

Technologien zum Schutz von Induktionsmaschinen vor unzulässigen Erwärmungen infolge Überlastung – eine Übersicht unter den Aspekten des Explosionsschutzes

I Welche rechtlichen / normativen Vorgaben gibt es bezüglich des Schutzes elektrischer Maschinen in explosionsgefährdeten Bereichen?

➤ Richtlinie 94/9/EG /1/:

Die Richtlinie 94/9/EG sagt zu Geräten der Kategorie 2 (Gerätegruppe II), zu denen in der Zone 1 betriebene elektrische Maschinen zählen, folgendes: „Kategorie 2 umfasst Geräte, die konstruktiv so gestaltet sind, dass sie in Übereinstimmung mit den vom Hersteller angegebenen Kenngrößen betrieben werden können und ein hohes Maß an Sicherheit gewährleisten,“ weiter wird ausgesagt: „Die apparativen Explosionsschutzmaßnahmen dieser Kategorie gewährleisten selbst bei häufigen Gerätestörungen oder Fehlerzuständen, die üblicherweise zu erwarten sind, das erforderliche Maß an Sicherheit.“ Hieraus folgt, dass alle Geräte der Kategorie 2 bei häufigen oder zu erwartenden Fehlern und Störungen nicht zur Zündquelle werden dürfen. Des weiteren heißt es unter Artikel 1, Abs. 2 „Unter den Anwendungsbereich dieser Richtlinie fallen auch Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen für den Einsatz außerhalb explosionsgefährdeter Bereiche, die im Hinblick auf Explosionsgefahren jedoch für den sicheren Betrieb von Geräten und Schutzsystemen erforderlich sind oder dazu beitragen.“

Die Bestimmungen der Richtlinie erfordern, dass alle Motoren der Kategorie 2 gegen unzulässige Erwärmung geschützt werden müssen, und alle Geräte und Einrichtungen zum Schutz des Motors zertifiziert sein müssen.

➤ ATEX-Leitlinien /2/:

Der ATEX-Leitfaden spezifiziert die Anforderungen der Richtlinie und wird vom Ständigen Ausschuss der Kommission zur Richtlinie erstellt. Im Kapitel 3.10 wird ausgesagt: Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen unterliegen der Richtlinie, wenn sie zum sicheren Betrieb von Geräten oder Schutzsystemen in Hinblick auf Zündgefahren bzw. die Gefahr einer nicht beherrschten Explosion beitragen oder dafür erforderlich sind. Im Folgenden heißt es: Diese Vorrichtungen fallen auch dann darunter, wenn sie bestimmungsgemäß außerhalb von explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden sollen. Diese Vorrichtungen werden nicht in Kategorien nach Artikel 1 eingestuft. Weiter wird dazu ausgeführt: Für diese Vorrichtungen gelten die grundlegenden Anforderungen nur insoweit, als sie für die sichere und zuverlässige Funktionsweise und Handhabung dieser Vorrichtung in Hinblick auf Zündgefahren bzw. die Gefahr einer nicht beherrschten Explosion erforderlich sind. Als Beispiel ist explizit genannt: Überlastschutzvorrichtungen für Elektromotoren der Schutzart Ex „e“ – „Erhöhte Sicherheit“. Über den Schutz von Motoren der Zündschutzarten „d“, „p“ und „n“ gibt es keine Aussage.

Der Leitfaden sagt aus, dass definitiv Motoren der Zündschutzart „Erhöhte Sicherheit“ durch ein gem. der Richtlinie 94/9/EG zertifiziertes Überwachungsgerät geschützt werden müssen.

➤ IEC/EN 60079-14 /3/

Der Betrieb elektrischer Geräte für den Explosionsschutz wird durch die IEC/EN 60079-14 beschrieben. Die Anwendung der Norm ist nicht verbindlich. Im Kapitel 7.1 wird zunächst für alle elektrischen Betriebsmittel ausgesagt: „Alle elektrischen Geräte

