

***Funktionspotentialausgleich und Schirmung
von PROFIBUS und PROFINET***

***Guideline
for PROFIBUS and PROFINET***

Version 3.1 – Datum Sep. 2022

Order No.: 8.101

File name: Erdung-Schirmung_8101_V31_Sep22.docx

Prepared by PI Working Group PG3 "Installation Guide PB&PN" in Committee B "PROFINET".

The attention of adopters is directed to the possibility that compliance with or adoption of PI (PROFIBUS International) specifications may require use of an invention covered by patent rights. PI shall not be responsible for identifying patents for which a license may be required by any PI specification, or for conducting legal inquiries into the legal validity or scope of those patents that are brought to its attention. PI specifications are prospective and advisory only. Prospective users are responsible for protecting themselves against liability for infringement of patents.

NOTICE:

The information contained in this document is subject to change without notice. The material in this document details a PI specification in accordance with the license and notices set forth on this page. This document does not represent a commitment to implement any portion of this specification in any company's products.

WHILE THE INFORMATION IN THIS PUBLICATION IS BELIEVED TO BE ACCURATE, PI MAKES NO WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, WITH REGARD TO THIS MATERIAL INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO ANY WARRANTY OF TITLE OR OWNERSHIP, IMPLIED WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR WARRANTY OF FITNESS FOR PARTICULAR PURPOSE OR USE.

In no event shall PI be liable for errors contained herein or for indirect, incidental, special, consequential, reliance or cover damages, including loss of profits, revenue, data or use, incurred by any user or any third party. Compliance with this specification does not absolve manufacturers of PROFIBUS or PROFINET equipment, from the requirements of safety and regulatory agencies (TÜV, BIA, UL, CSA, FCC, IEC, etc.).

PROFIBUS® and PROFINET® logos are registered trade marks. The use is restricted to members of PROFIBUS&PROFINEWT International. More detailed terms for the use can be found on the web page <http://www.profibus.com/download/presentations-logos/>.

Herausgeber:
PROFIBUS Nutzerorganisation e.V.
Haid-und-Neu-Str. 7
76131 Karlsruhe
Germany
Phone: +49 721 / 986 197 0
Fax: +49 721 / 986 197 11
E-mail: info@profibus.com
Web site: www.profibus.com

© Alle Rechte vorbehalten, auch das des Nachdrucks, der Wiedergabe (Fotokopie, Mikrofilm), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, sowohl auszugsweise als auch vollständig.

Revision log

Version	Datum	Editor	Änderungen/History
1.0	März 2019	Niemann	Erste veröffentlichte Version
1.1 bis 1.5	---	Niemann	Interne Versionen
1.6	18.05.2020	Niemann	Review-Version für Erweiterungen
1.7	19.06.2020	Niemann	Review Kommentare eingearbeitet
1.8	30.06.2020	Niemann	Version erzeugt während der WG Sitzung vom 29.06.2020
1.9	09.07.2020	Niemann	Überarbeitung KHN
2.1	20.07.2020	Niemann	Letzte Änderungen vor WG Review
2.2	06.09.2020	Niemann	Finalisierung: Änderungen angenommen, Review Kommentare entfernt. Warnhinweis Ex ergänzt
2.3	07.09.2020	Niemann	Ausschluss der Haftung aktualisiert.
2.4	14.10.2020	Niemann	Behebung kleinerer, editorieller Fehler
2.6	16.02.2021	Niemann	Einarbeiten des Kapitels Schirmstrommessung
3.0	31.07.2022	Niemann	Übernahme der Änderungen bzgl. APL von der englischen in die deutsche Version
3.1	23.09.2022	Niemann	Vorbereitung zur Freigabe

Ausschluss der Haftung

Die PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (nachfolgend „PNO“) hat in diesem Dokument Informationen mit größtmöglicher Sorgfalt eingebracht und diese zusammengestellt. Dennoch ist dieses Dokument, basierend auf dem jetzigen Kenntnisstand, nur informierend und wird auf Basis eines Haftungsausschlusses zur Verfügung gestellt. Das Dokument kann in der Zukunft Änderungen, Erweiterungen oder Korrekturen unterliegen, ohne dass ausdrücklich darauf hingewiesen wird.

Dieses Dokument hat keinen normativen Charakter. Es kann in bestimmten Einsatzumgebungen, in bestimmten technischen Konstellationen oder beim Einsatz in bestimmten Ländern sinnvoll sein, von den gegebenen Handlungsempfehlungen abzuweichen. Errichter und Betreiber der Anlage sollten in diesem Fall die Vor- und Nachteile der gemachten Empfehlungen in der konkreten Anwendung abwägen und, sofern als sinnvoll erachtet, gegebenenfalls die Umsetzung einer abweichenden Lösung beschließen.

Der Nutzer darf die Informationen zu keiner Zeit an Dritte vertrieben, vermietet oder in sonstiger Weise überlassen werden.

Eine Haftung der PNO für Sach- und Rechtsmängel der bereitgestellten Informationen, insbesondere für deren Richtigkeit, Fehlerfreiheit, Freiheit von Schutz- und Urheberrechten Dritter, Vollständigkeit und/oder Verwendbarkeit – außer bei Vorsatz, grober Fahrlässigkeit oder Arglist – ausgeschlossen. Im Übrigen ist jegliche Haftung der PNO ausgeschlossen, soweit nicht z.B. wegen Verletzung des Lebens, des Körpers oder Gesundheit, wegen Vorsatzes oder grober Fahrlässigkeit oder wegen der Verletzung wesentlicher Vertragspflichten zwingend gehaftet wird.

Management Summary

Dieses Dokument befasst sich mit dem Funktionspotentialausgleich und der Schirmung von PROFIBUS-/PROFINET-Netzwerken sowie dem Potentialausgleich in den zugehörigen Anlagen. Dieses Dokument befasst sich mit einem optimierten Aufbau von Automatisierungstechnischen Anlagen, um die Auswirkungen elektromagnetischer Störungen, sowie Störungen über Potentialausgleichssysteme zu reduzieren. In einem mehrstufigen Ansatz werden die Leser zunächst Grundlagen zu den Themen elektromagnetische Verträglichkeit, Potentialausgleich und Schirmung vertraut gemacht. Anschließend werden in Kapitel 4 sechs Handlungsempfehlungen anhand einer Beispielanlage hergeleitet. In Kapitel 5 wird außerdem auf zusätzliche Anforderungen der Prozessindustrie eingegangen.

Die Handlungsempfehlungen für die Fertigungsindustrie befinden sich in der nachfolgenden Tabelle.

F1	Kombinierten Schutz- und Funktionspotentialausgleich vorsehen (CBN).
F2	230/400 V-Netzversorgung vorzugsweise als TN-S-System aufbauen.
F3	Kombiniertes Potentialausgleichssystem (Common Bonding Network CBN) möglichst fein vermascht ausführen (MESH-BN).
F4	PROFIBUS-/PROFINET-Leitungsschirme an beiden Enden mit großflächigem Kontakt (geringer Impedanz) der Steckverbindergehäuse mit dem Gehäuse der Geräte und dadurch mit dem Common Bonding Network (CBN) verbinden.
F5	<ul style="list-style-type: none"> • Geschirmte Motorleitungen gemäß Herstellerangaben verwenden und Kabelschirm beidseitig und großflächig mit dem Common Bonding Network (CBN) verbinden (geringe Impedanz). • Motor mit dem Common Bonding Network (CBN) verbinden. • Sofern ungeschirmte Motorleitungen verwendet werden, sollten Filter am Ausgang des Frequenzumrichters eingesetzt werden. • Sofern vom Hersteller des Frequenzumrichters nicht ausgeschlossen, vorzugsweise symmetrische geschirmte dreiadrige Motorleitungen mit separat geführtem Schutzleiter einsetzen. • Die Vorgaben des Herstellers des Frequenzumrichters sollten in jedem Fall geprüft und beachtet werden.
F6	<ul style="list-style-type: none"> • Mehrfache Verbindungen von 24-V-Stromkreisen mit dem Common Bonding Network (CBN) sind zu vermeiden. • Um die Leitung zwischen Netzteil und Verbraucher möglichst kurz zu halten empfiehlt es sich, mehrere kleine Netzteile an Stelle eines großen Netzteils einzusetzen.

Die Handlungsempfehlungen für die Prozessindustrie befinden sich in der nachfolgenden Tabelle.

P1	Kombinierten Schutz- und Funktionspotentialausgleich vorsehen (CBN).
P2	230/400 V-Netzversorgung vorzugsweise und im Ex-Bereich auf jeden Fall als TN-S-System aufbauen.
P3	<ul style="list-style-type: none"> • Kombiniertes Potentialausgleichssystem (Common Bonding Network CBN) möglichst fein vermascht ausführen (MESH-BN). • Zwischen Hallengrenzen eine Potentialtrennung oder ein durchgängiges CBN vorgesehen. • CBN innerhalb und außerhalb von Ex-Bereich durchgängig ausführen. • Im Ex-Bereich elektrische und fremde leitfähige Teile mit CBN sicher verbinden.
P4	<ul style="list-style-type: none"> • Außerhalb des Ex-Bereiches und innerhalb des Ex-Bereiches bei in hohem Grade sichergestellten Potentialausgleich sind PROFIBUS-/PROFINET-Leitungsschirme an beiden Enden mit großflächigem Kontakt der Steckverbindergehäuse mit dem Gehäuse der Geräte und dadurch mit dem Common Bonding Network (CBN) zu verbinden. • Im Ex-Bereich bei nicht in hohem Grade sichergestellten Potentialausgleich Schirm einseitig oder einseitig und mit Kondensator (max. 10 nF) am anderen Ende auflegen.
P5	<ul style="list-style-type: none"> • Geschirmte Motorleitungen verwenden und Kabelschirm beidseitig und großflächig mit dem Common Bonding Network (CBN) verbinden, im Ex-Bereich fachgerechte Schirmauflage sicherstellen. • Bei Verwendung ungeschirmter Motorleitungen Filter am Umrichter-ausgang vorsehen. Siehe hierzu auch die Empfehlungen der Richtlinie NAMUR NE 108. • Motor mit dem Common Bonding Network (CBN) verbinden. Siehe hierzu auch Kapitel 4.3

	<ul style="list-style-type: none">• Sofern vom Hersteller des Frequenzumrichters nicht ausgeschlossen, vorzugsweise symmetrische dreiadrige Motorleitungen mit separat geführtem Schutzleiter einsetzen. Siehe hierzu auch Kapitel 4.5• Die Vorgaben des Herstellers des Frequenzumrichters sollten in jedem Fall geprüft und beachtet werden.
P6	<ul style="list-style-type: none">• Mehrfache Verbindungen von 24-V-Stromkreisen mit dem Common Bonding Network (CBN) sind zu vermeiden und im Ex-Bereich nicht zulässig.• Um die Leitung zwischen Netzteil und Verbraucher möglichst kurz zu halten empfiehlt es sich, mehrere kleine Netzteile an Stelle eines großen Netzteils einzusetzen. Details siehe Kapitel 4.6.

Inhaltsverzeichnis

REVISION LOG	3
AUSSCHLUSS DER HAFTUNG	4
MANAGEMENT SUMMARY	5
1 EINLEITUNG	16
1.1 EINFÜHRUNG IN DAS THEMA / PROBLEMSTELLUNG	16
1.2 ZIEL DIESES DOKUMENTS.....	18
2 GRUNDLAGEN EMI	19
2.1 KOPPLUNGEN.....	20
2.1.1 Galvanische Kopplungen.....	21
2.1.2 Kapazitive Kopplungen.....	24
2.1.3 Induktive Kopplungen	25
2.1.4 Strahlungskopplungen	25
2.2 ELEKTROSTATISCHE ENTLADUNG	26
2.3 TYPISCHE STÖRQUELLEN IN AUTOMATISIERUNGSTECHNISCHEN ANLAGEN.....	27
3 GRUNDLAGEN FÜR POTENTIALAUSGLEICH UND SCHIRMUNG	28
3.1 LEITUNGSSCHIRMUNG.....	28
3.1.1 Passive Schirmwirkung.....	28
3.1.2 Aktive Schirmwirkung.....	29
3.2 POTENTIALAUSGLEICH.....	31
3.2.1 Schutzleiter (PE)	31
3.2.2 Schutzpotentialausgleich	31
3.2.3 Funktionspotentialausgleich	33
4 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR EINE STÖRUNGSARME AUSLEGUNG VON PROFIBUS- UND PROFINET- NETZWERKEN	34
4.1 VERBINDUNG VON SCHUTZ- UND FUNKTIONSPOTENTIALAUSGLEICH.....	36
4.1.1 Problembeschreibung	36
4.1.2 Lösungen aus Normen und Fachliteratur	37
4.1.3 Empfehlungen für PROFIBUS und PROFINET.....	37
4.2 AUFBAU DER 230V/400V NETZVERSORGUNG.....	38
4.2.1 Problembeschreibungen	40
4.2.1.1 Netzversorgung als TN-C-System	40
4.2.1.2 Netzversorgung als TN-C-S-System	44
4.2.1.3 Netzversorgung als TN-S-System.....	47
4.2.2 Beschreibung der Normen und Fachliteratur	51
4.2.3 Empfehlungen für PROFIBUS und PROFINET.....	52
4.3 POTENTIALAUSGLEICHSSYSTEM.....	54
4.3.1 Problembeschreibung	55
4.3.2 Lösungen aus Normen und Fachliteratur	62

4.3.3	<i>Empfehlungen für PROFIBUS und PROFINET</i>	65
4.4	ANSCHLUSS DER PROFIBUS- UND PROFINET-LEITUNGSSCHIRME	74
4.4.1	<i>Problembeschreibung mit Lösungen aus Normen und Fachliteratur</i>	74
4.4.2	<i>Empfehlungen für PROFIBUS und PROFINET</i>	77
4.5	MOTORLEITUNGEN	78
4.5.1	<i>Problembeschreibung</i>	78
4.5.1.1	Kapazitive Kopplungen in Motorleitungen	79
4.5.1.2	Induktive Kopplungen in Motorleitungen	80
4.5.2	<i>Lösungen aus Normen und Fachliteratur</i>	82
4.5.3	<i>Empfehlungen für PROFIBUS und PROFINET</i>	85
4.6	ANBINDUNG DES MINUSPOLS EINER 24-V-VERSORGUNG AN DAS CBN.....	87
4.6.1	<i>Problembeschreibung</i>	89
4.6.1.1	Verbindung von 24-V-Versorgungsstromkreisen zum CBN Fall 1.....	90
4.6.1.2	Verbindung von 24-V-Versorgungsstromkreisen zum CBN Fall 2.....	91
4.6.1.3	Verbindung von 24-V-Versorgungsstromkreisen mit dem CBN Fall 3	92
4.6.2	<i>Lösungen aus Normen und Fachliteratur</i>	92
4.6.3	<i>Empfehlungen für PROFIBUS und PROFINET</i>	93
5	HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DIE PROZESSINDUSTRIE	95
5.1	VERBINDUNG VON SCHUTZ- UND FUNKTIONSPOTENTIALAUSGLEICH.....	96
5.2	AUFBAU DER 230V/400V NETZVERSORGUNG.....	97
5.3	POTENTIALAUSGLEICHSSYSTEM.....	97
5.4	ANSCHLUSS DER PROFIBUS- UND PROFINET-LEITUNGSSCHIRME	101
5.5	MOTORLEITUNGEN	105
5.6	ANBINDUNG DES MINUSPOLS EINER 24-V-VERSORGUNG AND DAS CBN.....	106
6	ZUSAMMENFASSUNG DER HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR EINE STÖRUNGSARME AUSLEGUNG VON PROFIBUS- UND PROFINET-NETZWERKEN	107
6.1	FERTIGUNGSINDUSTRIE	109
6.2	PROZESSINDUSTRIE	110
7	SCHIRMSTROMMESSUNG	112
7.1	BEDEUTUNG VON SCHIRMSTRÖMEN	112
7.2	MESSUNG VON SCHIRMSTRÖMEN	114
7.3	ABHILFEMAßNAHMEN BEI ZU GROßEN SCHIRMSTRÖMEN	115
7.4	BEDEUTUNG DER SCHLEIFENIMPEDANZ	116
7.5	MESSUNG DER SCHLEIFENIMPEDANZ	117
7.6	ABHILFE BEI ZU GROßER SCHLEIFENIMPEDANZ	118
8	VORSCHLAG FÜR MÖGLICHE ABNAHMEPRÜFUNGEN	119
9	LITERATURVERZEICHNIS	123
10	ANHANG A1 EMPFEHLUNGEN STROMMESSZANGE	126

This page is intentionally left empty

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Auswertung der Einsätze des Field Service Excellence von 2009-2014 [GÖH2015]	17
Abbildung 2.1: EMV Schnittstellen eines Gerätes nach [RUD2011]	19
Abbildung 2.2: Koppelstrecken	20
Abbildung 2.3: Galvanische Kopplung im Potentialausgleichssystem 1	21
Abbildung 2.4: Galvanische Kopplungen im Potentialausgleichssystem 2	22
Abbildung 2.5: Galvanische Kopplungen im Potentialausgleichssystem 3	22
Abbildung 2.6: Galvanische Kopplungen im Potentialausgleichssystem 4	23
Abbildung 2.7: Kapazitive Kopplung	24
Abbildung 2.8: Induktive Kopplung	25
Abbildung 3.1: Wiederholung kapazitive Kopplung.....	29
Abbildung 3.2: Aktive Schirmung mit einseitiger Funktionserdung	29
Abbildung 3.3: Induktion in den Leitungsschirm	30
Abbildung 4.1: Beispielanlage aus der Fertigungsindustrie	35
Abbildung 4.2: Netzsysteme	38
Abbildung 4.3: TN-C-S-System als Netzsystem	39
Abbildung 4.4: TN-C-System	40
Abbildung 4.5: TN-C-System mit Verbraucher.....	41
Abbildung 4.6: TN-C-System mit Verbraucher und Stromfluss.....	41
Abbildung 4.7: TN-C-System mit mehreren Verbindungen zum Potentialausgleichssystem	42
Abbildung 4.8: TN-C-System mit Mehrfacherdung, Verbraucher und Stromfluss.....	43
Abbildung 4.9: TN-C-S-System	44
Abbildung 4.10: Stromverlauf im TN-C-S-System	45
Abbildung 4.11: Stromverlauf im TN-C-S-System bei Mehrfacherdung.....	45

Abbildung 4.12: Stromverlauf im TN-C-S-System mit gezielter Mehrfacherdung am Schaltschrank	46
Abbildung 4.13: TN-S-System	47
Abbildung 4.14: TN-S-System mit Verbraucher	48
Abbildung 4.15: TN-S-System mit Verbraucher und Stromfluss	49
Abbildung 4.16: TN-S-System mit zwei PEN-Brücken	49
Abbildung 4.17: TN-S-System mit zwei PEN-Brücken, Verbraucher und Stromfluss	50
Abbildung 4.18: Ideales TN-S-System	53
Abbildung 4.19: Sternförmiger Potentialausgleich	54
Abbildung 4.20: Baumförmiger Potentialausgleich	55
Abbildung 4.21: Sternförmiger Potentialausgleich mit PROFIBUS-Leitungen	56
Abbildung 4.22: Sternförmiger Potentialausgleich mit PROFIBUS-Leitungen 2	57
Abbildung 4.23: Sternförmiger Potentialausgleich mit PROFIBUS-Leitungen 3	57
Abbildung 4.24: Maschen im sternförmigen Potentialausgleich	59
Abbildung 4.25: PROFIBUS- und Potentialausgleichsleitungen	60
Abbildung 4.26: Maschen mit PROFIBUS- und Potentialausgleichsleitungen	61
Abbildung 4.27: Potentialausgleichssysteme in Anlehnung an [DIN-EN 50310]	62
Abbildung 4.28: Vermaschtes Potentialausgleichssystem	63
Abbildung 4.29: Verbesserte Potentialausgleichssysteme in Anlehnung an [DIN-EN 50310]	64
Abbildung 4.30: Vermaschter Potentialausgleich	65
Abbildung 4.31: Ringleitungen im vermaschten Potentialausgleich	66
Abbildung 4.32: Stichleitungen des vermaschten Potentialausgleichs	67
Abbildung 4.33: Verbindungsblöcke (WPAK-Klemmen) (Bild Weidmüller)	68
Abbildung 4.34: Stichleitungen zu Geräten von der Ringleitung [GAI2015]	68
Abbildung 4.35: Vermaschung des Potentialausgleich über den Fundamenterder	69
Abbildung 4.36: Erdungsfestpunkte [DEH2016]	70

Abbildung 4.37: Masche durch einen Leitungsschirm im vermaschten Potentialausgleichssystem	71
Abbildung 4.38: Viele kleine Maschen im vermaschten Potentialausgleichssystem.....	72
Abbildung 4.39: Beispiel elektrostatische Entladung	73
Abbildung 4.40: Zusätzliche Anbindung des Leitungsschirms and das CBN vor einem PROFINET-Gerät	75
Abbildung 4.41: Mehrfache Verbindung der Schirmung einer PROFIBUS-Leitung mit dem CBN	76
Abbildung 4.42: Zusätzliche Erdung des Leitungsschirms [NIE2017].....	76
Abbildung 4.43: Geschirmte Motorleitung.....	78
Abbildung 4.44: Kapazitive Kopplungen in geschirmten Motorleitungen	79
Abbildung 4.45: Magnetfeldlinien in einer Motorleitung	80
Abbildung 4.46: Induktive Kopplung zwischen L1 und L2.....	80
Abbildung 4.47: Induktive Kopplungen in einer Motorleitung	81
Abbildung 4.48 Typische Installation eines Frequenzumrichters von [DAN2015].....	83
Abbildung 4.49: Antrieb mit Niederspannungsseinspeisung von [ABB2005]	84
Abbildung 4.50: Symmetrische Motorenleitungen als Empfehlung von [SIE2014]	85
Abbildung 4.51: 24-V-Versorgung in einer Fertigungsanlage	87
Abbildung 4.52: Vereinfachte Darstellung eines 24-V-Versorgungsstromkreises.....	88
Abbildung 4.53: Mehrfache Verbindungen zum CBN in einem 24-V-Versorgungsstromkreis.....	89
Abbildung 4.54: Verbindung von 24-V-Versorgungsstromkreisen zum CBN Fall 1	90
Abbildung 4.55: Verbindung von 24-V-Versorgungsstromkreisen zum CBN Fall 2	91
Abbildung 4.56: Verbindung von 24-V-Versorgungsstromkreisen mit dem CBN Fall 3 ..	92
Abbildung 4.57: Optimale Erdung von 24-V-Versorgungsstromkreisen.....	94
Abbildung 5.1: Beispielanlage aus der Prozessindustrie	96
Abbildung 5.2: Kupferkabel über Teilanlagengrenzen hinweg.....	98
Abbildung 5.3: Lichtwellenleiter über Teilanlagengrenzen hinweg	99

Abbildung 5.4: Durchgängiges CBN zwischen Teilanlagen	99
Abbildung 5.5: Beidseitige Auflegung von Kabelschirmen im Ex-Bereich für PROFIBUS PA.....	101
Abbildung 5.6: Beidseitige Auflegung von Kabelschirmen mit Kondensator im Ex-Bereich	102
Abbildung 5.7: Zündgefahr bei Isolationsfehlern und schlechtem Potentialausgleich..	103
Abbildung 7.1: Strom durch Schirmschleife, benötigt für Aktive Schirmwirkung gegen Magnetfelder.....	113
Abbildung 7.2: Aufteilung von Strom zwischen Potentialausgleichsleiter und Signalleitung	113
Abbildung 7.3: Messung von Schirmstrom mit Strommesszange.....	114
Abbildung 7.4: Messung der Schleifenimpedanz.....	117

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Frequenzspektrum von möglichen Störungsquellen aus [SCH2008].....	27
Tabelle 5.1: Verbindungsmöglichkeiten von Kabelschirm und CBN im Ex-Bereich.....	104
Tabelle 7.1: Maßnahmen bei zu hohen Schirmströmen (Richtwerte).....	115
Tabelle 7.2: weitere Abhilfemaßnahmen zum Senken der Ströme im Potentialausgleich	116
Tabelle 7.3: Abhilfemaßnahmen bei zu großer Schleifenimpedanz.....	118
Tabelle 8.1: Vorschlag für mögliche Abnahmeprüfung	120

1 Einleitung

Dieses Dokument befasst sich zunächst mit dem Funktionspotentialausgleich und der Schirmung von PROFIBUS-/PROFINET-Netzwerken in Anlagen der Fertigungsindustrie. In Kapitel 5 wird außerdem auf zusätzliche Anforderungen der Prozessindustrie eingegangen. Ziel ist es, Anwendern und Planern eine standardisierte Vorgehensweise für einen störungssicheren Aufbau von Automatisierungsanlagen zu geben. Neben den hier im Dokument beschriebenen Vorgehensweisen, müssen zudem die geltenden Normen und Richtlinien für elektrische Sicherheit beachtet werden. Die gezeigten Abbildungen und Symbole können hierbei von denen aus Normen und Richtlinien abweichen.

1.1 Einführung in das Thema / Problemstellung

Eine Analyse des Arbeitskreises „Field Service Excellence“ der PROFIBUS Nutzerorganisation aus den Jahren 2009 bis 2014 zeigt die häufigsten Fehlerursachen, die bei Service-Einsätzen für PROFIBUS und PROFINET identifiziert wurden. Hierbei ist zu erwähnen, dass es sich bei den Einsätzen des Arbeitskreises um Fehlersuchen handelt, die meist weit über das Anforderungsspektrum an Elektrofachkräfte im Service oder Instandhaltungsbereich hinausgehen.

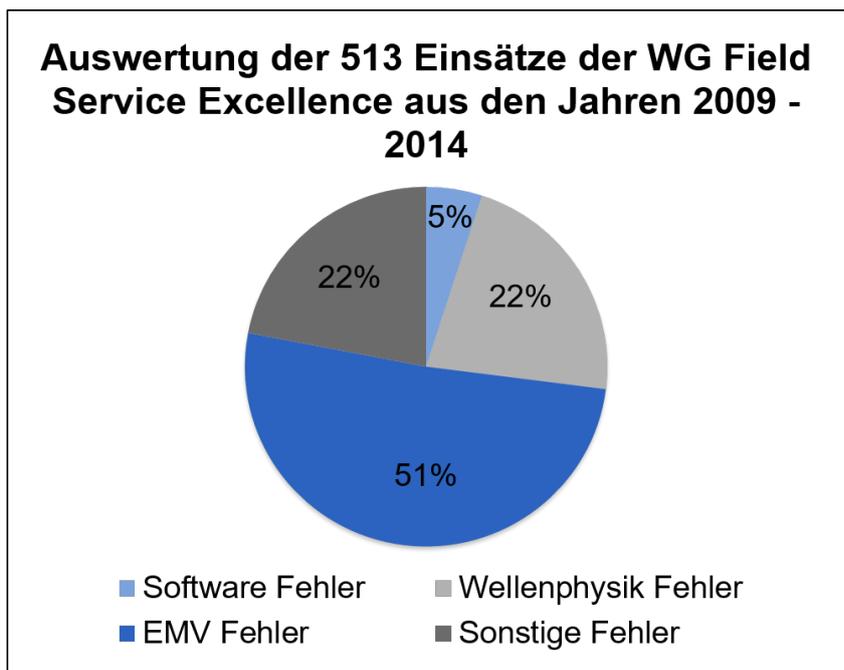


Abbildung 1.1: Auswertung der Einsätze des Field Service Excellence von 2009-2014 [GÖH2015]

In Abbildung 1.1 ist klar zu erkennen, dass EMV Fehler, welche durch elektromagnetische Unverträglichkeit entstehen, über die Hälfte der Einsätze der WG Field Service Excellence zusammengesetzten Firmen ausmachen. Zu den Fehlern der elektromagnetischen Verträglichkeit gehören hauptsächlich Probleme, die sich durch unzulässig hohe Schirmströme, nicht entstörte Induktivitäten oder Belastungen des Potentialausgleichssystems äußern.

1.2 Ziel dieses Dokuments

Ziel dieses Dokuments ist es, eine Grundlage für den Funktionspotentialausgleich und Schirmung für die Bussysteme PROFIBUS und PROFINET zu schaffen. In diesem Dokument geht es dabei nicht um das Design von PROFIBUS-/PROFINET-Geräten, sondern um deren richtigen Anschluss und Leitungsaufbau von Anlagen, um feldbasierte Störungen sowie Störungen über das Potentialausgleichssystem zu verhindern.

In einem mehrstufigen Ansatz werden die Leser zunächst mit den Grundlagen der elektromagnetischen Verträglichkeit vertraut gemacht. Danach werden Grundlagen des Funktionspotentialausgleichs und Schirmung in automatisierungstechnischen Anlagen vermittelt. In einem nächsten Schritt folgen sechs Handlungsempfehlungen für eine störungsarme Auslegung von PROFIBUS und PROFINET Netzwerken. Das Dokument schließt mit einer Liste von Abnahmekriterien.

Die Planung, Installation und Inbetriebnahme sowie EMV-Betrachtungen von Ethernet-APL-Netzwerken werden in der Ethernet-APL-Engineering-Richtlinie [APL2021] beschrieben. Daher wird Ethernet-APL in diesem Dokument nicht behandelt.

2 Grundlagen EMI

Bei den Elektromagnetischen Interferenzen (EMI) geht es um die durch elektrische und magnetische Felder verursachte Beeinflussung von Geräten. Alle elektrischen Geräte verursachen magnetische und elektrische Felder, welche andere Geräte in der Funktion stören können. Die EMI führen zum Beispiel zu Potentialproblemen und Datenverlusten auf Kommunikationsleitungen. Das Gegenstück zur EMI ist die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV). Die EMV eines Gerätes muss gewährleisten, dass es nicht zu Störungen des Gerätes durch feldgebundene oder leitungsgebundene Beeinflussungen kommt.

Diese Beeinflussungen von elektrischen Geräten kann wie in Abbildung 2.1 dargestellt über Felder geschehen, welche auf PROFIBUS-/PROFINET-Leitungen, Energieversorgungsleitungen, Signal-/Steuerleitungen oder auf/über die Funktionserdung des Gerätes wirken.

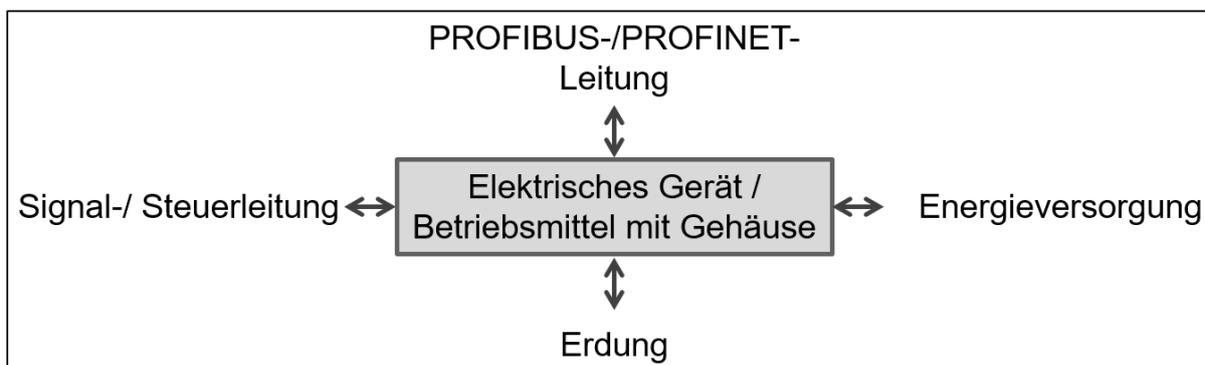


Abbildung 2.1: EMV Schnittstellen eines Gerätes nach [RUD2011]

Neben den in Abbildung 2.1 gezeigten leitungsgebunden Beeinflussungen wirken auf ein Gerät zusätzlich auch elektrische, magnetische und/oder elektromagnetische Felder. Diese werden hier zunächst nicht weiter betrachtet.

Die leitfähigen Gehäuse von Automatisierungskomponenten werden üblicherweise aus Gründen der elektrischen Sicherheit geerdet. Daher wird in der Regel auch ein geerdetes Potentialausgleichssystem verwendet. Aus diesem Grund unterscheidet dieses Dokument nicht zwischen der Verbindung einer Komponente zu einem Erdungs- oder Potentialausgleichssystem. In technischer Hinsicht reicht in vielen Fällen ein Potentialausgleichssystem ohne Erdung um die Anforderungen in Bezug auf die EMV zu erfüllen. Dieses Dokument wird in Abschnitt 4.1.3 die Verwendung eines gemeinsamen Potentialausgleichssystems für Potentialausgleich, Funktions- und Schutzerdung vorschlagen. Die Bezeichnung Common Bonding Network (CBN) wird hierfür verwendet.

2.1 Kopplungen

Damit eine Störquelle ein anderes Gerät stören kann, werden sogenannte Koppelstrecken benötigt. Diese Koppelstrecken verbinden die Störquelle mit der Störsenke (Abbildung 2.2). Der Begriff Störsenke steht hierbei für das Betriebsmittel, welches durch die EMI gestört werden kann, zum Beispiel eine PROFIBUS oder PROFINET-Leitung oder ein PROFIBUS- oder PROFINET-Gerät.

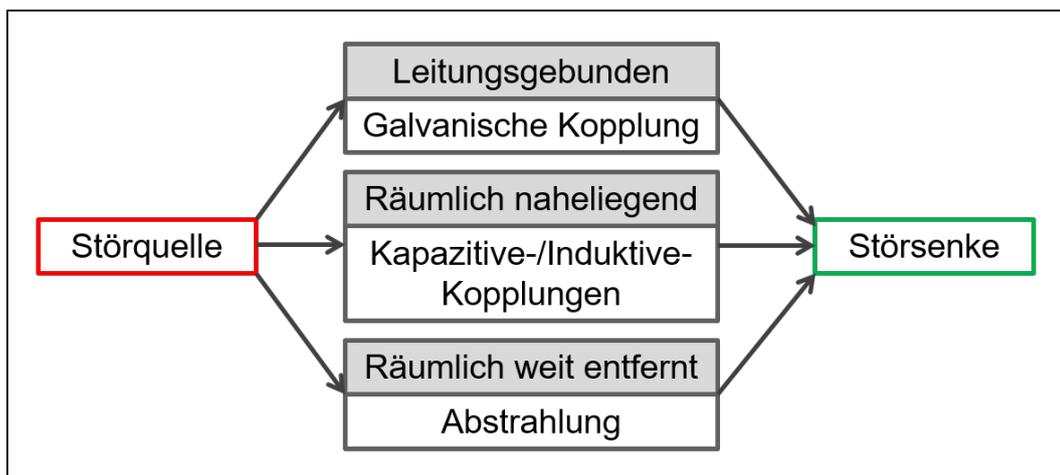


Abbildung 2.2: Koppelstrecken

Die Koppelstrecken aus Abbildung 2.2 lassen sich in drei Gruppen einteilen.

1. Die leitungsgebundenen Störungen entstehen über galvanische Verbindungen zwischen Geräten.
2. Die räumlich naheliegenden Störungen entstehen durch magnetische und elektrische Felder, welche zu induktiven und kapazitiven Kopplungen führen.
3. Die Abstrahlung lässt Störungen in Form elektromagnetischer Wellen auch über weite Strecken in andere Geräte (Störsenken) einkoppeln. Diese Art der Kopplung wird in diesem Dokument nicht näher betrachtet.

2.1.1 Galvanische Kopplungen

Für eine galvanische Kopplung fließen Teilströme von zwei Stromkreisen durch eine gemeinsame elektrisch leitfähige Verbindung. Diese Verbindung wird auch als Koppelimpedanz bezeichnet. Durch den gemeinsamen Stromfluss der beiden Stromkreise kommt es zu einem Spannungsabfall über der Koppelimpedanz. Dieser Spannungsabfall führt zu einer Potentialverschiebung an den beiden Verbrauchern. Durch diese Potentialverschiebung kann die Nennspannung der Verbraucher unter- oder überschritten werden. [SCH2008]

Da der Potentialausgleich mehrere Stromkreise verbindet, wirkt er als Koppelimpedanz. Wenn ein Stromkreis Potentialunterschiede im Potentialausgleichssystem verursacht, können diese sich über galvanische Kopplung auf einen weiteren Stromkreis auswirken. Um die Ursache von Potentialunterschieden im Potentialausgleichssystem zu verdeutlichen, helfen folgende Abbildungen.

In Abbildung 2.3 ist ein einfacher Stromkreis zu sehen, welcher eine Verbindung des Minuspols der Spannungsquelle (U_1) zum Common Bonding Network (CBN) besitzt. Zudem sind die Leitungsimpedanzen (Z_L) und ein Verbraucherwiderstand (Z_V) eingezeichnet. Der Strom I_1 fließt von der Spannungsquelle über eine Leitungsimpedanz zum Verbraucher und von dort zurück über die zweite Leitungsimpedanz zu Spannungsquelle. Die Verbindung des Stromkreises mit dem CBN wird von keinem Strom durchflossen und hat ausschließlich eine Sicherheitsfunktion. Eine galvanische Kopplung zu systemfremden Stromkreisen ist somit nicht möglich.

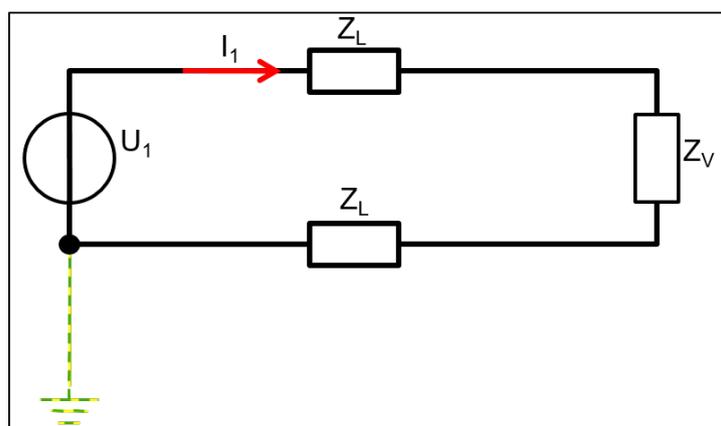


Abbildung 2.3: Galvanische Kopplung im Potentialausgleichssystem 1

In Abbildung 2.4 befindet sich noch eine weitere Verbindung zum CBN am Verbraucher Z_V . Durch diese zweite Verbindung entsteht ein paralleler Stromkreis (Abbildung 2.5) über das Potentialausgleichssystem. Dieser parallele Stromkreis wird hier durch die Reihenschaltung der Erd- oder Potentialausgleichssystemimpedanzen (Z_E) dargestellt.

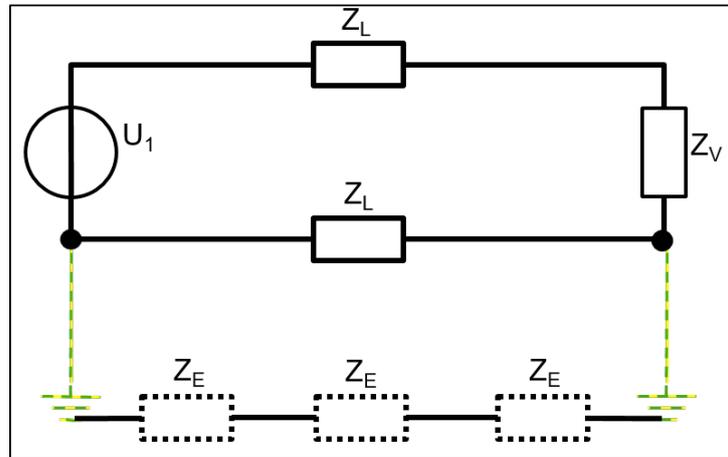


Abbildung 2.4: Galvanische Kopplungen im Potentialausgleichssystem 2

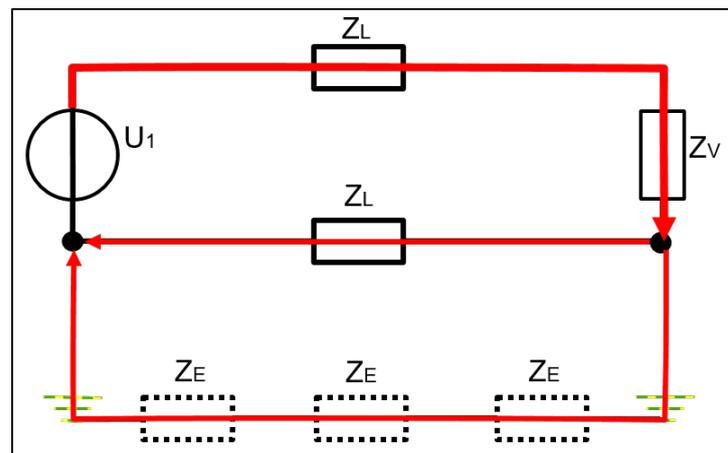


Abbildung 2.5: Galvanische Kopplungen im Potentialausgleichssystem 3

In Abbildung 2.6 wird ein Messgerät an das Potentialausgleichssystem angeschlossen. Dieses Messgerät zeigt einen Potentialunterschied zwischen zwei Punkten des Potentialausgleichssystems an, welcher auf Grund des Stromflusses durch das Potentialausgleichssystem entsteht.

