



ELECTRIC DRIVES

FOR EVERY DEMAND

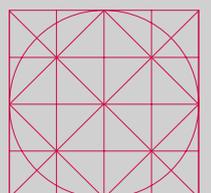


Explosionsschutz aktuell

Elektrische Betriebsmittel
für den Niederspannungsbereich,
Rechtliche Grundlagen,
ATEX-Richtlinien und Zündschutzarten,
konstruktiver Aufbau der Motoren,
VEM-Produktprogramm,
Reparatur, Instandsetzung und Umbau



www.vem-group.com





ELECTRIC DRIVES

FOR EVERY DEMAND

-  **Stahl- und Walzwerke**
-  **Chemie-, Öl- und Gasindustrie**
-  **Kraftwerkstechnik**
-  **Erneuerbare Energien**
-  **Wassertechnik**
-  **Schiffbau**
-  **Verkehrstechnik**
-  **Zement- und Bergbauindustrie**
-  **Maschinen- und Anlagenbau**

Unter der Marke VEM laufen aktuell weltweit rund 30 Millionen Elektromaschinen. Sie treiben Schiffe, Stadt- und Vollbahnen, Chemieanlagen und Walzwerke an. Generatoren von VEM erzeugen Strom in Wasserkraft- und Windkraftanlagen.

Die Produktpalette von VEM umfasst geregelte elektrische Antriebssysteme, Spezialmotoren und Sondermaschinen mit einem Leistungsspektrum von 0,06 kW bis 42 MW sowie Komponenten der Antriebstechnik und Energieerzeugung.

Autoren:

Dr.-Ing. Christian Lehrmann, Dr. Ulrich v. Pidoll
Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig

Dipl.-Phys. Dirk Seehase, Dipl.-Ing. Manfred Sattler
VEM motors GmbH, Wernigerode

Explosionsschutz aktuell

Elektrische Betriebsmittel
für den Niederspannungsbereich,
Rechtliche Grundlagen,
ATEX-Richtlinien und Zündschutzarten,
konstruktiver Aufbau der Motoren,
VEM-Produktprogramm,
Reparatur, Instandsetzung und Umbau