sind gegen schädliche Auswirkungen von Kurz- und Erdschlüssen zu schützen“. Weiter heißt es, „Es müssen Vorkehrungen getroffen werden, die den Betrieb von mehrphasigen elektrischen Geräten (z.B. Drehstrommotoren) verhindern, wenn der Ausfall einer oder mehrerer Netzphasen zur Überhitzung führen kann“. Unter 7.2 wird zusätzlich zu elektrischen Maschinen ausgesagt: „Drehende elektrische Maschinen müssen zusätzlich gegen Überlast geschützt werden, ausgenommen Motoren, die den Anlaufstrom bei Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz, oder Generatoren, die den Kurzschlussstrom ohne unzulässige Erwärmung dauernd führen können. Als Überlast-Schutzeinrichtungen müssen eingesetzt werden: eine stromabhängige, zeitverzögerte Schutzeinrichtung für die Überwachung aller drei Phasen, nicht höher eingestellt als auf den Bemessungsstrom der Maschine, die bei 1,2-fachem Einstellstrom innerhalb von 2 h ansprechen muss und bei 1,05-fachem Einstellstrom innerhalb von 2 h noch nicht ansprechen darf, oder eine Einrichtung zur direkten Temperaturüberwachung durch eingebettete Temperaturfühler, oder eine andere gleichwertige Einrichtung“. Unter 11.3.1 wird des weiteren ausgesagt: „Um den Anforderungen von 7.2a) zu entsprechen, müssen stromabhängig zeitverzögerte Überlastschutzeinrichtungen so ausgelegt sein, dass nicht nur der Motorstrom überwacht, sondern auch der festgebremste Motor innerhalb der auf dem Leistungsschild angegebenen Zeit t_E abgeschaltet wird“. Zu Maschinen in Dreieckschaltung wird zusätzlich ausgeführt: „Daher muss für Maschinen mit Wicklungen in Dreieckschaltung ein Phasenausfallschutz vorgesehen werden, der Maschinenunsymmetrien erkennt, bevor sie zu übermäßigen Erwärmungswirkungen führen“.

Zusammenfassend folgt, dass empfohlen wird, alle elektrischen Maschinen in explosionsgefährdeten Bereichen gegen Überlast, Kurzschluss und Phasenausfall zu schützen und der Schutz für die Zündschutzart „e“ auch im Blockierfall wirksam sein muss.

➤ **IEC/EN 60079-7 /4/**

Im Kapitel 5.2.4.4.1 der Anforderungen der Zündschutzart „Erhöhte Sicherheit“ wird über die Zeit t_E ausgesagt: „Die Zeit t_E muss so lang sein, dass die stromabhängige Schutzeinrichtung die festgebremste Maschine innerhalb dieser Zeit abschalten kann. Das ist im allgemeinen möglich, wenn die in Bild 2 (*der Norm*) in Abhängigkeit vom Anzugstromverhältnis I_A/I_N festgelegten Mindestwerte für t_E überschritten werden“.

Hieraus folgt, dass der Bereich des Verhältnisses aus Anzugstrom zu Bemessungsstrom bei Maschinen der Zündschutzart „e“ begrenzt ist und die Zeit t_E die in Bild 4 dargestellten Mindestwerte einhalten muss.

➤ **EN 60079-1 /5/**

In der Norm für die Zündschutzart „Druckfeste Kapselung“ ist keine Aussagen zum Schutz drehender elektrischer Maschinen vorhanden. Für die Ermittlung der maximalen Oberflächentemperatur (Tabelle 5) ist eine Prüfspannung von $U_A \pm 10 \%$ (oder $U_A \pm 5 \%$ wenn der Anwendungsbereich auf dem Betriebsmittel angegeben und in der Bedienungsanleitung genannt ist) vorgeschrieben. Anforderungen an die Überlastungs- oder Fehlerbedingungen werden nicht gestellt

➤ **EN 60079-2 /6/**

Die Norm über die Überdruckkapselung enthält keine Aussage zum Schutz drehender elektrischer Maschinen.

➤ **EN 60079-15 /7/**

Im Gegensatz zu den oben genannten Zündschutzarten fallen die Geräte der Zündschutzart „n“ in die Kategorie 3 der Richtlinie 94/9/EG. Geräte dieser Kategorie dürfen während des normalen Betriebes keine Zündquellen aufweisen. Im Abschnitt 17.8.1 der Norm wird zu elektrischen Maschinen ausgesagt: „Die Temperatur jeder äußeren oder inneren Oberfläche, die mit explosionsfähiger Atmosphäre in Berührung kommen kann, darf unter üblichen Betriebsbedingungen die unter Abschnitt 5 festgelegte Temperaturklasse nicht überschreiten. Die Temperaturerhöhung während des Anlaufes braucht bei der Festlegung der Temperaturklasse nicht berücksichtigt zu werden, wenn als Betriebsart S1 oder S2 nach IEC 60034-1 vorgesehen ist.“ Weiterhin wird ausgeführt: „Die Nichtberücksichtigung der Anlaufbedingungen bei der Festlegung der Temperaturklasse ist für Maschinen zulässig, die nicht häufig anlaufen, und bei denen die statistische Wahrscheinlichkeit, dass eine explosionsfähige Atmosphäre während des Anlaufvorganges vorhanden ist, als vertretbar gering betrachtet wird.“

Die Maschine muss die festgelegte Temperaturklasse nur im Normalbetrieb einhalten. Der Anlauf muss nicht überwacht werden. Es gibt keine direkte Aussage zu auftretenden Fehlern. Stellt sich die Frage: Muss die Maschine auch gegen Überlast geschützt werden?