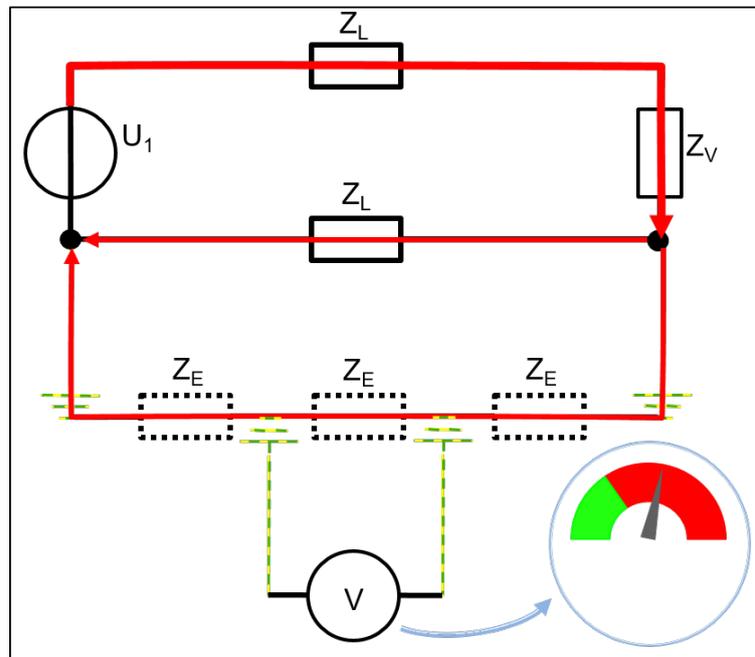


Abbildung 2.6: Galvanische Kopplungen im Potentialausgleichssystem 4

Werden Stromkreise gewollt oder ungewollt mehrfach mit dem Common Bonding Network (CBN) verbunden, so kann ein Teil des Stroms durch das Potentialausgleichssystem fließen. Das führt dazu, dass trotz des geringen Widerstandes des Potentialausgleichssystems Potentialunterschiede im Potentialausgleichssystem auftreten. Diese Potentialunterschiede haben u. a. Auswirkungen auf mehrfach mit dem Potentialausgleichssystem verbundene Schirmleitungen. Durch den beidseitigen Anschluss von Schirmleitungen an das Common Bonding Network (CBN) können Ströme aus dem Potentialausgleichssystem über den Leitungsschirm einer Datenleitung fließen und so Störungen einkoppeln.

2.1.2 Kapazitive Kopplungen

Kapazitive Kopplungen entstehen zwischen zwei Leitern, welche mindestens eine galvanische Verbindung und einen Potentialunterschied besitzen. In Abbildung 2.7 sind zwei Spannungsquellen (U_1 , U_2) abgebildet, welche unterschiedliche Spannungen oder andere Phasenlagen besitzen. Sie sind zudem mit dem Potentialausgleichssystem verbunden. Durch diese Verbindung und die unterschiedlichen Spannungen kommt es zu einem elektrischen Feld zwischen den Leitungen. Dieses elektrische Feld ist im Ersatzschaltbild als Streukapazität ($C_{1/2}$) eingezeichnet [SCH2008].

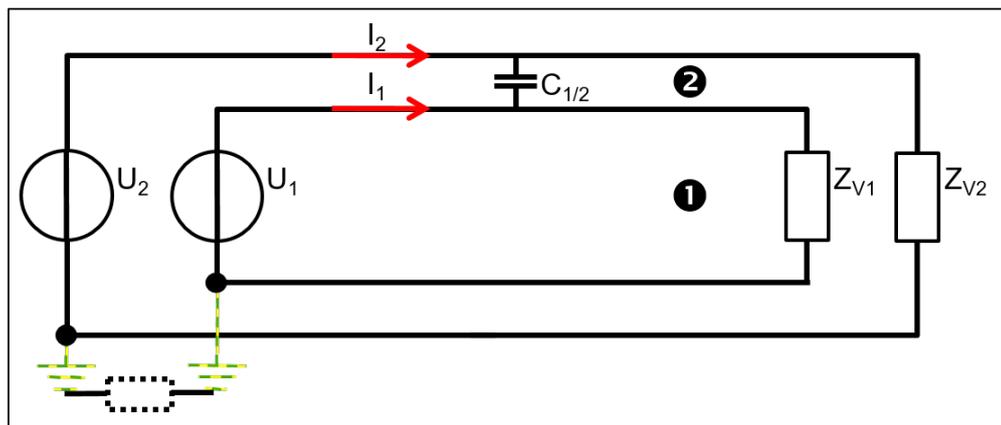


Abbildung 2.7: Kapazitive Kopplung

Ein einfaches Beispiel für eine kapazitive Kopplung ist der Potentialunterschied zwischen zwei Signalleitungen mit gemeinsamem Anschluss an das Common Bonding Network (CBN). Durch den Potentialunterschied der beiden Leitungen baut sich ein elektrisches Feld auf, welches zu einer gegenseitigen Beeinflussung führen kann.

2.1.3 Induktive Kopplungen

Induktive Kopplungen entstehen durch magnetische Felder zwischen zwei Stromkreisen (① und ②). Der Wechselstrom (I_2) erzeugt ein magnetisches Feld, welches zu einem magnetischen Fluss führt. Dieser magnetische Fluss durchtritt die Masche des Stromkreises ① und induziert in diese eine Spannung. Durch die induzierte Spannung entsteht im Stromkreis ① ein Strom, welcher sich dem Nutzsignal überlagert und die Funktion des Stromkreises beeinträchtigen kann [SCH2008].

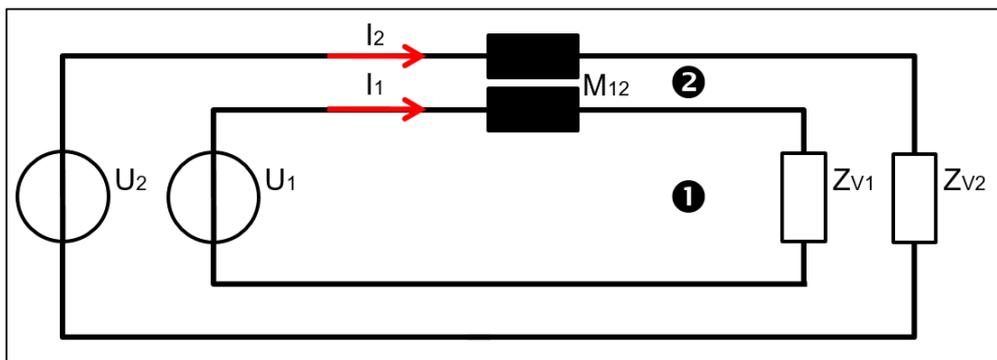


Abbildung 2.8: Induktive Kopplung

Induktive Kopplungen treten in der Praxis häufig auf, da für die Kopplung nur Stromkreise mit sich zeitlich verändernden Strömen benötigt werden, etwa Wechselströme oder transiente Ströme bei Ein- oder Ausschaltvorgängen, die in der Nähe anderer Stromkreise liegen. Es ist keine galvanische Verbindung dieser beiden Stromkreise notwendig. Eine räumliche Nähe ist ausreichend, um eine nennenswerte gemeinsame Koppelinduktivität M_{12} zu bilden.

2.1.4 Strahlungskopplungen

Bei industrieüblichen Leitungslängen im Bereich bis 100 m treten erst bei hohen Frequenzen (ab ca. 30 MHz) Strahlungskopplungen zwischen energiereichen Störern und Signalstromkreisen auf. Diese Kopplung entsteht durch das elektromagnetische Feld [SCH2008]. PROFIBUS- und PROFINET-Leitungen sind durch ihren hohen Signalpegel, die Verdrillung der Adern und die Schirmung der Leitung relativ gut gegen Strahlungskopplungen geschützt. Die Strahlungskopplung beeinflusst in der Regel die Elektronik der angeschlossenen Geräte zum Beispiel bei unzureichend geschirmten Gerätegehäusen oder nicht ausreichend störfest ausgelegter Elektronik. Da der Scope dieses Dokuments nicht das Design der PROFIBUS-/PROFINET-Geräte selber umfasst, sondern nur die Verkabelung der Geräte, wird diese Kopplungsart nicht weiter betrachtet.

2.2 Elektrostatische Entladung

Elektrostatische Aufladungen entstehen durch große Potentialunterschiede, welche durch Reibung oder Trennung von zwei verschiedenen Materialien entstehen. Durch die Reibung der unterschiedlichen Materialien findet ein Elektronentransfer (Ladungstrennung) zwischen den beiden Materialien statt. Dieser Elektronentransfer bewirkt, dass sich ein Material positiv und das andere Material negativ auflädt. Typische Ursache für die Entstehung von elektrostatischen Aufladungen in der Industrie können zum Beispiel Plastikbehälter auf Transportbändern sein. Aber auch das Umfüllen von Schüttgütern oder Flüssigkeiten kann elektrostatische Aufladungen erzeugen. Zur Entladung von elektrostatischen Aufladungen kommt es, sobald ein hoher Potentialunterschied zwischen zwei Materialien leitfähig verbunden wird oder ein Funke entsteht, da die Spannungsfestigkeit der Luft überschritten wird. Der dadurch resultierende hohe Stromfluss hat zu Folge, dass Sensoren sowie die zugehörige Datenkommunikation gestört werden können [KLE2016].

2.3 Typische Störquellen in automatisierungstechnischen Anlagen

Im industriellen Umfeld gibt es viele mögliche Störquellen, welche den sicheren Betrieb automatisierungstechnischer Anlagen gefährden können. Die meisten Störungen geschehen über die Kopplungen aus Kapitel 2.1. Deshalb besitzen die störenden Betriebsmittel meist eine hohe Leistung und höhere Frequenzen bzw. kurze Schaltzeiten. Bei den typischen Störquellen aus der Industrie kommen somit z. B. Frequenzumrichter, Schweißanlagen, Magnetventile und Schaltvorgänge in Frage. Das Frequenzspektrum dieser möglichen Störquellen ist in Tabelle 2.1 abgebildet.

Tabelle 2.1: Frequenzspektrum von möglichen Störungsquellen aus [SCH2008]

Art der Einrichtung	Frequenzspektrum
Motor	10 Hz ... 50 MHz
Frequenzumrichter	1 Hz ... 10 MHz
Schaltvorgänge	1 kHz ... 200 MHz
Gleichrichteranlagen	50 Hz ... 5 MHz
Leistungselektronik	100 Hz ... 100 MHz

Zum Schutz vor den typischen frequenzabhängigen Störquellen in automationstechnischen Anlagen dienen unterschiedliche Schirmungsmaßnahmen und der Funktionspotentialausgleich von Betriebsmitteln. Die Grundlagen für den Funktionspotentialausgleich und Schirmung werden im folgenden Kapitel detailliert erläutert.

3 Grundlagen für Potentialausgleich und Schirmung

Dieses Kapitel handelt von Schutzmaßnahmen gegen Funktionsstörungen, welche in Automatisierungsanlagen Anwendung finden. Das erste Unterkapitel beschäftigt sich hierbei mit der Schirmung von Leitungen und das zweite Unterkapitel mit dem Thema Potentialausgleich.

3.1 Leitungsschirmung

Leitungsschirme unterdrücken über unterschiedliche Wirkprinzipien unterschiedliche Störungsursachen. Diese Wirkprinzipien sind aktive und passive Schirmung. In den nächsten beiden Unterkapiteln soll hierauf näher eingegangen werden. Neben diesen beiden Schirmungsmaßnahmen existieren noch weitere Schutzmechanismen, wie z.B. Verdrillung der Datenadern, welche eine störungsfreie Datenkommunikation über PROFINET- und PROFIBUS-Leitungen ermöglichen.

3.1.1 Passive Schirmwirkung

Von passiver Schirmwirkung spricht man, wenn die Schirmwirkung allein durch die Dicke des Schirmmaterials erreicht wird. Die Mindestdicke des Materials ist für die Schirmwirkung von zwei Faktoren abhängig: Erstens von der Frequenz der Störung und zweitens bei magnetischen Feldern von der magnetischen Permeabilität des Materials. Wenn die verwendete Materialdicke der Schirmung größer ist als die Mindestdicke, können sich im Inneren der Schirmung Wirbelströme bilden. Die Wirbelströme erzeugen ein zum störenden Feld entgegengesetzt orientiertes Feld. Dadurch wird die Störwirkung (fast) aufgehoben. Diese Schirmwirkung findet in der Regel bei Leitungsschirmen keine Anwendung, da die Materialdicke von Leitungsschirmen hierfür zu gering ist. Sie wird meist durch metallische Kabelkanäle mit Trennstegen und Abdeckungen oder Stahlrohre erreicht.

3.1.2 Aktive Schirmwirkung

Durch die geringe Materialdicke von Leitungsschirmen wird die aktive Schirmwirkung genutzt. Dafür werden für die aktive Schirmwirkung jedoch Verbindungen des Leitungsschirms zum Common Bonding Network (CBN) benötigt um einen Stromkreis zu bilden [WOL2008].

Abbildung 3.1 zeigt den schematischen Aufbau einer kapazitiven Kopplung zwischen zwei Stromkreisen. Der hinzugefügte metallische Leitungsschirm (grau in Abbildung 3.2) teilt die Kapazität $C_{1/2}$ aus Abbildung 3.1 in zwei Kapazitäten C_1 und C_2 auf, wie in Abbildung 3.2 dargestellt.

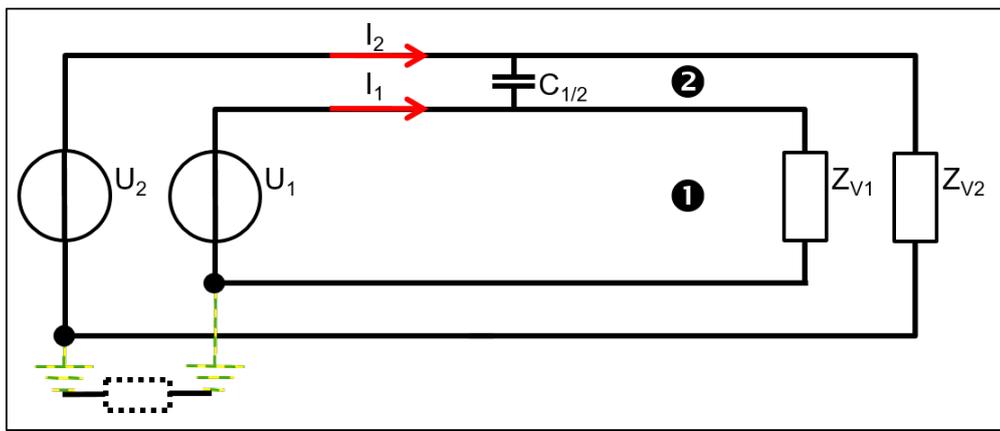


Abbildung 3.1: Wiederholung kapazitive Kopplung

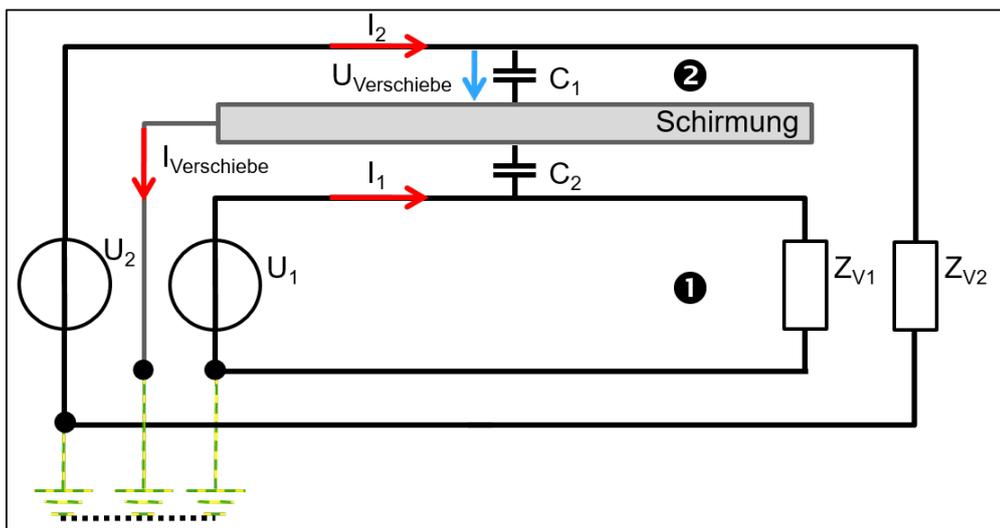


Abbildung 3.2: Aktive Schirmung mit einseitiger Funktionserdung

Wenn der Leitungsschirm mit dem Common Bonding Network (CBN) verbunden wird, besitzt er das Potential 0 V und bietet einen niederimpedanten Rückflussweg zur Quelle U_2 . Aus Stromkreis ② eingekoppelte Verschiebestrome ($I_{Verschiebe}$) können so über den

Schirm abfließen und wirken sich nicht auf Stromkreis ① aus. Dieser Effekt wird „aktive Schirmung gegen elektrische Felder“ genannt.

Besitzt die Leitungsschirmung zwei oder mehrere Verbindungen zum Common Bonding Network (CBN), so besteht zusätzlich eine Schirmwirkung gegen magnetische Felder, die „aktive Schirmung“ genannt wird. Durch die mehrfache Anbindung des Leitungsschirms an das CBN ist es möglich, dass bei Einwirkung von Magnetfeldern eine Spannung induziert wird, welche einen Stromfluss (I_{Schirm}) im Leitungsschirm (②) fließen lässt (siehe Abbildung 3.3). Dieser Strom fließt über den Potentialausgleich zurück.

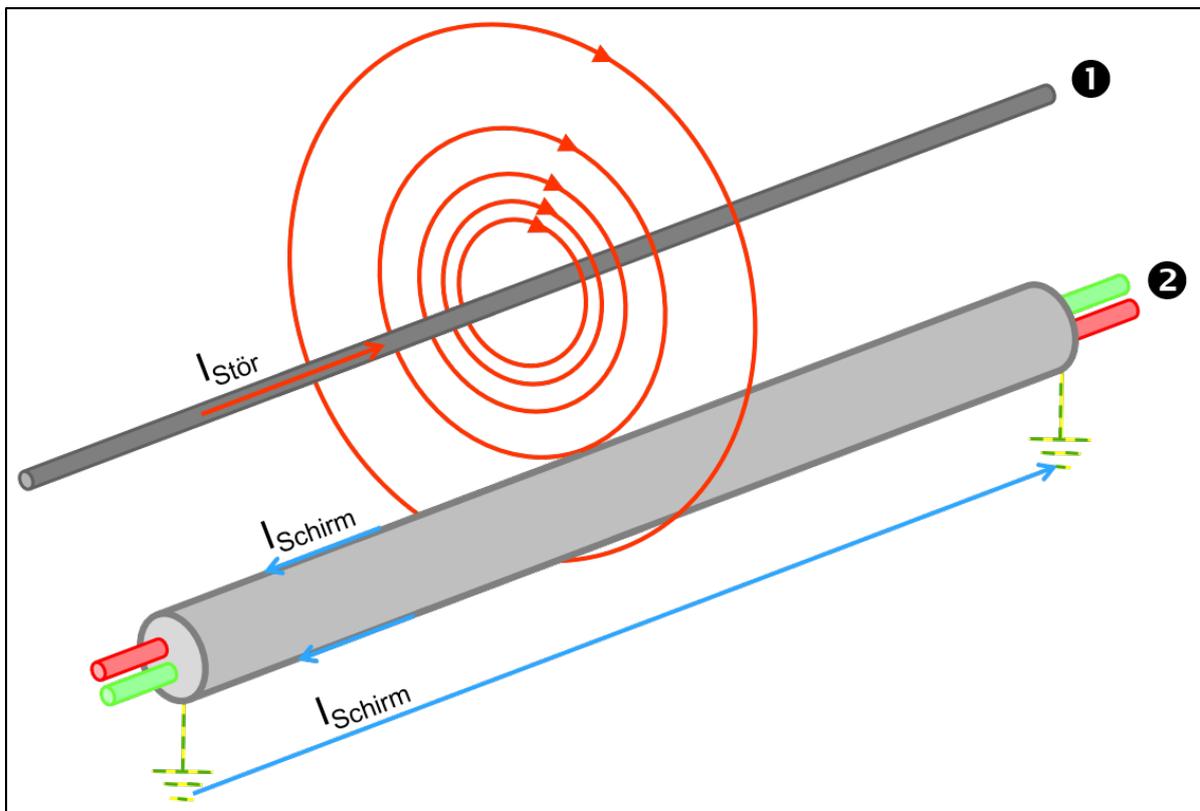


Abbildung 3.3: Induktion in den Leitungsschirm

Der induzierte Stromfluss erzeugt eine Gegeninduktion mit 180° Phasenversatz zur ursprünglichen Induktion des magnetischen Feldes. Dadurch wird der magnetische Fluss durch die vom Stromfluss I_{Schirm} umschlossene Fläche aufgehoben und die im Aderbündel induzierte Spannung gesenkt.

Deshalb sollten Leitungsschirme immer mindestens an beiden Enden mit dem Common Bonding Network (CBN) verbunden sein, um eine ausreichende Schirmwirkung gegen elektrische, magnetische und elektromagnetische Wechselfelder zu erzielen.

3.2 Potentialausgleich

Erdungspunkte sind überall in einer Anlage oder an Betriebsmitteln zu finden. Es wird zwischen Schutz (PE)- und Funktionspotentialausgleich unterschieden. Die Schutzerdung dient der Sicherheit von Menschen und verhindert gefährliche Berührungsspannungen an Gehäusen und anderen leitfähigen Teilen. Der Funktionspotentialausgleich hingegen dient der Erreichung der elektromagnetischen Verträglichkeit einer Anlage und ist nicht sicherheitsrelevant.

3.2.1 Schutzleiter (PE)

Der Schutzleiter ist eine grundlegende Vorsorge für den Schutz im Fehlerfall von elektrisch aktiven Geräten mit der Schutzmaßnahme Schutzerdung. Er ermöglicht den Schutz von Personen gegen elektrischen Schlag bei indirektem Berühren.

Das indirekte Berühren entsteht über elektrisch leitfähige meist metallene Objekte von elektrischen Geräten, welche im Fehlerfall eine Spannung gegen Erde annehmen können. Dieser Fehlerfall kann zum Beispiel eine 230 V-Leitung sein, welche sich aus einer Klemme löst und ein metallenes Teil des Gerätes berührt. Somit muss an jedem elektrischen Gerät, welches mit einer Spannung von größer 50 V Wechselspannung, bzw. 120 V Gleichspannung betrieben wird, ein Schutzleiteranschluss vorhanden sein.

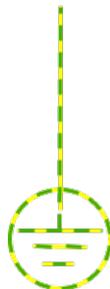
3.2.2 Schutzpotentialausgleich

Anders ist es mit elektrisch passiven, jedoch berührbaren, elektrisch leitfähigen Anlagenteilen, z.B. einem Geländer, einem Schutzzaun oder einer Rollenbahn. Hier ist kein Anschluss für einen PE vorhanden. Es empfiehlt sich jedoch auch solche Anlagenteile, durch den Anschluss an den Schutzpotentialausgleich, mit in den Berührungsschutz im Fehlerfall einzubeziehen.

Sollte demensprechend z. B, ein Geländer mit dem Schutzpotentialausgleich verbunden sein, kann im Fehlerfall (Phase liegt durch Beschädigung der Basis-, sowie der zusätzlichen Isolierung auf dem Geländer auf) ein Fehlerstrom ausreichender Höhe entstehen, welcher eine Schutzeinrichtung (Sicherung, Fehlerstromschutzschalter) auslöst und den fehlerhaften Stromkreis spannungsfrei schaltet.

Da das Geländer mit dem Schutzpotentialausgleichsleiter verbunden ist, kann ein Fehlerstrom ausreichender Höhe entstehen, welcher eine Schutzeinrichtung (Sicherung, Fehlerstromschutzschalter) auslöst und den Stromkreis spannungsfrei schaltet. Wäre das Geländer nicht mit dem Schutzpotentialausgleichsleiter verbunden, würden 230 V zwischen Geländer und Erde liegen und bei Berührung das Leben von Mensch und (Nutz)Tier gefährden. Deshalb wird empfohlen, alle passiven elektrisch leitfähigen Objekte, wie zum Beispiel Rohre, Schutzzäune, Leitern, Handläufe, metallene Kabelkanäle oder Konstruktionsteile mit dem Schutzpotentialausgleich zu verbinden, um so unzulässige Berührungsspannungen zu vermeiden.

Der Anschluss eines Betriebsmittels an den Schutzleiter, bzw. Schutzpotentialausgleich wird in diesem Dokument durch folgendes Symbol gekennzeichnet:



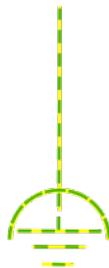
3.2.3 Funktionspotentialausgleich

„Das Ziel des Funktionspotentialausgleiches ist die Verminderung:

- der Auswirkungen eines Isolationsfehlers, der den Betrieb der Maschine beeinflussen könnte;
- der Auswirkungen von elektrischen Störungen auf empfindliche elektrische Ausrüstung, die den Betrieb der Maschine beeinflussen könnten.“ [DIN-EN 60204-1]

Der Funktionspotentialausgleich dient somit nicht der Sicherheit von Mensch und (Nutz) Tier, sondern dem funktionssicheren Betrieb der Anlage. Mit dem Funktionspotentialausgleich werden zum Beispiel Motorschirme, Schirme von Datenleitungen und Funktionserdungen von empfindlichen Bauteilen verbunden.

Der Anschluss eines Betriebsmittels an den Funktionspotentialausgleich wird in diesem Dokument durch folgendes Symbol gekennzeichnet:



4 Handlungsempfehlungen für eine störungsarme Auslegung von PROFIBUS- und PROFINET-Netzwerken

Diese Handlungsempfehlungen geben eine Anleitung für den störungsarmen Anlagen-
aufbau. Dabei geht es in den einzelnen Handlungsempfehlungen um:

- Verbindung von Schutz- und Funktionspotentialausgleich zu einem gemeinsamen Netzwerk
- Aufbau der 230/400 V-Netzversorgung. Differenzierung zwischen unterschiedlicher Art der Erdung von Netzsystemen (TN-S/TN-C/TN-C-S/TT/IT)
- Mindestabstände zwischen Energieleitungen und PROFIBUS-/PROFINET-Leitungen
- Aufbau des Potentialausgleichssystems
- Anschluss der PROFIBUS-/PROFINET-Leitungsschirme
- Besonderheiten bei Motorleitungen
- Verbindung des Minuspols eines 24-V-Versorgungsstromkreises mit dem Common Bonding Network (CBN).

Zu allen sieben Themen gibt es in den folgenden Unterkapiteln allgemeine Erklärungen sowie Problembeschreibungen, die auf Grundlage von Normen und Fachliteratur erläutert werden. Zudem wird aus den Normen eine Empfehlung für den Funktionspotentialausgleich und die Schirmung von PROFIBUS-/PROFINET-Netzwerken abgeleitet. Dieses Kapitel gibt Handlungsempfehlungen für die Fertigungsindustrie, während Kapitel 5 die gegebenen Empfehlungen auf die Prozessindustrie bezieht. In Kapitel 5 werden insbesondere der explosionsgefährdete Bereich betrachtet, da in diesem Bereich zusätzliche Richtlinien für den Funktionspotentialausgleich und die Schirmung von Leitungen gelten. Für Busleitungen, welche die Gebäudehülle verlassen oder im Freien verlegt sind, müssen zusätzlich zu diesem Dokument die geltenden Blitzschutzrichtlinien beachtet werden. Es wird empfohlen, bei Busleitungen, die das Gebäude verlassen oder aus unterschiedlichen Hauptverteilungen gespeist werden, vorzugsweise Lichtwellenleiter einzusetzen.

In Abbildung 4.1 ist eine Fertigungsanlage abgebildet. In ihr werden durch Roboter ⑥ verschiedene Bauteile zwischen Förderbändern ⑦ und Bearbeitungstischen ⑧ transportiert.

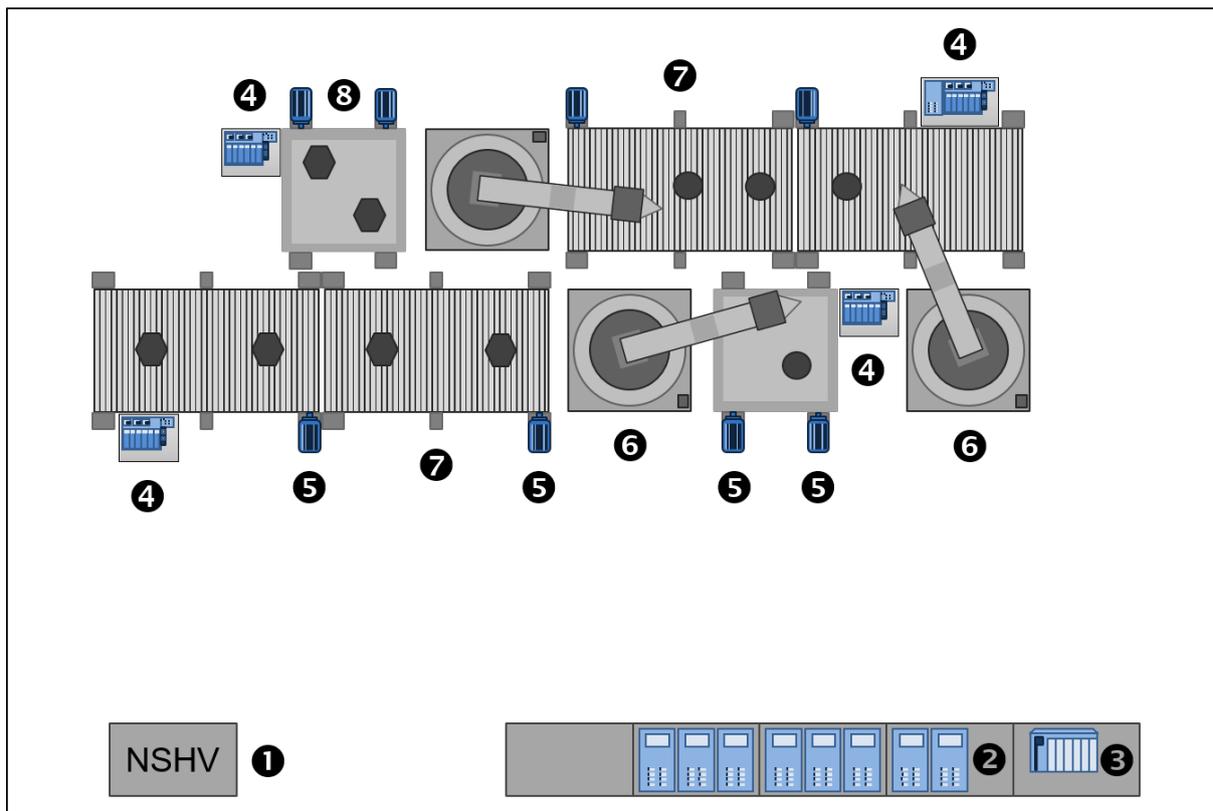


Abbildung 4.1: Beispielanlage aus der Fertigungsindustrie

Die Einspeisung der Fertigungsanlage geschieht wie in dem Beispiel für die Prozessindustrie über die Niederspannungshauptverteilung ① (NSHV). Im Schaltschrank befinden sich neben der speicherprogrammierbaren Steuerung ③ einige Frequenzumrichter ②, welche zum Betrieb der Motoren ⑤ genutzt werden. Im Anlagenfeld befinden sich dezentrale Remote-E/A-Baugruppen ④. An diesem Beispiel können exemplarisch folgende Probleme betrachtet werden: Ansteuerung von Antrieben, räumlich weit verteilte Anlagen mit Fördereinrichtungen und Anbindung von Robotern.

4.1 Verbindung von Schutz- und Funktionspotentialausgleich

In der Fertigungs- sowie Prozessindustrie werden sowohl getrennte Schutz- und Funktionspotentialausgleichssysteme als auch gemeinsames Potentialausgleichssysteme aufgebaut. Eine Trennung der beiden Systeme geschieht unter der Annahme, dass Ströme im Schutzpotentialausgleich sich nicht in den Funktionspotentialausgleich einkoppeln und dort Störungen verursachen können. Der Schutzpotentialausgleich dient der Sicherheit von Menschen und (Nutz-)Tieren. Der Funktionspotentialausgleich dient der Sicherstellung der Funktion der Anlage, z.B. durch Ableitung von Störungen durch elektromagnetische Felder. Beide Potentialausgleichssysteme werden in einer Stern- oder Baumstruktur über die gesamte Fläche der Anlage verteilt und nur an einem einzigen Punkt miteinander verbunden. Diese Verbindung von Schutz- und Funktionspotentialausgleich geschieht meist am zentralen Schutzerdungspunkt der Anlage (Main Earth Terminal).

4.1.1 Problembeschreibung

Die Trennung von Funktionspotentialausgleich und Schutzpotentialausgleich ist in der heutigen Praxis nicht mehr durchzuführen. Es gibt mehrere Stellen in einer Anlage, wo ungewollt Verbindungen entstehen.

Eine einfache Verbindung von Funktions- und Schutzpotentialausgleichssystem kann zum Beispiel durch die Verwendung von PROFIBUS und PROFINET entstehen. Die Schirmleitungen von PROFIBUS-/PROFINET-Leitungen müssen zur Sicherstellung ihrer Wirkung mindestens beidseitig mit dem Funktionspotentialausgleich verbunden werden (siehe Kap. 3.1.2).

Diese Schirmkontaktierung geschieht über eine großflächige Kontaktierung des Leitungsschirms mit dem PROFIBUS-/PROFINET-Steckergehäuse oder eine separate Potentialausgleichsschiene oder einer geeigneten Schirmauflage am Gerät. Schon durch diese Maßnahme wird der Funktionspotentialausgleich mit dem Schutzpotentialausgleich verbunden.

4.1.2 Lösungen aus Normen und Fachliteratur

Die strikte Trennung von Funktions- und Schutzpotentialausgleich wird in keiner Norm gefordert. In der [DIN-EN 60204-1] wird erklärt, dass der Funktionspotentialausgleich über eine Verbindung zum Schutzpotentialausgleich zu erreichen ist. Wird jedoch das Schutzpotentialausgleichssystem durch Ströme stark belastet kann es sein, dass ein separates Funktionspotentialausgleichssystem aufgebaut werden muss.

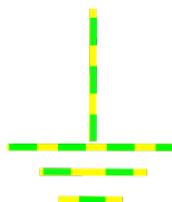
Somit muss bei der Verwendung von einem gemeinsamen Potentialausgleichssystem sichergestellt sein, dass die Ströme im Potentialausgleichssystem möglichst gering sind.

Zudem ist in [IEC 60364-5-54] gefordert, dass gemeinsame Schutz- und Funktionspotentialausgleichsleiter die Anforderungen für den Schutzleiter erfüllen müssen. Somit sind die Mindestquerschnitte, Leitungswiderstände, Mindeststromtragfähigkeit, oder Schutz gegen selbstständiges Lösen von Potentialausgleichsleitern definiert.

4.1.3 Empfehlungen für PROFIBUS und PROFINET

Eine strikte Trennung von Funktions- und Schutzpotentialausgleich lässt sich in der Praxis nicht wirklich realisieren, da häufig ungewollte Verbindungen zwischen Funktions- und Schutzpotentialausgleich auftreten. Zudem entstehen durch die getrennte Ausführung hohe Kosten. Deshalb wird ein gemeinsamer Potentialausgleich empfohlen. Dieses Potentialausgleichssystem wird Common Bonding Network (CBN) genannt. Es vereint die Schutzfunktionen, welche zum Auslösen von Sicherungen im Störfall benötigt werden und die Funktion als Funktionspotentialausgleich, welcher der Vermeidung von elektromagnetischen Interferenzen dient.

Für die Kennzeichnung eines CBN-Anschlusses wird im Weiteren folgendes Symbol in diesem Dokument verwendet:



Bitte beachten Sie, dass dieses Symbol eine interne Festlegung für dieses Dokument darstellt. In unterschiedlichen Normen treten unterschiedliche Darstellungen auf.

Aus diesem Kapitel leitet sich die Handlungsempfehlung F1 ab:

F1	Kombinierten Schutz- und Funktionspotentialausgleich vorsehen (CBN)
----	---

4.2 Aufbau der 230V/400V Netzversorgung

Dieser Abschnitt behandelt die Reduzierung von Störungen und Belastungen des Potentialausgleichssystems, durch Auswahl eines geeigneten Netzsystems. Die [DIN-VDE 0100-100] beschreibt verschiedene Netzsysteme. Sie lauten TN-S-, TN-C-, TT- und IT-System und sind in Abbildung 4.2 dargestellt.

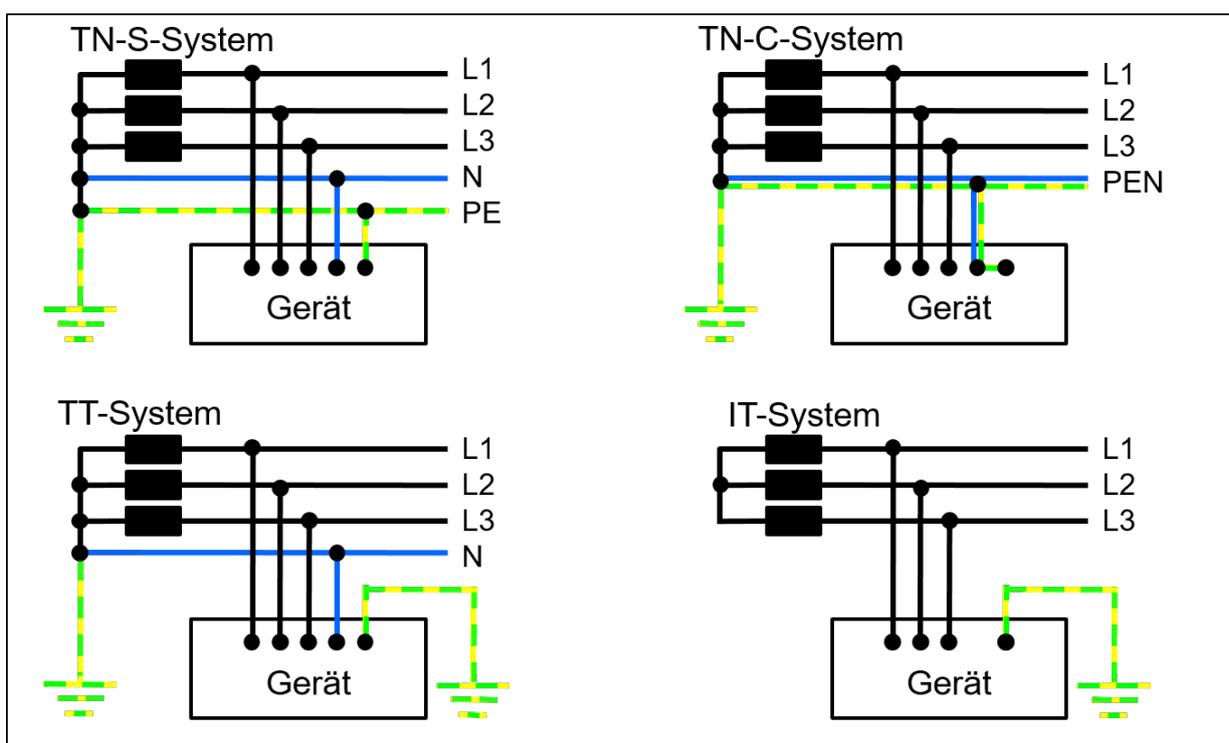


Abbildung 4.2: Netzsysteme

Beim TN-S-, TN-C- und TT-System aus Abbildung 4.2 ist der Sternpunkt des einspeisenden Transformators mit der Schutz Erde verbunden. Beim IT-System wird der Sternpunkt des Transformators nicht geerdet. Ein Neutralleiter darf, muss in IT-Systemen aber nicht vorhanden sein.

Im TN- und TT-System erfolgt die Erdung des Sternpunktes des Transformators. In TN-S-Netzen erfolgt die Schutz Erdung des Gerätes über den am Transformator geerdeten Schutzleiter. In TN-C-Netzen erfolgt die Schutz Erdung des Gerätes über den am Transformator geerdeten kombinierten Schutz-/Neutralleiter (PEN).

Wird ein TN-C-System verwendet, so sind Schutz- und Neutralleiter in einem gemeinsamen Leiter verlegt. Bei einem TN-S-System sind Schutz- und Neutralleiter hingegen getrennt in zwei verschiedenen Leitern verlegt.

Beim TT-System ist der Sternpunkt des Transformators geerdet. Es besteht keine Schutzleiterverbindung zwischen dem Sternpunkt des Transformators und den angeschlossenen Geräten. Diese werden lokal geerdet. [SCH2008]

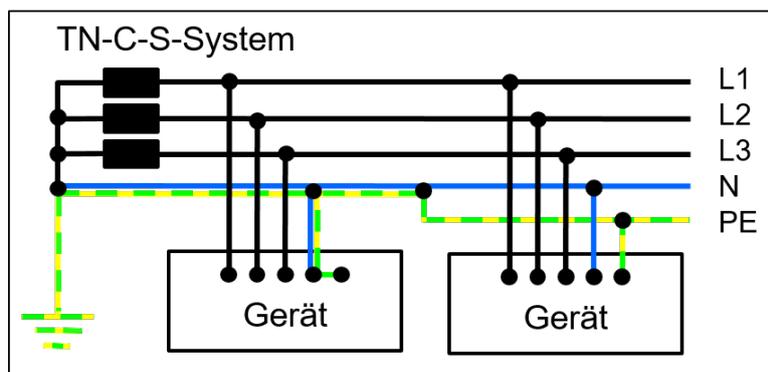


Abbildung 4.3: TN-C-S-System als Netzsystem

Das TN-C- und TN-S-System lassen sich zu einem TN-C-S-System kombinieren. In Abbildung 4.3 ist ein TN-C-S-System abgebildet. Während Gerät 1 am TN-C-System angebunden ist, ist Gerät 2 am TN-S-System des TN-C-S-Systems angeschlossen. Die Verbindung der Systeme findet zwischen den beiden Geräten statt, indem der zunächst genutzte PEN-Leiter in Schutz- und Neutralleiter aufgetrennt wird. Wichtig ist hierbei das in N- und PE-Leiter aufgetrennte PEN-Leiter nicht wieder zusammengeführt werden dürfen.

