

Fachbereich AKTUELL

FBHM-027

Ableitströme an ortsfesten Maschinen

Sachgebiet Maschinen, Robotik und Fertigungsautomation
 Stand: 25.05.2021

Die Problematik von Ableitströmen an ortsfesten Maschinen betrifft Hersteller und Betreiber gleichermaßen: Die für Maschinen zutreffenden europäischen Richtlinien (in der Regel Maschinenrichtlinie [1], Niederspannungsrichtlinie [2], EMV-Richtlinie [3]) enthalten verbindliche Schutzziele. Um diese Schutzziele zu erreichen, müssen Hersteller unter anderem Maßnahmen gegen elektrischen Schlag vorsehen. Ebenso ist der Betreiber zum Schutz seiner Beschäftigten verpflichtet, elektrische Gefährdungen zu ermitteln und Schutzmaßnahmen zu treffen. Da durch Ableitströme entsprechende Gefährdungen hervorgerufen werden können, müssen sie von Hersteller- und Betreiberseite in die Sicherheitsbetrachtungen einbezogen werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Begriffsbestimmung	2
2	Ursachen für Ableitströme	2
3	Probleme und Gefahren durch Ableitströme	2
4	Grenzwerte und Maßnahmen	3
5	Anforderungen an Antriebssysteme	4
6	Verträglichkeit zwischen frequenzgeregelten Antrieben und Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD)	4
7	Messung von Ableitströmen	4
8	Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen	4

Die vorliegende "Fachbereich AKTUELL" soll Maschinenherstellern und -betreibern auf der Grundlage normativer Regelungen und veröffentlichter Fachmeinungen eine Hilfestellung im Umgang mit Problemen geben, die durch Ableitströme an ortsfesten Maschinen verursacht werden können.



Abbildung 1 – Elektrische Ausrüstung einer Maschine

1 Begriffsbestimmung

Unter Ableitstrom versteht man den Strom, der in einem fehlerfreien Stromkreis zur Erde oder zu einem fremden leitfähigen Teil fließt. Der Ableitstrom an einer Maschine kann über den Schutzleiter fließen, aber auch über andere, leitfähig mit Erdpotenzial verbundene Anschlüsse an der Maschine (zum Beispiel Wasseranschluss). Er muss daher nicht mit dem Schutzleiterstrom identisch sein, der sich aus Fehlerströmen (Isolationsfehler) und dem Teil des gesamten Ableitstroms zusammensetzt, der nicht über andere Wege zur Erde fließt. Ableitströme treten auch im elektrisch fehlerfreien Betrieb einer Maschine auf und stellen daher keine Fehlerströme dar.

2 Ursachen für Ableitströme

Ableitströme sind Folge des endlichen Isolationswiderstands und der Leiterkapazitäten elektrischer Betriebsmittel. Daher treten sie auch bei ordnungsgemäßem Zustand der Isolation auf. Ableitströme stellen aber unterhalb bestimmter Grenzen normalerweise kein Problem für den Personenschutz oder die Funktionalität der Betriebsmittel dar.

Bei Maschinen zusätzlich auftretende Ableitströme werden besonders durch notwendige EMV- und Filtermaßnahmen verursacht: Durch die in modernen Maschinen eingesetzten frequenzgeregelten Antriebe werden Ströme mit erhöhtem Oberwellenanteil hervorgerufen. Diese Oberwellenanteile können zu Problemen hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit der Maschine mit ihrer Umgebung führen (zum Beispiel unerwünschte Netzrückwirkungen). Um die Anforderungen der EMV-Richtlinie einhalten zu können, muss der Maschinenhersteller daher entsprechende Entstörmaßnahmen vorsehen. Die Antriebsregler sind in der Regel bereits mit Filterschaltungen ausgerüstet, die für einen Anschluss an den Schutzleiter vorgesehen sind, um störende Oberwellenanteile vom Versorgungsnetz fernzuhalten. Somit führt der Schutzleiter bei

Betrieb des Antriebsreglers einen entsprechenden Ableitstrom.

3 Probleme und Gefahren durch Ableitströme

Im Fall einer Unterbrechung des Schutzleiters können hohe Ableitströme zu einer gefährlichen Potenzialanhebung der an das Schutzleitersystem angeschlossenen berührbaren leitfähigen Teile der Maschine führen.

