

Ableitströme an ortsfesten Maschinen

Die Problematik von Ableitströmen an ortsfesten Maschinen betrifft Hersteller und Betreiber gleichermaßen: Die für Maschinen zutreffenden europäischen Richtlinien (i.d.R. Maschinenrichtlinie [1], Niederspannungsrichtlinie [2], EMV-Richtlinie [3]) enthalten verbindliche Schutzziele. Zum Erreichen dieser Schutzziele hat der Hersteller u.a. Maßnahmen gegen elektrischen Schlag vorzusehen. 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.

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



Bild1: 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 Erdpotential verbundene Anschlüsse an der Maschine (z.B. Wasseranschluss). Er muss daher nicht

Inhaltsverzeichnis

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

mit dem Schutzleiterstrom identisch sein, der sich aus Fehlerströmen (Isolationsfehler) und dem Teil des gesamten Ableitstromes, der nicht über andere Wege zur Erde fließt, zusammensetzt. 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 Isolationswiderstandes und der Leiterkapazitäten elektrischer Betriebsmittel. Daher treten sie auch bei ordnungsgemäßem Zustand der Isolation auf. Ableitströme stellen aber unterhalb bestimmter Grenzen normalerweise kein Problem hinsichtlich Personenschutz oder Funktionalität der Betriebsmittel dar.

Bei Maschinen zusätzlich auftretende Ableitströme werden insbesondere 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 (z.B. unerwünschte Netzurückwirkungen). 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 Falle einer Unterbrechung des Schutzleiters können hohe Ableitströme zu einer gefährlichen Potentialanhebung 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, vgl. Abschnitt 6. Solange die Abschaltbedingungen nach VDE 0100 Teil 410 [4] als Schutz bei indirektem Berühren eingehalten werden (in TN-Systemen Abschaltung durch Überstromschutzeinrichtung bei z.B. 400 V Nenn-Wechselspannung gegen Erde nach max. 200 ms), kann auf den Einsatz von RCDs für den Personenschutz (Bemessungsdifferenzstrom maximal 30 mA) verzichtet werden.

Anmerkung: 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), vgl. Anhang A.1 von [5].

RCDs, die aus Brandschutzgründen eingesetzt werden, haben i.d.R. zwar höhere Auslösewerte (z.B. 300 mA), aber auch diese Werte werden oft beim Betrieb der Maschine überschritten. Messungen haben gezeigt, dass beim Ein- und Ausschalten der Antriebsregler kurzzeitig besonders hohe Ableitströme auftreten (bis 200 A über 20 µs) [6].

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), wie auch den gebäudeseitigen elektrischen Anschluss (Betreiberverantwortung).

Die DIN EN 60204-1:2007-06 für die elektrische Ausrüstung von Maschinen legt fest, dass bei Auftreten eines Ableitstromes an irgendeinem Netzanschluss von mehr als 10 mA AC oder DC folgende Maßnahmen für das Schutzleitersystem zu treffen sind (für ortsveränderliche Maschinen, z.B. transportable Elektrowerkzeuge nach DIN EN 61029-1 [7], können andere Grenzwerte für Ableitströme gelten):

- Verwendung eines Schutzleiters mit einem Mindestquerschnitt von 10 mm² Cu oder 16 mm² Al über seine gesamte Länge;
- 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, wo der Schutzleiter einen Querschnitt von nicht weniger als 10 mm² Cu oder 16 mm² Al aufweist. (Hierdurch kann es seitens des Maschinenherstellers erforderlich sein, einen getrennten Anschluss für einen zweiten Schutzleiter vorzusehen).

- Automatische Abschaltung der Versorgung bei Verlust der Durchgängigkeit des Schutzleiters.

Zusätzlich muss ein Warnschild, z.B. nach Bild 2, in der Nähe des Schutzleiteranschlusses vorgesehen werden und auf dem Typenschild der elektrischen Ausrüstung. Die technische Dokumentation für die elektrische Ausrüstung der Maschine muss Informationen für den Betreiber enthalten über die Höhe des Ableitstromes und den Mindestquerschnitt des betreiberseitig anzuschließenden Schutzleiters.

Die EMV-Anforderungen der DIN EN 60204-1 gelten ebenso für die Installation des zweiten Schutzleiters.

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



Bild 2: Beispiel für Warnschild.

5 Anforderungen an Antriebssysteme

Bereits die Hersteller frequenzgeregelter Antriebssysteme sind als Zulieferer des Maschinenherstellers in die Ableitstrom-Thematik eingebunden. Für „Leistungsantriebssysteme“ finden sich spezielle Anforderungen in den Normen der Reihe DIN EN 61800 (VDE 0160). 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 sind (siehe oben). Dies 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 Produkthandbuch aufgenommen werden.

Außerdem ist dort ein Hinweis aufzunehmen, dass für das Antriebssystem ein ortsfester Anschluss erforderlich ist.