II Ursachen für unzulässig hohe Temperaturen einer elektrischen Maschine

Die häufigste Ursache für unzulässig hohe Temperaturen einer elektrischen Maschine ist die Überlastung, d.h. die Belastung mit einem höheren Drehmoment als das Bemessungsdrehmoment der Maschine. Ursachen hierfür können sein: Falsche Auslegung des Antriebes, Schwergängigkeit der Arbeitsmaschine, Lagerschäden, zu hohe Viskosität des Mediums bei Rührwerken etc. Bei einer Lastzunahme nehmen die Ströme in der Statorwicklung und dem Rotorkäfig zu, wobei sich die Stromwärmeverluste quadratisch mit dem Strom erhöhen.

Eine weitere Ursache für eine unzulässige Erwärmung der Maschine ist der Betrieb außerhalb der elektrischen Bemessungsparameter der Maschine. Beispiele dafür sind:

- **Betrieb bei Unterspannung:** Bei Betrieb mit verminderter Spannung steigen die Statorströme der Maschine an, um die von der Arbeitsmaschine geforderte Leistung zuzüglich der Motorverluste bereitzustellen. Aufgrund der verminderten Spannung über der Hauptinduktivität im Ersatzschaltbild der Maschine kommt es des weiteren zu einer verminderten magnetischen Flussdichte im Luftspalt, welches zu einer Zunahme des Maschinenschlupfes auch bei konstantem Lastdrehmoment führt. Über den Zusammenhang $P_{VCu2} = s \cdot P_{\delta}$ kommt es dabei auch zu einer starken Zunahme der Stromwärmeverluste im Rotor der Maschine. Der Extremfall ist das „kippen“ der Maschine, wobei die Drehzahl stark einbricht und der Statorstrom auf die Größenordnung des Anzugsstromes ansteigt.
- **Betrieb bei Überspannung:** Wird die Spannung über den Bemessungsspannungsbereich gesteigert, kommt es zu einer magnetischen Übersättigung der Maschine. Sobald der Arbeitspunkt in der B-H-Kennlinie des Bleches in den linearen Bereich wandert und der Wert von μ_r sich 1 annähert, fließen sehr hohe Magnetisierungsströme und die Eisenverluste sowie die

Statorwicklungsverluste steigen stark an. Die Folge kann eine unzulässige Erwärmung der Maschine sein. Bild 1 verdeutlicht die Situation