Außerdem können Maschinen mit frequenzgeregelten Antrieben häufig nicht an Stromkreisen betrieben werden, die durch eine Fehlerstromschutzeinrichtung (Residual Current protective Device, RCD) abgesichert sind. Der über den Schutzleiter fließende Ableitstrom liegt in der Regel über dem Auslösestromwert der RCD und führt somit zur Fehlauflösung. Andererseits kann es aber auch sein, dass die RCD im Fehlerfall gar nicht auslöst, wegen des hohen Gleichanteils der Fehlerströme bei frequenzgeregelten Antrieben, vergleiche Abschnitt 6.

RCDs, die aus Brandschutzgründen eingesetzt werden, haben in der Regel zwar höhere Auslösewerte (zum Beispiel 300 mA), aber auch diese Werte werden beim Betrieb der Maschine oft überschritten. Messungen haben gezeigt, dass beim Ein- und Ausschalten der Antriebsregler kurzzeitig besonders hohe Ableitströme auftreten (bis 200 A über 20 μ s) [4].

Nach DIN EN VDE 0100 Teil 410 [5] müssen Steckdosen in Endstromkreisen für Wechselstrom mit einem Bemessungsstrom nicht größer als 32 A, die für die Benutzung durch elektrotechnische Laien und zur allgemeinen Verwendung vorgesehen sind, durch eine RCD (Bemessungsdifferenzstrom maximal 30 mA) geschützt werden. Auf eine RCD kann allerdings verzichtet werden, wenn die allgemeine Verwendung solcher Steckdosen dauerhaft ausgeschlossen werden kann.

Hierzu sind im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung nach Betriebssicherheitsverordnung Maßnahmen festzulegen, vergleiche Abschnitt 411.3.3 von [5]. Unabhängig davon müssen die Abschaltzeiten für den Fehler-schutz in TN-Systemen eingehalten werden. Für Maschinen wird eine Abschaltzeit von max. 5 s als ausreichend kurz angesehen. Kürzere Abschaltzeiten gelten für Stromkreise, die handgehaltene Betriebsmittel der Schutzklasse I oder tragbare Ausrüstung versorgen (direkt oder über Steckdosen), vergleiche Anhang A.1 von DIN EN 60204-1 [6]. Maschinenstromkreise, die Steckdosen für Zubehör mit einem Nennstrom bis einschließlich 20 A versorgen, sind zusätzlich mit einer RCD (Bemessungsdifferenzstrom maximal 30 mA) zu schützen.

4 Grenzwerte und Maßnahmen

Ableitströme sind keine Fehlerströme. Sie sind betriebsbedingt und in der Regel nicht vollständig vermeidbar. Dennoch sind Maßnahmen zur Reduzierung der Ableitströme auf unkritische Werte oder Maßnahmen zur Verhütung von Gefahren für Personen zu treffen. Letztere betreffen sowohl die elektrische Ausrüstung der Maschine (Herstellerverantwortung), als auch den gebäudeseitigen elektrischen Anschluss (Betreiberverantwortung).

Die DIN EN 60204-1 für die elektrische Ausrüstung von Maschinen legt fest, dass bei Auftreten eines Ableitstroms an irgendeinem Netzanschluss von mehr als 10 mA AC oder DC mindestens eine der folgenden Maßnahmen für das Schutzleitersystem zu treffen ist (für ortsveränderliche Maschinen, zum Beispiel transportable Elektrowerkzeuge nach DIN EN 62841-1 [7], können andere Grenzwerte für Ableitströme gelten):

- Der verwendete Schutzleiter muss einen Mindestquerschnitt von 10 mm² Cu oder 16 mm² Al über seine gesamte Länge haben.

- Wo der Schutzleiter einen Querschnitt von weniger als 10 mm² Cu oder 16 mm² Al hat, muss ein zweiter Schutzleiter mit mindestens demselben Querschnitt bis zu dem Punkt vorgesehen werden, an dem der Schutzleiter einen Querschnitt von nicht weniger als 10 mm² Cu oder 16 mm² Al aufweist. (Dadurch kann es erforderlich sein, dass der Maschinenhersteller einen getrennten Anschluss für einen zweiten Schutzleiter vorsieht).
- Die Versorgung muss bei Verlust der Durchgängigkeit des Schutzleiters automatisch abgeschaltet werden.
- Der Schutzleiter ist auf seiner gesamten Länge gegen mechanische Beschädigung geschützt.
- Der Schutzleiter muss bei Verwendung eines Steckdosenanschlusses einen Mindestquerschnitt von 2,5 mm² als Teil einer mehradrigen Leitung aufweisen und der Anschluss muss mit einem Steckverbinder für industrielle Anwendungen ausgeführt sein.