Inhaltsverzeichnis		Seite
	Vorwort _____	6
1	Der explosionsgeschützte Antrieb – Einführung _____	6
1.1	Übersicht der Rechtsgrundlagen zum Explosionsschutz _____	8
1.2	Übersicht Zündschutzarten Gasexplosionsschutz _____	9
1.3	Erläuterung der allgemeinen Anforderungen, der Zündschutzarten und Anwendungsbereiche _____	10
1.3.1	Allgemeine Anforderungen (Gas und Staub) _____	10
1.3.2	Zündschutzarten _____	11
1.3.2.1	Zündschutzart druckfeste Kapselung „db“ _____	11
1.3.2.2	Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ _____	12
1.3.2.3	Zündschutzart erhöhte Sicherheit „ec“ (alt: „n“) _____	12
1.3.2.4	Zündschutzart Überdruckkapselung „p“ _____	12
1.3.2.5	Zündschutzart Sandkapselung „q“ _____	13
1.3.2.6	Zündschutzart Ölkapselung „o“ _____	13
1.3.2.7	Zündschutzart Eigensicherheit „ia/ib“ _____	13
1.3.2.8	Zündschutzart Vergusskapselung „m“ _____	13
1.4	Übersicht Zündschutzarten Staubexplosionsschutz _____	14
1.4.1	Zündschutzart Schutz durch Gehäuse „tx IIY Dx“ _____	14
1.4.2	Zündschutzart Überdruckkapselung „pD“ _____	15
1.4.3	Zündschutzart Eigensicherheit „iD“ _____	15
1.4.4	Zündschutzart Vergusskapselung „mD“ _____	15
1.5	Kennzeichnungen nach unterschiedlichen Normenausgaben _____	16
1.6	Elektromotoren – Mechanischer Aufbau und Schwerpunkte der Gestaltung zur Einhaltung des Explosionsschutzes _____	18
1.7	Hochspannungsprüfungen an Wicklungen unter Gas _____	22
1.8	Aufstellung und elektrischer Anschluss _____	23
1.9	Elektrostatische Gefährdungen _____	25
1.9.1	Einleitung _____	25
1.9.2	Regelwerke _____	25
1.9.3	Prüfungsablauf _____	26
1.9.4	Weitere Hinweise _____	26
2	Technologien zum Schutz von Induktionsmaschinen vor unzulässigen Erwärmungen infolge Überlastung – eine Übersicht unter den Aspekten des Explosionsschutzes _____	27
2.1	Welche rechtlichen/normativen Vorgaben gibt es bezüglich des Schutzes elektrischer Maschinen in explosionsgefährdeten Bereichen? _____	27
2.2	Ursachen für unzulässig hohe Temperaturen einer elektrischen Maschine _____	28
2.3	Schutzkonzepte für netzgespeiste Maschinen, Anforderungen an den Schutz bei explosionsgeschützten Antrieben _____	29
2.3.1	Zündschutzart druckfeste Kapselung „db“ _____	29
2.3.2	Zündschutzart Überdruckkapselung „p“ _____	30
2.3.3	Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ _____	30
2.3.4	Zündschutzart erhöhte Sicherheit „ec“ (alt: „n“) _____	30
2.3.5	Zündschutzart Schutz durch Gehäuse „t“ _____	30
2.3.6	Direkte Temperaturüberwachung _____	30
2.3.7	Stromabhängige, zeitverzögerte Schutzeinrichtung _____	30
2.3.8	Auswahl und Parametrierung des Schutzes bei der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ _____	31
2.3.9	Strom und Temperaturüberwachung _____	32
2.4	Der Motor in Kombination mit anderen Geräten _____	32
2.4.1	Empfohlene maximale Schnittstellentemperaturen für Flanschmotoren _____	33
2.4.1.1	Maschinen der Zündschutzart druckfeste Kapselung „db“ im Netzbetrieb _____	33
2.4.1.2	Maschinen der Zündschutzart druckfeste Kapselung „db“ im Umrichterbetrieb _____	33
2.4.1.3	Maschinen der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“, Temperaturklasse: T3 _____	34
3	Frequenzumrichter gespeiste explosionsgeschützte Antriebe, Schutzmaßnahmen für den sicheren Betrieb _____	34
3.1	Elektrische Entladungen _____	34
3.2	Heiße Oberflächen _____	35
3.3	Oberschwingungsverluste _____	37
3.4	Steigerung der Energieeffizienz _____	37