Das System der Netzversorgung wird bei der Errichtung der Energieversorgungsanlage festgelegt. Diese gibt Auskunft darüber, ob ein TT-, TN- oder IT-System möglich ist, bzw. genutzt wird. Meistens erfolgen Einspeisungen über ein TN-C-System, weshalb es auch als Grundlage für diese Handlungsempfehlung genutzt wird.

4.2.1 Problembeschreibungen

4.2.1.1 Netzversorgung als TN-C-System

In Abbildung 4.4 ist ein Schaltschrank zu sehen, welcher über eine Niederspannungshauptverteilung (NSHV) mit einem TN-C-System mit Energie versorgt wird. In der NSHV ist neben den drei aktiven Leitern (L1, L2, L3) der PEN-Leiter eingezeichnet. Dieser Leiter ist typisch für ein TN-C-System und vereint den Schutz- und Neutralleiter. Zur Vereinfachung werden Sicherungen, Klemmen, Zähler, usw. nicht dargestellt. Sie sind jedoch bei der späteren Anlagenplanung zu berücksichtigen. Zudem ist der zentrale Erdungspunkt beispielhaft in der NSHV eingezeichnet. Der zentrale Erdungspunkt verbindet den Fundamenterder an einer Stelle mit dem PEN-Leiter.

Die Einspeisung der Niederspannungshauptverteilung erfolgt mittels Transformator (Trafo). In Abbildung 4.4 ist nur die Sekundärseite des Transformators abgebildet.

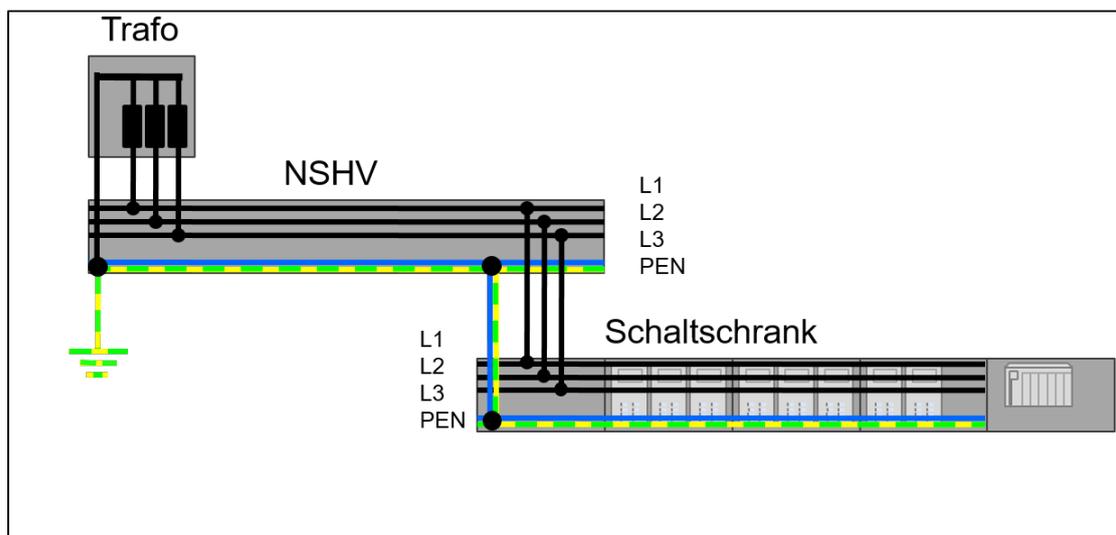


Abbildung 4.4: TN-C-System

Im nächsten Schritt geht es um die Betrachtung des Stromflusses. Deshalb ist in Abbildung 4.5 ein einphasiger Motor als Verbraucher zwischen L1 und PEN angeschlossen.

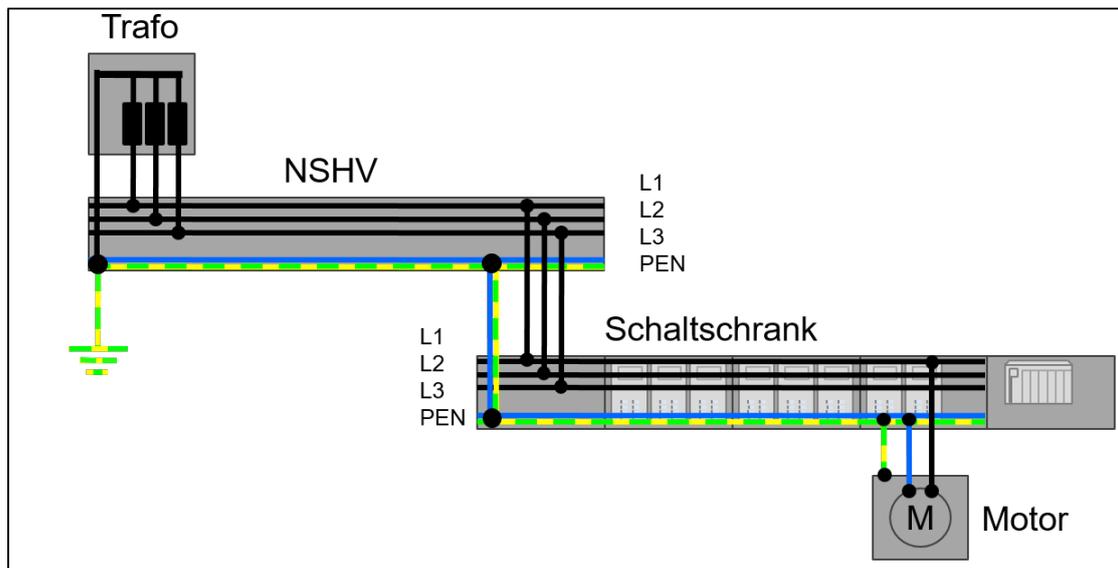


Abbildung 4.5: TN-C-System mit Verbraucher

In Abbildung 4.6 ist der Stromfluss zu sehen, welcher durch den Anschluss des Motors entsteht. Der Strom fließt über L1 vom Transformator zum Motor. Zurück fließt er vom Motor über den N-Leiter zur Verteilung im Schaltschrank und von dort über den PEN-Leiter zurück zum Transformator.

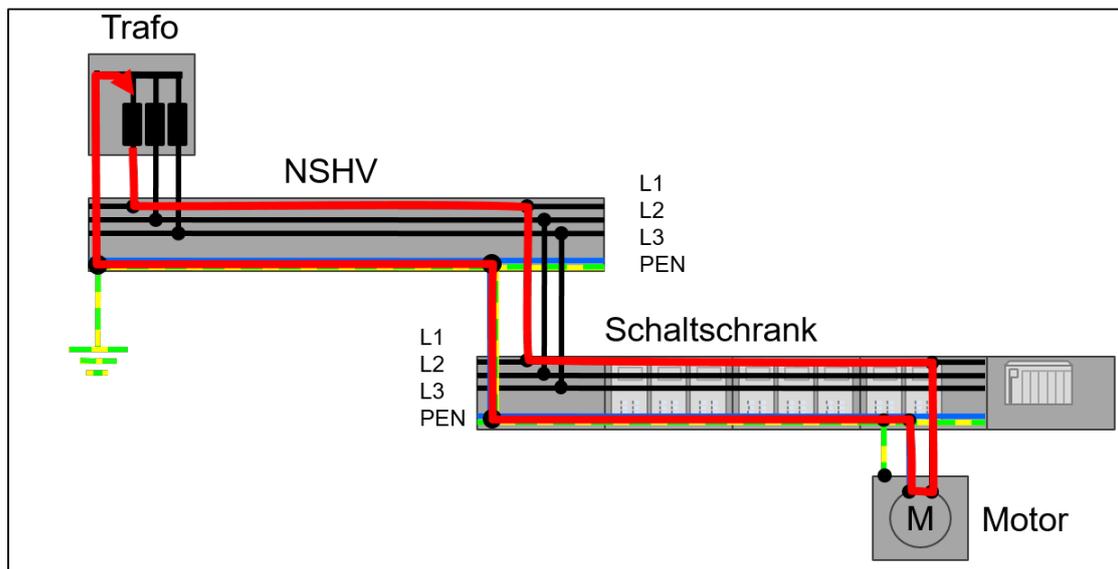


Abbildung 4.6: TN-C-System mit Verbraucher und Stromfluss

Zu Problemen im TN-C-System kommt es, sobald der PEN-Leiter gewollt oder ungewollt an mehreren Stellen mit dem Potentialausgleichssystem verbunden wird. Eine solche zusätzliche Verbindung kann zum Beispiel konstruktionsbedingt am Motor über die Welle oder die Befestigung an einem metallischen Gestell entstehen. In Abbildung 4.7 ist diese Verbindung des Motors mit dem Potentialausgleichssystem unter Punkt ① beispielhaft eingezeichnet.

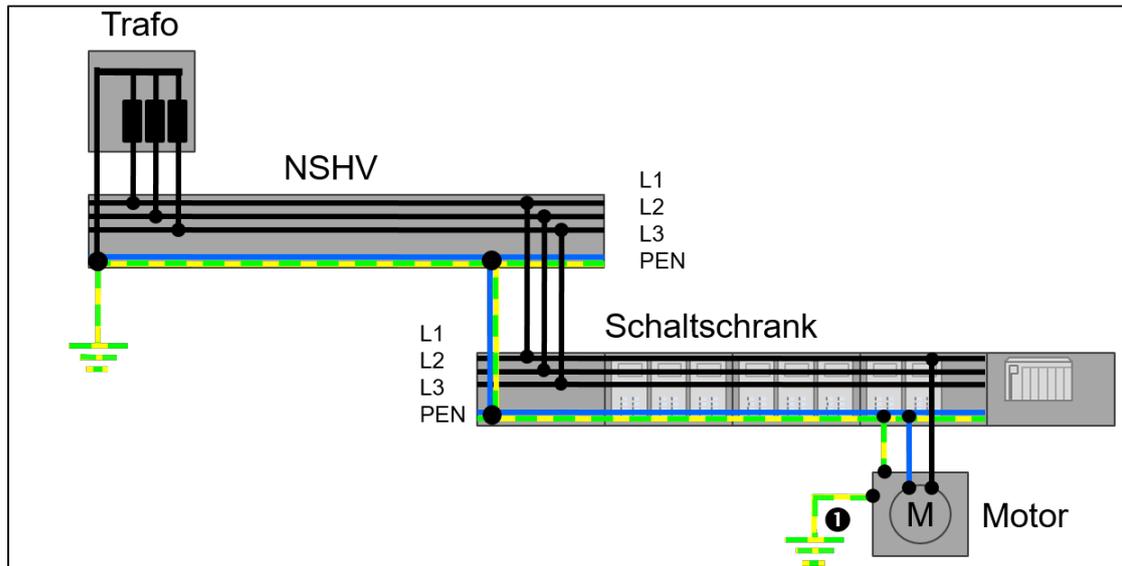


Abbildung 4.7: TN-C-System mit mehreren Verbindungen zum Potentialausgleichssystem

Werden die möglichen Stromflüsse mit der vorhandenen Verbindung zum Potentialausgleichssystem am Motor betrachtet, so ergibt sich in Abbildung 4.8 ein anderer Stromverlauf als in Abbildung 4.6. Der Strom fließt vom Motor über den N-Leiter zurück in den PEN-Leiter des Schaltschranks. Hier wird ein Großteil des Stromes weiter über den PEN-Leiter zur NSHV und zum Transformator fließen. Ein Teilstrom wird aber ebenfalls über die PE-Leiter zum Gehäuse des Motors und von dort durch das Potentialausgleichssystem zurück zum Erdungspunkt der NSHV sowie den Transformator fließen.

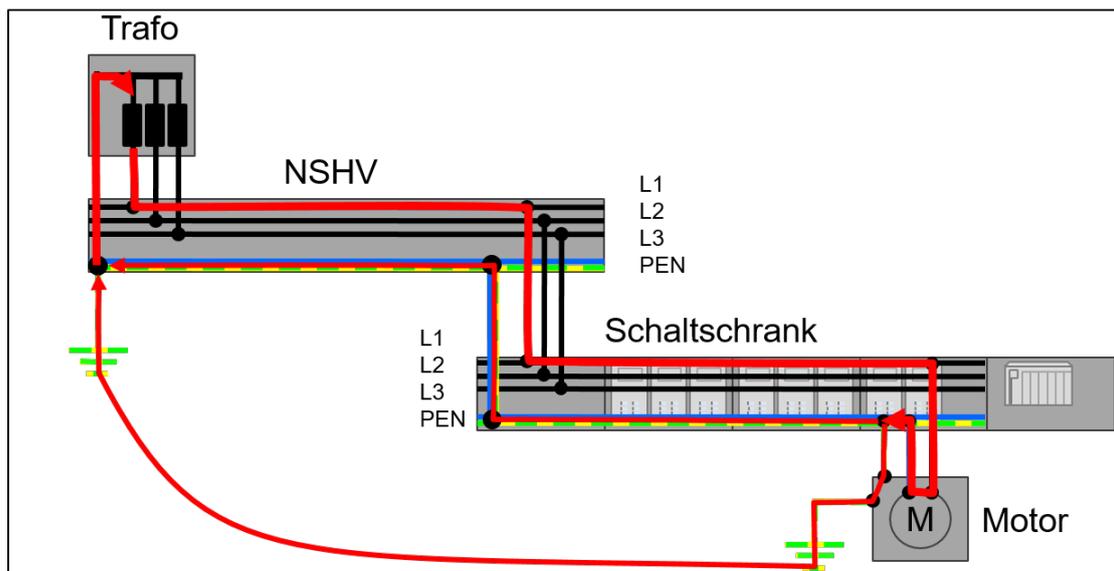


Abbildung 4.8: TN-C-System mit Mehrfacherdungung, Verbraucher und Stromfluss

Durch den Strom im Potentialausgleichssystem und den durch den Stromfluss entstehenden Spannungsabfall entsteht eine Potentialdifferenz zwischen den beiden Erdungspunkten. Diese Potentialdifferenz kann durch Leitungsschirme von Motor- und Datenleitungen überbrückt werden, da Leitungsschirme mehrfach mit dem Potentialausgleichssystem verbunden werden. Diese Leitungsschirme sind allerdings nicht dafür ausgelegt, Betriebsströme zu führen, und werden ggf. durch unzulässige Strombelastung beschädigt.

4.2.1.2 Netzversorgung als TN-C-S-System

Aus dem aus heutiger Sicht veralteten TN-C-System hat sich im Laufe der Zeit das neue TN-S-System entwickelt. Hierbei sind Neutral- und Schutzleiter getrennt voneinander ausgeführt. Es gibt allerdings auch eine Kombination dieser beiden Systeme. Diese Kombination wird TN-C-S-System genannt und ist in Abbildung 4.9 zu sehen. In der NSHV liegt noch ein klassisches TN-C-System vor, welches einen PEN-Leiter besitzt. Im Schaltschrank wird hingegen eine Trennung von Schutz- und Neutraleiter vorgenommen, wodurch ein TN-S-System entsteht. Die einzige Verbindung der beiden Leiter entsteht über eine PEN-Brücke.

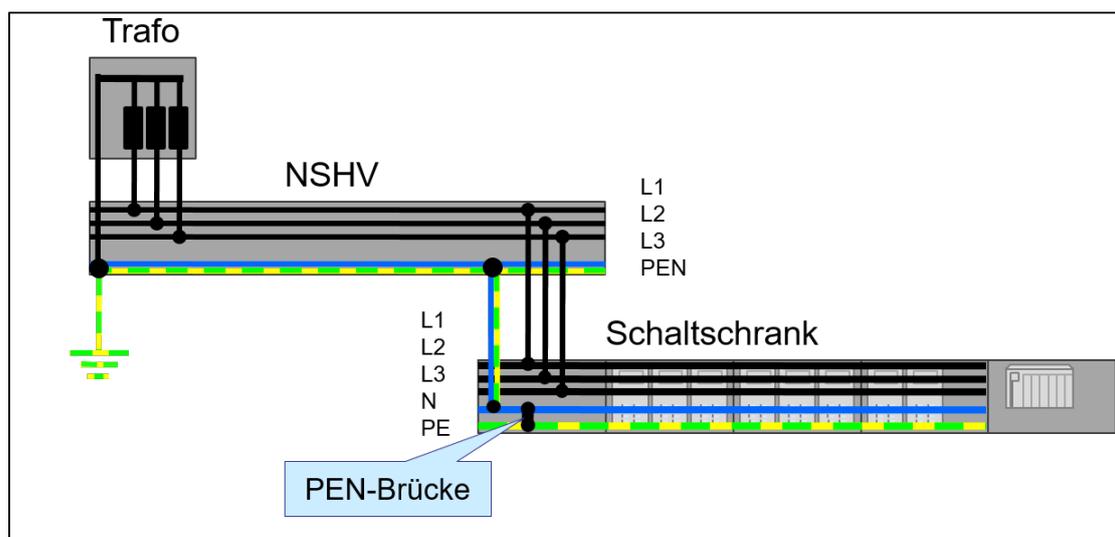


Abbildung 4.9: TN-C-S-System

Betrachtet man den Stromverlauf, welcher sich durch den angeschlossenen Motor als beispielhafter Verbraucher in Abbildung 4.9 ergibt, so entsteht ein Stromverlauf, welcher in Abbildung 4.10 rot eingezeichnet ist. Der Strom fließt vom Transformator über den Leiter L1 durch die NSHV und den Schaltschrank zum Motor. Vom Motor fließt er über den Neutraleiter in den Schaltschrank und von hier weiter über den PEN-Leiter in der NSHV zum Transformator zurück.

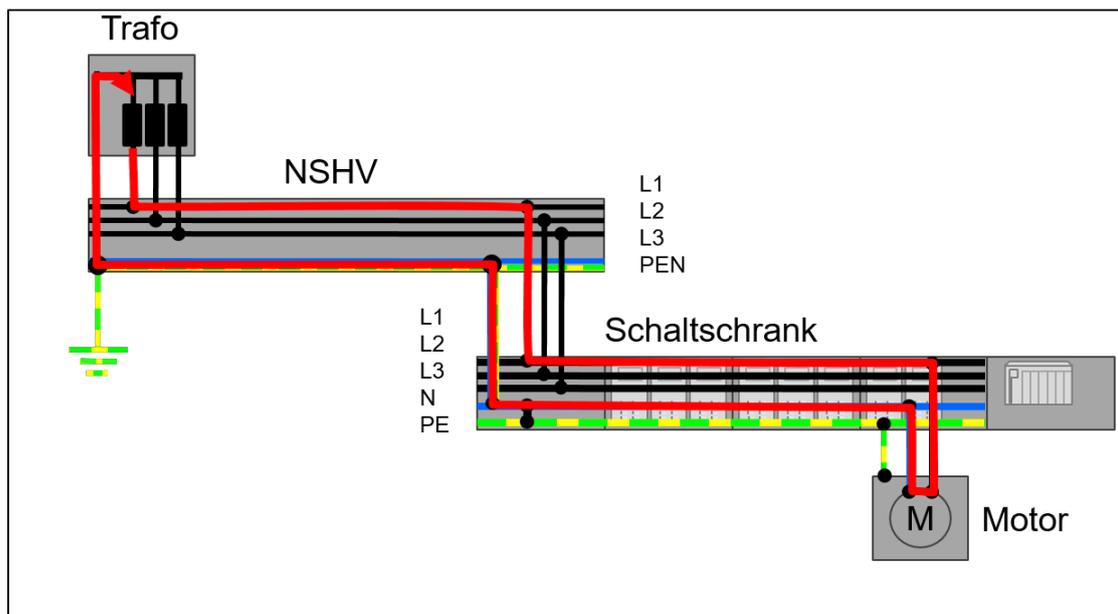


Abbildung 4.10: Stromverlauf im TN-C-S-System

Da der Motor allerdings auch in diesem Fall mehrere gewollte oder ungewollte leitende Verbindungen zum Potentialausgleichssystem haben kann, ist ein Stromverlauf wie in Abbildung 4.11 ebenfalls möglich. Hier fließt der Strom nicht nur über den PEN-Leiter vom Schaltschrank zur NSHV zurück, sondern ein Teilstrom ebenfalls über den Schutzleiter des Motors und das Potentialausgleichssystem.

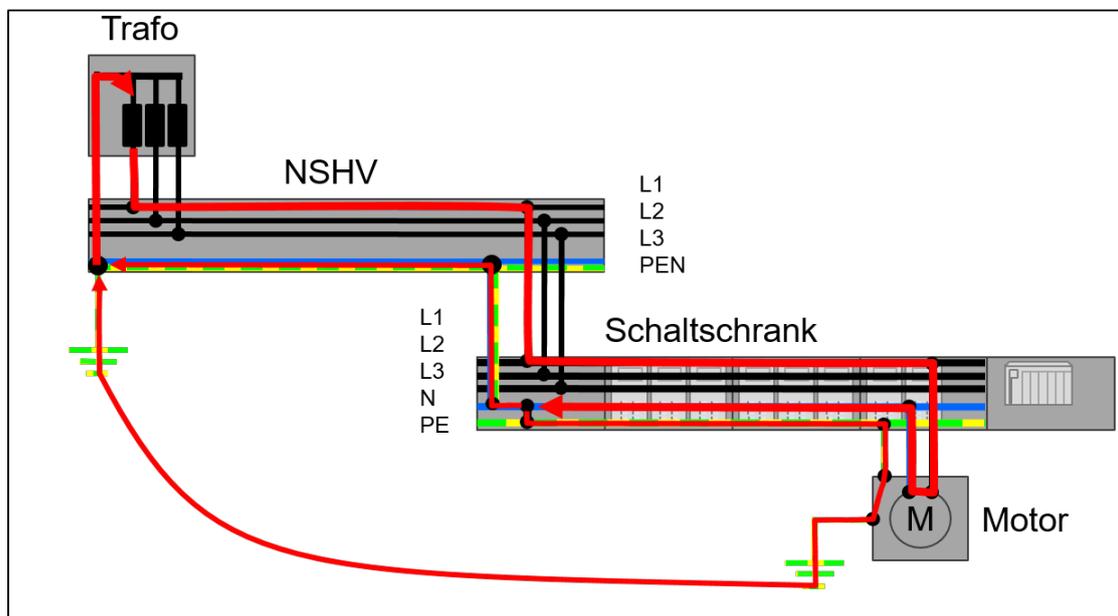


Abbildung 4.11: Stromverlauf im TN-C-S-System bei Mehrfacherdung

Da dieser Stromfluss nicht nur zu Schäden im Potentialausgleichssystem führen kann, sondern auch Komponenten, wie zum Beispiel Lager und Getriebe des Motors, beschädigen kann, sollte eine zweite gewollte Verbindung zwischen Potentialausgleichssystem und dem Schutzleiter des TN-S-System im Schaltschrank gelegt werden. Eine solche Verbindung ist in Abbildung 4.12 eingezeichnet. Durch diese Erdung wird der Stromverlauf durch den Schutzleiter zum Motor deutlich reduziert.

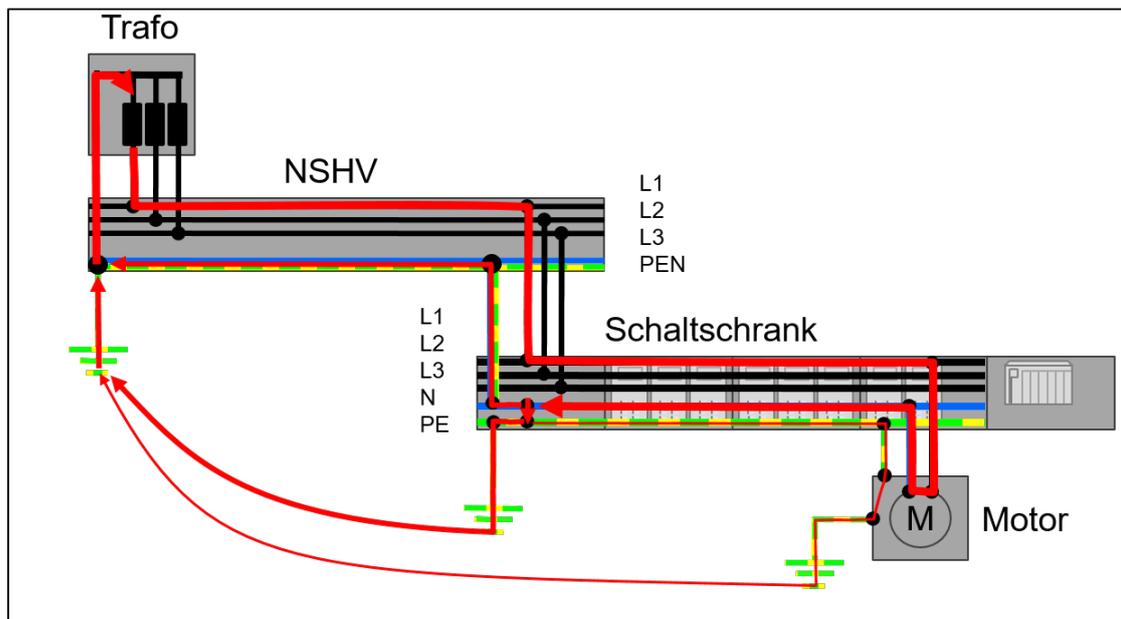


Abbildung 4.12: Stromverlauf im TN-C-S-System mit gezielter Mehrfacherdung am Schaltschrank

Die Maßnahme mit der Verbindung des Schutzleiters mit dem Potentialausgleich bei der Erstellung des TN-S-Systems im Schaltschrank schützt die angeschlossenen Verbraucher vor Betriebsströmen über den Schutzleiter. Allerdings wird ein Stromfluss im Potentialausgleich nicht verhindert. Dieser Stromfluss kann zum Beispiel zu Schäden von Leitungsschirmen von Datenleitungen führen.

4.2.1.3 Netzversorgung als TN-S-System

Besser ist es aus heutiger Sicht, reine TN-S-Systeme aufzubauen bzw. den PEN-Leiter frühzeitig in der Anlage aufzutrennen. Die Trennung erfolgt, wie in Abbildung 4.13 dargestellt, in der NSHV.

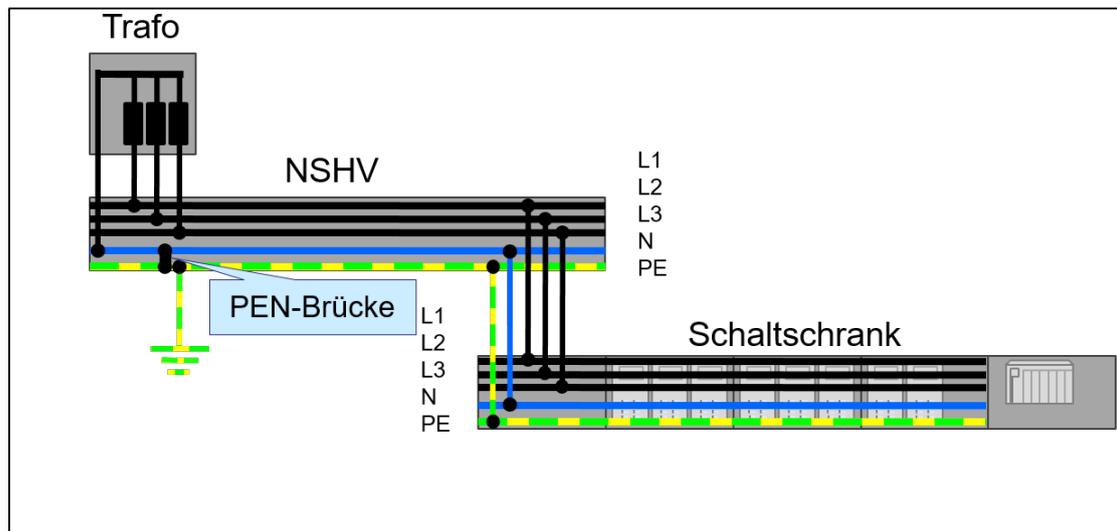


Abbildung 4.13: TN-S-System

In Abbildung 4.13 ist der zentrale Erdungspunkt des Potentialausgleichssystems in der NSHV nur noch mit dem Schutzleiter verbunden. Zudem befindet sich am zentralen Erdungspunkt (ZEP) in der NSHV eine PEN-Brücke.

Um den Stromfluss in einem TN-S-System betrachten zu können, wird in Abbildung 4.14 ein Motor als Verbraucher am Schaltschrank dargestellt. Zudem besitzen der Schaltschrank und der Motor weitere Verbindungen zum Potentialausgleichssystem.

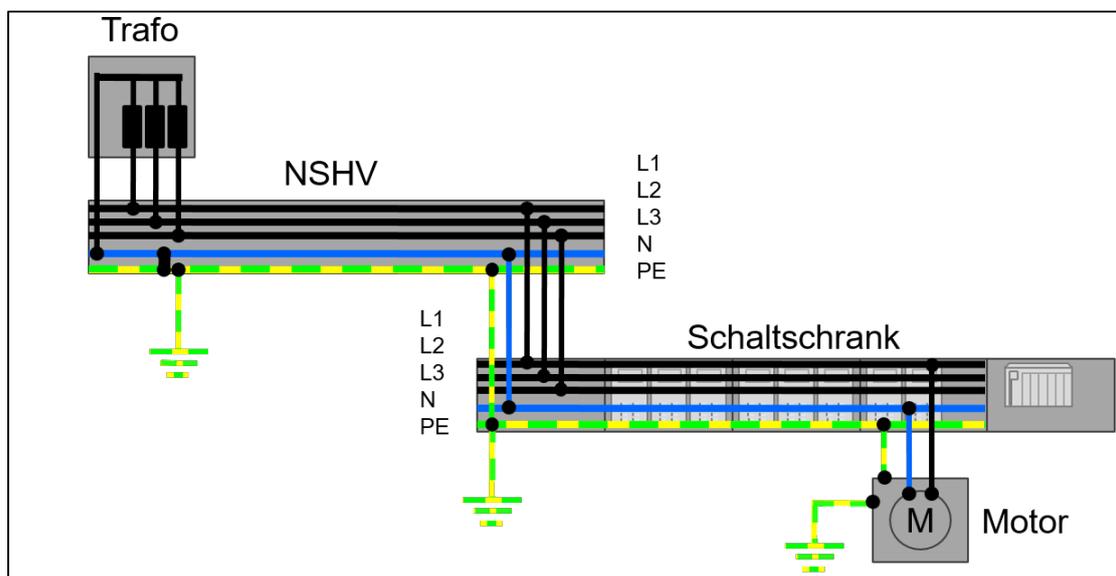


Abbildung 4.14: TN-S-System mit Verbraucher

Bei der Betrachtung des Stromflusses (rot) in Abbildung 4.15 fällt auf, dass der Strom trotz Mehrfacherdung der Gehäuse der Betriebsmittel nicht über das Potentialausgleichssystem fließt. Er fließt vom Transformator über L1 zum Verbraucher und über den Neutralleiter zurück zum Transformator. Dies ist der große Vorteil des TN-S-Systems gegenüber dem TN-C-System.

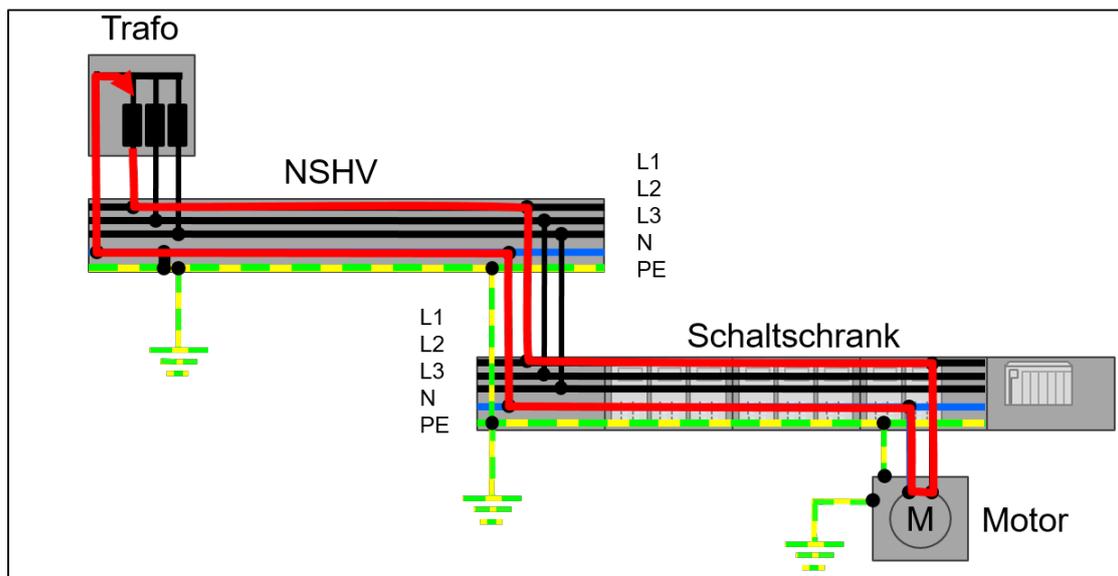


Abbildung 4.15: TN-S-System mit Verbraucher und Stromfluss

In Abbildung 4.16 ist nun ein Fehler dargestellt, der in der Praxis häufig bei TN-S-Systemen auftritt. Neben der notwendigen PEN-Brücke in der NSHV ist fälschlicherweise noch eine weitere PEN-Brücke im Schaltschrank verbaut.

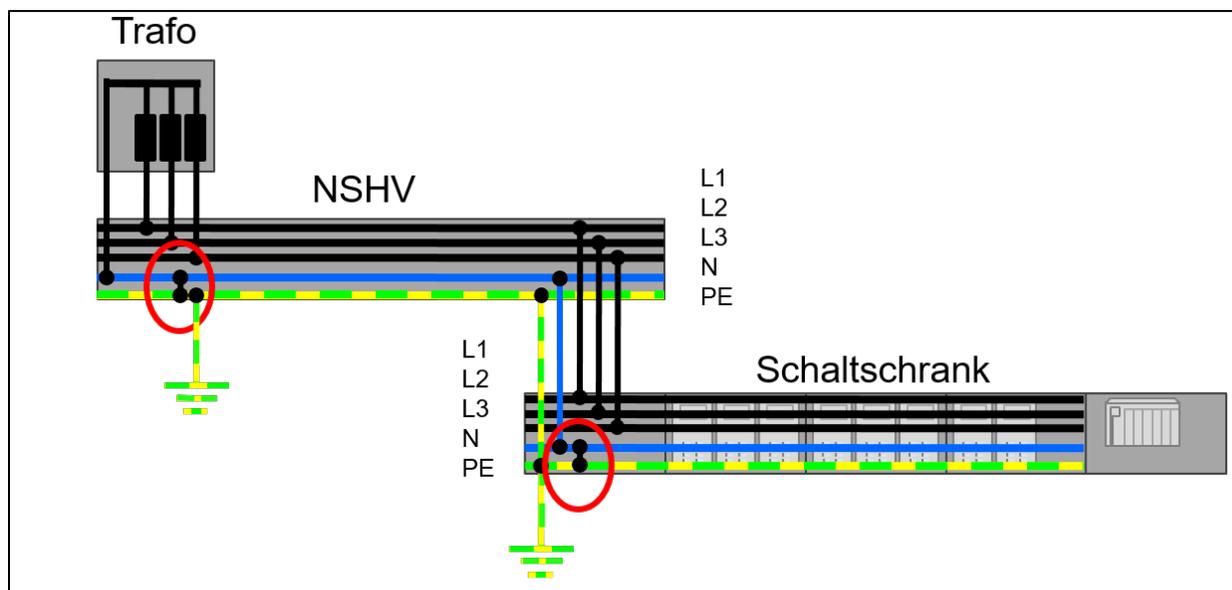


Abbildung 4.16: TN-S-System mit zwei PEN-Brücken

Die zusätzliche PEN-Brücke im Schaltschrank ist laut [DIN-EN 60204-1] verboten. Eine Erklärung hierfür ist in Abbildung 4.17 zu erkennen.

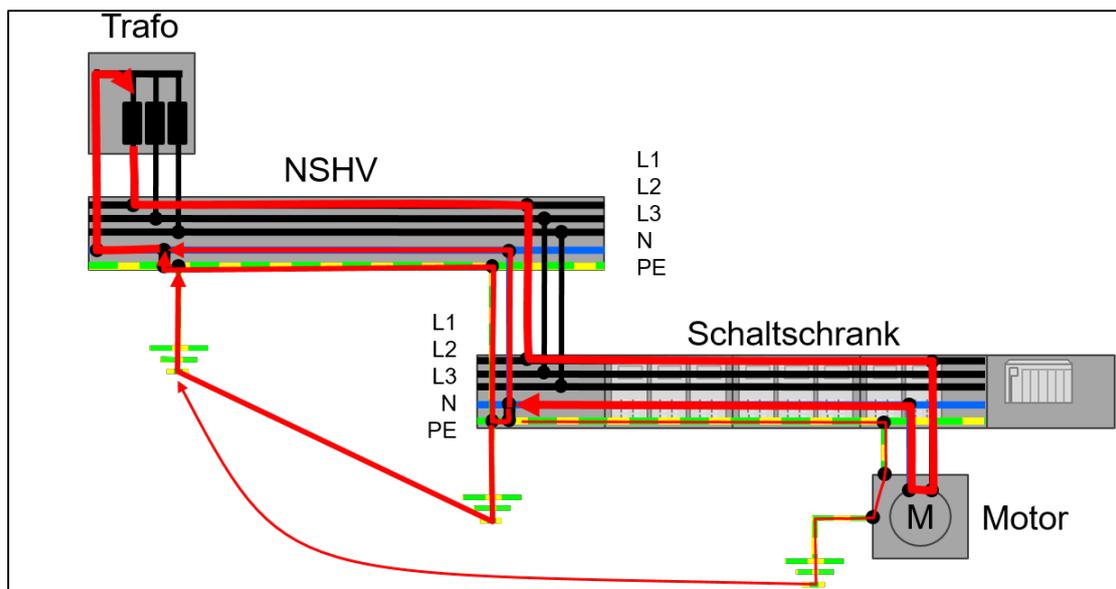


Abbildung 4.17: TN-S-System mit zwei PEN-Brücken, Verbraucher und Stromfluss

Der Stromfluss, welcher in Abbildung 4.17 rot eingezeichnet ist, fließt zunächst wie zuvor vom Transformator über L1 zum Verbraucher. Hier gelangt er in den Neutraleiter des Schaltschrankes und fließt in Richtung der verbotenen PEN-Brücke. An dieser PEN-Brücke teilt sich der Gesamtstrom in mehrere Teilströme auf. Er fließt parallel über das Potentialausgleichssystem, den Schutz- und den Neutraleiter zurück zum Transformator. Durch den Stromfluss im Potentialausgleichssystem entsteht eine Potentialdifferenz zwischen den beiden Erdungspunkten. Diese Potentialdifferenzen führen zu Problemen, weil sie u.a. Stromflüsse in Leitungsschirmen verursachen können (siehe Kap. 2.1.1.).

4.2.2 Beschreibung der Normen und Fachliteratur

Laut [DIN-EN 50310] und [IEC 60364-4-44] eignen sich TN-C-Systeme aus Gründen der EMV nicht für die Einrichtung von Gebäuden mit informationstechnischen Einrichtungen. Dies liegt vor allem am PEN-Leiter. Der PEN-Leiter führt betriebsbedingt Neutralleiterströme, welche durch mehrfache Verbindungen mit dem Potentialausgleichssystem zu Potentialunterschieden im Potentialausgleichssystem führen. Zudem fließen die Ströme im Potentialausgleichssystem ebenfalls über Leitungsschirme von Motorleitungen und Datenleitungen, welche für ihre aktive Schirmwirkung beidseitig geerdet werden müssen. Diese Stromflüsse in Leitungsschirmen führen zu Störungen in der Anlage [SCH2008], weil die Kommunikation zwischen den angeschlossenen Geräten gestört wird. Diese Störungen können ggf. auch zu einem Anlagenstillstand führen.

Deshalb werden Planer und Errichter von neuen Gebäuden/Anlagen mit informationstechnischen Einrichtungen auch in der [DIN-EN 50310] und [IEC 60364-4-44] aufgefordert, ausschließlich TN-S-Systeme zu errichten.