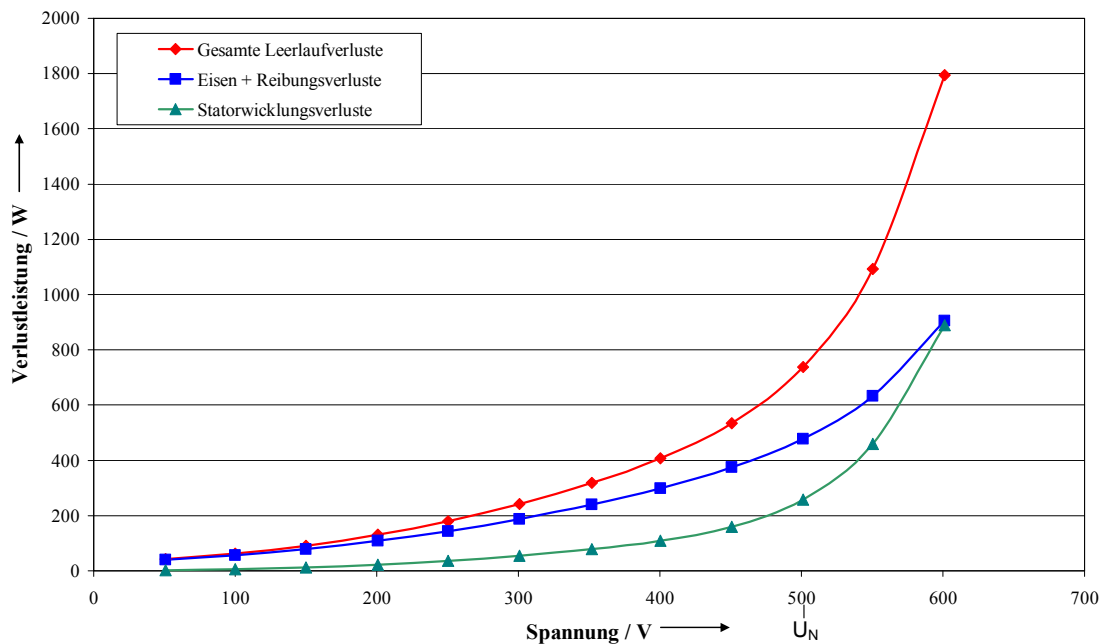


Bild 1: Verlauf der Leerlaufverluste in Abhängigkeit der Spannung

- **Spannungsunsymmetrien / Phasenausfall:** Eine Spannungsunsymmetrie und im Extremfall der Ausfall einer Phase führen nicht zwangsläufig dazu, dass der Motor stoppt. Bei geringer mechanischer Last kommt es lediglich zu einer Vergrößerung des Schlupfes. Es besteht daher die Gefahr, dass dieser Fehlerfall über längere Zeit unentdeckt bleibt. Jedoch läuft der Motor mit nur zwei verbliebenen Phasen und entsprechendem Gegenmoment nicht mehr an. Ist der Motor im Stern geschaltet, so ist in den verbliebenen Phasen eine Stromerhöhung zu verzeichnen. Überschreitet der Strom den Bemessungsstrom der Maschine, können unzulässige Erwärmungen auftreten. Der Motorschutzschalter muss den Überstrom erkennen und den Motor abschalten. Bei einem im Dreieck geschalteten Motor führt ein Phasenausfall gemäß Bild 2 dazu, dass ein Wicklungsstrang nun nicht mehr den $\frac{1}{\sqrt{3}}$ -fachen Leiterstrom führt, sondern den $\frac{2}{3}$ -fachen Leiterstrom. Es ist daher eine thermische Überlastung dieses Wicklungsstranges möglich, ohne dass das Schutzgerät einen Überstrom registriert. Aus [3] folgt jedoch, dass das Schutzgerät Maschinenunsymmetrien erkennen muss, bevor unzulässige Erwärmungen auftreten. Dieser Fehlerfall muss daher von einem zertifizierten Motorschutzgerät erkannt werden. Die Ursache für den Phasenausfall kann eine ausgelöste Sicherung oder aber eine gelöste Klemmverbindung sein. Als besonders kritisch ist die Unterbrechung eines Wicklungsstranges innerhalb des Motors bei Dreieckschaltung zu sehen. Hierbei werden die ungestörten Wicklungsstränge mit dem vollen Leiterstrom belastet. Zur sicheren Erkennung auch dieses Fehlers muss der Motorschutzschalter direkt in die Wicklungsstränge geschaltet und auf den $\frac{1}{\sqrt{3}}$ -fachen Motorbemessungsstrom eingestellt werden, um zündfähige Erwärmungen und eine thermische Schädigung der Wicklung auszuschließen