6 Verträglichkeit zwischen frequenzgeregelten Antrieben und Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD)

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

Frequenzrichter 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 vom Typ A (für Wechsel- und Impulsstrom empfindlich) oder Typ AC (für Wechselstrom empfindlich) würde damit ihre Schutzwirkung verlieren. Daher ist die Verwendungsmöglichkeit einer RCD vom Typ B („allstromsensitiv“) zu prüfen. Es muss gewährleistet sein, dass die RCD die bei Frequenzrichtern in Abhängigkeit von Motor- und Taktfrequenz auftretenden Frequenzanteile von Fehlerströmen

mit ausreichender Empfindlichkeit erfasst. Ansonsten muss eine andere Schutzmaßnahme zur Anwendung kommen (z.B. Trennung des Antriebssystems vom Versorgungsnetz durch einen Transformator, siehe hierzu auch DIN EN 60204-1, Kap. 8.4 und DIN EN 61800-5-1, Kap. 4.3.10).

Mittlerweile werden RCDs für vielfältige Schutzanwendungen angeboten, beispielsweise 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 Berührungstrommessung vorgenommen werden. Beide Messungen können im direkten Verfahren oder im Differenzstromverfahren durchgeführt werden. Am praktikabelsten hierbei erscheint in aller Regel die Schutzleiterstrommessung im Differenzstromverfahren. Hierbei werden die Phasenleiter bzw. Phasenleiter und Neutraleiter durch eine Differenzstrommesszange umfasst ohne dass andere Verbindungen der Maschine zum Erdpotential (z.B. Schutzleiter, Wasseranschlüsse usw.) aufgetrennt werden müssen. Erläuterung der Messverfahren sind in DIN EN 60990 (VDE 0106-102):2000-10 [10] und BGI 5090 [11] enthalten.

8 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen

Bei Maschinen kommt es, insbesondere durch den Einsatz von frequenzgeregelten Antrieben, zu erhöhten Ableitströmen. Diese können zu elektrischen Gefährdungen und zu Unverträglichkeiten in Verbindung mit Fehlerstromschutzeinrichtungen (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 DGUV-Information (ehemals Fachbereichs-Informationsblatt) wurde durch den Fachbereich Holz und Metall, Sachgebiet Maschinen, Anlagen, Fertigungsautomation und -gestaltung der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung DGUV erstellt.

Die Bestimmungen nach einzelnen Gesetzen und Verordnungen bleiben durch diese DGUV-Information bzw. Informationsblatt 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 u. a. zusammen aus Vertretern der Unfallversicherungsträger, staatlichen Stellen, Sozialpartnern, Herstellern und Betreibern.

Diese DGUV-Information ersetzt das Fachausschuss-Informationsblatt Nr. 027 „Ableitströme an Werkzeugmaschinen“, herausgegeben als Ausgabe 03/2008. Weitere DGUV-Informationen bzw. Informationsblätter

vom Fachbereich Holz und Metall stehen im Internet zum Download bereit [12].

Zu den Zielen der DGUV-Information herausgegeben vom Fachbereich Holz und Metall siehe DGUV-Information Nr. 001.

Literatur:

- [1] Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 17. Mai über Maschinen (Maschinenrichtlinie, EU-Amtsblatt L 157/24 vom 9.6.2006).
- [2] Richtlinie 2006/95/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 12. Dezember 2006 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen (Niederspannungsrichtlinie, EU-Amtsblatt L 374 v. 27. Dezember 2006).
- [3] Richtlinie 2004/108/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 15. Dezember 2004 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit und zur Aufhebung der Richtlinie 89/336/EWG (EMV-Richtlinie, EU-Amtsblatt L 390 v. 31. Dezember 2004).
- [4] DIN VDE 0100-410; VDE 0100-410:2007-06 Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-41: Schutzmaßnahmen - Schutz gegen elektrischen Schlag, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [5] DIN EN 60204-1; VDE 0113-1: 2007-06 Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [6] G. Schenke, T. Dunz, U. Schüler, M. Schmidt, G. Grünebast: Personenschutz in Netzen mit Frequenzumrichtern, etz Heft S2/2004, VDE-Verlag GmbH, Offenbach.
- [7] DIN EN 61029-1; VDE 0740-500:2010-01 Sicherheit transportabler motorbetriebener Elektrowerkzeuge - 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 0160-105:2008-04 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 0106-102:2000-10 Verfahren zur Messung von Berührungstrom und Schutzleiterstrom, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [11] BGI/GUV-I 5090 Wiederkehrende Prüfungen ortsveränderlicher elektrischer Arbeitsmittel; 2014-02, 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:

Bild 1, 2: Fachausschuss Maschinenbau, Fertigungssysteme, Stahlbau

Herausgeber:

Fachbereich Holz und Metall der DGUV
Sachgebiet Maschinen, Anlagen, Fertigungsautomation und -gestaltung
c/o Berufsgenossenschaft Holz und Metall
Postfach 37 80
55027 Mainz