4.2.3 Empfehlungen für PROFIBUS und PROFINET

Da die Digitalisierung der Prozess- und Fertigungsindustrie immer weiter voranschreitet, kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei Produktionsanlagen immer um Gebäude mit informationstechnischen Einrichtungen handelt. Zur Sicherstellung einer guten elektromagnetischen Verträglichkeit sollten daher nur noch TN-S-Systeme, TN-C-S-Systeme mit einem möglichst schon in der Hauptverteilung getrennten PE- und N-Leitern oder TT-Systeme eingesetzt werden. Ist als Einspeisung vom Energieversorgungsunternehmen ein TN-C Netz vorhanden, so ist es aus EMV-Gründen erforderlich, dieses in der Niederspannungsverteilungsanlage so früh wie möglich in ein TN-S-System umzuwandeln. Hierbei sollte eine PEN-Brücke in der Nähe des zentralen Erdungspunktes angebracht sein. Im TN-S-System können zudem mehrere parallele Verbindungen vom z.B. Schaltschrank zum Potentialausgleichssystem bestehen, ohne dass Betriebsströme durch das Potentialausgleichssystem fließen.

Zusätzlich kann, wie in Abbildung 4.18 zu sehen ist, ein Strom-Monitoring über der PEN-Brücke durchgeführt werden. Beim Strom-Monitoring werden die Gleich- und Wechselströme über der PEN-Brücke gemessen und ausgewertet. Das Strom-Monitoring sollte durch geeignete Fachkräfte installiert und überwacht werden. Durch dieses Monitoring werden unzulässige Ströme frühzeitig erkannt. Die frühzeitige Erkennung erleichtert das Erkennen von Strömen im Potentialausgleichssystem sowie unzulässiger Mehrfach-Verbindungen zwischen Neutral- und Schutzleiter.

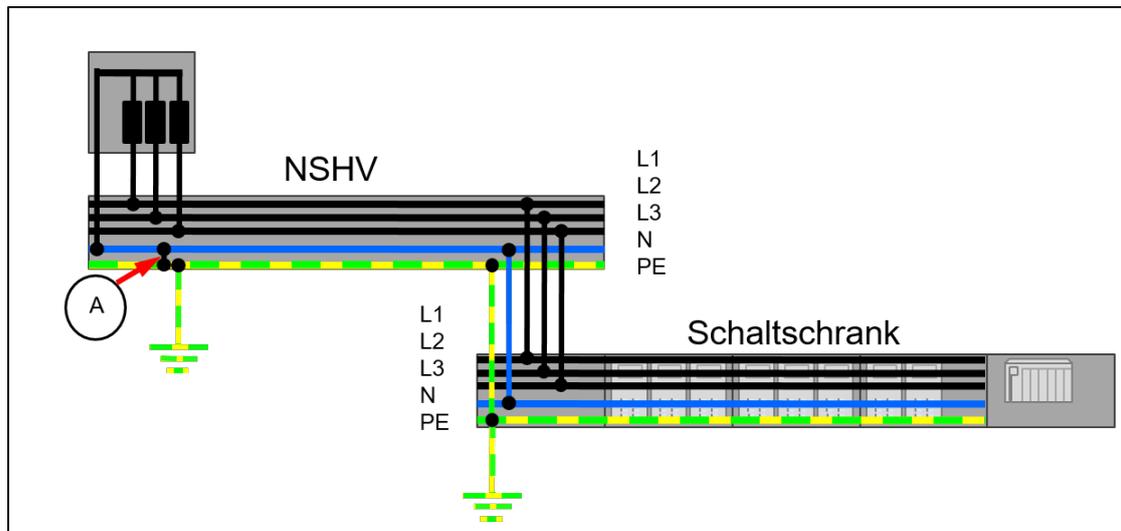


Abbildung 4.18: Ideales TN-S-System

Bei der Modernisierung der Energieversorgung von Gebäuden müssen bisher verwendete TN-C-Systeme der Energieversorgung in TN-S-Systeme gewandelt werden. Hierzu werden die Betriebsmittel an einen neu verlegten Schutzleiter angeschlossen. Der alte PEN-Leiter wird - sofern es Leitungsquerschnitt und -zustand zulassen - anschließend nur noch als Neutraleiter verwendet. Hierbei ist es wichtig, dass sichergestellt ist, dass nur eine Verbindung zwischen Schutz- und altem PEN-Leiter in der NSHV besteht. Jede weitere Verbindung im TN-S-System muss vermieden werden [WOL2015].

Aus diesem Kapitel leitet sich die Handlungsempfehlung F2 ab:

F2	230/400 V-Netzversorgung vorzugsweise als TN-S-System aufbauen.
----	---

4.3 Potentialausgleichssystem

Zu Erläuterung wird die Beispielanlage aus der Fertigungsindustrie genutzt. Natürlich lässt sich der Potentialausgleich ebenso auf Anlagen der Prozessindustrie übertragen.

Der Potentialausgleich wird derzeit meist über eine Stern- oder Baumtopologie durchgeführt. Ein sternförmiger Aufbau des Potentialausgleichssystems ist in Abbildung 4.19 abgebildet. Neben diesem Potentialausgleich sind die Verbraucher der Anlage noch zusätzlich mit weiteren in den Anschlussleitungen der Geräte liegenden Schutzleitern verbunden. Dies begründet sich mit dem Vorhandensein eines Schutzleiters in jeder Energieleitung, welcher zusätzlich eine Schutzerdung der Betriebsmittel übernimmt.

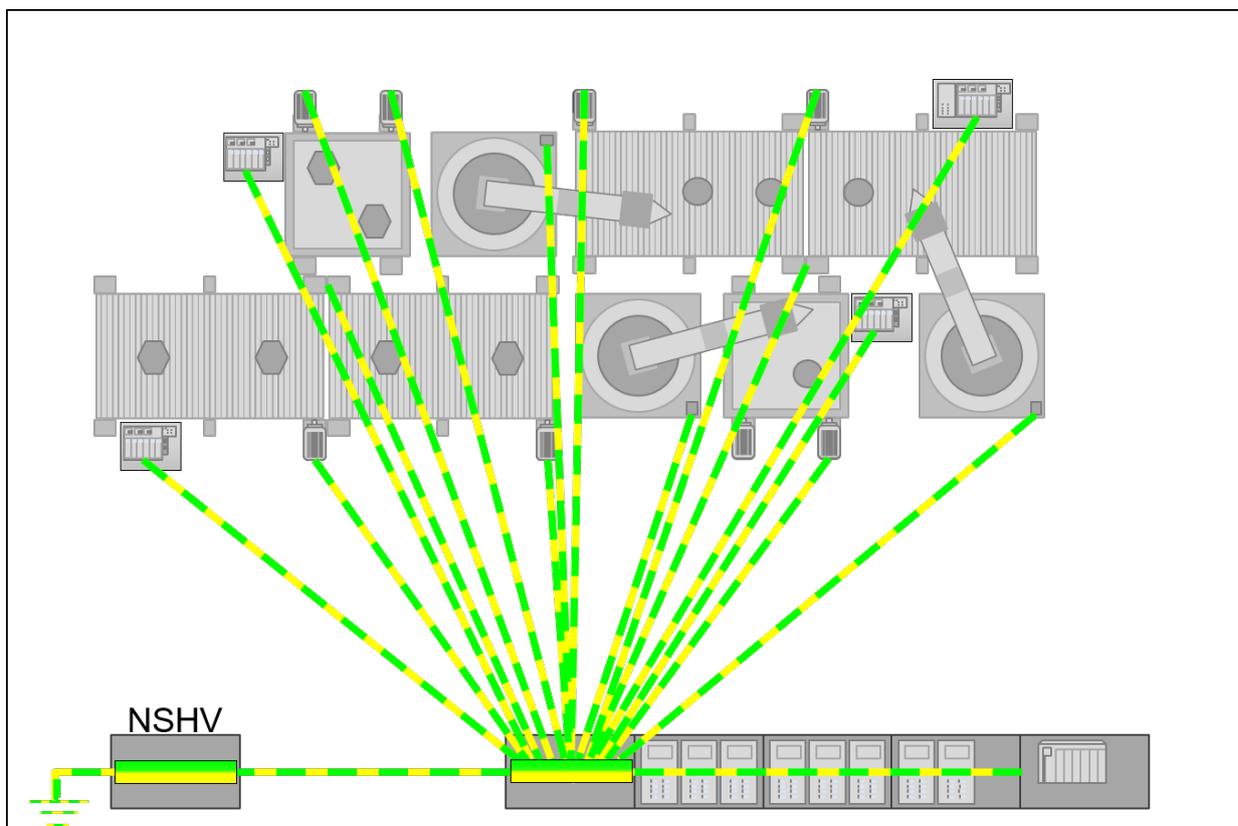


Abbildung 4.19: Sternförmiger Potentialausgleich

Eine kostengünstigere Realisierung des sternförmigen Potentialausgleichs ist der baumförmige Potentialausgleich (Abbildung 4.20). Hierbei werden mehrere Sternpunkte an einem zentralen Sternpunkt zusammengeführt.

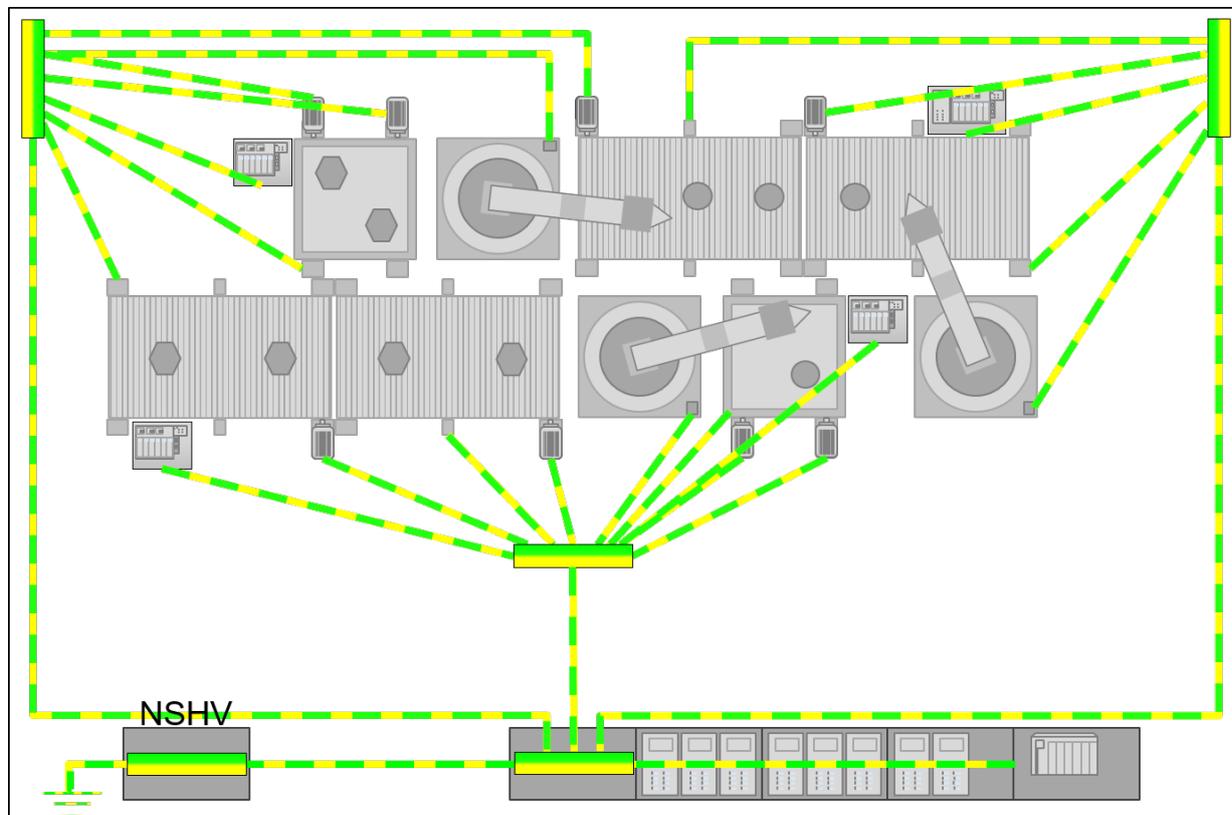


Abbildung 4.20: Baumförmiger Potentialausgleich

4.3.1 Problembeschreibung

Die Probleme, welche durch den Potentialausgleich auftreten, sind bei stern- und baumförmigem Potentialausgleich nahezu gleich. Deshalb wird im Folgenden nur ein sternförmiger Potentialausgleich betrachtet.

Abbildung 4.21 zeigt den sternförmigen Potentialausgleich in grün-gelb sowie eine PROFIBUS-Leitung in lila. Diese PROFIBUS-Leitung könnte auch eine PROFINET-Leitung sein, da beide Netzwerktypen einen linienförmigen Anlagenaufbau zulassen.

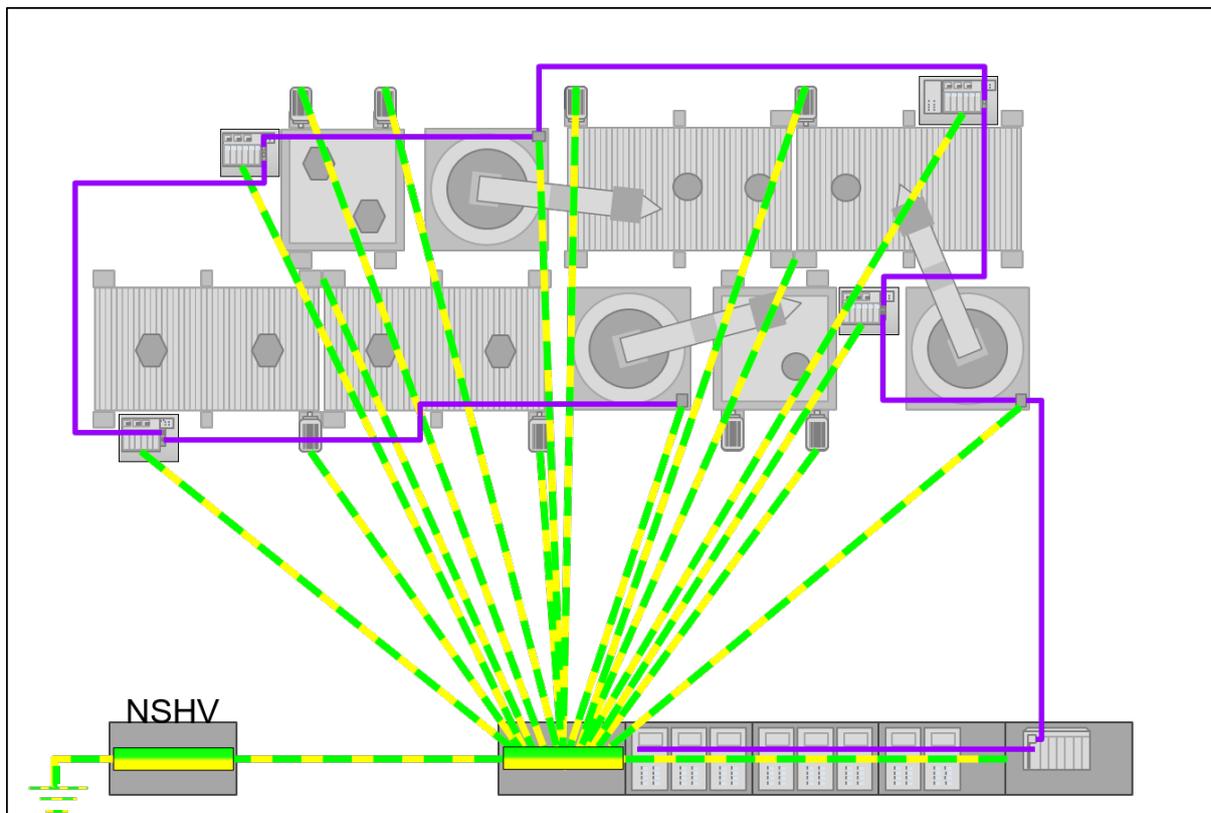


Abbildung 4.21: Sternförmiger Potentialausgleich mit PROFIBUS-Leitungen

PROFIBUS und PROFINET-Leitungen sind geschirmte Zweidraht-, Vierdraht- oder künftige Achtadrtleitungen. Üblicherweise sind die Kabelschirme über die Gehäuse der Steckverbinder und dadurch über die Gehäuse der Geräte mit dem Common Bonding Network (CBN) verbunden. Es ist in den Planungsrichtlinien vorgegeben, dass die Leitungsschirme an beiden Enden mit dem Common Bonding Network (CBN) verbunden sind. Dies ist für die Schutzfunktion des Leitungsschirms aus Gründen der EMV wichtig, da einseitig oder nicht aufgelegte Leitungsschirme keine aktive Schirmwirkung gegen magnetische Felder zulassen (siehe Kap.3.1.2).

Diese Verbindungen zwischen Leitungsschirmung und Potentialausgleichssystem sind in Abbildung 4.22 genauer zu erkennen. Die von den Farben her kräftig grüngelb dargestellten Leitungen des Potentialausgleichssystems besitzen direkte Verbindungen zu den Leitungsschirmen der PROFIBUS-Leitung. Die farblich blassen Leitungen des Potentialausgleichssystems besitzen hingegen keine direkte Verbindung zum Leitungsschirm und sind für die weiteren Betrachtungen irrelevant. Die blassen Leitungen werden deshalb in den folgenden Abbildungen ausgeblendet.

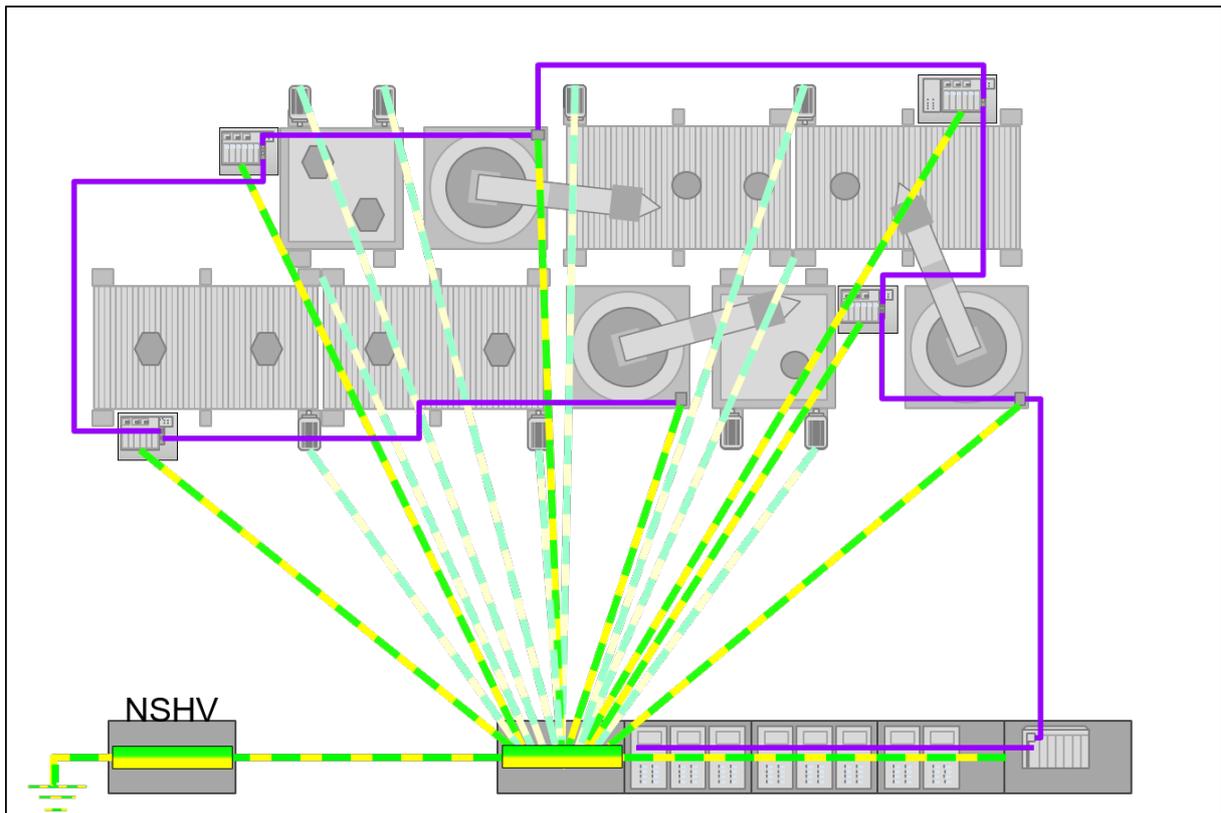


Abbildung 4.22: Sternförmiger Potentialausgleich mit PROFIBUS-Leitungen 2

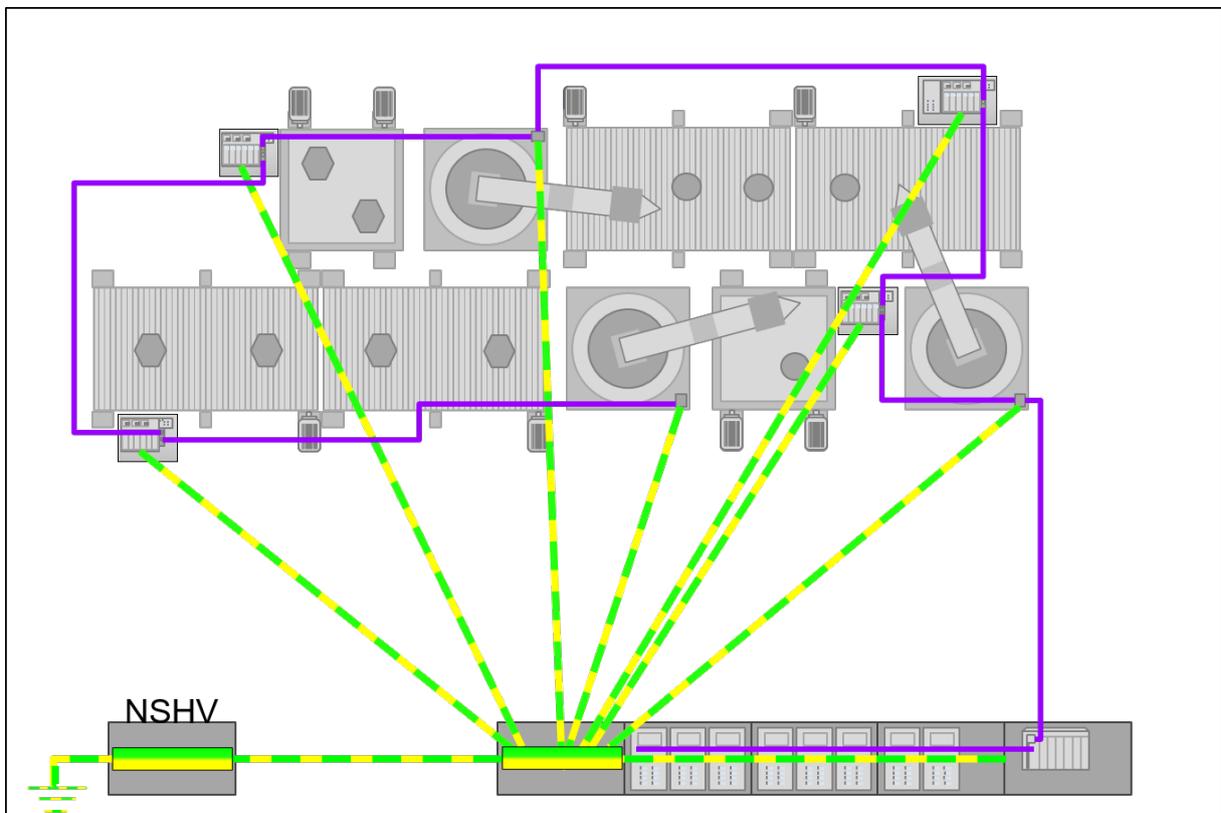


Abbildung 4.23: Sternförmiger Potentialausgleich mit PROFIBUS-Leitungen 3

Durch die Verbindung der Sternpunkte des Potentialausgleichssystems über die an diesen Punkten aufgelegten Leitungsschirme der PROFIBUS-Leitung entstehen Maschen, welche in Abbildung 4.24 rot eingezeichnet sind. In Leitern dieser Maschen, die magnetischen Feldern ausgesetzt sind, können Spannungen induktiv eingekoppelt werden. Durch eingekoppelte Spannung kommt es zu einem Stromfluss in den Leitern der Maschen und damit auch zu einem Stromfluss über den Schirm der PROFIBUS-Leitung.

In Kapitel 3.1.2 wurde die aktive Schirmung beschrieben, welche einen Schirmstrom benötigt, um einfallende magnetische Felder aufzuheben. In diesem Fall wird der Stromfluss auf dem Schirm benötigt, um die Schirmwirkung zu erzielen. Wenn der Schirmstrom aber nicht durch ein auf die PROFIBUS-Leitung einfallendes Magnetfeld verursacht wird, sondern z. B. als Ausgleichsstrom einer galvanischen Kopplung im Potentialausgleich fließt, erzeugt er Störungen anstatt sie zu senken. Dieser Störstrom über den Schirm sollte verhindert werden.

Der sternförmige Potentialausgleich besitzt zudem lange Leitungswege. Diese langen Leitungswege sorgen für hohe Impedanzen der Potentialausgleichsleitungen. Wird nun ein Strom in den Potentialausgleichsleitungen eingekoppelt, fließt der resultierende Stromfluss über den Schirm der PROFIBUS-Leitung (siehe Kap. 2.1.1). Dieser Stromfluss über den Leitungsschirm koppelt Störungen in die Datenadern der PROFIBUS-Leitung ein.

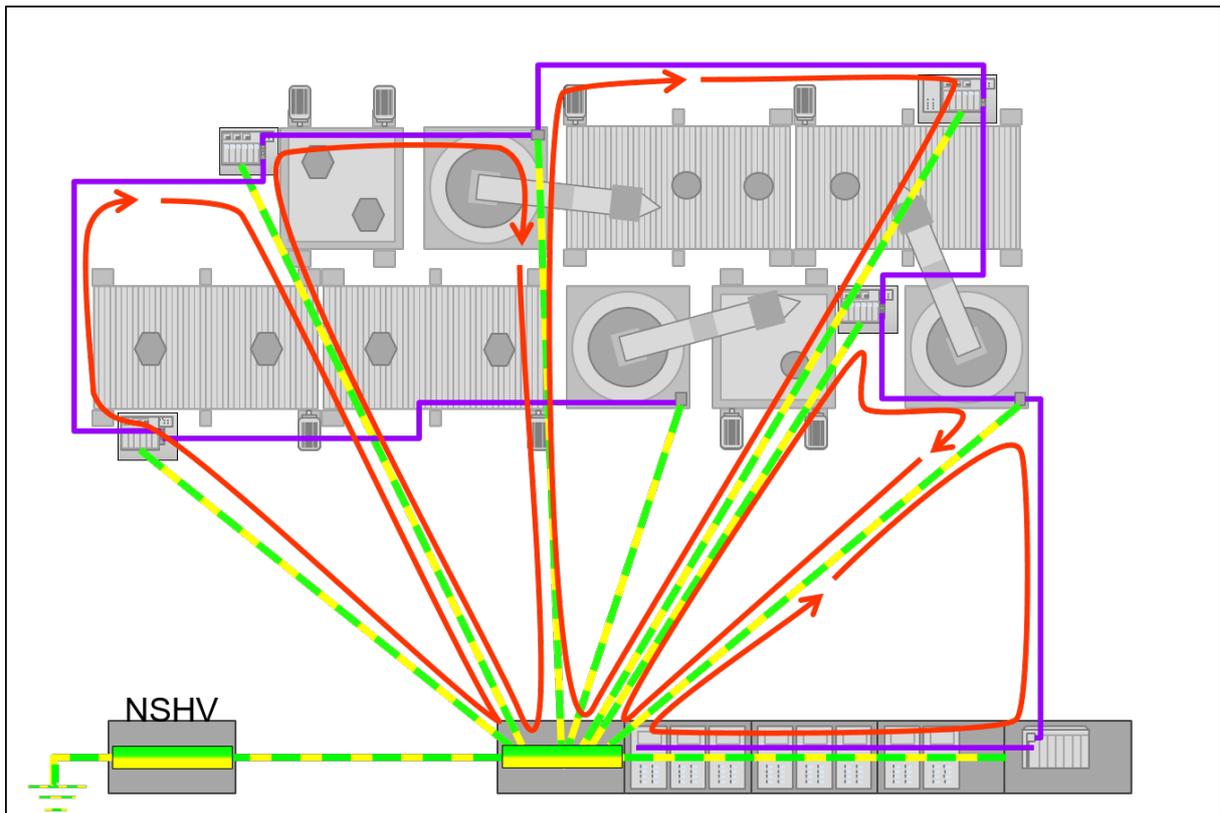


Abbildung 4.24: Maschen im sternförmigen Potentialausgleich

Um den Stromfluss über den Schirm von PROFIBUS-Leitungen zu verhindern, wurden in der Vergangenheit Potentialausgleichsleitungen mit großem Querschnitt empfohlen, welche in räumlicher Nähe parallel zur Busleitung zu verlegen sind und typischerweise nur an den Geräten kontaktiert sind. Diese Leitungen sind in Abbildung 4.25 zu sehen.

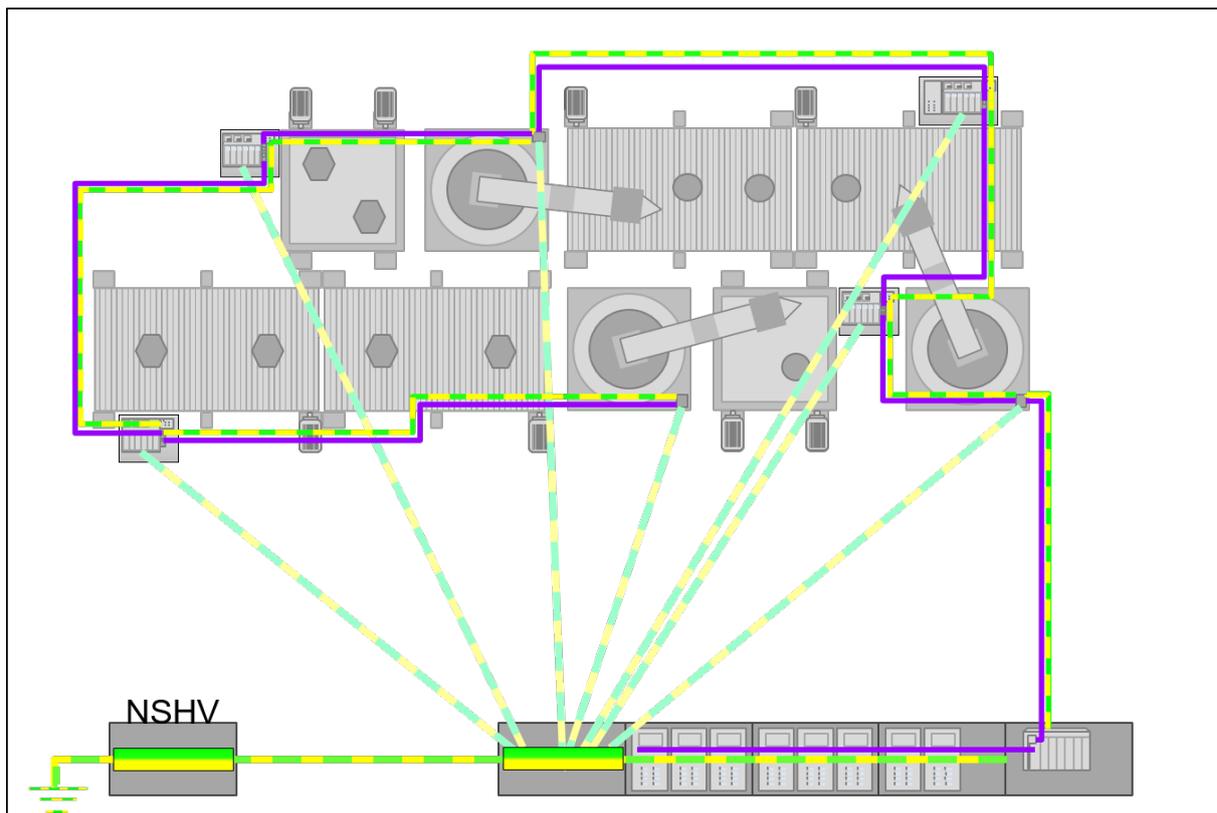


Abbildung 4.25: PROFIBUS- und Potentialausgleichsleitungen

Der Grundgedanke, welcher sich hinter den Potentialausgleichsleitungen aus Abbildung 4.25 verbirgt ist, dass die aktive Schirmung weiterhin greifen kann aber gleichzeitig Störströme nicht über die Schirmung der PROFIBUS-Leitung fließen, sondern über den Potentialausgleichsleiter mit einem geringeren Widerstand.

Da die Störströme in den Anlagen jedoch meist höhere Frequenzen besitzen (siehe Tabelle 2.1), kommt es bei der Stromverteilung im Potentialausgleichssystem nicht auf den ohmschen Widerstand an, sondern auf die Impedanz insbesondere bei höheren Frequenzen. Diese ist bei einer Schirmleitung deutlich geringer als bei einem massiven Kupferleiter. Hierdurch fließt trotz der parallel geführten Potentialausgleichsleitung mit hohem Querschnitt ein erheblicher Anteil des möglichen Stromes in der Masche über den Schirm und nicht über den Schirmentlastungsleiter.

Zudem zeigt Abbildung 4.26, dass die Maßnahme der zusätzlichen Potentialausgleichsleitungen keine Verbesserung hinsichtlich der Maschengröße bringt. Diese sind weiterhin sehr groß und somit anfällig für induktive Kopplungen.

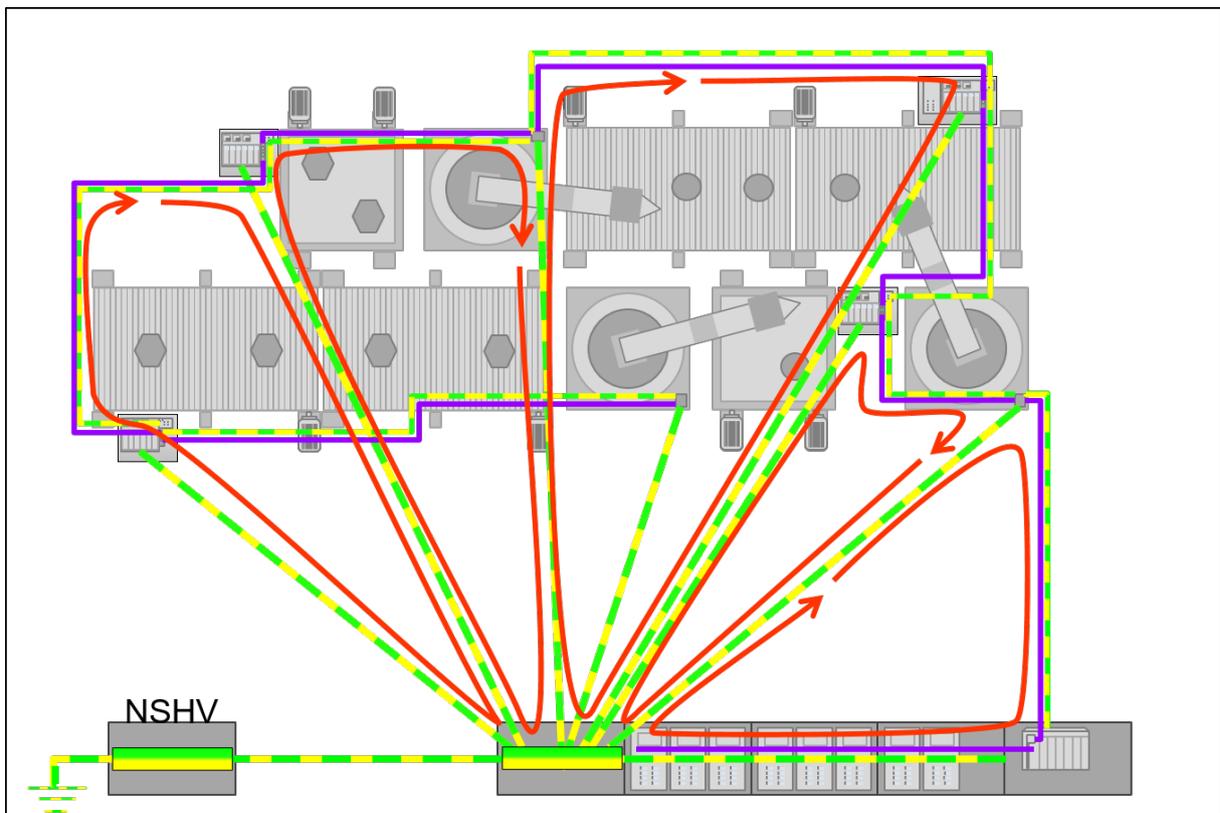


Abbildung 4.26: Maschen mit PROFIBUS- und Potentialausgleichsleitungen

4.3.2 Lösungen aus Normen und Fachliteratur

In [DIN-EN 50310] und [IEC 60364-4-44] werden die Erdung und der Potentialausgleich für Gebäude mit informationstechnischen Einrichtungen beschrieben. Die weiteren Ausführungen sind aus dieser Norm abgeleitet. Die [DIN-EN 50310] unterscheidet zwischen vier unterschiedlichen Potentialausgleichssystemen, welche in Abbildung 4.27 zu sehen sind.

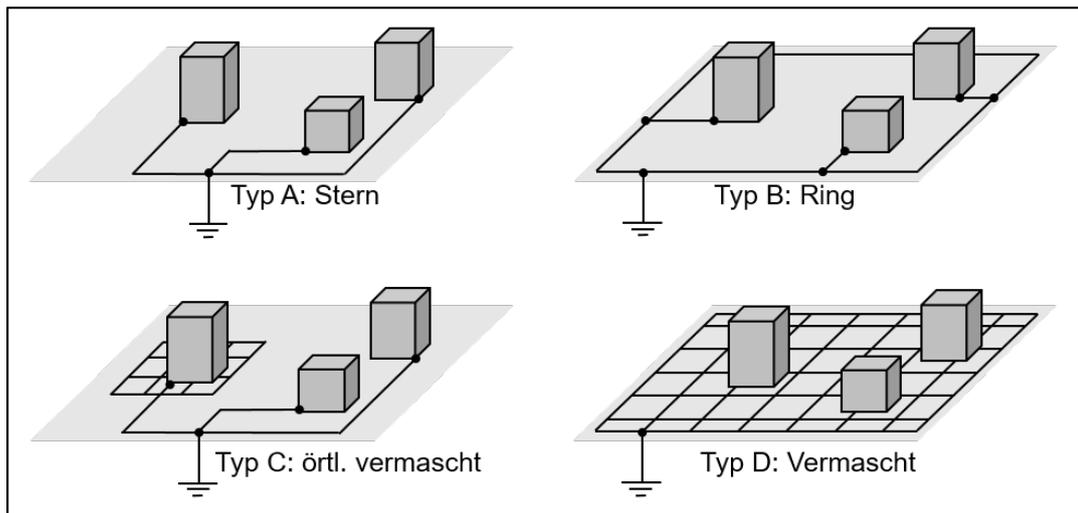


Abbildung 4.27: Potentialausgleichssysteme in Anlehnung an [DIN-EN 50310]

Typ A ist ein Potentialausgleichssystem mit sternförmigem Potentialausgleich. Dieser sternförmige Potentialausgleich besitzt – auf Grund von meist langen Leitungswegen – eine hohe Impedanz zwischen zwei Geräten. Diese hohen Impedanzen sorgen für schlechte Ableitung von elektromagnetischen Störungen/Einkopplungen. Durch die hohe Impedanz ist ein Potentialausgleichssystem vom Typ A aus Sicht der EMV am Wenigsten für Gebäude mit informationstechnischen Einrichtungen geeignet.

Typ B ist ein Potentialausgleichssystem mit ringförmigem Potentialausgleich. Dieser ringförmige Potentialausgleich verringert zwar die Länge des Schutzleiters zwischen zwei Geräten, allerdings können die Leitungen trotzdem hohe Impedanzen besitzen, welche die Ableitung von elektromagnetischen Störungen/Einkopplungen behindern oder sogar verhindern.

Typ C ist ein Potentialausgleichssystem mit einem örtlich vermaschten Potentialausgleich. In einem Bereich der Anlage erfolgt eine örtliche Vermaschung aller metallischen Bauteile, wie zum Beispiel Schaltschränken, Rahmen, Gestellen und Kabelsystemen. Durch die Verbindung aller metallischen Bauteile entsteht ein vermaschtes Potentialausgleichssystem, welches durch viele kurze und parallele Leitungswege eine niedrige

Impedanz besitzt. Diese Vermaschung aller leitfähigen Objekte wird auch als Bonding Network (BN) bezeichnet.

Das Potentialausgleichssystem vom Typ D ist ein Potentialausgleichssystem mit einem vermaschten Potentialausgleich, welcher sich über das gesamte Gebäude verteilt. Es sollte auch etagenübergreifend (Abbildung 4.28) ausgeführt werden.

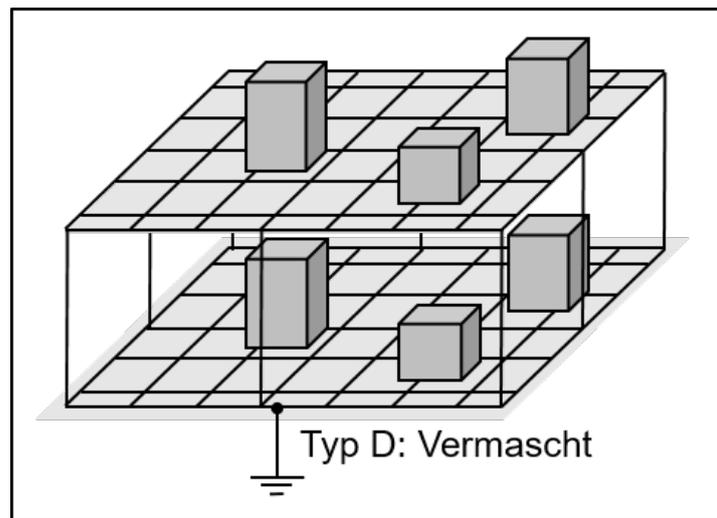


Abbildung 4.28: Vermaschtes Potentialausgleichssystem

Die [DIN-EN 50310] empfiehlt, für den Aufbau von neuen informationstechnischen Anlagen nur noch vermaschte Potentialausgleichssysteme vom Typ D zu nutzen. Dieses vermaschte Potentialausgleichssystem wird als MESH-BN¹ abgekürzt, wenn es auf Basis des CBN durchgeführt wird.