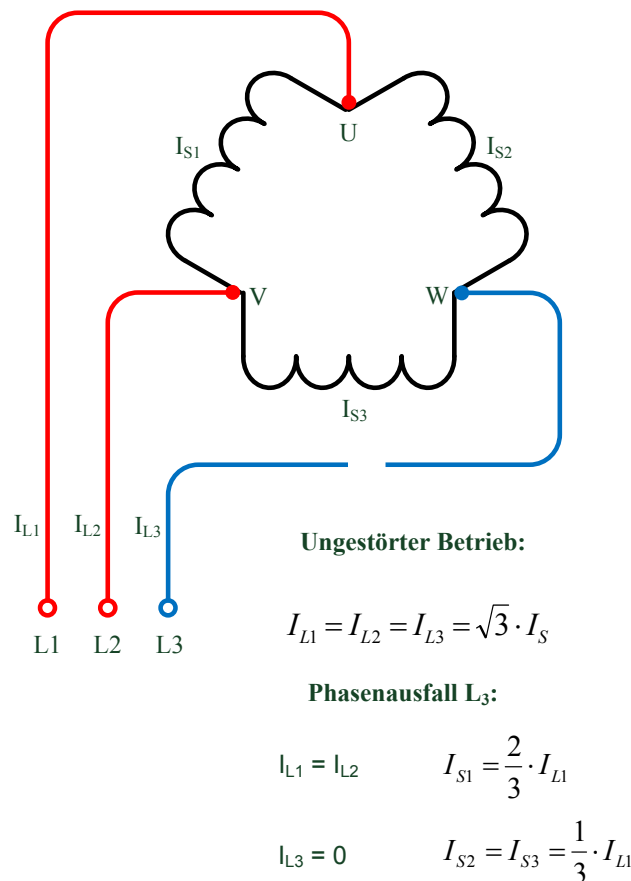


Bild 2: Dreieckschaltung bei Phasenausfall

- **Unzureichende Kühlung:** Wenn die Kühlluftwege verstopft sind, oder aber der Motor bei einer zu hohen Umgebungstemperatur betrieben wird, besteht auch ohne Überlast die Gefahr unzulässiger Temperaturen. Dieser Störfall kann nur mittels direkter Temperaturüberwachung erkannt werden.
- **Umrichterbetrieb:** Frequenzumrichter gespeiste Maschinen werden, sofern sie eigenbelüftet sind, mit einer drehzahlvariablen Wärmeabfuhr an die Umgebung betrieben. Hier muss zu jedem Zeitpunkt die Balance aus den Grundschwingungsverlusten zuzüglich der Oberschwingungsverluste sowie der Wärmeabfuhr an die Umgebung und dem Wärmespeichervermögen der Maschine gewahrt bleiben, um eine unzulässige Erwärmung zu vermeiden.
- **Spannungseinbruch beim Anlauf:** Kommt es während des Anlaufvorganges bei großen Netzimpedanzen zu Spannungseinbrüchen, führt das zu einer näherungsweise linearen Reduzierung des Anzugstromes mit der Spannung und zu einer quadratischen Reduzierung des Anzugmomentes. Es besteht daher die Gefahr, dass die Maschine bei entsprechendem Gegenmoment nicht mehr anläuft. Des Weiteren resultiert in dem geringeren Anzugstrom gemäß Bild 4 eine Verlängerung der Abschaltzeit des Motorschutzschalters bei nicht anlaufender Maschine. Es muss dabei sichergestellt sein, dass die Maschine innerhalb der verlängerten Abschaltzeit keine unzulässigen Temperaturen annimmt. /8/

III Schutzkonzepte für netzgespeiste Maschinen, Anforderungen an den Schutz bei explosionsgeschützten Antrieben

III.1 Zündschutzart Druckfeste Kapselung „d“

Bei dieser Zündschutzart beruht das Konzept darauf, dass im inneren des Motors eine Explosion auftreten kann und darf, diese jedoch bedingt durch die Konstruktion des Gehäuses nicht auf die außen umgebende explosionsfähige Atmosphäre übertragen wird. Aus Sicht des Explosionsschutzes muss daher bei diesen Motoren nur gefordert werden, dass sich die äußeren Oberflächen im Normalbetrieb und bei Störungen nicht über die bescheinigte Temperaturklasse erwärmen und die Dichtungen, das Anschlusskabel und sonstige Anbauteile thermisch nicht überlastet werden. Diese Motoren können sowohl über einen zeitabhängigen Überstromauslöser als auch über in die Wicklung eingebettete Kaltleiter thermisch geschützt werden. Aus der Richtlinie 94/9/EG und der Norm EN 60079-14 ergibt sich, dass ein Motorschutz zwingend nötig ist. Es wird jedoch der Blockierfall nicht separat betrachtet, welches wegen der großen Wärmekapazitäten des Gehäuses auch nicht zwangsläufig erforderlich sein muss. Selbst wenn sich im Blockierfall beim Ansprechen des Motorschutzes Rotor und Statorwicklung über die Zündtemperatur erwärmt haben sollten, wird das Gehäuse wegen der Verteilung der Wärmeenergie auf eine größere Wärmekapazität nur deutlich geringere Temperaturen erreichen.

III.2 Zündschutzart Überdruckkapselung „p“

Diese Zündschutzart kann analog zur Druckfesten Kapselung betrachtet werden. Auch hier ist nur die äußere Oberflächentemperatur für den Explosionsschutz relevant. In das Innere des Motors kann kein zündfähiges Gemisch eindringen, da hier ein Zündschutzgas, z.B. Luft, unter Überdruck gehalten wird. Als zusätzliche Bedingung muss jedoch gewährleistet sein, dass bei Ausfall der Zündschutzgasversorgung und Abschaltung des Motors innere Teile auf Werte unterhalb der Zündtemperatur des eindiffundierenden Gemisches abgekühlt sind, wenn das Gemisch diese erreicht.

III.3 Zündschutzart Erhöhte Sicherheit „e“

Bei dieser Zündschutzart darf das zündfähige Gemisch in das Innere des Motors eindringen, jedoch mit keinen Zündquellen in Berührung kommen. Es werden daher auch gemäß EN 60079-14 an den Motorschutz besondere Anforderungen gestellt, um auch im Blockierfall bei Bemessungsspannung keine unzulässigen Stator- oder Rotortemperaturen zu erreichen. /9/ Als Schutzprinzipien sind die direkte Temperaturüberwachung (III.5) oder ein zeitabhängiger Überstromauslöser (III.6) einsetzbar.

III.4 Zündschutzart „n“

Für die Zündschutzart muss gemäß EN 60079-15 die Maschine die Temperaturklasse nur bei „üblichen Betriebsbedingungen“ einhalten. In der Norm wird explizit ausgesagt, dass bei den Betriebsarten S1 und S2 der Blockierfall nicht betrachtet werden muss. Der Überlastfall wird nicht erwähnt. Bei Betriebsbedingungen, die einen Überlastfall ohne Schutz nicht ausschließen können und sehr lange unentdeckt bestehen bleiben könnten, laufen der Philosophie dieser Zündschutzart zuwider. Ein Überlastschutz analog zur Zündschutzart „e“ ist hinreichend.