Die technische Dokumentation muss entsprechende Angaben für den Betreiber zum Anschluss der Maschine an die Stromversorgung enthalten.

Zusätzlich wird ein Warnschild, zum Beispiel nach Bild 2, in der Nähe des Schutzleiteranschlusses empfohlen.



Abbildung 2 – Beispiel für ein Warnschild

Darüber hinaus empfiehlt es sich, Ableitströme durch konstruktive Maßnahmen von vorneherein zu reduzieren, zum Beispiel durch den Einsatz von Antriebsreglern mit ableitstromarmen EMV-Filtern. Detaillierte Informationen dazu und über weitere Maßnahmen enthält beispielsweise [8].

5 Anforderungen an Antriebssysteme

Bereits die Hersteller frequenz geregelter Antriebssysteme sind als Zulieferer des Maschinenherstellers in die Ableitstrom-Thematik eingebunden. Für „Leistungsantriebssysteme“ sind spezielle Anforderungen in den Normen der Reihe DIN EN 61800 (VDE 0160) aufgeführt. Bei erhöhten Ableitströmen des Antriebssystems müssen bereits prinzipiell die gleichen Bedingungen erfüllt sein, wie sie in DIN EN 60204-1 für die gesamte elektrische Ausrüstung der Maschine beschrieben werden (siehe oben). Das hat der Hersteller von Antriebssystemen allerdings schon bei einem Ableitstrom seines Produktes von größer 3,5 mA AC bzw. 10 mA DC sicherzustellen. Auf dem Produkt muss nach [9] ein Warnsymbol angebracht sein, und entsprechende Angaben müssen in die Betriebsanleitung/das Produkt-handbuch aufgenommen werden.

6 Verträglichkeit zwischen frequenzgeregelten Antrieben und Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD)

Beim Einsatz von frequenzgeregelten Antrieben in Verbindung mit RCDs sollte Folgendes beachtet werden:

Frequenzumrichter können im Fehlerfall Fehlerströme mit hohem Gleichanteil erzeugen. Dieser Gleichanteil führt zu einer Vormagnetisierung des Wandlerkerns der RCD und damit zu einer Erhöhung der Auslöseschwelle. Eine RCD des Typs A (für Wechsel- und Impulsstrom empfindlich) oder Typs AC (für Wechselstrom empfindlich) würde damit ihre Schutzwirkung verlieren. Daher ist die Verwendungsmöglichkeit einer RCD des Typs B („allstromsensitiv“) zu prüfen. Es muss gewährleistet sein, dass die RCD die bei Frequenzumrichtern in Abhängigkeit von Motor- und Taktfrequenz auftretenden Frequenzanteile von Fehlerströmen mit

ausreichender Empfindlichkeit erfasst. Sonst muss eine andere Schutzmaßnahme angewendet werden (zum Beispiel Trennung des Antriebssystems vom Versorgungsnetz durch einen Transformator, siehe dazu auch DIN EN 60204-1, Kap. 8.3 und DIN EN 61800-5-1, Kap. 4.3.10).

Mittlerweile werden RCDs für vielfältige Schutzanwendungen angeboten, zum Beispiel auch mit erhöhter Unempfindlichkeit gegenüber verschiedenen Arten von Ableitströmen oder mit je nach Frequenzbereich variablen Auslöseschwellen. Wie in [8] weiter ausgeführt wird, geht jedoch eine Ertüchtigung der RCD gegen Fehlauflösung durch Ableitströme in der Regel zu Lasten der Schutzwirkung. Daher sind Maßnahmen zur Reduzierung der Ableitströme vorzuziehen.

7 Messung von Ableitströmen

Die Ableitstrommessung kann grundsätzlich als Schutzleiterstrommessung oder als Berührungsstrommessung vorgenommen werden. Beide Messungen können im direkten Verfahren oder im Differenzstromverfahren durchgeführt werden. Am praktikabelsten erscheint dabei in aller Regel die Schutzleiterstrommessung im Differenzstromverfahren. Dabei werden die Phasenleiter oder Phasenleiter und Neutralleiter durch eine Differenzstrommesszange umfasst, ohne dass andere Verbindungen der Maschine zum Erdpotenzial (zum Beispiel Schutzleiter, Wasseranschlüsse und so weiter) aufgetrennt werden müssen. Erläuterung der Messverfahren sind in [10] und [11] enthalten.