Das Ziel des vermaschten Potentialausgleichssystems ist die Reduzierung der Leitungsimpedanzen zwischen zwei Geräten. Hierzu werden möglichst viele parallele, elektrisch leitfähige Verbindungen zwischen den Geräten in der Anlage benötigt. Da der Verkabelungsaufwand riesig wäre, wenn hierfür nur Leitungen genutzt werden, wird ein Teil der Vermaschung auch über die metallischen Bauteile der Anlage, wie zum Beispiel Rohre, Rahmen, Schaltschränke und Kabelbühnen realisiert. Zudem kann laut [DIN-EN 62305-4] auch der Fundamenterder sowie alle Etagen-Bewehrungen mit in das Potentialausgleichssystem einbezogen werden. Die Stahlarmierungen des Fundamenterders müssen

¹ MESH-BN steht für vermaschte Potentialausgleichssysteme, in denen alle beteiligten Gestelle, Schränke, Roboter, Rohre und Rahmen der Betriebsmittel sowohl untereinander als auch an vielen Stellen mit dem Potentialausgleich (CBN) leitend verbunden sind.

hierzu allerdings verschweißt oder anderweitig dauerhaft kontaktiert werden, um eine elektrische Leitfähigkeit zu gewährleisten. [DIN 18014]

Ein vermaschter Potentialausgleich kann bei Neubauten oder Anlagenerneuerungen gut aufgebaut werden. Für Anlagen mit vorhandenen stern- und ringförmigen Potentialausgleichssystemen gibt es Verbesserungsvorschläge durch Nachrüstung zusätzlicher Verbindungen. Diese Verbesserungsvorschläge sind in Abbildung 4.29 zu sehen. Im linken Teil der Abbildung befinden sich die ursprünglichen Potentialausgleichssysteme und im rechten Teil der Abbildung befinden sich die verbesserten Systeme. Die Verbesserung besteht aus den Potentialausgleichsleitern, welche mit höherer Strichstärke zwischen den Geräten eingezeichnet sind.

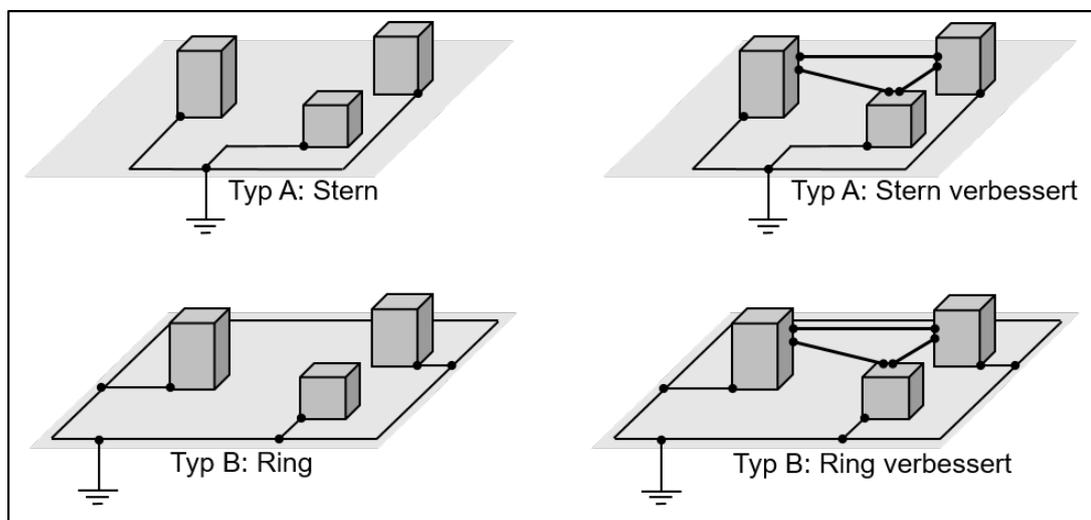


Abbildung 4.29: Verbesserte Potentialausgleichssysteme in Anlehnung an [DIN-EN 50310]

4.3.3 Empfehlungen für PROFIBUS und PROFINET

Die [DIN-EN 50310] lässt sich auf Automationsanlagen mit PROFIBUS-/PROFINET-Geräten anwenden. Deshalb sollte beim Umbau oder Neubau darauf geachtet werden, dass ein vermaschter Potentialausgleich erfolgt, so dass der Potentialausgleich das komplette kupferbasierte PROFIBUS-/PROFINET-Netzwerk umfasst. Für das Beispiel der Fertigungsanlage könnte der vermaschte Potentialausgleich, wie in Abbildung 4.30 dargestellt, aussehen. Zusätzlich können in Anlagen mit hohen Feldbelastungen wie z.B. Induktionsöfen oder industrielle Mikrowellenöfen weitere Maßnahmen wie z.B. Doppelschirmung oder Verlegung der Leitungen in Metallrohren nötig sein.



Abbildung 4.30: Vermaschter Potentialausgleich

Der Aufbau des vermaschten Potentialausgleichs gemäß der [DIN-EN 50310] wird nun schrittweise erklärt. Die Basis dieses Potentialausgleiches bilden Ringleitungen, welche große Maschen um Teile der Anlage bilden. Diese Maschen sind in Abbildung 4.31 eingezeichnet.

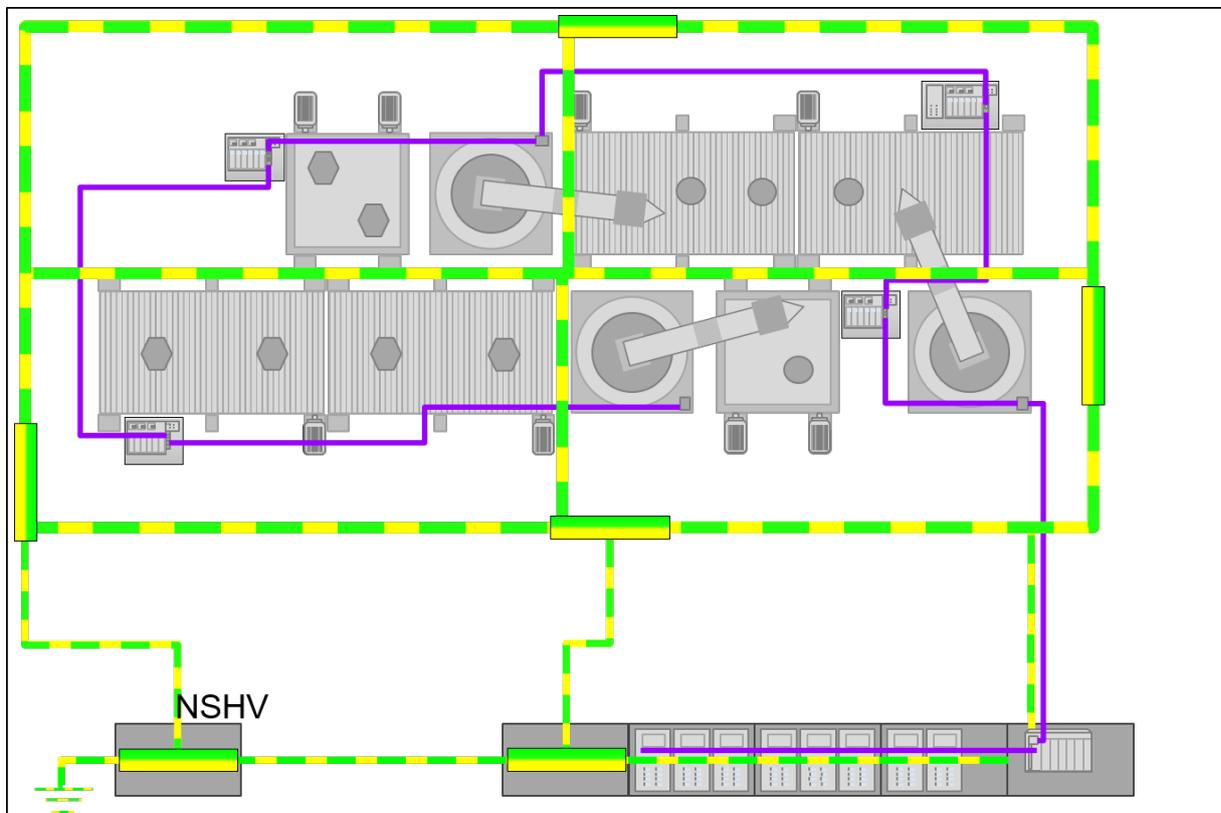


Abbildung 4.31: Ringleitungen im vermaschten Potentialausgleich

Für eine niedrige Impedanz, auch bei höheren Frequenzen, sollten die Leitungen aus Abbildung 4.31 möglichst aus verzinneten und mehrdrähtigen Kupferleitungen bestehen. Diese Leitungen empfiehlt auch die [DIN-EN 61918].

In Abbildung 4.32 sind nun zusätzliche Verbindungen zwischen der Ringleitung und den Geräten der Beispielanlage eingezeichnet. Diese Sticleitungen sollten möglichst kurz sein. Zudem sollten die Geräte mehrfach mit der Ringleitung verbunden werden, um viele kleine Maschen zu bilden. Die Geräte sollten zudem noch untereinander elektrisch leitfähig verbunden werden, um ein Bonding Network zu bilden. Alle Verbindungen müssen den Anforderungen des Schutz- und Funktionspotentialausgleichs entsprechen, das heißt, sie müssen eine niedrige Impedanz und ausreichend Stromtragfähigkeit besitzen. Zudem dürfen die Potentialausgleichspunkte nicht beim Betrieb der Anlage gelöst werden.

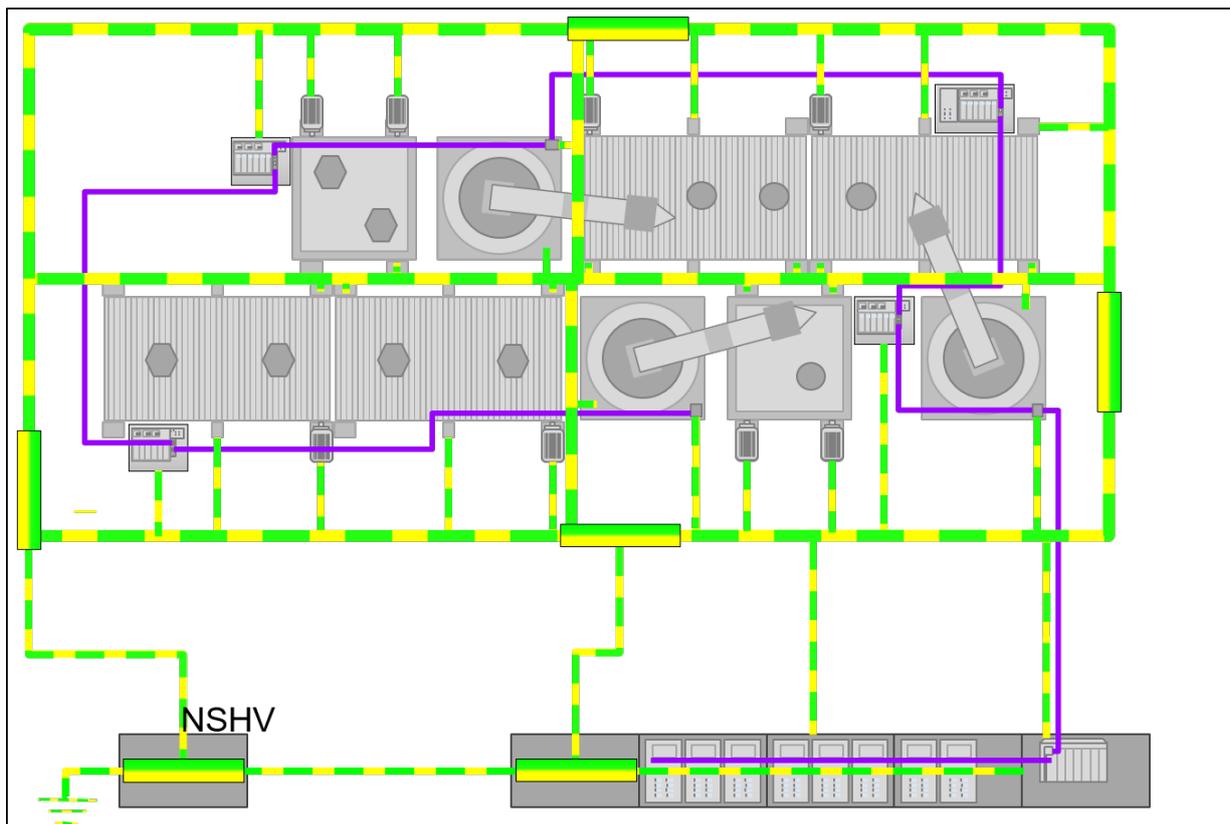


Abbildung 4.32: Stichleitungen des vermaschten Potentialausgleichs

Um die Abgänge der Stichleitungen von der Ringleitung einfach und kostengünstig zu realisieren, können zum Beispiel die Verbindungsblöcke aus Abbildung 4.33 und Abbildung 4.34 genutzt werden.

Diese Verbindungsblöcke (Abbildung 4.33) sind an der Kabeltrasse befestigt und übernehmen somit zusätzlich gleichzeitig die Verbindung der Kabeltrassen mit dem CBN durch die angeschlossene Ringleitung.



Abbildung 4.33: Verbindungsblöcke (WPAK-Klemmen) (Bild Weidmüller)

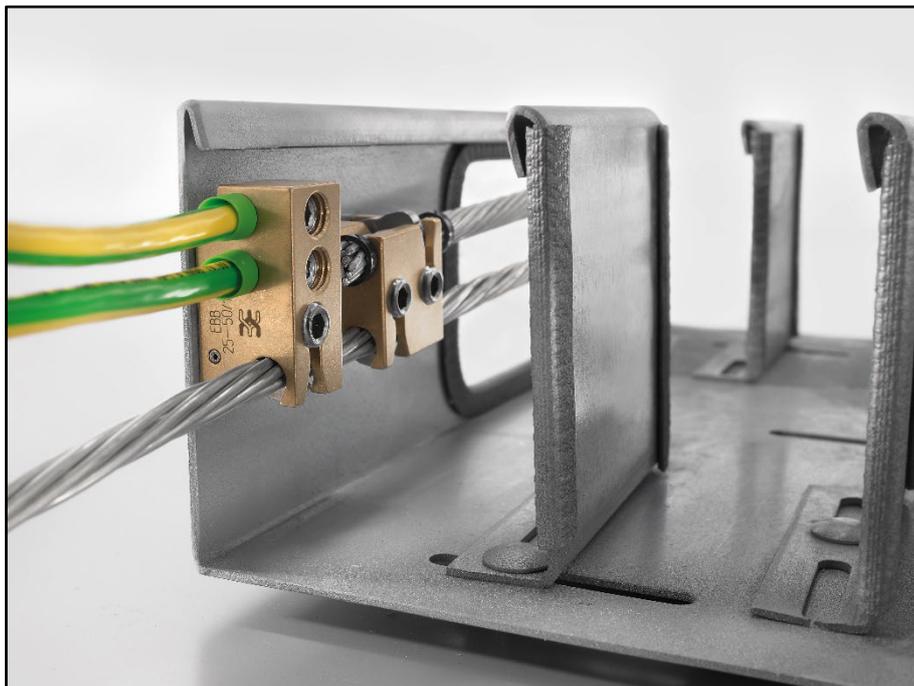


Abbildung 4.34: Stichleitungen zu Geräten von der Ringleitung [GAI2015]

Abbildung 4.34 ist in der Farbe silber/grau die feindrähtige Ringleitung des Potentialausgleichssystems zu sehen. Sie ist über die bronzefarbenen Verbindungsblöcke mit der Kabeltrasse verschraubt. An den Verbindungsblöcken besteht die Möglichkeit, die Stichleitungen zu Geräten anzuschließen. Dieser Anschluss der Stichleitungen ist in Abbildung 4.34 zu sehen. Die Integration der metallischen Kabelkanäle in das Common Bonding Network (CBN) liefert eine gute Basis für einen Potentialausgleich mit geringer Impedanz. Hinweis: Für das CBN sind in jedem Fall Leiter und Anschlussblöcke zu verwenden. Die alleinige Nutzung der Kabelkanäle als CBN ist unzulässig.

Abbildung 4.35 zeigt den nächsten Optimierungspunkt des vermaschten Potentialausgleichs. Mit roten Kreisen sind hier weitere Erdungspunkte der Ringleitungen markiert. Diese Erdungspunkte sind symbolisch für zusätzliche Verbindungen mit dem Potentialausgleichssystem des Gebäudes zu sehen. Durch diese weiteren Verbindungen wird die Impedanz des gesamten Potentialausgleichs weiter gesenkt.

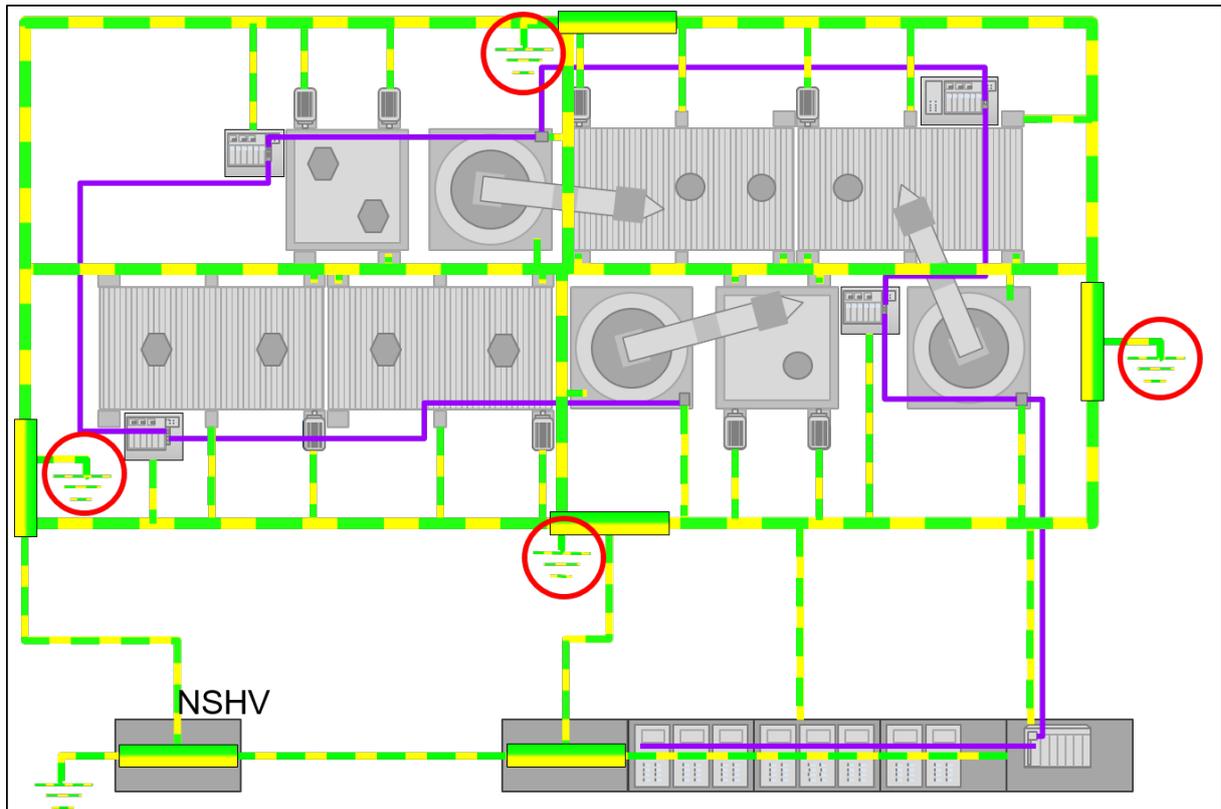


Abbildung 4.35: Vermaschung des Potentialausgleich über den Fundamenterder

Aus Gründen der elektrischen Sicherheit muss das CBN an mindestens einer Stelle mit dem Fundamenterder verbunden werden. Durch den Einbau zusätzlicher Anschlusspunkte kann der Fundamenterder Bestandteil des CBN werden und damit die lokale Vermaschung des Potentialausgleichs verbessern. Zusätzlich entsteht zudem ein etagenübergreifender Potentialausgleich, da der Fundamenterder über die Armierung in den Stützen und Säulen in der Gebäudekonstruktion geführt wird. Diese zusätzlichen Zugangspunkte zum Fundamenterder müssen bereits in der Planung des Gebäudes berücksichtigt werden.

Eine Möglichkeit für die Einbindung des Fundamenterders ist in Abbildung 4.36 zu sehen, welche fest im Beton vergossen werden und bei Bedarf über eine Schraube mit dem Potentialausgleich verbunden werden können. [DIN-EN 62305-4]



Abbildung 4.36: Erdungsfestpunkte [DEH2016]

Der Vorteil, welcher durch den vermaschten Potentialausgleich entsteht, ist aus den folgenden beiden Abbildungen ersichtlich. Abbildung 4.37 zeigt in roter Farbe die Masche, welche durch den beidseitig angeschlossenen Schirm der PROFIBUS-Leitung in der Anlage entsteht. Diese Masche ist deutlich kleiner als die alte Masche beim sternförmigen Potentialausgleich (Abbildung 4.26). Dies führt dazu, dass weniger induktive Kopplungen in den Maschen des Potentialausgleichssystems entstehen können.

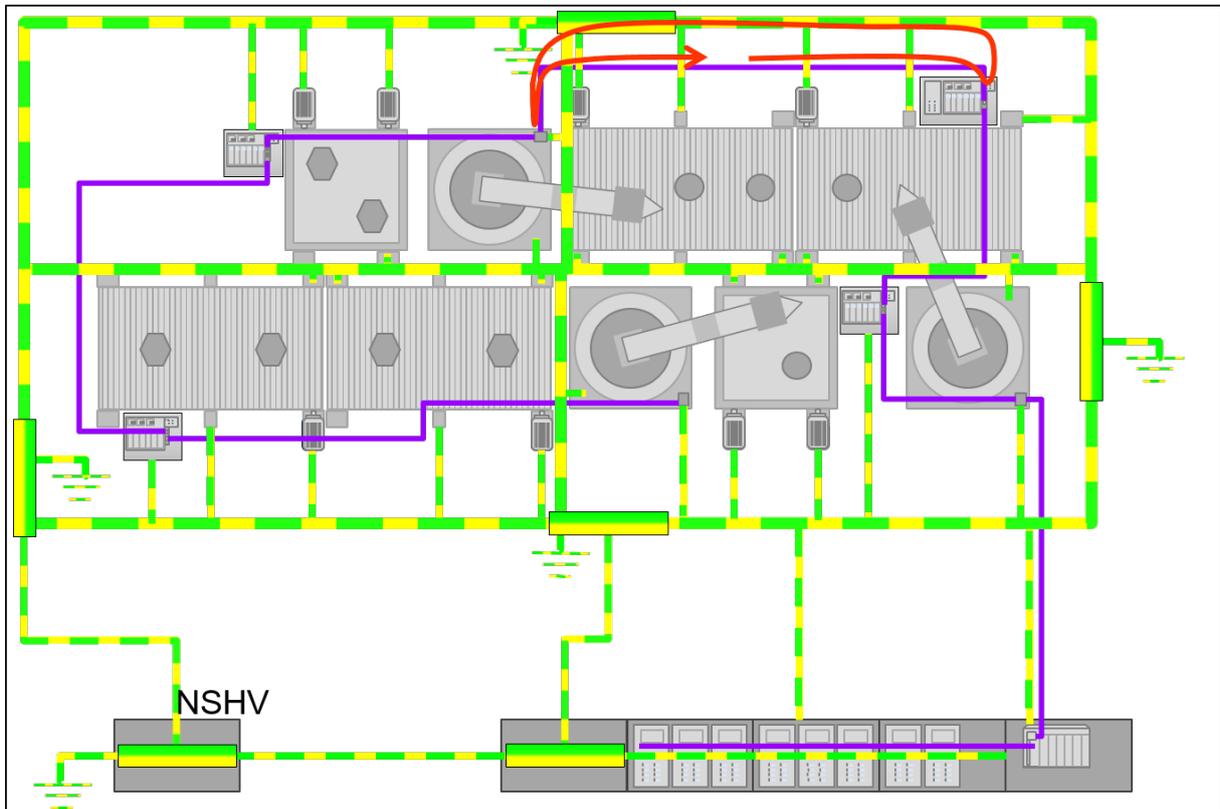


Abbildung 4.37: Masche durch einen Leitungsschirm im vermaschten Potentialausgleichssystem

Zudem entstehen durch die Vermaschung des Potentialausgleichssystems statt weniger großer, viele kleine Maschen. Diese sind in Abbildung 4.38 beispielhaft eingezeichnet. Durch die kleinen Maschen besitzt das Potentialausgleichssystem eine geringe Impedanz, welche Potentialunterschiede verhindert.



Abbildung 4.38: Viele kleine Maschen im vermaschten Potentialausgleichssystem

Die kleinen Maschen besitzen neben der geringeren Impedanz noch einen weiteren Vorteil in Bezug auf elektrostatische Entladung. Durch nichtmetallische Fördereinrichtungen (z. B. Förderband aus Gummi oder Kunststoff) kann es in einer Anlage zu elektrostatischen Aufladungen kommen.

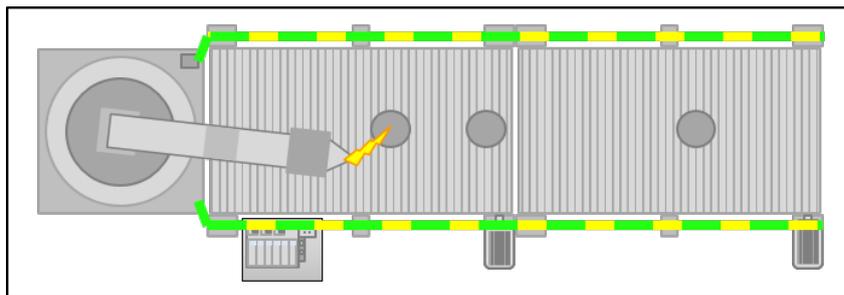


Abbildung 4.39: Beispiel elektrostatische Entladung

Bei elektrostatischen Entladungen fließen dann die entstehenden Ströme zurück zum Ort ihrer Entstehung. Deshalb sollten Anlagenteile wo es zu elektrostatischen Entladungen kommen kann entlang ihrer Transportstrecke leitend miteinander verbunden werden. Durch ein eng vermaschtes Potentialausgleichssystem verbessert sich die Impedanz dieser Verbindung entlang der Transportstrecke.

Die in diesem Abschnitt gemachten Ausführungen bezüglich eines fein vermaschten Potentialausgleichs gelten sinngemäß auch für das Innere von Schaltschränken und für die Verbindung von Schaltschränken untereinander. Auch im Inneren von Schaltschränken sollte für einen guten Potentialausgleich gesorgt werden. Dies kann z. B. durch eine metallisch blanke Montageplatte (z. B. verzinktes Stahlblech) in Verbindung mit metallisch blanken Hutschienen erreicht werden. Die Montageplatten sind mit geringer Impedanz mit dem Common Bonding Network (CBN) zu verbinden. Beim Einsatz von mehreren aneinandergereihten Schaltschränken wird empfohlen die Montageplatten in den Schaltschränken durch Massebänder miteinander zu verbinden.

Aus diesem Kapitel leitet sich die Handlungsempfehlung F3 ab:

F3

Kombiniertes Potentialausgleichssystem (Common Bonding Network CBN) möglichst fein vermascht ausführen (MESH-BN).

4.4 Anschluss der PROFIBUS- und PROFINET-Leitungsschirme

Der Anschluss der PROFIBUS- oder PROFINET-Leitungsschirme erfolgt am Stecker. Im Stecker wird der Leitungsschirm mit dem Steckergehäuse verbunden. Dieses Steckergehäuse ist über den Steckverbinder (in der Regel) über das angeschlossene Gerät mit dem Potentialausgleich verbunden.

4.4.1 Problembeschreibung mit Lösungen aus Normen und Fachliteratur

Da der Leitungsschirm das Prinzip der aktiven Schirmung nutzt, sollte der Schirm mindestens an den beiden Enden mit dem Potentialausgleichssystem verbunden sein. Nur so ist es möglich, dass Ströme, welche durch magnetische Wechselfelder entstehen, durch den Leitungsschirm fließen und ein Gegenfeld erzeugen. Dieses Gegenfeld hebt innerhalb der vom Schirmstrom umschlossenen Fläche den magnetischen Fluss zwischen Kabel und Potentialausgleich auf. Dies senkt die im Aderbündel der Datenkabel induzierte Spannung und reduziert so den Störeinfluss.

Damit dieser induzierte Stromfluss ungehindert entstehen kann, ist es wichtig, dass die Verbindung der Leitungsschirme mit den Steckverbindergehäusen eine niedrige Impedanz aufweist. Deshalb sollten vorzugsweise Steckergehäuse verwendet werden, welche eine großflächige und niederimpedante Verbindung zwischen dem Leitungsschirm und dem Gerät bieten [NE 98].

Allerdings reicht eine Verbindung mit niedriger Impedanz zwischen dem Stecker und dem Leitungsschirm nicht aus, um einen Stromkreis mit niedriger Impedanz zu bilden. Hierzu ist es notwendig, dass die angeschlossenen Geräte eine Verbindung mit niedriger Impedanz zwischen Steckerkragen und der Verbindung zum Common Bonding Network (CBN) aufweisen.

Hinweis: Das Auflegen des Schirms dient nicht dem Potentialausgleich der Anlage.

Eine Verbindung mit geringer Impedanz zwischen Kabelschirm, Steckverbindergehäuse, PROFINET-Gerät und Common Bonding Network (CBN) ist eine Voraussetzung für eine gute EMV. Sofern ein Gerät die Kontaktierung des Kabelschirms über diesen Weg nicht ausreichend sicherstellt, kann eine zusätzliche Verbindung des Kabelschirms mit dem Common Bonding Network (CBN) in der Nähe des Gerätes hergestellt werden. Abbildung 4.40 zeigt exemplarisch eine solche Schirmauflage am Gerät.

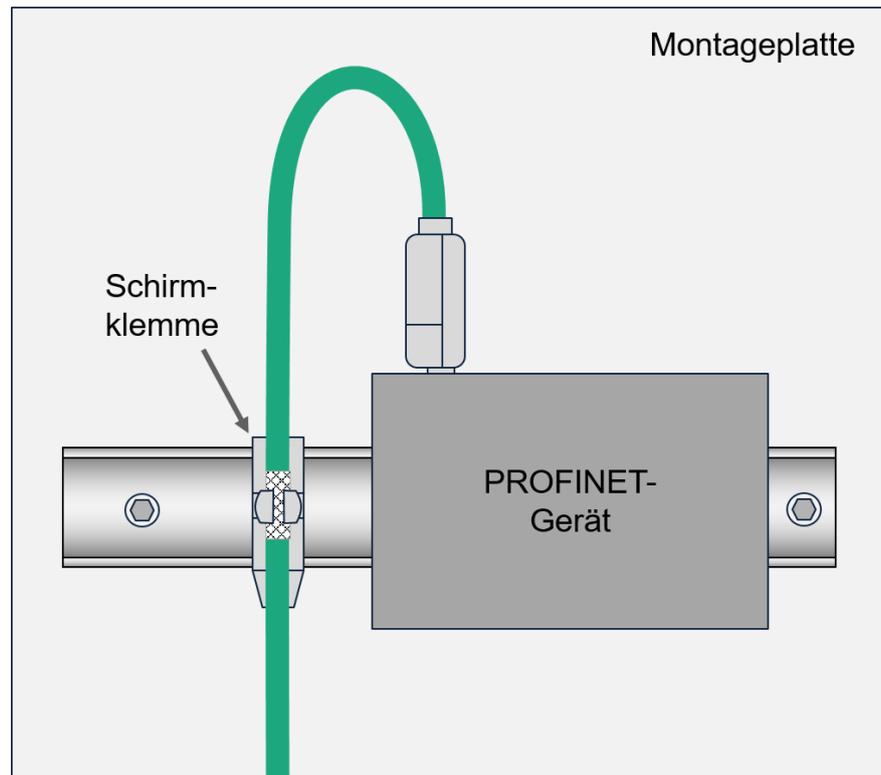


Abbildung 4.40: Zusätzliche Anbindung des Leitungsschirms and das CBN vor einem PROFINET-Gerät

Wenn es die Umgebungsbedingungen zulassen, sind zudem nach der [NE 98] noch weitere Verbindungen des Leitungsschirmes mit dem Common Bonding Network (CBN) denkbar.

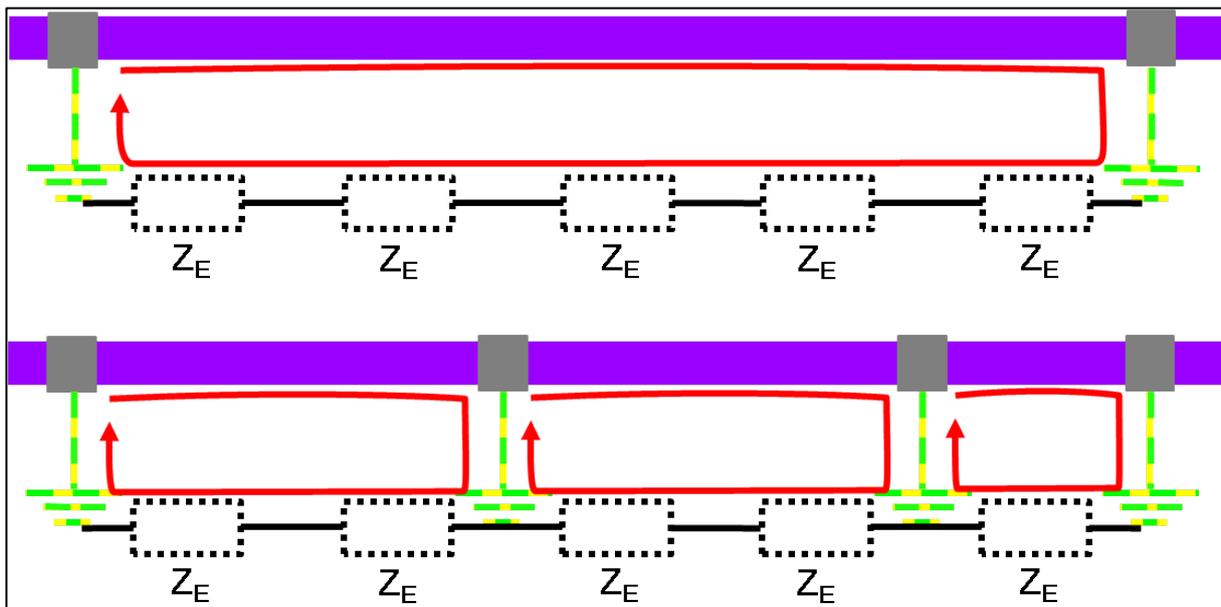


Abbildung 4.41: Mehrfache Verbindung der Schirmung einer PROFIBUS-Leitung mit dem CBN

In Abbildung 4.41 sind zwei PROFIBUS-Leitungen abgebildet. Die obere Leitung ist nur an den beiden Enden mit dem Common Bonding Network (CBN) verbunden und die untere Leitung noch an zwei zusätzlichen Stellen. Jede weitere Verbindung des Leitungsschirms der unteren PROFIBUS-Leitung aus Abbildung 4.41 mit dem Potentialausgleichssystem verringert die Masche in welche elektromagnetische Störungen/Felder eingekoppelt werden können. Natürlich spielt die Impedanz des Potentialausgleichssystems eine große Rolle. Deshalb sollte ein vermaschtes Potentialausgleichssystem – wie in Kapitel 4.3 beschrieben – aufgebaut werden. Abbildung 4.40 zeigt exemplarisch eine solche zusätzliche Verbindung des Leitungsschirms mit dem CBN.



Abbildung 4.42: Zusätzliche Erdung des Leitungsschirms [NIE2017]

4.4.2 Empfehlungen für PROFIBUS und PROFINET

Für PROFINET- und PROFIBUS-Anschlüsse sollte darauf geachtet werden, dass die verwendeten Stecker vorzugsweise ein Gehäuse mit größtmöglicher Schirmauflage haben. Zudem müssen die PROFIBUS- und PROFINET-Geräte einen Anschluss an das CBN mit einer niedrigen Impedanz besitzen, um Störströme gut ableiten zu können. Die Schirmung der PROFINET-/PROFIBUS-Leitung kann zudem, wie bereits schon in den Montagerichtlinien ([PRO2022] und [PRO2020]) der PROFIBUS Nutzerorganisation beschrieben, mit Schellen zusätzlich vor Busteilnehmern an das Common Bonding Network (CBN) angebunden werden. Durch diese zusätzliche Anbindung an das CBN über die Schellen werden eventuell auftretende hohe Impedanzen von Steckverbindungen überbrückt.

Aus diesem Kapitel leitet sich die Handlungsempfehlung F4 ab:

F4	PROFIBUS-/PROFINET-Leitungsschirme an beiden Enden mit großflächigem Kontakt (geringer Impedanz) der Steckverbindergehäuse mit dem Gehäuse der Geräte und dadurch mit dem Common Bonding Network (CBN) verbinden.
----	---

4.5 Motorleitungen

Diese Handlungsempfehlung verfolgt das Ziel, die elektromagnetischen Interferenzen in einer Anlage zu reduzieren. Viele Hersteller von Frequenzumrichtern empfehlen die Verwendung von geschirmten Motorleitungen. Die Schirmung der Motorleitung reduziert die Aussendung von elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern durch die Motorleitung auf ein akzeptables Maß. Somit schützt sie parallel verlegte Leitungen vor Störeinkopplungen.

4.5.1 Problembeschreibung

Die Schirmung in der Motorleitung verläuft, wie in Abbildung 4.43 zu sehen, um die aktiven Leiter (L1, L2, L3) und den Schutzleiter (PE) der Motorleitung. Die Schirmung reduziert die Ausbreitung von elektromagnetischen Interferenzen aus dem Inneren der Leitung, hin zu anderen Stromkreisen, welche sich in der Nähe der Motorleitung befinden, auf ein akzeptables Maß. Die Kopplungen im Inneren der Leitung werden jedoch durch den Leitungsschirm nicht verhindert. Somit können über elektrische und magnetische Felder Störungen in die anderen Leiter im Inneren der Leitung eingekoppelt werden.

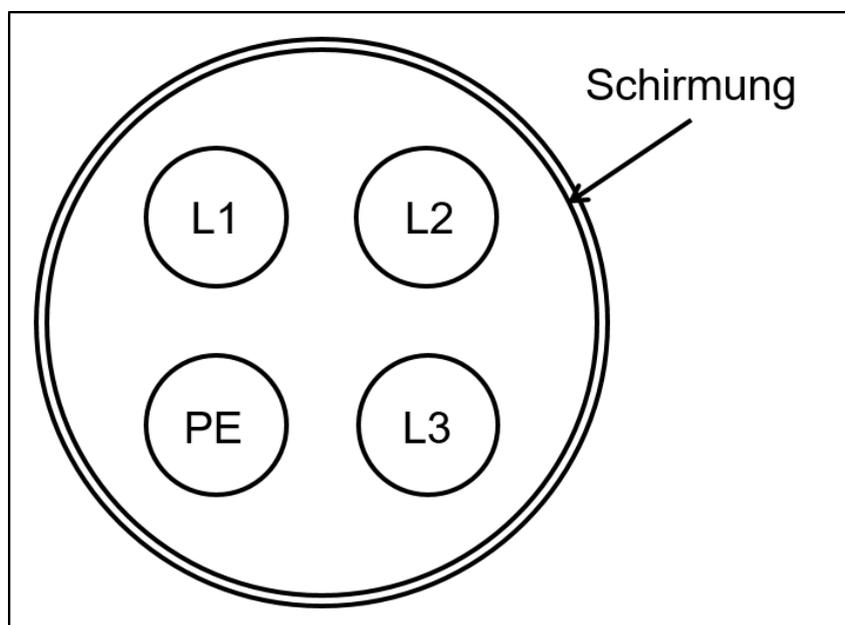


Abbildung 4.43: Geschirmte Motorleitung

4.5.1.1 Kapazitive Kopplungen in Motorleitungen

Kapazitive Kopplungen entstehen, sobald zwei parallele Leitungen Potentialunterschiede besitzen. Die Potentialunterschiede zwischen den drei Leitern L1 bis L3 entstehen durch die Phasenverschiebung von je 120° zwischen den Spannungen auf den Leitern. Weiterhin sorgt die Pulsweitenmodulation des Frequenzumrichters für zusätzliche kapazitive Ströme zwischen den Phasen, dem Schutzleiter und dem Leitungsschirm. Da die Schirmung sowie der Schutzleiter in der Regel spannungslos sind, kommt es zu weiteren Potentialunterschieden mit den Leitern L1 bis L3. Somit bestehen innerhalb einer Motorleitung mehrere Koppelkapazitäten, welche in Abbildung 4.44 eingezeichnet sind.