III.5 Direkte Temperaturüberwachung

Bei der direkten Temperaturüberwachung als Alleinschutz werden in alle drei Wicklungsstränge des Wickelkopfes Kaltleiter in die Wicklung eingebettet und mit der Wicklung zusammen getränkt. Hierdurch ist ein guter thermischer Kontakt zwischen Wicklung und Kaltleiter sichergestellt, welcher für die Wirksamkeit des Schutzprinzips äußerst wichtig ist. Die einzelnen Kaltleiter werden in Reihe verschaltet und bei der Installation des Motors mit einem im Regelfall außerhalb des explosionsgefährdeten Bereiches angeordneten Kaltleiterauslösegerät verbunden. Werden die Kaltleiter über die Nennansprechtemperatur, z.B. 130°C, erwärmt, so steigt der Widerstand stark an, welches durch das Auswertegerät registriert wird. Beim Erreichen der Nennabschalttemperatur (NAT) erfolgt die Abschaltung des Motors. Das Gerät muss auch einen zu kleinen, unterhalb des „Widerstandsfensters“ des Kaltleiters liegenden Widerstand, erkennen. Die Ursache hierfür kann ein Kurzschluss der Kaltleiteranschlussleitung sein, wodurch der Schutz nicht mehr gewährleistet wäre.

Der Schutz durch direkte Temperaturüberwachung begrenzt die Wicklungstemperatur auf einen festen Wert. Hierdurch können auch unzulässige Temperaturen erkannt werden, die nicht auf eine Überlastung, sondern z.B. auf blockierte Kühlluftwege oder zu hohe Umgebungstemperatur zurückzuführen sind. Gegenüber der reinen Stromüberwachung ist dieses ein Sicherheitsgewinn.

Bei der Auslegung des Kaltleiters für den Alleinschutz muss jedoch beachtet werden, dass neben dem Stator auch der Rotor vor unzulässigen Temperaturen geschützt (Zündschutzart „e“ und „n“) wird. Insbesondere bei rotorkritischen Maschinen ist dieses eine Herausforderung, und manche Maschinenausführungen lassen den Alleinschutz über Kaltleiter nicht zu.

Bei der Prüfung einer Maschine mit thermischem Alleinschutz über Kaltleiter müssen diese Fälle betrachtet und die „Gleichwertigkeit der Schutzwirkung gegenüber der Stromüberwachung“ rechnerisch und experimentell nachgewiesen werden.

III.6 Stromabhängige, zeitverzögerte Schutzeinrichtung

Der Motorschutz über die Stromüberwachung basiert auf dem Ansatz, dass das Motorschutzrelais ein vereinfachtes thermisches Abbild des Motors abbildet, und bei einer über dieses thermische Modell registrierten unzulässigen Erwärmung eine Abschaltung erfolgt. Zusätzlich beinhalten die Motorschutzschalter noch einen magnetischen Schnellauslöser für den Kurzschlusschutz.

Die einfachste Ausführungsform eines Motorschutzgerätes ist der Motorschutzschalter mit Bimetallrelais, wobei das Bimetall über eine vom Motorstrom durchflossene Heizwicklung erwärmt wird. Das Bimetall kann als Einkörper-Ersatzschaltbild des Motors aufgefasst werden. Derartige Bimetalle sind für alle 3 Phasen vorhanden, und durch eine mechanische Verknüpfung werden auch unterschiedliche Erwärmungen der Bimetalle und daher auch eine einphasige Überlastung und Stromunsymmetrien erkannt. Gemäß /3/ darf die Schutzeinrichtung beim 1,05-fachen Motorbemessungsstrom innerhalb von 2 h nicht auslösen, muss hingegen beim 1,2-fachen Strom innerhalb von 2 h ansprechen.

Die folgende Betrachtung verdeutlicht das thermische Verhalten des Motors:

Für das Einkörper-Ersatzschaltbild kann für die Verlustleistungsbilanz geschrieben werden

$$P_V = \frac{\mathcal{G}}{R_{th}} + c \cdot \frac{\Delta \mathcal{G}}{dt}$$

P_V ist hierbei die in der Maschine umgesetzte Verlustleistung, ϑ die Übertemperatur zur Umgebung, R_{th} der Wärmeübergangswiderstand zur Umgebung und c die Wärmekapazität der Maschine. Für die Temperatur kann daher geschrieben werden:

$$\vartheta = \frac{P_V}{R_{th}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot c}}\right)$$

Aus dieser Gleichung folgt, dass sich die Erwärmung z.B. nach Eintritt des Überlastfalles gemäß einer e-Funktion der neuen „Beharrungstemperatur“ $\frac{P_V}{R_{th}}$ nähert. Zum sicheren Schutz

des Motors muss daher eine Abschaltung erfolgen, bevor die Übertemperatur ϑ im Stator oder Rotor unzulässige Werte annimmt.