8 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen

Bei Maschinen kommt es, besonders durch den Einsatz von frequenzgeregelten Antrieben, zu erhöhten Ableitströmen. Diese können zu elektrischen Gefährdungen und zu Unverträglichkeiten in Verbindung mit Fehlerstromschutz

einrichtungen (RCDs) führen. Die europäischen Normen für drehzahlveränderliche elektrische Antriebssysteme und die elektrische Ausrüstung von Maschinen legen Maßnahmen fest, falls der Ableitstrom bestimmte Grenzwerte überschreitet. Jedoch sollten bereits im Vorfeld Maßnahmen zur Reduzierung von Ableitströmen getroffen werden.

Diese „Fachbereich AKTUELL“ beruht auf dem durch den Fachbereich Holz und Metall, Sachgebiet Maschinen, Robotik und Fertigungsautomation (MRF) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) zusammengeführten Erfahrungswissen für Ableitströme an ortsfesten Maschinen.

Die Bestimmungen nach einzelnen Gesetzen und Verordnungen bleiben durch diese „Fachbereich AKTUELL“ unberührt. Die Anforderungen der gesetzlichen Vorschriften gelten uneingeschränkt.

Um vollständige Informationen zu erhalten, ist es erforderlich, die in Frage kommenden Vorschriftentexte einzusehen.

Der Fachbereich Holz und Metall setzt sich unter anderem zusammen aus Vertretern und Vertreterinnen der Unfallversicherungsträger, staatlichen Stellen, Sozialpartnern, Herstell- und Betreiberfirmen.

Diese „Fachbereich AKTUELL“ ersetzt die gleichnamige DGUV-Information, herausgegeben als Nr. FBHM 027, Ausgabe 08/2014. Aktualisierungen wurden infolge redaktioneller Anpassungen erforderlich.

Weitere „Fachbereich AKTUELL“ des Fachbereichs Holz und Metall stehen im Internet zum Download bereit [12].

Literatur:

[1] Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai über Maschinen (Maschinenrichtlinie, EU-Amtsblatt L 157/24 vom 9.6.2006).

[2] Richtlinie 2014/35/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt (Niederspannungsrichtlinie, EU-Amtsblatt L 96/357 v. 29. März 2014).

[3] Richtlinie 2014/35/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV-Richtlinie, EU-Amtsblatt L 96/79 v. 29. März 2014).

[4] G. Schenke, T. Dunz, U. Schüler, M. Schmidt, G. Grünebast: Personenschutz in Netzen mit Frequenzumrichtern, etz Heft S2/2004, VDE-Verlag GmbH, Offenbach.

[5] DIN VDE 0100-410; VDE 0100-410:2018-10 Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-41: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

[6] DIN EN 60204-1; VDE 0113-1:2019-06 Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

[7] DIN EN 62841-1; VDE 0740-1:2016-07 Elektrische motorbetriebene handgeführte Werkzeuge, transportable Werkzeuge und Rasen- und Gartenmaschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

[8] Doepke Schaltgeräte GmbH & Co. KG, Norden: Realisierung eines zuverlässigen Fehlerstromschutzes in elektrischen Anlagen mit Frequenzumrichtern, Info 1/2005.

[9] DIN EN 61800-5-1; VDE 0160-105:2017-11 Elektrische Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl – Teil 5-1: Anforderungen an die Sicherheit; Elektrische, thermische und energetische Anforderungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

[10] DIN EN 60990; VDE 0106-102:2017-03 Verfahren zur Messung von Berührungstrom und Schutzleiterstrom, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

[11] DGUV Information 203-070 Wiederkehrende Prüfungen ortveränderlicher elektrischer Antriebsmittel; 2016-12, DGUV, Berlin.

[12] Internet: www.dguv.de/fb-holzundmetall Publikationen oder www.bghm.de Webcode: <626>

Bildnachweis:

Die in dieser DGUV-Information des FB HM gezeigten Bilder wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt von:

Abbildung 1 – Elektrische Ausrüstung einer Maschine
BGHM

Abbildung 2 – Beispiel für ein Warnschild
BGHM

Herausgeber

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
Fax: 030 13001-9876
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Sachgebiet Maschinen, Robotik und Fertigungsautomation
im Fachbereich Holz und Metall
der [DGUV www.dguv.de](http://www.dguv.de)
Webcode: d544779

Die Fachbereiche der DGUV werden von den Unfallkassen, den branchenbezogenen Berufsgenossenschaften sowie dem Spitzenverband DGUV selbst getragen. Für den Fachbereich Holz und Metall ist die Berufsgenossenschaft Holz und Metall der federführende Unfallversicherungsträger und damit auf Bundesebene erster Ansprechpartner in Sachen Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit für Fragen zu diesem Gebiet.