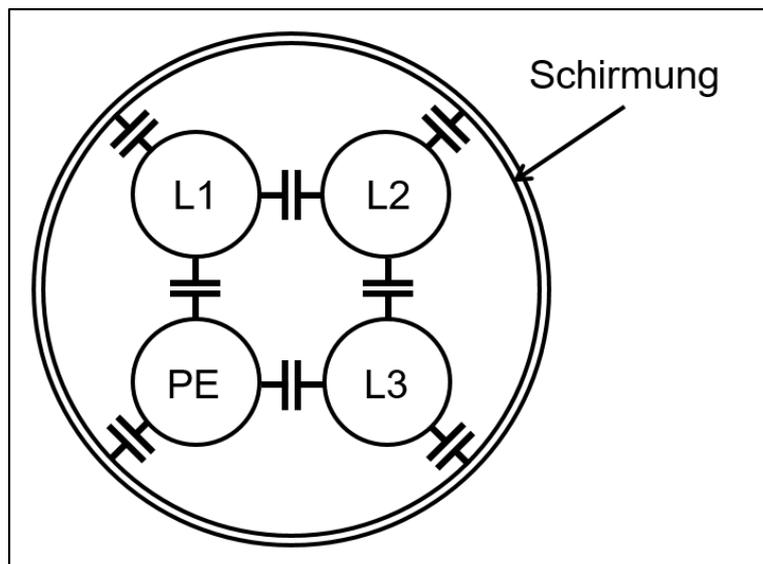


Abbildung 4.44: Kapazitive Kopplungen in geschirmten Motorleitungen

4.5.1.2 Induktive Kopplungen in Motorleitungen

Durch den Stromfluss in den Leitern L1 bis L3 kommt es in der Motorleitung zu mehreren magnetischen Feldern. Jeder Leiter ist deshalb in Abbildung 4.45 von magnetischen Feldlinien umgeben.

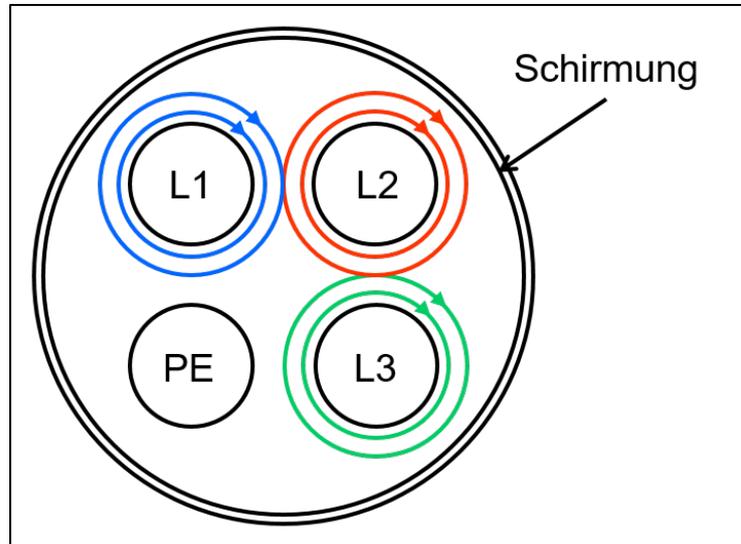


Abbildung 4.45: Magnetfeldlinien in einer Motorleitung

Die magnetischen Feldlinien koppeln induktive Störungen in die anderen Leiter der Motorleitung ein. Für eine bessere Veranschaulichung dient die Abbildung 4.46.

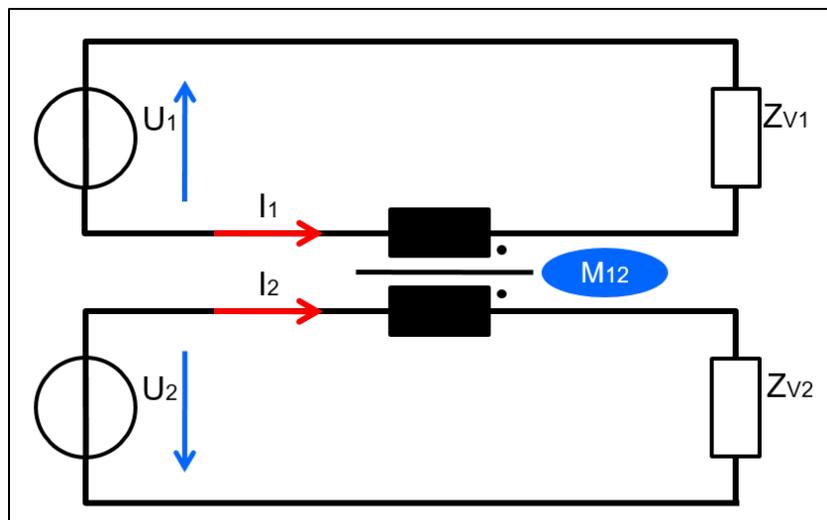


Abbildung 4.46: Induktive Kopplung zwischen L1 und L2

In Abbildung 4.46 ist die Koppelinduktivität M_{12} zwischen den beiden Leitern $L1$ und $L2$ der Motorleitung abgebildet. Zwischen allen Leitern der Motorleitung befinden sich Koppelinduktivitäten, wobei die Stärke der Induktion neben dem Strom und der Frequenz des Leiters besonders vom Abstand zwischen den beiden Leitern abhängt.

Da in Abbildung 4.47 der Abstand von $L2$ zum Schutzleiter größer ist, als der Abstand der anderen beiden Leiter, ist die Koppelinduktivität M_{L2PE} kleiner, als die der beiden anderen Induktivitäten.

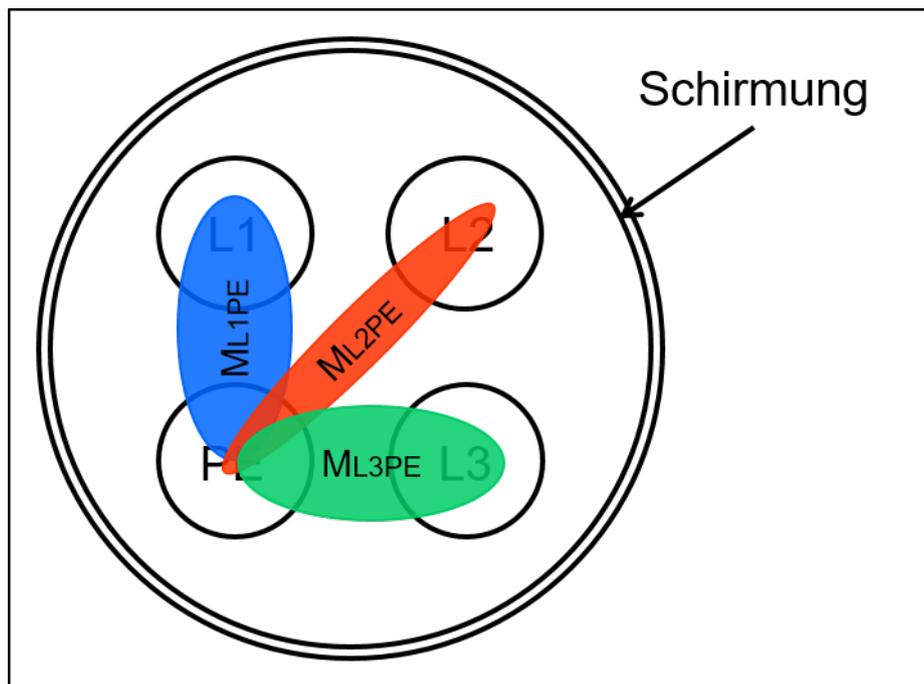


Abbildung 4.47: Induktive Kopplungen in einer Motorleitung

Dadurch, dass die Leiter $L1$, $L2$ und $L3$ auf Grund der unterschiedlichen Koppelinduktivitäten auch unterschiedlich starke Ströme in den Schutzleiter induzieren, heben sich die induzierten Spannungen nicht auf, sondern erzeugen eine gemeinsame Spannung, welche sich in einem Stromfluss im Schutzleiter zeigt, sobald dieser mehrfach mit dem Potentialausgleichssystem verbunden wird. Der Strom, welcher im Schutzleiter entsteht, erzeugt Potentialunterschiede im Potentialausgleichssystem. Erfahrungen zeigen, dass bis zu 10% der Phasenströme fließen können.

4.5.2 Lösungen aus Normen und Fachliteratur

Da die Motorleitung ein Bestandteil der CE-Zertifizierung ist, ist diese in der Umrichter-Dokumentation in der Regel vorgegeben. Dies ist z. B. bei Siemens [SIE2014], Danfoss [DAN2015], Lenze [LEN2015] und ABB [ABB2005] der Fall. Alle vier Hersteller schreiben geschirmte Motorleitungen vor. Allerdings unterscheiden sich die Aufbauten der Motorleitungen im Detail. Die genannten Hersteller wurden exemplarisch vorgestellt um das praktische Verständnis zu fördern. Ein Anspruch auf Vollständigkeit der Liste besteht nicht. Die Firma Lenze verwendet in ihren Dokumenten unsymmetrische Motorleitungen wie aus Abbildung 4.43. Die Hersteller ABB und Danfoss machen in den Dokumenten keine Aussage darüber, ob eine andere Art von Motorleitung verwendet werden soll. Abbildung 4.48 zeigt einen Ausschnitt aus den Herstellerunterlagen von Danfoss [DAN2015]. Bei ① ist die Anschlussleitung des Motors zu sehen. Hierbei fällt auf, dass ein separater Schutzleiter (PE) verlegt werden soll. Beim Anschlusspunkt des Frequenzumrichters ② ist zudem zu sehen, dass die Motorleitung nur drei Phasenleitungen und einen Leitungsschirm besitzt. Ein Schutzleiter ist bei der Abbildung nicht in der Motorleitung eingezeichnet.

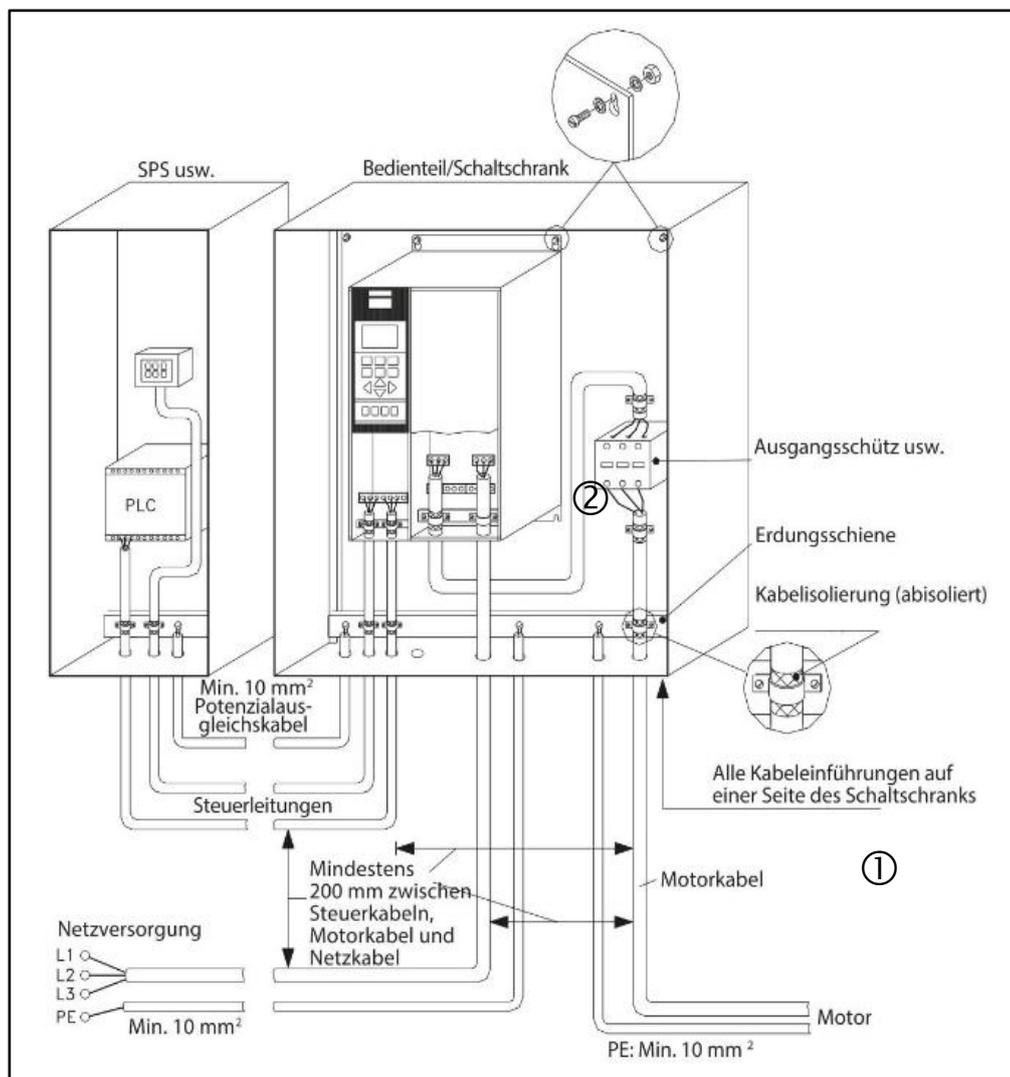


Abbildung 4.48 Typische Installation eines Frequenzumrichters von [DAN2015]

Abbildung 4.49 zeigt einen Ausschnitt aus den Unterlagen eines Frequenzumrichters der Firma ABB [ABB2005]. Wird hierbei der Anschluss der Antriebseinheit betrachtet so ist erkennbar, dass zum Anschluss ein geschirmtes Motorkabel ① genutzt werden soll. Auffällig ist allerdings, dass der Schutzleiter der Antriebseinheit nicht innerhalb des geschirmten Motorkabels verläuft. Somit wird hier eine symmetrische Motorleitung mit separatem Schutzleiter verwendet.

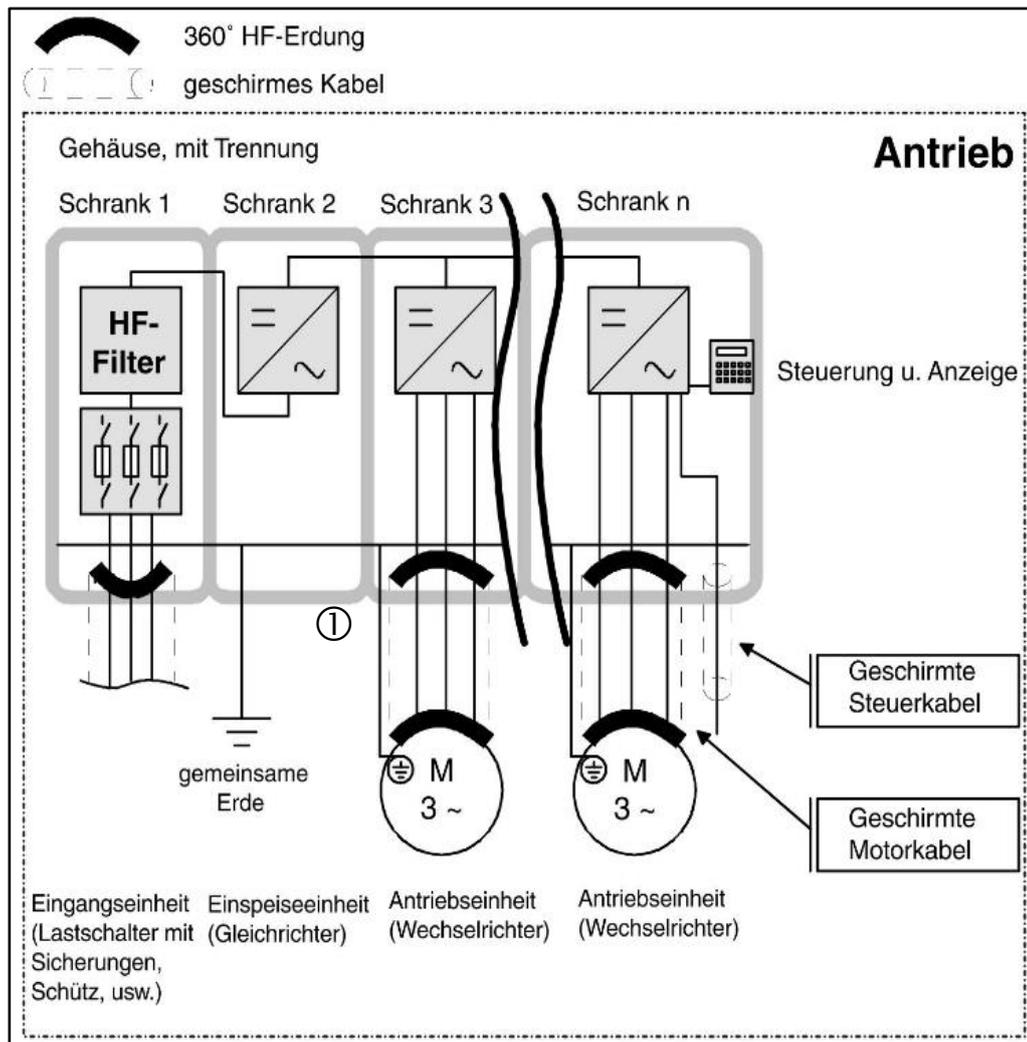


Abbildung 4.49: Antrieb mit Niederspannungseinspeisung von [ABB2005]

Ein separater Schutzleiter wie in Abbildung 4.48 und Abbildung 4.49 hat bei einer geschirmten Motorleitung den Vorteil, dass keine Störungen aus dem Inneren der Motorleitung in den Schutzleiter eingekoppelt werden können.

Die Firma Siemens beschreibt in ihrem Dokument [SIE2014] ausführlich die Auswirkungen, welche durch unsymmetrische Motorleitungen entstehen können und empfiehlt für eine bessere elektromagnetische Verträglichkeit symmetrische Drehstromleitungen. Symmetrische Motorleitungen sollten, wie in Abbildung 4.50 zu sehen, entweder drei Schutzleiter in der Motorleitung besitzen oder einen separat verlegten Schutzleiter. Wird eine Motorleitung verwendet, in welcher drei Schutzleiter vorhanden sind, so sollten diese symmetrisch um die Leiter $L1$ bis $L3$ angeordnet werden. Hierdurch reduziert sich die Summe der eingekoppelten Spannungen drastisch, da die Abstände der Schutzleiter zu den jeweiligen Leitern gleich sind.

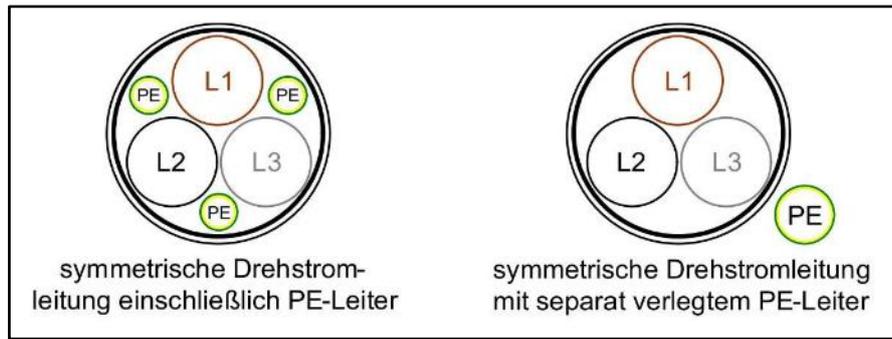


Abbildung 4.50: Symmetrische Motorenleitungen als Empfehlung von [SIE2014]

Der Einsatz von Filtern ist eine weitere Maßnahme zur Reduzierung von Störungen beim Einsatz von Frequenzumrichter. Der Einsatz dieser Filter ist herstellerspezifisch und wird an dieser Stelle nicht weiter betrachtet.

4.5.3 Empfehlungen für PROFIBUS und PROFINET

Für den sicheren Anlagenbetrieb sollten die Belastungen des Potentialausgleiches durch eingekoppelte Spannungen und Ströme möglichst gering sein. Deshalb sollten die Herstelleranweisungen für den Anschluss der Motorleitungen unbedingt beachtet werden. Symmetrische Motorleitungen minimieren induktive und kapazitive Kopplungen in den Schutzleiter der Motorleitung. Da Kopplungen jedoch nie ganz verhindert werden können, sollten der Motor sowie der Frequenzumrichter mit niedriger Impedanz an den Potentialausgleich angeschlossen werden. Über diese Verbindung ist es möglich, dass eingekoppelte Spannungen Ströme erzeugen, welche über den Potentialausgleich zurückfließen und den Datentransfer über die PROFIBUS-/PROFINET-Leitung nicht behindern.

Aus diesem Kapitel leitet sich die Handlungsempfehlung F5 ab:

F5	<ul style="list-style-type: none"> • Geschirmte Motorleitungen gemäß Herstellerangaben verwenden und Kabelschirm beidseitig und großflächig mit dem Common Bonding Network (CBN) verbinden (geringe Impedanz). • Motor mit dem Common Bonding Network (CBN) verbinden. • Sofern ungeschirmte Motorleitungen verwendet werden, sollten Filter am Ausgang des Frequenzumrichters eingesetzt werden. • Sofern vom Hersteller des Frequenzumrichters nicht ausgeschlossen, vorzugsweise symmetrische geschirmte dreiadrige Motorleitungen mit separat geführtem Schutzleiter einsetzen.
----	---

- Die Vorgaben des Herstellers des Frequenzumrichters sollten in jedem Fall geprüft und beachtet werden.

4.6 Anbindung des Minuspols einer 24-V-Versorgung an das CBN

Dieser Abschnitt behandelt die Anbindung der Minuspole von 24-V-Versorgungen an das CBN. Eine solche 24-V-Versorgung ist in Abbildung 4.51 dargestellt. Neben den vier Remote I/O befindet sich auch ein Netzgerät in der Abbildung.

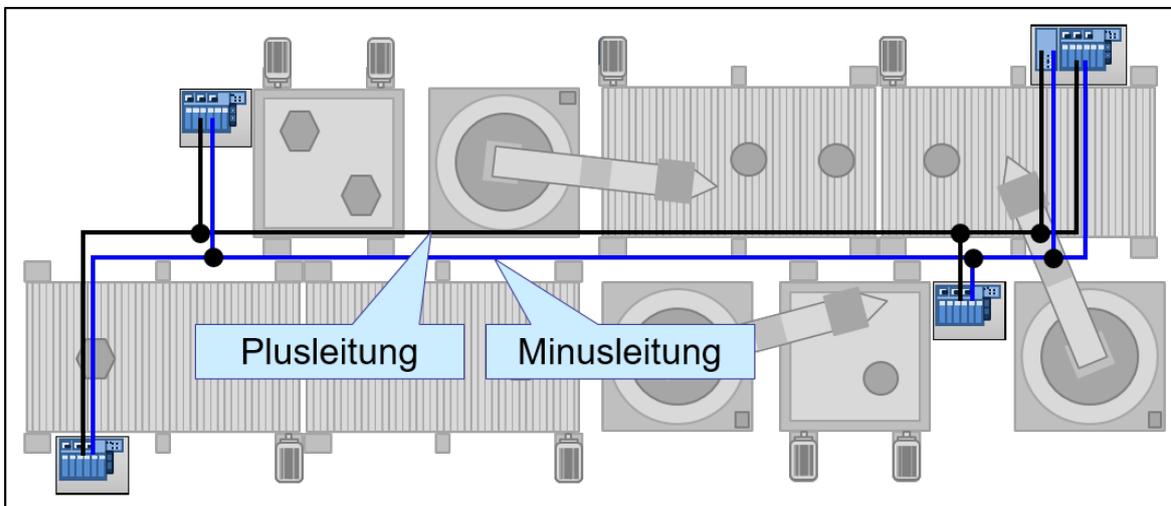


Abbildung 4.51: 24-V-Versorgung in einer Fertigungsanlage

In 24-V-Versorgungsstromkreisen gibt es zwei wesentliche Unterschiede bei dem Aufbau der Schutzmechanismen, welche nach [DIN-EN 60204-1] und [DIN-EN 60950-1] zugelassen sind.

Bei der ersten Variante handelt es sich um sogenannte SELV-Stromkreise². Hierbei handelt es sich um Stromkreise, welche im Normalfall oder im Falle eines Fehlers nur eine berührungssichere Spannung aufweisen. Deshalb werden SELV-Stromkreise getrennt von allen anderen Stromkreisen und dem Common Bonding Network (CBN) in einer Anlage aufgebaut. Da bei einem SELV-Stromkreis eine Sicherung nur auslösen kann, wenn ein Kurzschluss zwischen Plus- und Minuspol entsteht, aber nicht bei einer Verbindung zwischen Pluspol und CBN, muss eine Isolationsüberwachung eingebaut werden, um eine solche Verbindung zum CBN zu erkennen. Diese Isolationsüberwachung ist in der Regel mit Mehrkosten für das Überwachungsgerät verbunden und wird deshalb nur in speziellen Anwendungen (z. B. in der Öl- und Gasindustrie) eingesetzt.

² SELV – Sicherheitskleinspannung (engl. Safety Extra Low Voltage)

Meist werden hingegen PELV-Stromkreise³ verwendet. Hierbei handelt es sich um Stromkreise, welche ebenfalls Schutz gegen den elektrischen Schlag bieten. Allerdings wird der Minuspol des Netzgerätes einmal gezielt mit der Erde oder dem CBN in der Nähe des Netzgerätes verbunden. Hierdurch ist es zum Beispiel möglich, dass im Falle eines Isolationsfehlers der Pluspol der 24-V-Versorgung mit dem Common Bonding Network (CBN) in Berührung kommt und ein Stromkreis entsteht. Der hierdurch entstehende Kurzschlussstrom löst die Sicherung aus.

Die Verbindung des Common Bonding Network (CBN) mit dem Minuspol ist in Abbildung 4.52 dargestellt. Diese Abbildung stellt die Anlage der Fertigungsindustrie aus Abbildung 4.51 vereinfacht dar und ist auch in die Prozessindustrie zu übertragen. Bei der Vereinfachung wurde bewusst auf die Darstellung von Bauteilen wie Sicherungen, Klemmen usw. verzichtet.

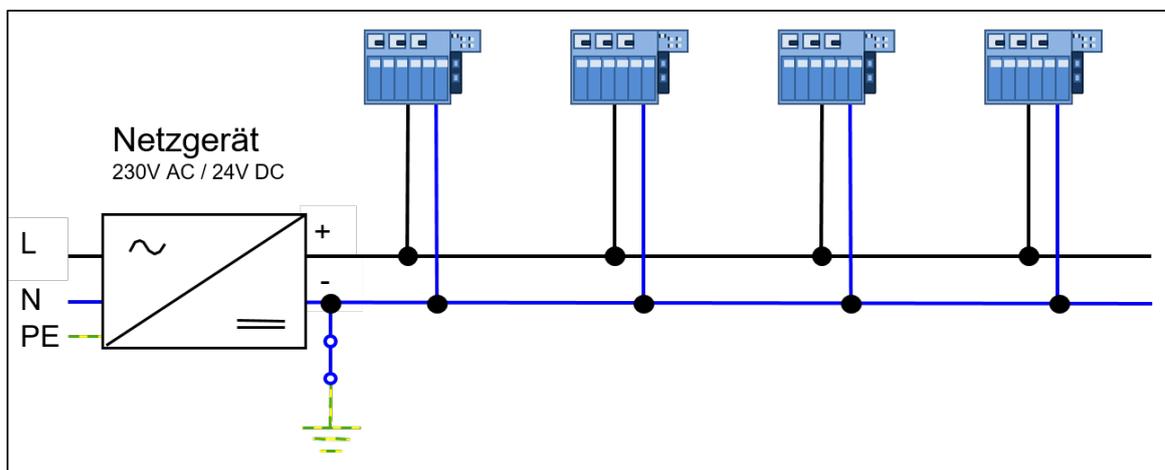


Abbildung 4.52: Vereinfachte Darstellung eines 24-V-Versorgungsstromkreises

³ PELV – Schutzkleinspannung (engl. Protective Extra Low Voltage)

4.6.1 Problembeschreibung

Ungewollte Verbindungen des Minuspols von 24-V-Versorgungsstromkreisen mit dem CBN können Probleme verursachen. Mehrfache Verbindungen zum CBN entstehen z. B. durch entsprechend ausgelegte Geräte. In Abbildung 4.53 ist diese weitere Verbindung mit dem CBN am äußersten Remote I/O durchgeführt. Sie tritt in der Regel auf, wenn Anlagenerrichter innerhalb einer Teilanlage Stromkreise mit dem CBN verbinden, ohne zu prüfen, ob an zentraler Stelle schon eine Verbindung zum CBN vorgenommen wurde.

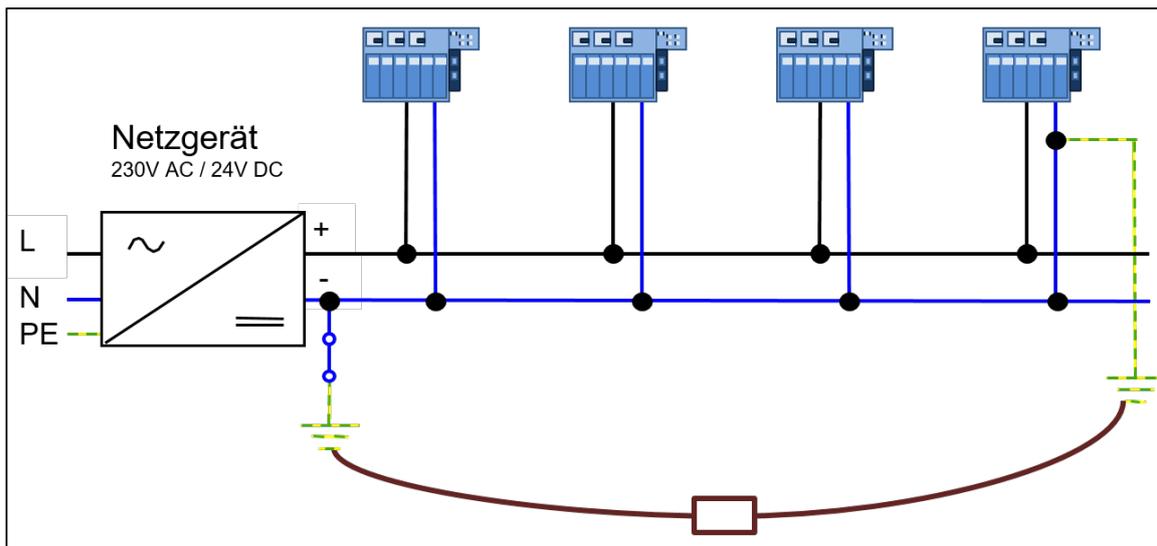


Abbildung 4.53: Mehrfache Verbindungen zum CBN in einem 24-V-Versorgungsstromkreis

Über die mehrfache Anbindung an das CBN entsteht nun eine parallele Verbindung zum Potentialausgleichssystem. Diese Verbindung besitzt einen undefinierten Widerstand und ist in Abbildung 4.53 eingezeichnet. Der Widerstand des Potentialausgleichssystems liegt parallel zur Minusleitung des 24-V-Versorgungsstromkreises. Auf Grund dieser parallelen Verbindung, können nun folgenden Fälle entstehen:

- Fall 1: Der Widerstand des Potentialausgleichssystems ist kleiner als der Leitungswiderstand.
- Fall 2: Die Minusleitung besitzt eine Unterbrechung.
- Fall 3: Der Widerstand des Potentialausgleichssystems ist größer als der Leitungswiderstand.

Diese drei Fälle werden in den folgenden drei Unterabschnitten nun detailliert erklärt.

4.6.1.1 Verbindung von 24-V-Versorgungsstromkreisen zum CBN Fall 1

Besitzt der 24-V-Versorgungsstromkreis mehrfache Verbindungen zum CBN, so teilt sich der Gesamtstrom an den beiden Verbindungspunkten gemäß dem Knotensatz auf. Dieser Fall ist in Abbildung 4.54 zu sehen.

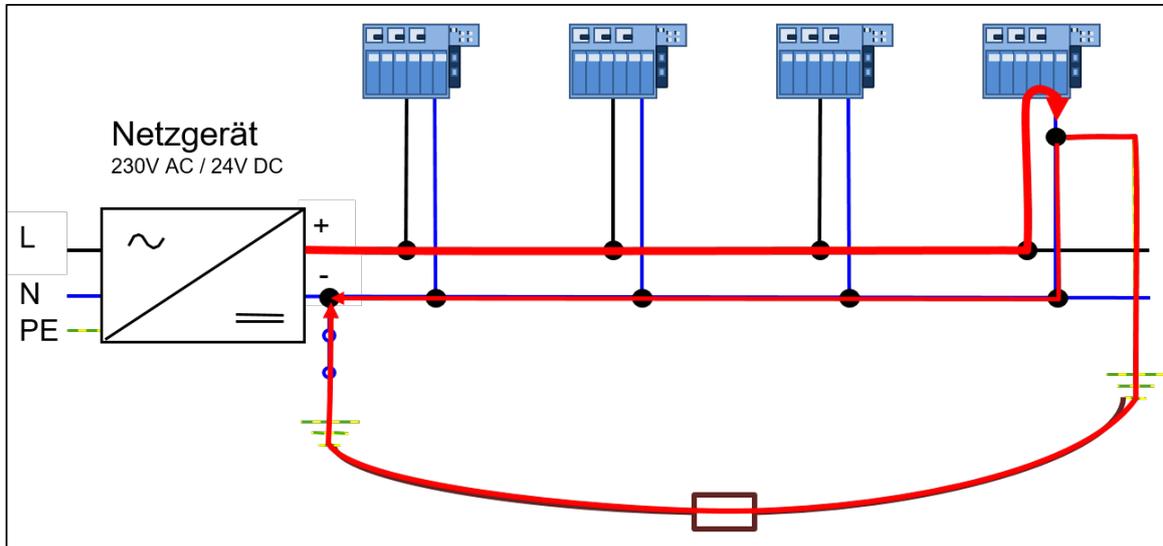


Abbildung 4.54: Verbindung von 24-V-Versorgungsstromkreisen zum CBN Fall 1

Da in diesem Fall der Widerstand des Potentialausgleichssystems kleiner als der Leitungswiderstand der Minusleitung ist, fließt der größere Anteil des Gesamtstromes über das Potentialausgleichssystem. Hierdurch wird das Potentialausgleichssystem mit einem Gleichstrom belastet, der eigentlich durch den Minusleiter der Energieversorgung fließen sollte. Da im Potentialausgleichssystem auch Schirme von Daten- und Motorleitungen mehrfach geerdet sind, können die Ströme auch durch diese fließen und sie somit beschädigen.

4.6.1.2 Verbindung von 24-V-Versorgungsstromkreisen zum CBN Fall 2

Besitzt der 24-V-Versorgungsstromkreis wie in Abbildung 4.55 eine Unterbrechung der Minusleitung, so teilt sich der Strom nicht mehr an der mehrfachen Anbindung an das CBN am Remote I/O auf, sondern fließt komplett über das Potentialausgleichssystem zurück zum Netzgerät.

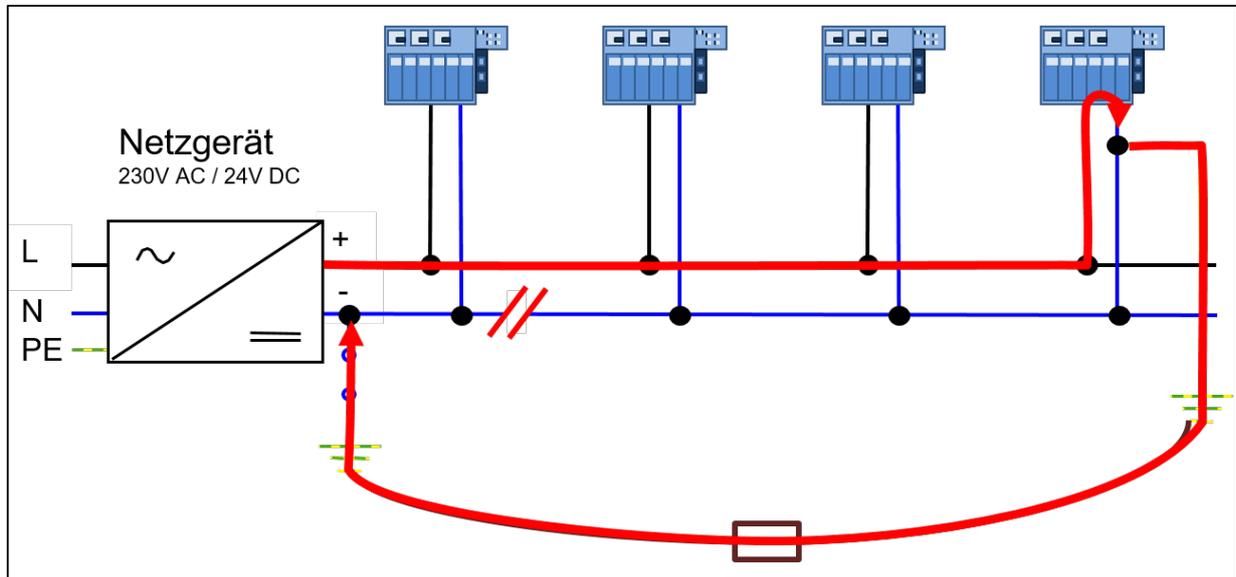


Abbildung 4.55: Verbindung von 24-V-Versorgungsstromkreisen zum CBN Fall 2

Fließt der Gesamtstrom wie in diesem Fall komplett über das Potentialausgleichssystem zurück zum Netzgerät, so entsteht eine zusätzliche Belastung des Potentialausgleichssystems. Jede Belastung des Potentialausgleichssystems durch einen Strom, egal ob Gleich- oder Wechselstrom, führt zudem zu Spannungsabfällen. Zudem befinden sich Schirmleitungen mit einem niedrigen Widerstand im Potentialausgleichssystem, welche für ihre Funktionsweise mehrfach mit dem CBN verbunden werden sollten. Damit würde der Strom ggf. auch über einen Leitungsschirm fließen. Diese Schirme besitzen allerdings keine hohe Stromtragfähigkeit, wodurch eine Gefahr der Beschädigung des Schirms besteht.

4.6.1.3 Verbindung von 24-V-Versorgungsstromkreisen mit dem CBN Fall 3

Der letzte der drei hier erläuterten Fälle ist in Abbildung 4.56 zu sehen. In diesem Fall ist der Widerstand des Potentialausgleichssystems zwischen den mehrfachen Anbindungen an das CBN größer, als der Leitungswiderstand der Minusleitung. Hierdurch teilen sich die Ströme, wie auch schon im ersten Fall, an den Verbindungspunkten auf. Anders ist hierbei allerdings, dass nun ein Fremdstrom aus dem Potentialausgleichssystem durch den 24-V-Versorgungsstromkreis fließt. Die Ursache für einen Fremdstrom im Potentialausgleichssystem sind in Kapitel 4.2.1 beschrieben.

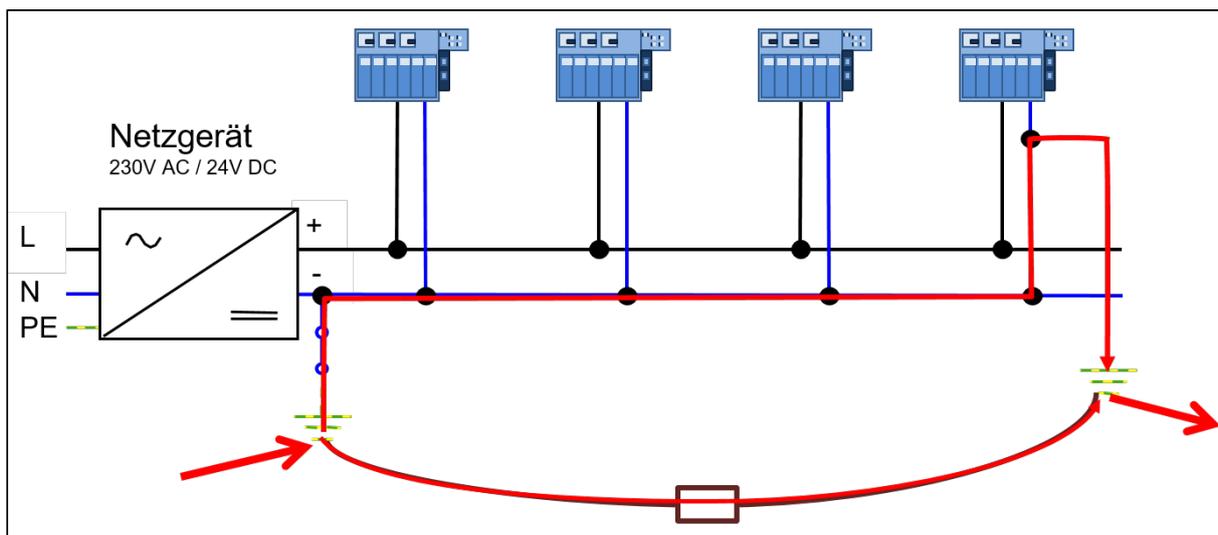


Abbildung 4.56: Verbindung von 24-V-Versorgungsstromkreisen mit dem CBN Fall 3

Durch den Fremdstrom aus dem Potentialausgleichssystem kommt es auf der Minusleitung zu Potentialunterschieden aufgrund von Spannungsabfällen. Diese Potentialunterschiede können dazu führen, dass die Remote I/O-Baugruppe nicht mehr ihre benötigte Nennspannung erhält und ausfällt. Zudem kann es sich bei dem Fremdstrom um einen Gleichstrom oder einen Wechselstrom handeln, was zu unterschiedlichen Störungsbildern führt.