Die lastabhängigen Verluste des Motors können in erster Näherung in einer quadratischen Abhängigkeit zum Maschinenstrom gesehen werden, so dass durch das Schutzgerät im Überlastfall das Integral

$$\Delta \vartheta \sim \int I^2 dt$$

ausgewertet werden muss. Die Auswertung kann hierbei im einfachsten Fall über das bereits erwähnte Bimetall erfolgen. Eine immer größere Verbreitung finden jedoch gerade bei größeren Antrieben elektronische Schutzgeräte, die ein präziseres Ansprechverhalten gewährleisten, bei einem frei definierbaren Stromunsymmetriegrad ansprechen und durch ein aufwändigeres thermisches Mehrkörperersatzschaltbild die Maschine thermisch besser abbilden können. Als Alternative besteht auch die Möglichkeit, mit einem elektronischen Schutzgerät die Wirkleistungsaufnahme des Motors zu überwachen. Dieses kann bei Maschinen sinnvoll sein, bei denen im Überlastfall die Stromzunahme sehr gering ist, oder wenn z.B. bei Pumpenantrieben auch ein Leistungsabfall als Trockenlaufschutz erkannt werden muss.

III.7 Auswahl und Parametrierung des Schutzes bei der Zündschutzart Erhöhte Sicherheit „e“

In Bild 3 ist der für eine Maschine thermisch ungünstigste Störfall, die Blockierung des betriebswarmen Motors, dargestellt. Hierbei muss der Motorschutz den Motor innerhalb der in der EG-Baumusterprüfbescheinigung des Motors genannten Erwärmungszeit t_E abschalten.

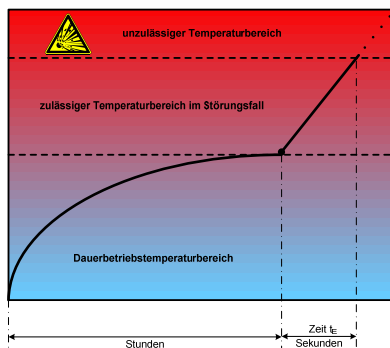


Bild 3: Definition der Zeit $t_E/9/$

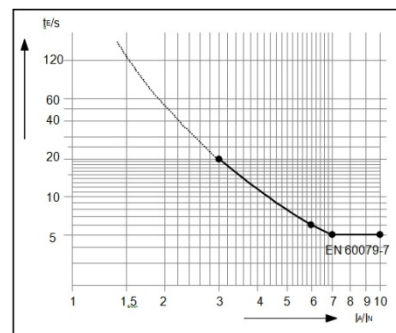


Bild 4: Auslösekennlinie für stromabhängige Motorschutzgeräte nach EN 60079-7

Um die rechtzeitige Abschaltung gewährleisten zu können, muss zum einen das Motorschutzgerät auf den Bemessungsstrom des Motors korrekt eingestellt werden, die

andere Bedingung ist, dass die messtechnisch ermittelte Zeit t_E beim gemessenen Anzugsstromverhältnis des Motors immer oberhalb der in der Norm EN 60079-7, /4/ Abs. 5.2.4.4.1 enthaltenen Auslösekennlinie für Motorschutzrelais liegt. (Bild 4) Das zulässige Verhältnis Anzugsstrom / Bemessungsstrom liegt für Maschinen der Zündschutzart „e“ im Bereich von 3 – 10.

Neben der Abschaltung der Maschine in den Fällen „Überlast“ und „Blockierung“ werden an das Motorschutzgerät noch weitergehende Anforderungen gestellt, um einen sicheren Betrieb des Motors zu gewährleisten:

- Schutz gegen unbeabsichtigtes Verstellen
- Kein automatischer Wiederanlauf nach Auslösung
- Anlaufüberwachung
- Kurzschlusserkennung
- Erkennung unzulässiger Stromunsymmetrien
- Testmöglichkeiten
- Erkennung sicherheitsrelevanter interner Fehler und Übergang in den sicheren Zustand (Abschaltung)
- Mindestanforderung: SIL-Kategorie 1
- Abschaltung innerhalb von 2 h bei Überlastung mit dem 1,2-fachen Motorbemessungsstrom
- „Thermisches Gedächtnis“ bei Versorgungsspannungsunterbrechungen

III.8 Strom und Temperaturüberwachung

Für besondere Anwendungsfälle ist es sinnvoll, den Motor neben der Stromüberwachung zusätzlich über eine direkte Temperaturüberwachung zu schützen. Ein derartiger Fall liegt vor, wenn z.B. betriebsbedingt mit zu hohen Umgebungstemperaturen oder mit Verstopfung der Kühlluftwege am Einbauort des Motors gerechnet werden muss. Bei diesem „hybriden Schutz“ (Bild 5) muss der Kaltleiter nicht für den Alleinschutz ausgelegt werden, da der Überlast und Blockierfall über die Stromüberwachung erfasst werden.