3.5	Zusammenfassung und Ausblick _____	39
3.6	Betrieb am Frequenzumrichter bei Einsatz in Zone 2 (Ex II 3G) bzw. Zone 22 (Ex II 3D) _____	40
3.7	Betrieb am Frequenzumrichter bei Einsatz in Zone 21 (Ex II 2D) _____	40
3.8	Betrieb am Frequenzumrichter bei Einsatz in Zone 1 (Ex II 2G) _____	40
3.9	Permanentmagneterregte Synchronmaschinen/Reluktanzmaschinen _____	41
4	Das VEM-Lieferprogramm explosionsgeschützter Betriebsmittel _____	42
4.1	Übersicht _____	42
4.2	Energieeffizienz und Explosionsschutz _____	42
4.3	Gasexplosionsschutz Motoren _____	43
4.3.1	Käfigläufermotoren, Zündschutzart druckfeste Kapselung „db/db eb“ _____	43
4.3.2	Käfigläufermotoren, Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ _____	44
4.3.3	Käfigläufermotoren, Zündschutzart erhöhte Sicherheit „ec“ (alt: „n“) _____	45
4.4	Staubexplosionsschutz Motoren _____	45
4.4.1	Käfigläufermotoren für den Einsatz bei Anwesenheit von brennbaren Stäuben, Zone 21 _____	45
4.4.2	Käfigläufermotoren für den Einsatz bei Anwesenheit von brennbaren Stäuben, Zone 22 _____	46
4.5	Kombinationen von Gasexplosionsschutz oder Staubexplosionsschutz _____	46
5	Wartung und Reparatur _____	47
6	Instandsetzung und Änderung elektrischer Betriebsmittel _____	48
6.1	Allgemeines _____	48
6.2	Instandsetzungsarbeiten, von denen der Explosionsschutz nicht betroffen ist _____	49
6.3	Instandsetzungsarbeiten, die eine Prüfung durch eine amtlich anerkannte, zur Prüfung befähigte Person erfordern _____	49
6.4	Instandsetzungsarbeiten an Ex e Motoren (Änderungen), die eine erneute Typprüfung (z. B. durch eine notifizierte Stelle nach RL 2014/34/EU) erfordern _____	49
6.5	Instandsetzungsarbeiten an Ex d Motoren (Änderungen), die eine erneute Typprüfung (z. B. durch eine notifizierte Stelle nach RL 2014/34/EU) erfordern _____	50
6.6	Zusammenfassung _____	50
7	Prüfung der Motoren nach durchgeführten Reparaturen, Instandsetzungen oder Umbauten _____	51
7.1	Sichtkontrolle _____	51
7.1.1	Sichtkontrolle der Wicklung _____	51
7.1.2	Sichtkontrolle des kompletten Motors _____	51
7.2	Wicklungsprüfung _____	51
7.2.1	Wicklungswiderstand _____	51
7.2.2	Hochspannungsprüfung _____	51
7.2.3	Isolationswert (Isolationswiderstand) _____	52
7.3	Probelauf _____	52
7.3.1	Drehfeld (Drehrichtungskontrolle) _____	52
7.3.2	Leerlaufprüfung, Ermittlung des Leerlaufstroms I_0 _____	52
7.3.3	Nachweis der Phasensymmetrie _____	52
7.3.3.1	Kurzschlussprüfungen bei I_B _____	52
7.3.3.2	Kurzschlussprüfung nach IEC/EN 60034-1 _____	53
7.3.4	Schwingungsprüfung _____	53
7.4	Lackierung und Tränkung nach Reparatur- oder Instandsetzungsarbeiten _____	53
7.5	Dokumentation der Prüfung _____	54
8	Übersicht über Normen und Vorschriften _____	55
8.1	Allgemeine Normen _____	55
8.2	Normen für Explosionsschutz _____	56
9	Toleranzen _____	58
9.1	Elektrische Parameter _____	58
9.2	Mechanische Parameter – übliche Toleranzen _____	58
10	Quellennachweis _____	59

Vorwort

Dieses Heft basiert auf der Dokumentation zum Seminar Explosionsschutz „Planen und sicheres Betreiben von explosionsgeschützten elektrischen Antrieben“ Leitung/Referenten Dr.-Ing. Lehrmann/Dipl.-Phys. Seehase/Dipl.-Ing. Sattler am „HAUS DER TECHNIK“ Essen und internen Schulungsunterlagen der VEM motors GmbH unter Berücksichtigung der PTB-Prüfregeln.

In chemischen und petrochemischen Anlagen entstehen durch verfahrenstechnische Abläufe immer wieder explosionsfähige Atmosphären. Sie werden z. B. durch Gemische von Gasen, Dämpfen oder Nebeln hervorgerufen. Aber auch Gemische mit Stäuben, wie sie in Mühlen und Silos auftreten, erweisen sich oft als explosionsfähig. Dieses erfordert auch z. B. in der Nahrungsmittelindustrie (Mehlstaubexplosion) Beachtung. Aus diesen Gründen unterliegen elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche besonderen Richtlinien sowie nationalen und internationalen Normen. Der Explosionsschutz gibt Regeln vor, die den Schutz von Menschen und Gegenständen vor möglichen Explosionsgefahren zum Ziel haben.