4.6.2 Lösungen aus Normen und Fachliteratur

In der [DIN-EN 60204-1] werden die Arten der Verbindungen zum CBN beschrieben. Die Verbindung eines 24-V-Versorgungsstromkreises mit dem CBN muss an einer Seite oder einem Punkt des Stromkreises erfolgen. Zudem ist auch beschrieben, wie die Anbindung durchzuführen ist. Der Anbindungspunkt an das CBN ist in der Nähe des Netzgerätes am besten direkt neben dem Netzgerät auf der Montagetafel durchzuführen und muss leicht zugänglich und für eine Isolationsmessung trennbar sein. Wird hingegen ein potentialfreier 24-V-Versorgungsstromkreis mit einem Netzgerät aufgebaut, so muss auf der

Sekundärseite eine Isolationsüberwachung nach [DIN-EN 61557-8] eingebaut werden. Diese kann je nach Risiko bei einer Alarmmeldung direkt zum Abschalten genutzt werden, oder nur ein optisches und/oder akustisches Signal auslösen.

4.6.3 Empfehlungen für PROFIBUS und PROFINET

Sollte sich bei 24-V-Versorgungsstromkreisen für einen PELV-Stromkreis entschieden werden, so sollte dieser nur einmalig in unmittelbarer Nähe des Netzgerätes mit dem Funktionspotentialausgleich/CBN über einer Trennklemme verbunden sein. Bei der Erstinbetriebnahme des 24-V-Versorgungsstromkreises kann so eine Isolationsmessung durchgeführt werden und sichergestellt werden, dass keine weiteren Verbindungen zum Potentialausgleichssystem bestehen. Sollten mehrfache Verbindungen zum CBN bei dieser Messung gefunden werden, so ist zu prüfen ob diese zu entfernen sind. Mehrfache Verbindungen von 24-V-Versorgungskreisen mit dem CBN sollen, aus den in Kapitel 4.6.1 genannten Gründen, vermieden werden.

Sind in Geräten Verbindungen zwischen Funktionspotentialausgleich und dem Minuspol der 24-V-Versorgung fest verbaut entstehen durch diese Geräte zwangsweise mehrfache Verbindungen des 24-V-Systems mit dem CBN. In diesem Fall sollte das 24-V-Energieversorgungsnetz für solche Geräte eine möglichst kleine Ausdehnung haben, um die in Kapitel 4.6.1 beschriebenen Auswirkungen einer mehrfachen Verbindung mit dem CBN möglichst einzugrenzen. Es wird in diesem Fall empfohlen, das 24-V-Versorgungsnetz nur innerhalb von Schränken oder über benachbarte Schränke auszudehnen. Es ist auf einen guten Potentialausgleich innerhalb der Schränke und zwischen den Schränken zu achten. Erstecken sich 24-V-Stromkreise mit mehrfacher Anbindung an das CBN über größere Entfernungen, sind die Kapitel 4.6.1 beschriebenen Auswirkungen zu beachten. Ein vermaschter Potentialausgleich mit geringer Impedanz, wie in Kap. 4.3.3 beschrieben, kann die Auswirkungen einer mehrfachen Anbindung an das CBN reduzieren, aber nicht beseitigen.

Damit auch über lange Anlagenlaufzeiten sichergestellt ist, dass keine mehrfachen Verbindungen eines 24-V-Versorgungsstromkreis mit dem CBN nachträglich entstehen, kann zusätzlich (siehe Abbildung 4.57) ein Strom-Monitoring der Anbindung erfolgen. Dieses sollte Gleich- und Wechselströme messen können, um somit alle möglichen Fehler im Betrieb zu erkennen, die bspw. durch Erweiterungen der Anlage oder Austausch von Geräten entstehen können.

Neben dem geerdeten Betrieb von 24-V-Versorgungsstromkreisen ist auch ein potentialfreier Betrieb zulässig. In diesem Fall ist eine Erdschlussüberwachung vorzusehen.

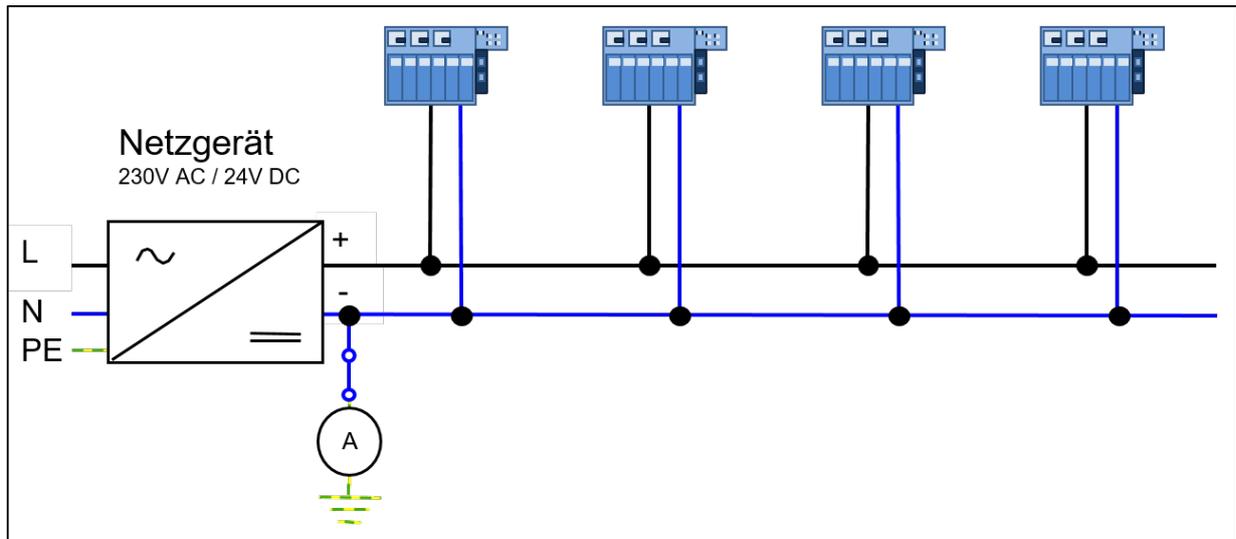


Abbildung 4.57: Optimale Erdung von 24-V-Versorgungsstromkreisen

Aus diesem Kapitel leitet sich die Handlungsempfehlung F6 ab:

F6	<ul style="list-style-type: none">• Mehrfache Verbindungen von 24-V-Stromkreisen mit dem Common Bonding Network (CBN) sind zu vermeiden.• Um die Leitung zwischen Netzteil und Verbraucher möglichst kurz zu halten empfiehlt es sich, mehrere kleine Netzteile an Stelle eines großen Netzteils einzusetzen.
----	--

5 Handlungsempfehlungen für die Prozessindustrie

Im Folgenden werden die im vorigen Kapitel erarbeiteten Empfehlungen auf die Gegebenheiten der Prozessindustrie übertragen. Besonderheiten der Prozessindustrie sind insbesondere räumlich weit ausgedehnte Anlagen und explosionsgefährdete Bereiche. Im Falle einer räumlich weiten Ausdehnung der Anlage ist der maximalen Kabellänge von PROFIBUS- und PROFINET-Kabeln besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Abhilfe können hier Lichtwellenleiter schaffen. Um die geltenden Explosionsschutzmaßnahmen umzusetzen, sind verschiedene Zündschutzarten definiert, welche verhindern sollen, dass ein Betriebsmittel zur Zündquelle wird. Wichtig für dieses Dokument ist zum einen die Zündschutzart „erhöhte Sicherheit“ (Ex e). Diese schreibt vor, dass die Betriebsmittel über Maßnahmen verfügen, welche die Entstehung heißer Flächen, Funken oder Lichtbögen verhindern. Des Weiteren ist die Zündschutzart „Eigensicherheit“ (Ex i) von Interesse. Zur Umsetzung dieser Schutzmaßnahme wird die verfügbare elektrische Energie in einem Stromkreis begrenzt, sodass Funkenbildung oder Wärmeentwicklung keine Zündung verursachen kann.

Die Auswirkungen des Explosionsschutz auf die EMV-Maßnahmen sind insbesondere in den folgenden Bereichen relevant:

- Potentialausgleich: Siehe Kapitel 5.3
- Auflage von Kabelschirmen: Siehe Kapitel 5.4
- Schirmung von Motorleitungen: Siehe Kapitel 5.5

In den folgenden Kapiteln werden nun die Aspekte, die insbesondere in der Prozessindustrie zu beachten sind, im Detail behandelt.



Hinweis für Bereiche mit explosionsfähiger Atmosphäre: Die verwendeten Geräte müssen für den Einsatz in der jeweiligen Ex-Zone zertifiziert sein. Entsprechende Ex-Zertifikate / Herstellererklärungen müssen vorhanden sein und bei der Planung überprüft werden. Eine Ex-Risikoanalyse muss entsprechend der nationalen Gesetzgebung während des Planungsprozesses durchgeführt und dokumentiert werden.



In diesem Kapitel werden nur spezielle Planungsaspekte für PROFIBUS- und PROFINET-Netzwerke erläutert. Es zeigt nicht den vollen Umfang der Planung für Ex-Installationen.

Eine Beispielanlage für die Prozessindustrie ist in Abbildung 5.1 abgebildet.

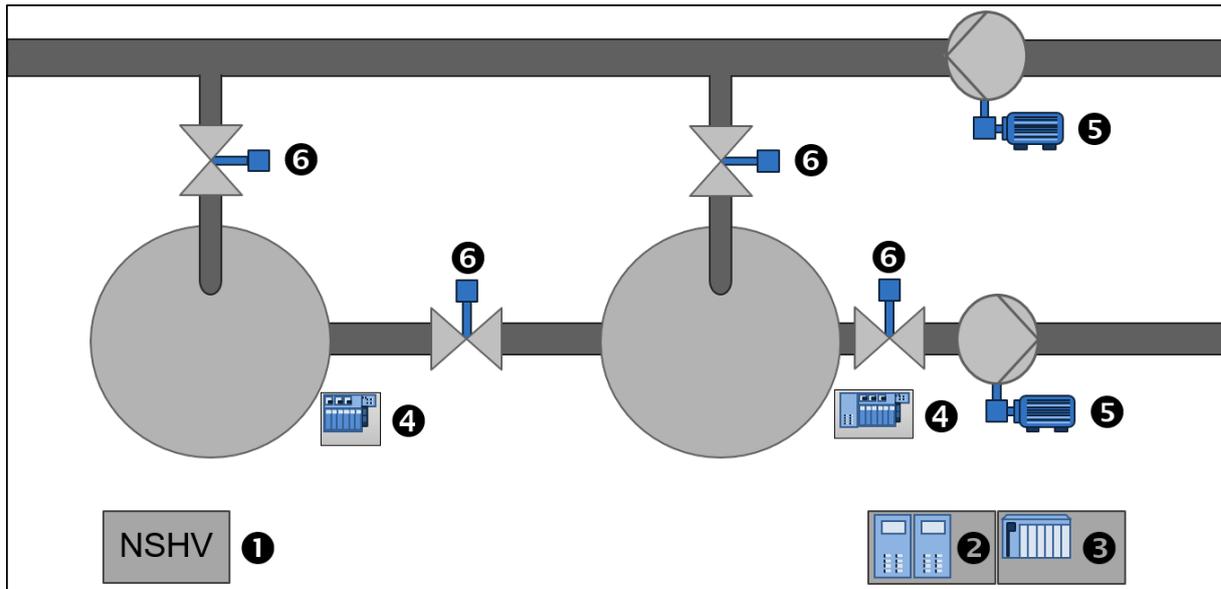


Abbildung 5.1: Beispielanlage aus der Prozessindustrie

Die in Abbildung 5.1 gezeigte Anlage besitzt zwei Behälter, welche über Pumpen ⑤ und Ventile ⑥ gefüllt, bzw. entleert werden können. Die Energieversorgung der Anlage geschieht über die Niederspannungshauptverteilung ① (NSHV). Diese versorgt den Schaltschrank, in welchem der Frequenzumrichter ② und die speicherprogrammierbare Steuerung ③ (SPS) untergebracht sind. Dezentral in der Anlage befinden sich noch zwei Remote-E/A-Baugruppen ④, welche Sensoren und Aktoren ansteuern. An diesem Beispiel können exemplarisch folgende Probleme betrachtet werden: Ansteuerung von Antrieben über Frequenzumrichter, räumlich weit verteilte Anlagen und im Feld verteilte Automatisierungstechnische Komponenten.

5.1 Verbindung von Schutz- und Funktionspotentialausgleich

Auch in der Prozessindustrie ist die strikte Trennung von Schutz- und Funktionspotentialausgleich nicht möglich, weshalb wie in Kapitel 4.1 ein kombinierter Schutz- und Funktionspotentialausgleich empfohlen wird.

P1

Kombinierten Schutz- und Funktionspotentialausgleich vorsehen (CBN).

5.2 Aufbau der 230V/400V Netzversorgung

Allgemein lassen sich die in Kapitel 4.2 beschriebenen Empfehlungen von der Fertigungs- auf die Prozessindustrie übertragen. Im Ex-Bereich gelten jedoch Beschränkungen bezüglich des Netzsystems.

Nach [DIN-EN 60079-14] ist die TN Ausführung der Systemerdung im explosionsgefährdeten Bereich nur als TN-S-System zugelassen, siehe hierzu Kapitel 4.2. Wenn es sich um ein TN-C-S-System handelt, muss gemäß [DIN-EN 60079-14] spätestens bei der letzten Verteilung vor dem Ex-Bereich eine Aufteilung des PEN in PE- und N-Leiter erfolgen. In diesem Fall ist die Handlungsempfehlung der Fertigungsindustrie auf die Prozessindustrie übertragbar. In explosionsgefährdeten Bereichen ist in jedem Fall eine TN-S Struktur vorzusehen.

P2

230/400 V-Netzversorgung vorzugsweise und im Ex-Bereich auf jeden Fall als TN-S-System aufbauen.

5.3 Potentialausgleichssystem

Die Empfehlungen aus Kapitel 4.3 lassen sich im großen Teil auf die Prozessindustrie übertragen, wobei im Ex-Bereich weitere Punkte zu beachten sind.

Ein guter Potentialausgleich ist auch im Ex-Bereich wichtig, da er sicherstellt, dass an keinen elektrischen Betriebsmitteln gefährliche Spannungen anliegen, welche zur Entstehung eines explosionswirksamen Funkens führen könnten. Aus diesem Grund fordert [DIN-EN 60079-14] einen Potentialausgleich in explosionsgefährdeten Bereichen. Außerdem müssen alle elektrischen Betriebsmittel und fremde leitfähige Teile im Ex-Bereich mit diesem Potentialausgleich verbunden sein. Die Verbindungen müssen gegen Selbstlockern gesichert werden und deren Korrosionsrisiko auf ein Mindestmaß gesenkt werden, da es die Wirksamkeit der Verbindungen verringern kann.

Ein eng vermaschter Potentialausgleich nach Abbildung 4.28 weist aufgrund seiner niedrigen Impedanz kleine Spannungsdifferenzen auf. Dies senkt die Größe von Ausgleichsströmen, welche z.B. über Schirme fließen können. Auf dieses Problem wird weiter in Kapitel 5.4 eingegangen. Eine Einbeziehung der horizontalen und vertikalen Bewehrung des Gebäudes und der Metallkonstruktion der Produktionsanlage kann den Potentialausgleich weiterhin verbessern.

Eine Messung des Schirmstromes kann einen Hinweis auf die Qualität der Schirmanbindung und der Erdung geben. Ein niedriger Schirmstrom unter Berücksichtigung der Schirmimpedanz weist auf gute Erdung und Schirmung hin. Aktuell müssen die notwendigen Vorgehensweisen jedoch vom Anwender unter Berücksichtigung der Anlagegegebenheiten individuell festgelegt werden. Die Messung kann unterbrechungsfrei und räumlich flexibel mit einer Strommesszange durchgeführt werden. Durch die rechtzeitige Erkennung von zu hohen Schirmströmen können größere Schäden abgewendet werden. Da die Strommesszangen nicht eigensicher sind, dürfen Schirmstrommessungen aber in Normalfall nicht in Ex-Bereichen ohne [schriftliche Arbeitsgenehmigung durch die Betriebsleitung](#) durchgeführt werden.

Wenn zwischen Anlagenteilen ein getrennter Potentialausgleich vorliegt, ist dessen Verbindung über geschirmte Signalkabel nicht empfohlen (Abbildung 5.2).

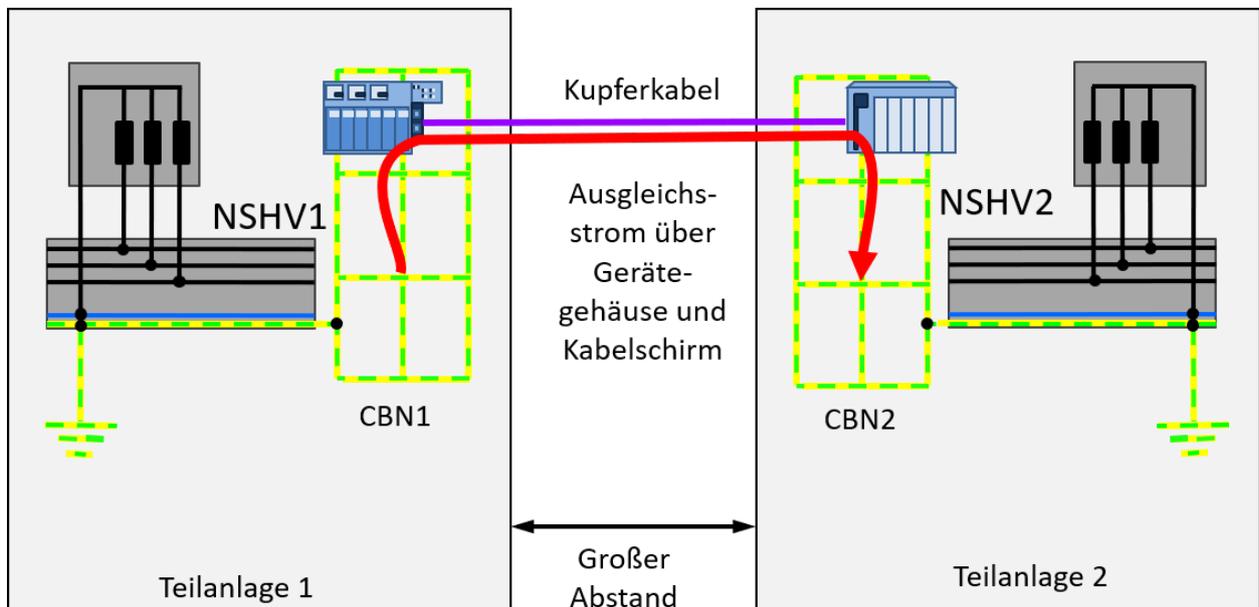


Abbildung 5.2: Kupferkabel über Teilanlagengrenzen hinweg

Da nicht sichergestellt werden kann, dass die verbundenen Punkte in CBN1 und CBN2 das gleiche Potential aufweisen, kann ein unerwünschter Ausgleichsstrom über den Kabelschirm fließen. Dieser stört die Signalübertragung und kann im Ex-Bereich zusätzlich eine Gefahrenquelle darstellen.

Abhilfe schafft eine Signalübertragung über Lichtwellenleiter, da diese Daten übertragen, ohne die Erdungssysteme miteinander zu verbinden (Abbildung 5.3).

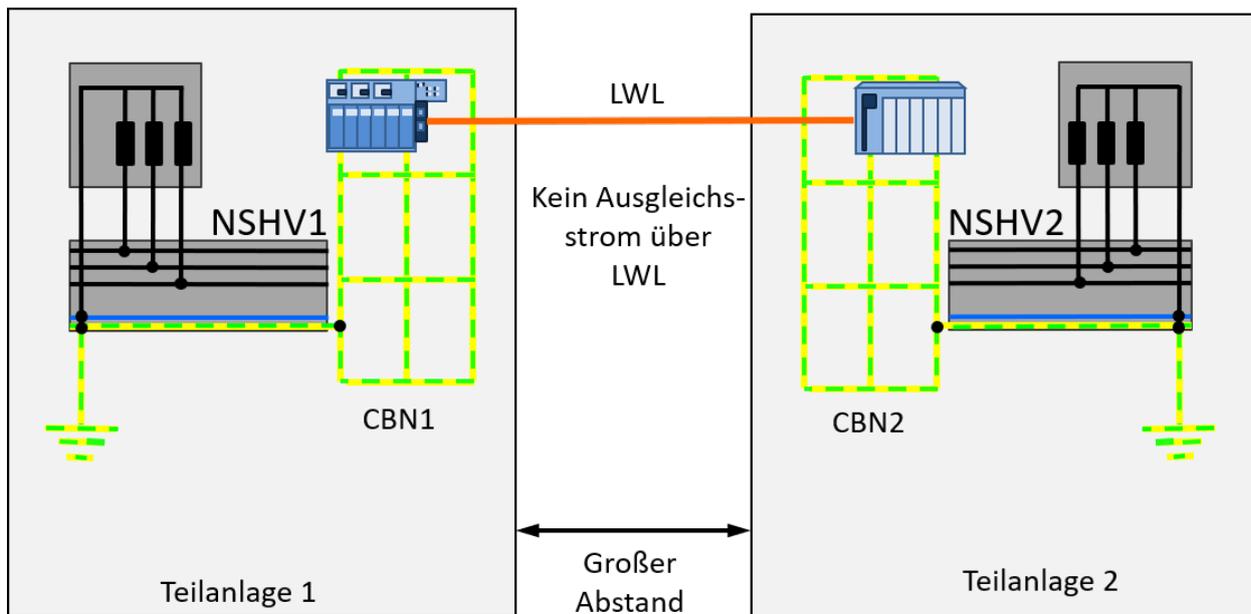


Abbildung 5.3: Lichtwellenleiter über Teilanlagengrenzen hinweg

Bei geringem Abstand der getrennten Potentialausgleichssysteme kann es zu einer Verbindung durch z.B. Fördereinrichtungen, Rohrbrücken oder in Anlagen der Fertigungsindustrie ggf. auch durch Personen kommen. In diesem Fall ist die Einrichtung eines verbundenen Potentialausgleichssystems, wie in Abbildung 5.4 dargestellt, zu empfehlen.

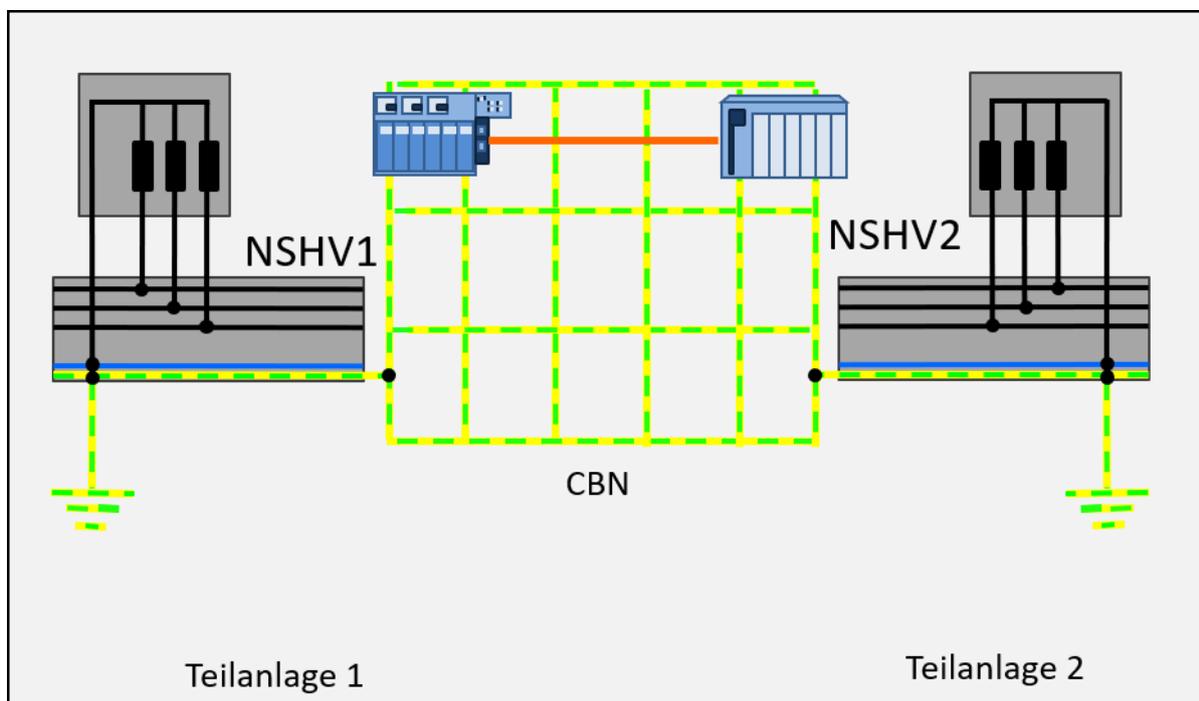


Abbildung 5.4: Durchgängiges CBN zwischen Teilanlagen

Ein ähnliches Problem ist auch zwischen Ex-Bereich und Nicht-Ex-Bereich zu beobachten. Wenn getrennte Potentialausgleichssysteme innerhalb und außerhalb des Ex-Bereichs vorliegen, stellen Kabel, die beide Bereiche verbinden und deren Schirme nur mit dem Potentialausgleich außerhalb des Ex-Bereiches verbunden sind, eine potenzielle Funkenquelle innerhalb des Ex-Bereiches dar. Dies liegt daran, dass der Schirm im Ex-Bereich das Potential von außerhalb aufweist. Bei Herstellung einer leitenden Verbindung kann es zum Fluss eines Ausgleichstromes und Funkenbildung kommen. Nach [DIN-EN 60079-14] müssen deshalb die getrennten Potentialausgleichssysteme verbunden werden. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, von vornherein einen durchgehenden, vermaschten Potentialausgleich innerhalb und außerhalb des Ex-Bereichs einzuplanen. Weitere Details zum Aufbau des vermaschten Potentialausgleichssystems sind unter Kapitel 4.3 zu finden.

P3	<ul style="list-style-type: none">• Kombiniertes Potentialausgleichssystem (Common Bonding Network CBN) möglichst fein vermascht ausführen (MESH-BN).• Zwischen Teilanlagengrenzen eine Potentialtrennung oder ein durchgängiges CBN vorsehen.• CBN innerhalb und außerhalb vom Ex-Bereich durchgängig ausführen.• Im Ex-Bereich elektrische Betriebsmittel und fremde leitfähige Teile mit CBN sicher verbinden.
----	--

5.4 Anschluss der PROFIBUS- und PROFINET-Leitungsschirme

Aus den in Kapitel 4.4 genannten Gründen bezüglich der besseren Schirmwirkung sollte der Schirm von PROFINET-Leitungen auch in Anlagen der Prozessindustrie beidseitig aufgelegt werden. Innerhalb des Ex-Bereiches hängen die Empfehlungen jedoch von weiteren Überlegungen ab.

Wie in Abbildung 4.24 gezeigt, fließen Fremdströme im Potentialausgleich teilweise auch über beidseitig aufgelegte Schirme. Je größer die Maschen und die Ströme durch diese sind, desto größer ist auch das Risiko der Funkenbildung beim Öffnen der Schirme. Das Öffnen lässt sich nicht verhindern, da z.B. Beschädigung des Kabels zum Öffnen des Schirms führen kann. Außerdem ist im Ex-Bereich der Umbau von Feldgeräten bei laufendem Anlagenbetrieb erlaubt, solange die Geräte die Zündschutzart „Eigensicher“ (Ex i) unterstützen. In diesem Fall führen ihre Signalleitungen nicht genügend Energie, um als Zündquellen zu wirken. Dies gilt jedoch nicht für deren Schirme. Der in Abbildung 5.5 dargestellte Fall der beidseitigen Schirmauflage kann aus diesen Gründen im Ex-Bereich eine Gefahr darstellen.

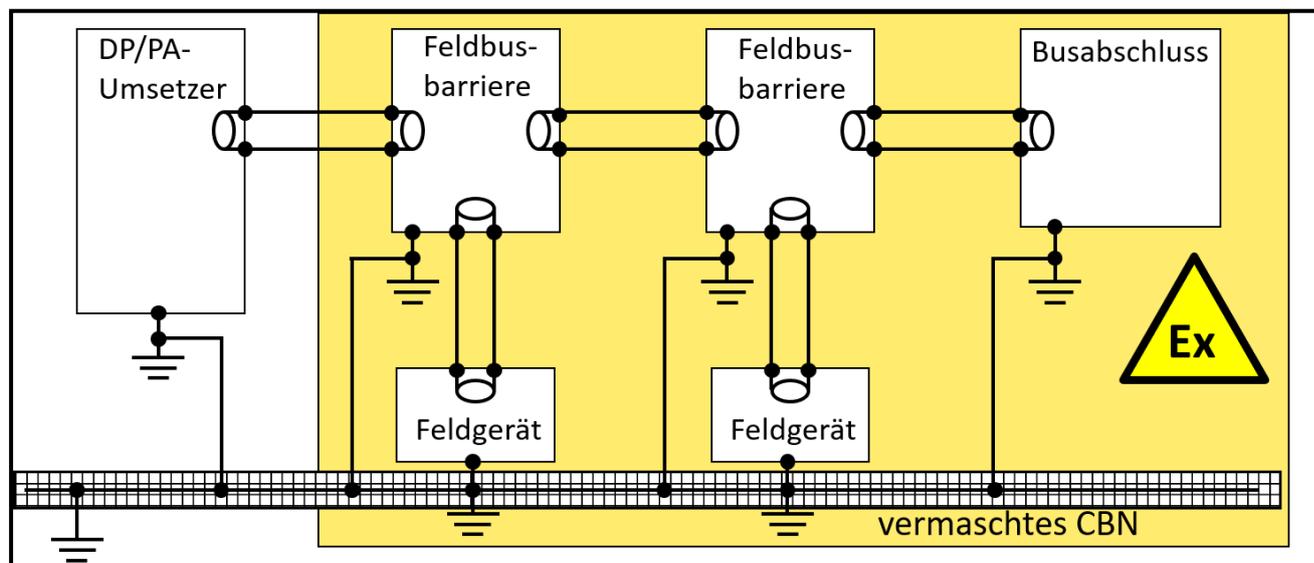


Abbildung 5.5: Beidseitige Auflegung von Kabelschirmen im Ex-Bereich für PROFIBUS PA

Eine Lösung dieses Problems ist die Minimierung von Schirmströmen durch Minimierung von Strömen im Potentialausgleich. Nach [DIN-EN 60079-14] ist die beidseitige, flächige Schirmauflage im Ex-Bereich nur zulässig, wenn „in hohem Grade sichergestellt ist, dass zwischen jedem Ende des Stromkreises ein Potentialausgleich besteht“. Die Norm schreibt nicht konkret vor, was den Potentialausgleich in hohem Grade sicher macht. In Kapitel 5.3 werden als ein Anhaltspunkt Schritte genannt, welche zur Verbesserung des Potentialausgleiches beitragen.

Die zusätzliche Anbindung des Leitungsschirms an das CBN vor einem PROFINET-Gerät (Abbildung 4.40) oder die mehrfache Schirmkontaktierung (Abbildung 4.41) sind sehr gut geeignet, um das Risiko der Funkenbildung bei Trennen des Gerätes zu umgehen, da der Schirmstrom in diesem Falle über die Anbindung vor dem Gerät abfließen kann. Diese Verbindungen zwischen Schirm und CBN sind aber oft praktisch nicht möglich, da die Isolierung hierfür abgeschält werden muss und das Kabel so Umwelteinflüssen ausgesetzt ist.

Wenn die Ströme im Potentialausgleich nicht minimiert werden können, der Potentialausgleich also nicht in hohem Grade sichergestellt ist, muss der Stromfluss vom Potentialausgleich über den Schirm unterbunden werden. [DIN-EN 60079-14] schreibt in diesem Fall eine einseitige Schirmauflage oder beidseitige Schirmauflage mit Kondensator an einem Ende (Abbildung 5.6) vor. In letzterem Fall darf der Kondensator nicht größer als 10 nF sein, da er sonst ein Sicherheitsrisiko darstellt. Durch diese Einschränkung kann der Kondensator in der Regel nicht groß genug ausgelegt werden, um die für die aktive Schirmung benötigten Ströme über den Schirm fließen zu lassen. In diesem Fall verhält sich die beidseitige Schirmauflage mit Kondensator an einem Ende wie die einseitige Schirmauflage, sodass die Schirmwirkung gegen magnetische Felder in beiden Fällen nicht gegeben ist. Dieser Nachteil kann ggf. durch einen größeren Abstand zwischen PROFINET-Leitung und Energieleitung kompensiert werden.

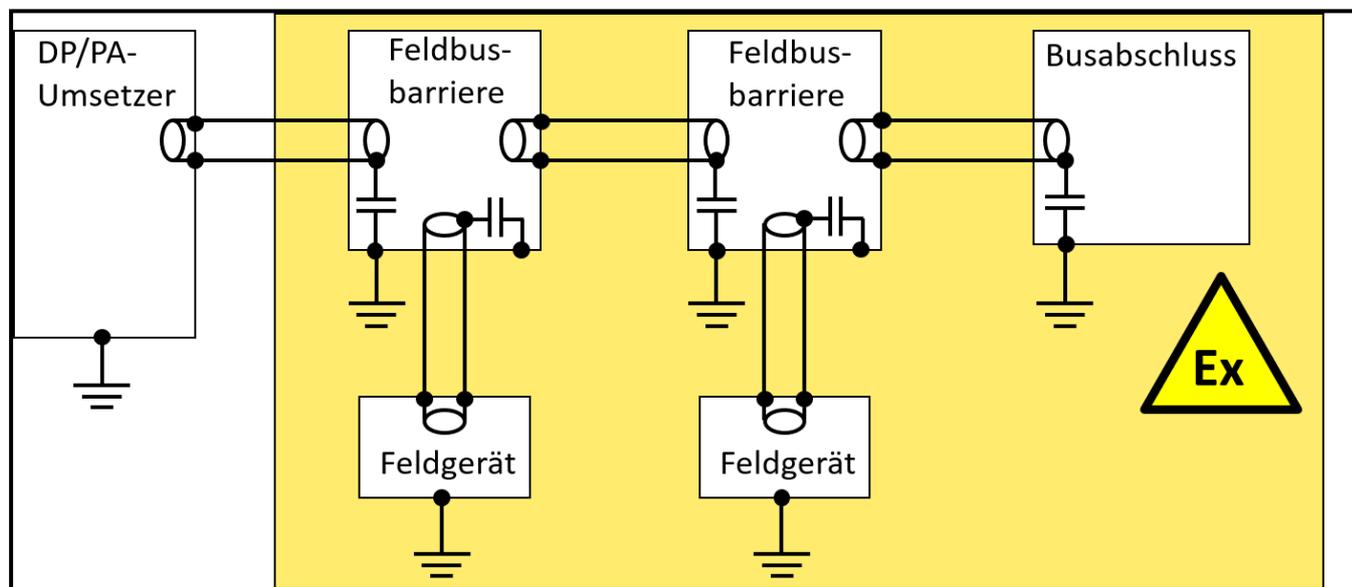


Abbildung 5.6: Beidseitige Auflegung von Kabelschirmen mit Kondensator im Ex-Bereich

Das Schirmende eines einseitig aufgelegten Schirmes ist zu isolieren, damit die Berührung einer leitenden Oberfläche verhindert wird, da dies zu Funkenbildung führen kann (Abbildung 5.7). Das Risiko einer Funkenbildung hängt von der Güte des Potentialausgleichs ab, da sich das Potential am aufgelegten Ende des Schirms im schlechtesten Fall deutlich von dem an der anderen Seite unterscheidet.

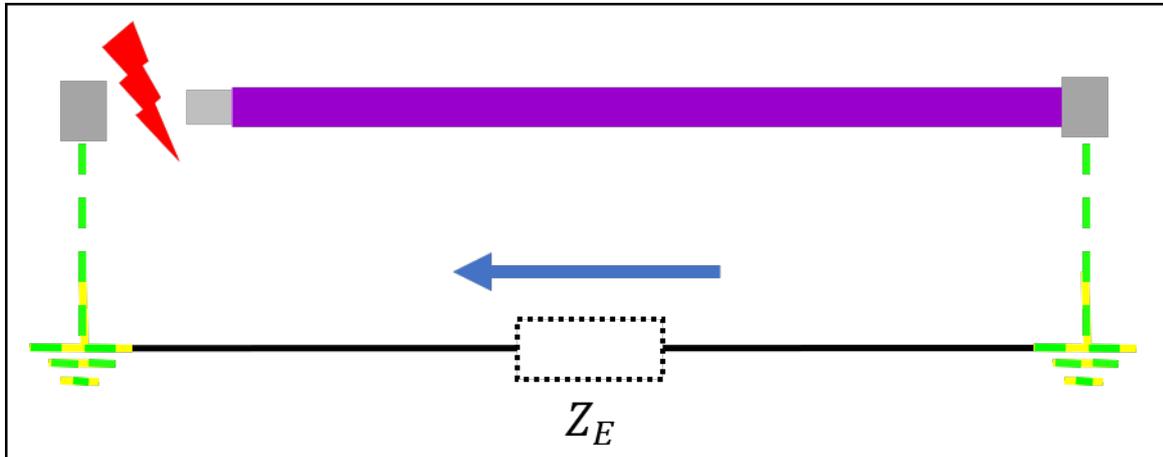


Abbildung 5.7: Zündgefahr bei Isolationsfehlern und schlechtem Potentialausgleich

In Tabelle 5.1 sind verschiedene Verbindungsmöglichkeiten des Kabelschirms mit dem CBN im Ex-Bereich dargestellt. Da die beidseitige Schirmauflage im Ex-Bereich nach [DIN-EN 60079-14] nur zugelassen ist, wenn der Potentialausgleich in hohem Grade sichergestellt ist, wird in diesem Fall ein vermaschtes CBN angenommen. Deshalb kann hier auch von einem geringen Schirmstrom und kleinen Spannungsunterschied zwischen Schirmende und CBN ausgegangen werden. In den beiden anderen Fällen wird ein weniger guter Potentialausgleich angenommen.



In diesem Kapitel werden nur spezielle Planungsaspekte für PROFIBUS- und PROFINET-Netzwerke erläutert. Es zeigt nicht den vollen Umfang der Planung für Ex-Installationen.

Tabelle 5.1: Verbindungsmöglichkeiten von Kabelschirm und CBN im Ex-Bereich

	Einseitige Verbindung mit CBN	Verbindung mit CBN über Kondensator	Beidseitige Verbindung mit vermaschtem CBN
Von Norm erlaubt	✓	Bei Gesamtkapazität < 10 nF pro Schirmsegment	Wenn Potentialausgleich im hohen Maße sichergestellt
Schutz vor kapazitiven Einflüssen	✓	✓	✓
Schutz vor induktiven Einflüssen	X	Nur bei sehr hochfrequenten induktiven Einflüssen	✓
Keine Zündgefahr durch Schirmstrom im Normalbetrieb	✓	✓	✓
Zündgefahr bei Isolationsfehlern	Hoch	Hoch	Gering

Aus den bisherigen Erläuterungen lässt sich die Handlungsempfehlung P4 ableiten.

P4	<ul style="list-style-type: none"> • Außerhalb des Ex-Bereiches und innerhalb des Ex-Bereiches bei in hohem Grade sichergestellten Potentialausgleich sind PROFIBUS-/PROFINET-Leitungsschirme an beiden Enden mit großflächigem Kontakt der Steckverbindergehäuse mit dem Gehäuse der Geräte und dadurch mit dem Common Bonding Network (CBN) zu verbinden. • Im Ex-Bereich bei nicht in hohem Grade sichergestellten Potentialausgleich Schirm einseitig oder einseitig und mit Kondensator (max. 10 nF) am anderen Ende auflegen.
----	---

5.5 Motorleitungen

Grundsätzlich gelten die Empfehlungen aus 4.5 auch in der Prozessindustrie. Bezüglich der Verwendung geschirmter Motorkabel gibt es aber weitere Vorgehensweisen. Die NAMUR rät in der NE108 von der Verwendung geschirmter Motorkabel ab. Als Gründe werden unter anderem die erhöhte Kabelkapazität geschirmter Motorleitungen und die daraus folgende reduzierte maximale Leitungslänge genannt. Es wird auch auf eine handwerklich anspruchsvollere Installation bei der flächigen Anbindung der Kabelschirme und erhöhte Oberschwingungsströme hingewiesen. Stattdessen empfiehlt die NAMUR in der NE 38 die Verwendung von Filtermaßnahmen am Umrichteranschluss in Verbindung mit ungeschirmten Motorleitungen. Die Verwendung von Filtern ist in der Fertigungsindustrie meist nicht die erste Wahl, da diese sich negativ auf die Energieeffizienz der Antriebslösung auswirken.