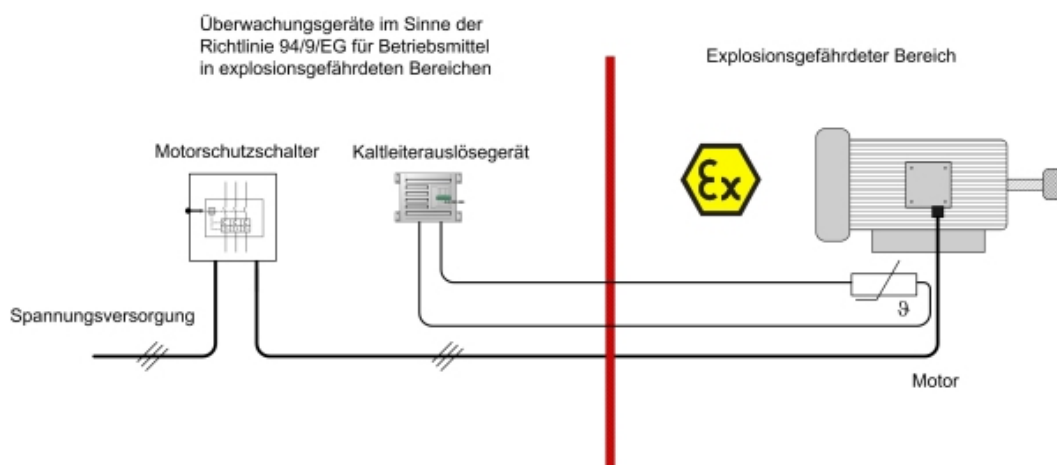


Bild 5: Schutz des Motors durch Strom und Temperaturüberwachung

IV Umrichtergespeiste Antriebe

Bei frequenzumrichtergespeisten Antrieben ist es erforderlich gegenüber dem Betrieb am Netz zwei zusätzliche Einflussfaktoren zu berücksichtigen, die sich auf die Erwärmung der Maschine auswirken. /10/

Dieses sind zum einen die Oberschwingungsverluste, die belastungsunabhängig auftreten. Die Oberschwingungsverluste sind von der Schaltfrequenz des Umrichters, der Zwischenkreisspannung, der Schaltung des Motors (Stern oder Dreieck) und der Oberschwingungsimpedanz des Motors abhängig.

Sind die Motoren als eigenbelüftete Maschinen ausgeführt, ist zusätzlich der von der Lüfterfördermenge und somit der Drehzahl abhängige thermische Widerstand zur Umgebung im Schutzkonzept zu berücksichtigen.

V Literatur

- /1/ Richtlinie 94/9/EG des europäischen Parlaments und des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen vom 23. März 1994
- /2/ Guidelines on the Application of Directive 94/9/EC of the European Parliament and the Council of 23 March 1994 on the Approximation of the Laws of the Member States concerning Equipment and protective Systems intended for use in potentially explosive Atmospheres. Third Edition June 2009
- /3/ EN 60079-14: Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 14: Projektierung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen; Beuth-Verlag Berlin, Mai 2009
- /4/ EN 60079-7: Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 7: Geräteschutz durch Erhöhte Sicherheit „e“; Beuth-Verlag Berlin, August 2007
- /5/ EN 60079-1: Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 1: Geräteschutz durch druckfeste Kapselung „d“; Beuth-Verlag Berlin, April 2008
- /6/ EN 60079-2: Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 2: Geräteschutz durch Überdruckkapselung „p“; Beuth-Verlag Berlin, Juli 2008
- /7/ EN 60079-15: Elektrische Betriebsmittel für gasexplosionsgefährdete Bereiche – Teil 15: Konstruktion, Prüfung und Kennzeichnung von elektrischen Betriebsmitteln der Zündschutzart „n“; Beuth-Verlag Berlin, Mai 2006
- /8/ PTB-Merkblatt zum Schutz von Asynchronmaschinen bei Anlauf mit verminderter Spannung, Sicherstellung des Explosionsschutzes, AG 3.72, April 2009
- /9/ PTB-Prüfregel; Explosionsgeschützte Maschinen der Schutzart „Erhöhte Sicherheit“ Ex e, Band 3, zweite Ausgabe 2007
- /10/ Lehrmann, C.: Umrichtergespeiste Antriebe für den Ex-Bereich; Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen; 2009, Heft 2, Seite 29 – 35