbarkeits-Wahrscheinlichkeit nichts mehr im Weg.

7 Ausblick

Werden in Industrie 4.0 Produktionsanlagen geerdete 24 V DC Stromversorgungen betrieben, so ist bei hohem Verfügbarkeitsanspruch eine aktuelle Kenntnis der Isolationsqualität dieser Systeme erforderlich. Mit der ersten Mehrfacherdung des Bezugspotentials kann das Eindringen beliebiger systemfremder Ströme nicht mehr ausgeschlossen werden. Fachgerechtes Arbeiten schließt dokumentierte Isolationmessungen ohne Wenn und Aber ein.

Auch in Bestandsanlagen kann während des laufenden Betriebes ohne Eingriff in die Installation ein in diesem Sinn Anlagen-EMV sauberer Zustand herbeigeführt werden.

Permanentstrommonitoring-Systeme liefern dauerhafte Verfügbarkeitstransparenz des momentanen Isolationszustandes. Praxisgerecht skalierte Warnmeldungen ermöglichen zustandsbasierte Wartungsarbeiten, bevor Beeinflussungen aus der Erdungsanlage ohne Vorwarnung zu Störungen oder Produktionsausfall führen.

Alle hier genannten Aussagen gelten auch für Anlagen mit mehreren 24 V DC Versorgungen, insbesondere für solche, die keinen gemeinsamen zentralen Erdungspunkt aufweisen. Die genannten Maßnahmen sind dann sinngemäß anzuwenden.

Ein rechtzeitiges Hinterfragen bisher gelebter Praxis und konsequentes Umdenken im in diesem Beitrag beschriebenen Sinn lohnt sich in jedem Fall. Und dies nicht nur bei Industrie 4.0 Produktionsanlagen.

8 Literatur

- [1] DIN EN 60201-1(VDE 0113-1):2007-06
Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 1:
Allgemeine Anforderungen
- [2] IEC 60204-1:2014-10: Safety of machinery - Electrical equipment of machines -
Part 1: General requirements. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [3] BGETEM DGUV Vorschrift 3, i. d. Fassung vom 01.01. 1997
- [4] DIN VDE 0100-444 (VDE 0100-444):2010-10 Errichten von
Niederspannungsanlagen – Teil 4-444:Schutzmaßnahmen – Schutz bei
Störspannungen und elektromagnetischen Störgrößen
- [5] DIN VDE 0100-600 (VDE 0100-600):2008-06
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 6: Prüfungen
- [6] Wolff, G.K.: Gestiegene Anforderungen an Anlagenverfügbarkeit erfordern
Gewerke-übergreifendes Umdenken beim Aufbau der Gebäude-Elektro-
infrastruktur, in: Elektromaschinen und Antriebe 2013: de-Jahrbuch, , Hüthig
GmbH, Heidelberg
- [7] Wolff, G. K.: 24 V DC Stromversorgungen erden – aber richtig, in: Elektro-
maschinen und Antriebe 2014: de-Jahrbuch, Hüthig GmbH, Heidelberg