Für den Ex-Bereich gilt außerdem, dass Motorleitungen die Zündschutzart „Erhöhte Sicherheit“ (Ex e) erfüllen müssen, die Anschlüsse also gegen Rütteln und Erwärmen gesichert sind. Aufgrund der Gefahr der Funkenbildung darf das Kabel nicht im laufenden Betrieb gelöst werden und bei Verwendung eines geschirmten Motorkabels muss die fachgerechte Schirmauflage sichergestellt werden, da nicht zu vernachlässigende Ströme über den Schirm fließen und sonst die Gefahr der Funkenbildung besteht.

P5	<ul style="list-style-type: none">• Geschirmte Motorleitungen verwenden und Kabelschirm beidseitig und großflächig mit dem Common Bonding Network (CBN) verbinden, im Ex-Bereich fachgerechte Schirmauflage sicherstellen.• Bei Verwendung ungeschirmter Motorleitungen Filter am Umrichteranschluss vorsehen. Siehe hierzu auch die Empfehlungen der Richtlinie NAMUR NE 108.• Motor mit dem Common Bonding Network (CBN) verbinden. Siehe hierzu auch Kapitel 4.3• Sofern vom Hersteller des Frequenzumrichters nicht ausgeschlossen, vorzugsweise symmetrische dreiadrige Motorleitungen mit separat geführtem Schutzleiter einsetzen. Siehe hierzu auch Kapitel 4.5• Die Vorgaben des Herstellers des Frequenzumrichters sollten in jedem Fall geprüft und beachtet werden.
----	---

5.6 Anbindung des Minuspols einer 24-V-Versorgung and das CBN

Auch in der Prozessindustrie sollten mehrfache Verbindungen von 24-V-Versorgungskreisen mit dem CBN aus den in Kapitel 4.6 genannten Gründen vermieden werden. Im Ex-Bereich sind die 24-V-Versorgungsstromkreise teilweise eigensicher aufgebaut. In diesem Fall ist die mehrfache Verbindung mit dem CBN nach [DIN-EN 60079-14] verboten.

P6

- Mehrfache Verbindungen von 24-V-Stromkreisen mit dem Common Bonding Network (CBN) sind zu vermeiden und bei eigensicheren Stromkreisen im Ex-Bereich nicht zulässig.
- Um die Leitung zwischen Netzteil und Verbraucher möglichst kurz zu halten empfiehlt es sich, mehrere kleine Netzteile an Stelle eines großen Netzteils einzusetzen. Details siehe Kapitel 4.6.

6 Zusammenfassung der Handlungsempfehlungen für eine störungsarme Auslegung von PROFIBUS- und PROFINET-Netzwerken

Die folgenden Kapitel fassen die Handlungsempfehlungen für die Fertigungs- und Prozessindustrie noch einmal zusammen. Kapitel 6.1 geht auf die Belange der Fertigungsindustrie ein, Kapitel 6.2 betrachtet die Prozessindustrie.

Die sechs Handlungsempfehlungen F1 bis F6 bzw. P1 bis P6 tragen dazu bei, Störungen durch elektromagnetische Interferenzen in einer Anlage mit PROFIBUS- und PROFINET-Netzwerken zu vermeiden. Die in diesem Dokument vorgeschlagenen Maßnahmen sind zwischen Anlagenplaner, Anlagenerrichter und Anlagenbetreiber abzustimmen. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass möglichst alle Handlungsempfehlungen bei der Planung einer Anlage berücksichtigt werden. Spätere Anpassungen der Anlagen im laufenden Betrieb durch Störungen, welche durch elektromagnetische Interferenzen entstehen, sind mit einem massiven zusätzlichen Kosteneinsatz verbunden.

Die Netzversorgung sollte deshalb beim Neubau oder der Renovierung von Anlagen nur noch als TN-S-System geplant werden. Durch das TN-S-System ist es möglich, dass Betriebsströme des Neutralleiters nicht ins Potentialausgleichssystem gelangen können, da nur in der NSHV eine Verbindung zwischen Schutz- und Neutralleiter besteht. Somit werden Ströme im Potentialausgleichssystem vermieden, welche zu Potentialunterschieden führen.

Bei der Errichtung kann zudem ein gemeinsamer Schutz- und Funktionspotentialausgleich aufgebaut werden, da eine konsequente Trennung der beiden Potentialausgleichssysteme heutzutage nicht mehr möglich ist. Wird ein gemeinsames Potentialausgleichssystem (CBN) aufgebaut, so ist darauf zu achten, dass dieses die Anforderungen von Schutz- und Funktionserdung erfüllen muss. Somit muss das Potentialausgleichssystem eine entsprechende Stromtragfähigkeit und eine niedrige Impedanz besitzen. Zudem sollten aus Gründen der elektromagnetischen Verträglichkeit die Verbindungen gegen ungewolltes Lösen gesichert und witterungsbeständig ausgeführt sein.

Eine niedrige Impedanz des Potentialausgleichs kann durch ein vermaschtes Potentialausgleichssystem nach DIN EN 50310 optimal umgesetzt werden. Durch die Vermaschung des Potentialausgleiches werden viele kleine Maschen gebildet, welche die

Impedanz senken. Durch die niedrige Impedanz werden Potentialunterschiede durch Kopplungen verringert.

Die Leitungsschirme von PROFIBUS- und PROFINET-Leitungen sollten zudem mindestens an den beiden Enden mit dem Potentialausgleichssystem verbunden werden. Diese Verbindung sollte über den Stecker und das PROFIBUS-/PROFINET-Gerät erfolgen. Die Verbindung zwischen Steckerkragen und Funktionserdungsanschluss des Gerätes sollten hierzu ebenfalls eine niedrige Impedanz besitzen. Zusätzlich sollten noch weitere Verbindungen zwischen Leitungsschirm und Potentialausgleichssystem bestehen, welche die Maschen für Kopplungen verkleinern (Siehe Kapitel 4.4.1).

Für Ströme im Potentialausgleichssystem kommen auch Motorleitungen als Ursache in Frage. Dies geschieht durch induktive und kapazitive Kopplungen im Inneren einer Motorleitung. Abhilfe schaffen hierfür geschirmte Motorleitungen, welche in vielen Fällen durch den Hersteller der jeweiligen Frequenzumrichter vorgeschrieben werden.

Im Aufbau von 24-V-Versorgungsstromkreisen sollten Mehrfacherdungen grundsätzlich vermieden werden. Durch Mehrfacherdungen des Minuspols des 24-V-Versorgungsstromkreises können Ströme aus dem Potentialausgleichssystem in den 24-V-Versorgungsstromkreis gelangen und zu Potentialverschiebungen führen. Diese Potentialverschiebungen können den Ausfall von Baugruppen verursachen, sobald die Nennspannung unterschritten wird. Außerdem können auch Ströme aus dem 24-V-Versorgungsstromkreis in das Potentialausgleichssystem gelangen. In diesem befinden sich jedoch auch Schirmleitungen, welche keine ausreichend hohe Stromtragfähigkeit besitzen und sich bei erhöhtem Strom erhitzen. Somit kann durch Mehrfacherdungen eines 24-V-Versorgungsstromkreises eine Brandgefahr entstehen (siehe Kap. 4.6.1.3). Um dies zu vermeiden, sollten 24-V-Versorgungsstromkreise nur einmalig mit dem Potentialausgleichssystem verbunden sein. Eine einfache Überwachung durch ein Strom-Monitoring der einmaligen Verbindung ermöglicht es, Mehrfacherdungen des 24-V-Versorgungsstromkreises im laufenden Anlagenbetrieb zu ermitteln.

6.1 Fertigungsindustrie

F1	Kombinierten Schutz- und Funktionspotentialausgleich vorsehen (CBN).
F2	230/400 V-Netzversorgung vorzugsweise als TN-S-System aufbauen.
F3	Kombiniertes Potentialausgleichssystem (Common Bonding Network CBN) möglichst fein vermascht ausführen (MESH-BN).
F4	PROFIBUS-/PROFINET-Leitungsschirmen an beiden Enden mit großflächigem Kontakt (geringer Impedanz) der Steckverbindergehäuse mit dem Gehäuse der Geräte und dadurch mit dem Common Bonding Network (CBN) verbinden.
F5	<ul style="list-style-type: none"> • Geschirmte Motorleitungen gemäß Herstellerangaben verwenden und Kabelschirm beidseitig und großflächig mit dem Common Bonding Network (CBN) verbinden (geringe Impedanz). • Motor mit dem Common Bonding Network (CBN) verbinden. • Sofern ungeschirmte Motorleitungen verwendet werden, sollten Filter am Ausgang des Frequenzumrichters eingesetzt werden. • Sofern vom Hersteller des Frequenzumrichters nicht ausgeschlossen, vorzugsweise symmetrische geschirmte dreiadrige Motorleitungen mit separat geführtem Schutzleiter einsetzen. • Die Vorgaben des Herstellers des Frequenzumrichters sollten in jedem Fall geprüft und beachtet werden.
F6	<ul style="list-style-type: none"> • Mehrfache Verbindungen von 24-V-Stromkreisen mit dem Common Bonding Network (CBN) sind zu vermeiden. • Um die Leitung zwischen Netzteil und Verbraucher möglichst kurz zu halten empfiehlt es sich mehrere kleine Netzteile an Stelle eines großen Netzteils einzusetzen.

6.2 Prozessindustrie

In Bezug auf die Prozessindustrie sind weiterhin die räumliche Ausdehnung der Anlage und eventuelle Einschränkungen durch Ex-Bereiche zu beachten. Die resultierenden Sachverhalte werden in Kapitel 5 genauer erläutert.

P1	Kombinierten Schutz- und Funktionspotentialausgleich vorsehen (CBN).
P2	230/400 V-Netzversorgung vorzugsweise und im Ex-Bereich auf jeden Fall als TN-S-System aufbauen.
P3	<ul style="list-style-type: none"> • Kombiniertes Potentialausgleichssystem (Common Bonding Network CBN) möglichst fein vermascht ausführen (MESH-BN). • Zwischen Hallengrenzen eine Potentialtrennung oder ein durchgängiges CBN vorgesehen. • CBN innerhalb und außerhalb von Ex-Bereich durchgängig ausführen. • Im Ex-Bereich elektrische und fremde leitfähige Teile mit CBN sicher verbinden.
P4	<ul style="list-style-type: none"> • Außerhalb des Ex-Bereiches und innerhalb des Ex-Bereiches bei in hohem Grade sichergestellten Potentialausgleich sind PROFIBUS-/PROFINET-Leitungsschirme an beiden Enden mit großflächigem Kontakt der Steckverbindergehäuse mit dem Gehäuse der Geräte und dadurch mit dem Common Bonding Network (CBN) zu verbinden. • Im Ex-Bereich bei nicht in hohem Grade sichergestellten Potentialausgleich Schirm einseitig oder einseitig und mit Kondensator (max. 10 nF) am anderen Ende auflegen.
P5	<ul style="list-style-type: none"> • Geschirmte Motorleitungen verwenden und Kabelschirm beidseitig und großflächig mit dem Common Bonding Network (CBN) verbinden, im Ex-Bereich fachgerechte Schirmauflage sicherstellen. • Bei Verwendung ungeschirmter Motorleitungen Filter am Umrichter-ausgang vorsehen. Siehe hierzu auch die Empfehlungen der Richtlinie NAMUR NE 108.

	<ul style="list-style-type: none">• Motor mit dem Common Bonding Network (CBN) verbinden. Siehe hierzu auch Kapitel 4.3• Sofern vom Hersteller des Frequenzumrichters nicht ausgeschlossen, vorzugsweise symmetrische dreiadrige Motorleitungen mit separat geführtem Schutzleiter einsetzen. Siehe hierzu auch Kapitel 4.5• Die Vorgaben des Herstellers des Frequenzumrichters sollten in jedem Fall geprüft und beachtet werden.
P6	<ul style="list-style-type: none">• Mehrfache Verbindungen von 24-V-Stromkreisen mit dem Common Bonding Network (CBN) sind zu vermeiden und im Ex-Bereich nicht zulässig.• Um die Leitung zwischen Netzteil und Verbraucher möglichst kurz zu halten empfiehlt es sich, mehrere kleine Netzteile an Stelle eines großen Netzteils einzusetzen. Details siehe Kapitel 4.6

7 Schirmstrommessung

Im Folgenden wird auf die Schirmstrom- und Schleifenimpedanzmessung als Teil einer Abnahmeprüfung eingegangen. Schirmstrom und Schleifenimpedanz sind wichtige Größen für die EMV-Festigkeit der Anlage.

7.1 Bedeutung von Schirmströmen

Schirmströme sind im Wesentlichen auf verschiedene Ursachen zurückzuführen. Zum einen entstehen Schirmströme durch die Induktion von Magnetfeldern parallellaufender Energieleitungen, zum anderen können aber auch vagabundierende Ströme aus Energieverteilungen über Leitungsschirme fließen. Darüber hinaus entstehen Schirmströme auch über unsymmetrisch aufgebaute Energie- / Motorleitungen. Hier wird in den PE-Leiter in der Motorleitung eine Spannung induziert. Dies führt zu einem Stromfluss durch den PE-Leiter und einen entsprechenden Rückstrom über das Potentialausgleichssystem und die Leitungsschirme. Diese Ursachen für Schirmströme werden im Folgenden betrachtet.

Kapitel 3.1.2 erläutert, dass ein Schirmstrom für die aktive Schirmwirkung gegen magnetische Felder erforderlich ist. Abbildung 7.1 zeigt eine Energieleitung, die parallel zur Signalleitung verläuft. Das Magnetfeld der Energieleitung induziert im Leitungsschirm eine Spannung. Sofern beide Seiten des Leitungsschirms mit dem Potentialausgleich verbunden sind, entsteht dadurch in der Schirmschleife ein Strom, der das einfallende Magnetfeld weitestgehend aufhebt und damit die Signalleitungen schützt. Aus diesem Grund sollten Leitungsschirme, wenn möglich, beidseitig mit dem Potentialausgleichssystem werden.

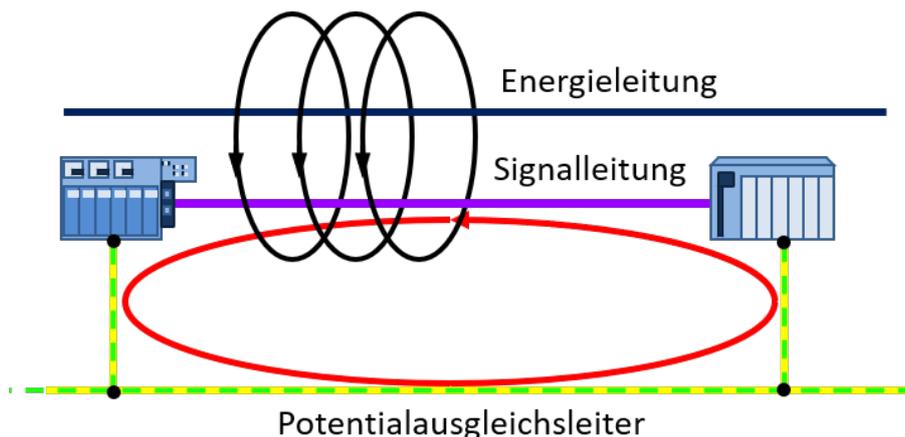


Abbildung 7.1: Strom durch Schirmschleife, benötigt für Aktive Schirmwirkung gegen Magnetfelder

Der Strom auf Schirmen kann aber auch, wie in Kapitel 4.3 beschrieben, durch vagabundierende Ströme im CBN entstehen. Ein durch das CBN fließender Strom teilt sich zwischen Ausgleichsleiter und beidseitig aufgelegtem Schirm auf und fließt so auch teilweise über den Schirm (Abbildung 7.2).

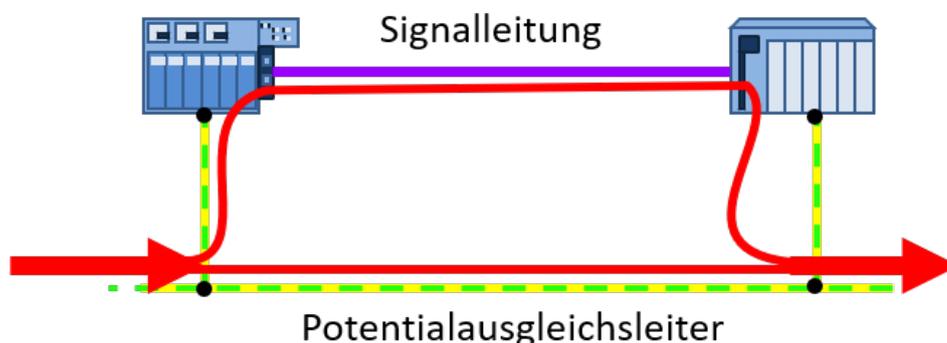


Abbildung 7.2: Aufteilung von Strom zwischen Potentialausgleichsleiter und Signalleitung

Der Schirmstrom setzt sich also aus einer benötigten und einer störenden Komponente zusammen. Leider lassen sich die beiden Schirmstromanteile messtechnisch kaum unterscheiden. Daher versucht man generell die Ströme auf Leitungsschirmen möglichst gering zu halten. Dies erreicht man z. B. durch einen Mindestabstand zwischen Energie- und Signalleitungen, die Verringerung vagabundierender Ströme im Potentialausgleich, z. B. durch den Einsatz symmetrischer Energie- und Motorleitungen, bzw. die Verwendung von TN-S-Energieverteilungen und die Vermaschung des Potentialausgleichs in Form eines meshed CBN.

7.2 Messung von Schirmströmen

Abbildung 7.3 stellt zwei Automatisierungskomponenten dar, deren Gehäuse jeweils mit dem CBN und dem Schirm der Signalleitungen verbunden sind. Mit einer Strommesszange kann der Strom auf Signalleitungsschirme oder auf Potentialausgleichsleitern gemessen werden. Eine kurze Beschreibung der Eigenschaften einer solchen Strommesszange findet sich in Anhang A1 Empfehlungen Strommesszange. Über die Messung des resultierenden Magnetfeldes wird sowohl der Schirmstrom als auch der Strom auf den Signalleitungen gemessen, wobei Letzterer in der Regel vernachlässigt werden kann. Für Anwendung mit höherer EMV Belastung, wie zum Beispiel in einem Schaltschrank, wird eine geschirmte Messzange empfohlen, damit tatsächlich nur der Strom im von der Zange umgebenen Leiter gemessen wird.

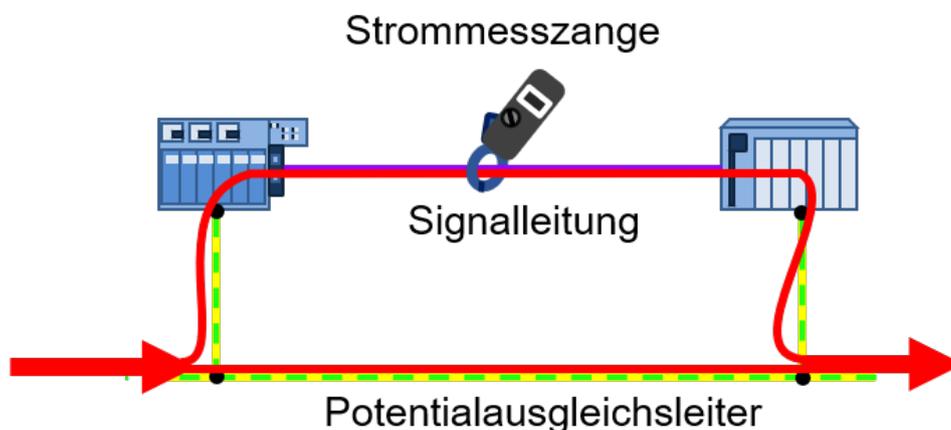


Abbildung 7.3: Messung von Schirmstrom mit Strommesszange

Es wird empfohlen, die Messung der Schirmströme der PROFIBUS / PROFINET-Leitungen bei laufender Anlage durchzuführen. Wenn der Schirmstrom vorhanden ist, aber einen gewissen Maximalwert nicht überschreitet, lässt sich darauf schließen, dass die EMV-Belastung der Signalleitungen durch den Schirmstrom nicht zu groß und der Potentialausgleich ausreichend niederimpedant ausgeführt ist.

Akzeptable Werte für Schirmströme hängen u.a. von den verwendeten Leitungstypen, den verwendeten Automatisierungskomponenten und der Signalform der Schirmströme (Frequenz, Flankensteilheit) ab. Aus diesem Grund können keine festen Vorgaben gemacht werden. Die Werte in Tabelle 7.1 beruhen auf Erfahrungen der im Arbeitskreis mitarbeitenden Unternehmen, stellen aber keine verbindlichen Grenzwerte dar.

Tabelle 7.1: Maßnahmen bei zu hohen Schirmströmen (Richtwerte)

Gemessener Schirmstrom bei beidseitig aufgelegtem Schirm **Empfohlene Maßnahme**

< 5 mA	Sehr guter Wert, insbesondere für Ex Anlagen anzustreben.
< 30 mA	Außerhalb Ex-Bereich keine Aktion erforderlich.
30 mA ... 100 mA	Ursache prüfen und möglichst Wert unter 30 mA reduzieren.
> 100 mA	Handlungsbedarf: Störquelle beseitigen, Potentialausgleich vermaschen, vagabundierende Ströme reduzieren, ggf. Abstand von Energieleitungen zu Busleitungen erhöhen.



Einschlägige Richtlinien, z. B. für explosionsgefährdete Bereiche, sind zu beachten. Diese Richtlinien schreiben möglicherweise andere Grenzwerte vor.

Wenn nur ein sehr kleiner Schirmstrom gemessen wird, deutet dies entweder auf eine sehr gute Schirmanbindung und einen sehr guten Potentialausgleich und große Abstände der Busleitung zu Energieleitungen hin oder aber möglicherweise auf eine Unterbrechung des Schirmkreises oder schlechte Kontaktierung des Schirms hin. Meist ist diese Unterbrechung an den Gerätesteckverbindern oder im Gerät selber zu finden. Kleine Ströme können auch bei einseitiger Schirmauflage rein kapazitiv fließen. Um zu überprüfen, dass eine niederimpedante, beidseitige Auflage vorhanden ist, ist eine Schleifenimpedanzmessung geeignet. Siehe hierzu Kapitel 7.5.

7.3 Abhilfemaßnahmen bei zu großen Schirmströmen

Falls der gewählte Maximalwert des Schirmstroms überschritten wird, sollte die Ursache ermittelt und beseitigt werden, um die EMV-Festigkeit zu erhöhen. Dies kann z. B. sein:

- Reduzierung vagabundierender Ströme
- Vergrößerung Abstand Energieleitungen zu Signalleitungen
- Verwendung symmetrischer und/oder geschirmter Energie- und Motorleitungen
- Verbesserung eines unzureichenden Potentialausgleichs.

Im Falle eines unzureichenden Potentialausgleichs sollte das CBN nach Kapitel 4.3 erweitert werden. Der empfohlene, vermaschte Potentialausgleich reduziert die Störströme auf ein Minimum, da er eine deutlich niedrigere Impedanz als der Schirm darstellt und so auch den großen Teil des Stromes führt.

Es sollte beachtet werden, dass eine Vermaschung des Potentialausgleichs zwar die Auswirkungen vagabundierender Ströme senkt, aber nicht die eigentliche Ursache behebt. Die Maßnahmen in Tabelle 7.2 hingegen beheben Ursachen für einen betriebsmäßigen Strom im Potentialausgleich.

Tabelle 7.2: weitere Abhilfemaßnahmen zum Senken der Ströme im Potentialausgleich

Mögliche Ursache	Empfohlene Maßnahme	Kapitel
Netzversorgung als TN-C-System ausgeführt	Umstellen auf TN-S-System	4.2
TN-S-System mit mehrfachen Verbindungen zwischen N und PE	Suche nach mehrfacher Verbindung von N und PE und überzählige Verbindungen trennen.	4.2.1.3
24-V-Systeme mit mehrfach angebundenem Minusleiter	Suche nach mehrfacher Verbindung von Minuspol und CBN und überzählige Verbindungen trennen	4.6
Unsymmetrische oder ungeschirmte Energie-/ Motorleitungen	Einsatz geschirmter und/oder symmetrischer Energie- und Motorleitungen	4.5

7.4 Bedeutung der Schleifenimpedanz

Der ohmsche Anteil der Impedanz der Schirmschleife setzt sich aus Schirmwiderstand, Widerstand der Potentialausgleichsleiter und Übergangswiderständen der Kontaktierung und Erdung des Schirms innerhalb der Geräte zusammen. Die Schleifenimpedanz muss klein genug sein, damit der Fluss eines ausreichenden Schirmstroms zum Erreichen der aktiven Schirmwirkung gemäß Kapitel 3.1.2 möglich wird. Beispielsweise können eine schlechte Kontaktierung des Kabelschirms im Steckverbinder oder eine schlechte Kontaktierung des Gerätegehäuses mit dem Potentialausgleich die Schleifenimpedanz

soweit erhöhen, dass der Schirmstrom nicht mehr groß genug ist, um das einfallende Magnetfeld aufzuheben. Um diese Fälle zu berücksichtigen, sollte zusätzlich zum Schirmstrom auch die Schleifenimpedanz gemessen werden.

7.5 Messung der Schleifenimpedanz

Zur weiteren Analyse kann eine Schleifenimpedanzmesszange gemäß Abbildung 7.4 verwendet werden. Diese erlaubt das Messen des Widerstands einer Schleife, ohne dabei die Leitung auftrennen zu müssen. Sie induziert eine Spannung in den betrachteten Stromkreis und misst den resultierenden Strom, um daraus die Impedanz der Schleife zu bestimmen. In der Regel können diese Geräte die gemessene Impedanz auch in ohmschen und induktiven Widerstand aufteilen. Im Falle eines guten Potentialausgleichs und einer niederohmigen Schirmauflage am Gerät würde der ohmsche Anteil der Schleifenimpedanz ungefähr dem Schirmwiderstand entsprechen, weil der Widerstand des Potentialausgleichs i.d.R. vernachlässigbar ist. Der Schirmwiderstand einer PROFIBUS / PROFINET-Leitung beträgt ca. 10 ... 15 m Ω /m (Richtwert). Wenn die Messzange in Abhängigkeit von der Leitungslänge einen deutlich höheren Wert anzeigt, oder signalisiert, dass dieser außerhalb des Messbereichs liegt, ist kein ausreichender Schirmstrom möglich, weshalb dann keine Schirmung gegen induktive Kopplung gegeben ist.

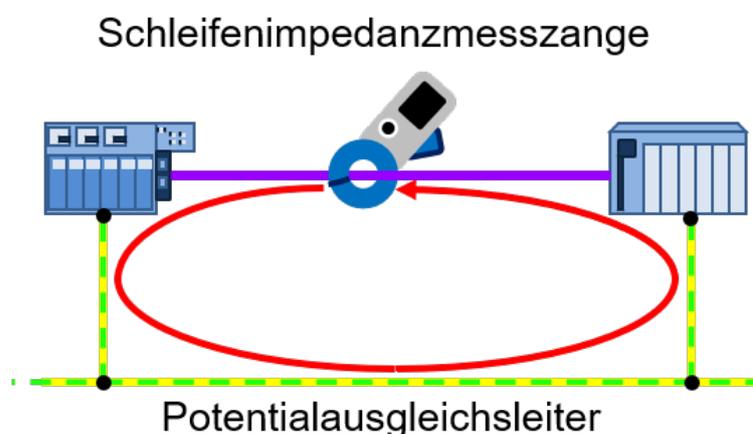


Abbildung 7.4: Messung der Schleifenimpedanz

7.6 Abhilfe bei zu großer Schleifenimpedanz

Der Teil der Schleife, welcher die Impedanz stark vergrößert, muss zuerst lokalisiert werden, damit der Fehler behoben werden kann. Tabelle 7.3 dokumentiert verschiedene Fehlerursachen und gibt Vorschläge für Lösungsmaßnahmen.

Tabelle 7.3: Abhilfemaßnahmen bei zu großer Schleifenimpedanz

Ursache	Empfohlene Maßnahme
Leitungsschirm im Gerätesteckverbinder nicht richtig kontaktiert	Kontaktierung erneuern und für flächige Auflage sorgen
Kontaktierung des Schirms im Gerät oder des Steckverbindergehäuses mit dem Gerät unzureichend	Zusätzliche Anbindung des Leitungsschirms an das CBN direkt vor Gerät mit einer externen Schirmklemme (Abbildung 4.40)
Schirm unterbrochen	Schirmanbindung / Busleitung ersetzen
Unzureichender Potentialausgleich	CBN nach Kapitel 4.3 erweitern, Potentialausgleichsleiter nah an Signalleitung verlegen



Hinweis für Bereiche mit explosionsfähiger Atmosphäre: Die verwendeten Geräte müssen für den Einsatz in der jeweiligen Ex-Zone zertifiziert sein. Entsprechende Ex-Zertifikate / Herstellererklärungen müssen vorhanden sein und bei der Planung überprüft werden. Eine Ex-Risikoanalyse muss entsprechend der nationalen Gesetzgebung während des Planungsprozesses durchgeführt und dokumentiert werden.



In diesem Kapitel werden nur spezielle Planungsaspekte für PROFIBUS- und PROFINET-Netzwerke erläutert. Es zeigt nicht den vollen Umfang der Aspekte für Ex-Installationen.

8 Vorschlag für mögliche Abnahmeprüfungen

Bei der Abnahme einer PROFIBUS- oder PROFINET-Anlage sollte zukünftig auch eine Überprüfung in Bezug auf die elektromagnetische Verträglichkeit durchgeführt werden. Damit bei dieser Überprüfung an die wesentlichen Punkte gedacht wird, sollte eine Prüfliste (wie Tabelle 8.1) genutzt werden. Diese Tabelle richtet sich nach dem Format der Checklisten aus den Inbetriebnahmerichtlinien der PROFIBUS Nutzerorganisation.

Tabelle 8.1: Vorschlag für mögliche Abnahmeprüfung

Anlage	Montage durchgeführt von
	Bemerkungen

EMV-Prüfliste

Nr.	Anforderung	JA	NEIN	Bemerkung
1.	Netzversorgung			
1.1	Netzversorgung vorzugweise als TN-S-System aufgebaut?			
1.2	PEN-Brücke in NSHV?			
1.3	Keine weiteren PEN-Brücken verbaut?			
1.4	Isolationsprüfung zwischen Neutral- und Schutzleiter bei offener PEN-Brücke durchgeführt?			
1.5	Strom-Monitoring über der PEN-Brücke installiert? (Option)			

Nr.	Anforderung	JA	NEIN	Bemerkung
2.	Potentialausgleichssystem			
2.1	Gemeinsamer Schutz- und Funktionspotentialausgleich (CBN) installiert?			
2.2	Vermaschtes Potentialausgleichssystem realisiert?			
2.3	Verwendung von verzinnter Kupferlitze für niedrige Impedanz des Potentialausgleichs?			
2.4	Ausreichende Stromtragfähigkeit des Potentialausgleichsleiters?			
2.5	Zwischen Hallengrenzen Potentialtrennung oder durchgängiges CBN vorgesehen?			
3.	Anschluss der PROFIBUS-/PROFINET-Leitungsschirme			
3.1	Ist eine gute Verbindung der Steckverbindergehäuse mit den Gehäusen der Geräte und damit mit dem CBN gegeben?			
3.2	Besitzen die verwendeten Stecker eine großflächige und ausreichende Schirmkontaktierung?			
3.3	Besitzt der Leitungsschirm eine Verbindung zum Potentialausgleich mit niedriger Impedanz?			
4.	24-V-Versorgungsstromkreise			

4.1	Wird der 24-V-Versorgungsstromkreis mit Anbindung an das CBN betrieben?			
4.2	Befindet sich die Verbindung des Minuspols des 24-V-Versorgungsstromkreises mit dem CBN in der Nähe des Netzgerätes?			
4.3	Ist der 24-V-Versorgungsstromkreis nur einmalig mit dem CBN verbunden?			
4.4	Isolationsprüfung zwischen Masse und Potentialausgleichssystem bei geöffneter CBN-Verbindung durchgeführt?			
4.5	Strom-Monitoring über der CBN-Verbindung? (Optional)			
4.6	Sofern eine mehrfache Anbindung eines 24-V-Versorgungsstromkreises an das CBN vorliegt: Ist die Ausdehnung des 24-V-Stromkreises gering?			
4.7	Sofern eine mehrfache Anbindung eines 24-V-Versorgungsstromkreises an das CBN vorliegt: Ist für einen guten Potentialausgleich mit geringer Impedanz des CBN in diesem Bereich gesorgt?			
5.	Leitungsführungen auf Kabeltrassen außerhalb von Schaltschränken			
5.1	Räumliche Trennung zwischen informationstechnischer Verkabelung und Energieversorgungsleitungen?			
5.2	Einhaltung der Mindestabstände gemäß [DIN-EN 50174-2] und [IEC 60364-4-44]? Bei Anwendung in der Prozessindustrie ggf. [NE 98] beachten.			

Nr.	Anforderung	JA	NEIN	Bemerkung
6.	Motorleitungen			
6.1	Wurden Motorleitungen gemäß Spezifikation des Frequenzumrichter-Herstellers eingesetzt?			
6.2	Wurden die Motoren an das CBN angebunden?			
6.3	Aus EMV-Sicht empfohlen, sofern nicht vom Hersteller des Frequenzumrichters ausgeschlossen: Wurden geschirmte symmetrische Motorleitungen oder geschirmte 3-adrige Motorleitungen mit separatem Schutzleiter verwendet?			
6.4	Bei Verwendung ungeschirmter Motorleitungen Filtermaßnahmen am Umrichter Ausgang vorgesehen?			

Nr.	Anforderung	JA	NEIN	Bemerkung
7.	Explosionsgefährdeter Bereich			
7.1	230/400 V-Netzversorgung als TN-S-System aufgebaut?			
7.2	Elektrische Betriebsmittel und leitfähige Teile sicher mit CBN verbunden?			
7.3	Optional: Bewehrung des Gebäudes in CBN einbezogen?			
7.4	CBN in und außerhalb vom Ex-Bereich vermascht und verbunden ausgeführt?			
7.5	Güte des Potentialausgleichs über Schirmstrommessung überprüft?			
7.6	Falls Potentialausgleich nicht in hohem Grade sichergestellt: Kabelschirme einseitig oder beidseitig mit Kondensator (max. 10 nF) aufgelegt?			
7.7	Offene Enden von einseitig aufgelegten Kabelschirmen isoliert?			
7.8	Mehrfache Verbindungen von 24-V-Stromkreisen mit CBN verhindert?			
7.9	Anschlüsse von Motorkabeln gegen Rütteln und Erwärmen gesichert? Fachgerechte Schirmauflage?			

Nr.	Anforderung	JA	NEIN	Bemerkung
8.	Schirmstrommessung			
8.1	Liegt der Schirmstrom auf allen Signalleitungen unter dem empfohlenen Maximalwert?			
8.2	Wurde für alle Signalleitungen eine Schleifenimpedanzmessung durchgeführt?			

9 Literaturverzeichnis

- [ABB2005] ABB: EMV gerechte Installation und Konfiguration eines Antriebs-Systems, 2005.
- [APL2021] Niemann, K.-H.: Ethernet APL Engineering Richtlinie. Planung, installation und Inbetriebnahme von Ethernet-APL Netzwerken. <https://www.profi-bus.com/download/engineering-guideline-ethernet-apl>.
- [DAN2015] Fredstedt, J.: Wissenswertes über Frequenzumrichter, 2016.
- [DEH2016] Dehn: Erdungsfestpunkte. <https://www.dehn.de/de/197/4785/Familie-html/4785/Erdungsfestpunkte.html>, 13.01.16.
- [DIN 18014] DIN 18014: März 2014, Fundamentender - Planung, Ausführung und Dokumentation.
- [DIN-EN 50174-2] 50174-2:2015-02, Informationstechnik -Installation von Kommunikationsverkabelung- Teil 2: Installationsplanung und Installationspraktiken in Gebäuden.
- [DIN-EN 50310] DIN EN 50310:01.05.2011, Anwendung von Maßnahmen für Erdung und Potenzialausgleich in Gebäuden mit Einrichtungen der Informationstechnik.
- [DIN-EN 60079-14] 60079-14:2014-10, Explosionsgefährdete Bereiche - Teil 14: Projektierung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen
- [DIN-EN 60204-1] 60204-1:10.2014, Sicherheit von Maschinen -Elektrische Ausrüstung von Maschinen-.
- [DIN-EN 60950-1] DIN EN 60950-1:August 2014, Einrichtungen in der Informationstechnik - Sicherheit - Teil 1: Allgemeine Anforderungen.
- [DIN-EN 61557-8] 61557-8:12.2007, Elektrische Sicherheit in Niederspannungsnetzen bis AC 1000 V und DC 1500 V.
- [DIN-EN 61918] DIN EN IEC 61918 VDE 0800-500:2019-12 Industrielle Kommunikationsnetze.
- [DIN-EN 62305-4] DIN EN 62305-4:Oktober 2011, Blitzschutz - Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen.

- [DIN-VDE 0100-100] DIN VDE 0100-100:Juni 2009, Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 1: Allgemeine Grundsätze, Bestimmungen allgemeiner Merkmale, Begriffe.
- [FAB2010] Faber, Ulrich; Grapentin, Manfred; Wettingfeld, Klaus: Prüfung elektrischer Anlagen und Betriebsmittel - Grundlagen und Methoden. Allgemeine Rechtsgrundsätze, EG-Richtlinien, GPSG, BetrSichV, EnWG, BGV A3, TRBS, DIN VDE 0100, DIN VDE 0105-100, DIN IEC 60038 (VDE 0175), DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1), DIN EN 61340 (VDE 0300), DIN EN 61010 (VDE 0411), DIN EN 61557 (VDE 0413), DIN VDE 0701-0702, DIN EN 61000-2/-6 (VDE 0839-2/-6), DIN EN 61000-4 (VDE 0847-4), DIN EN 60051. VDE-Verl., Berlin, 2010.
- [GAI2015] Gaiser, M.: Email, Bremen, 2015.
- [GÖH2015] Göhringer, H.-L.: Technische Strategie Sitzung 2015. Status-Bericht der Troubleshooting Arbeitsgruppe, 2015.
- [IEC 60364-4-44] DIN VDE 0100-444:Oktober 2010, (DIN VDE 0100-444) Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-444: Schutzmaßnahmen - Schutz bei Störspannungen und elektromagnetischen Störgrößen (IEC 60364-4-44).
- [IEC 60364-5-54] 0100-540:Juni 2012, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 5-54: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel - Erdungsanlagen und Schutzleiter (DIN-VDE 0100-540); Deutsche Übernahme HD 60364-5-54:2011.
- [KLE2016] Kleinwächter: Elektrostatische Aufladung verstehen und sicher messen. http://www.kleinwaechtergmbh.de/cms/upload/downloads/allgemein/ESD_Anleitung.pdf, 18.01.16.
- [LEN2015] Lenze SE: Gerätehandbuch L-force Drives 9400, 2015.
- [NE 98] NAMUR-Arbeitskreis 4.6 „EMV“: EMV-gerechte Planung und Installation von Produktionsanlagen, Leverkusen, 2007.
- [NIE2017] Niemann, K.-H.: Produkt: Indu-Sol, Foto: Niemann. Email, 2017.
- [PRO2022] PROFIBUS Nutzerorganisation e.V.: PROFINET Montagerichtlinie, Karlsruhe, 2022.
- [PRO2020] PROFIBUS Nutzerorganisation e.V.: PROFIBUS. Montagerichtlinie. 2020.

- [RUD2011] Rudnik, S.: EMV-Fibel für Elektroniker, Elektroinstallateure und Planer. Maßnahmen zur elektromagnetischen Verträglichkeit nach DIN VDE 0100-444:2010-10. VDE-Verl., Berlin [u.a.], 2011.
- [SCH2008] Schmolke, H.: EMV-gerechte Errichtung von Niederspannungsanlagen. Planung und Errichtung elektrischer Anlagen nach den Normen der Gruppen 0100 und 0800 des VDE-Vorschriftenwerks. VDE-Verl., Berlin, 2008.
- [SIE2014] Siemens: SINAMICS - Low Voltage Projektierungshandbuch. SINAMICS G130, G150, S120 Chassis, S120 Cabinet Modules, S150. <http://w3app.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/ld/InfocenterLanguagePacks/sinamics-projektierungshandbuch-lv/sinamics-projektierungshandbuch-lv-de.pdf>, 26.11.15.
- [SIE2016] Siemens AG: SIMATIC NET Industrial Ethernet / PROFINET Passive Netzkomponenten. Systemhandbuch, 2016.
- [WOL2008] Wolfesperger, H. A.: Elektromagnetische Schirmung. Theorie und Praxisbeispiele. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [WOL2015] Wolff, G. K.: Erdung - (K)ein Buch mit sieben Siegeln, Blomberg, 2015.

10 Anhang A1 Empfehlungen Strommesszange

Die zur Schirmstrommessung verwendete Strommesszange sollte folgenden Anforderungen genügen:

- Frequenzbereich mindestens bis 1...2 kHz oder höher
- Messung von Gleichstrom und Wechselstrom (ggf. zwei Geräte)
- Messung Ableitstrom als Zusatzfunktion sollte möglich sein
- Messbereich 1 10 μ A... 40 mA , Messbereich 2 bis 400 mA
- Evtl. Erkennung Bruch Kabelschirm

© Copyright by

PROFIBUS Nutzerorganisation e. V. (PNO)
PROFIBUS & PROFINET International (PI)
Haid-und-Neu-Str. 7 • 76131 Karlsruhe • Germany
Phone +49 721 986 197 0 • Fax +49 721 986 197 11
E-mail info@profibus.com
www.profibus.com • www.profinet.com