Der integrierte Explosionsschutz weist aus, dass die Maßnahmen des Explosionsschutzes in einer definierten Reihenfolge zu erfolgen haben. Das bedeutet an erster Stelle die Verhinderung des Entstehens von explosionsfähigen Atmosphären, die Vermeidung der Zündung von

explosionsfähigen Atmosphären und die Beschränkung der Auswirkungen einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß. Die Vermeidung des Entstehens von explosionsfähigen Atmosphären, auch primärer Explosionsschutz genannt, ist dabei Sache des Anlagenkonstruktors und -betreibers.

Welche Bereiche im Freien oder in geschlossenen Räumen als explosionsgefährdet im Sinne der einschlägigen Verordnungen oder Bestimmungen zu betrachten sind, muss ausschließlich dem Betreiber oder, wenn Zweifel über die Festlegung explosionsgefährdeter Bereiche bestehen, der zuständigen Aufsichtsbehörde überlassen werden. In der Richtlinie 99/92/EG – ATEX 137 (früher ATEX 118a), Arbeitsschutzrichtlinie, sind die Verantwortlichkeiten für den Betreiber solcher Anlagen festgelegt. Grundlage für explosionsgeschützte Erzeugnisse ist die Richtlinie 2014/34/EU – ATEX 114 (früher 94/9/EG – ATEX 95 bzw. 100a), (Beschaffensrichtlinie). Hier sind die Anforderungen an die Produkte zum Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen festgelegt.

Elektrische Maschinen zum Einsatz in der Zone 1, 2 oder 21, 22 können in verschiedenen Zündschutzarten ausgeführt werden, wobei das Ziel jeder dieser Zündschutzarten ist, eine Zündung der eventuell am Einsatzort der elektrischen Maschine vorhandenen explosionsfähigen Atmosphäre sicher zu verhindern.

1 Der explosionsgeschützte Antrieb – Einführung

Ein explosionsgeschütztes Betriebsmittel zeichnet sich durch die Eigenschaft aus, eine am Einsatzort eventuell vorhandene explosionsfähige Atmosphäre bei Betrieb in den für die auftretenden Gase zulässigen Parametergrenzen (z. B. Umgebungstemperatur, Strom, Spannung usw.) nicht zu zünden. Da elektrische Maschinen immer eine potenzielle Zündquelle enthalten, ist es das Ziel der Explosionsschutzmaßnahmen, diese nicht zu einer wirksamen Zündquelle werden zu lassen. Elektrische Maschinen können durch heiße Oberflächen, elektrische Entladungen sowie mechanisch erzeugte Funken (anschießen) zu einer Zündquelle werden.

Die Anforderungen an den Aufwand zur Verhinderung der Zündgefahr sind wiederum vom Einsatzort abhängig. Potenziell explosionsgefährdete Bereiche werden in Zonen eingeteilt.

In der Zone 0 kann eine explosionsfähige Atmosphäre dauernd oder langanhaltend auftreten. Drehende elektrische Maschinen werden hier nicht eingesetzt. Die Zone 0 tritt üblicherweise innerhalb von Tanks und Apparaturen auf.

In der Zone 1 kann die explosionsfähige Atmosphäre gelegentlich und kurzzeitig vorhanden sein. Ein Beispiel für diese Zone ist die Umgebung der Belüftungsöffnung von Tankanlagen. In der Zone 1 eingesetzte Betriebsmittel dürfen weder im Normalbetrieb noch bei Auftreten eines Fehlers zur Zündquelle werden.

In der Zone 2 ist nur bei Betriebsstörungen kurzzeitig mit dem Vorhandensein einer explosionsfähigen Atmosphäre zu rechnen, z. B. bei Undichtigkeiten. Die verwendeten Betriebsmittel dürfen im Normalbetrieb keine Zündquelle darstellen, im Fehlerfall wird es jedoch toleriert. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die Wahrscheinlichkeit hinreichend gering ist, dass eine explosionsfähige Atmosphäre und eine Betriebsstörung gleichzeitig auftreten. Bei einer Explosionsgefahr durch zündfähige Stäube erfolgt mit den Zonen 20/21/22 eine analoge Einteilung.

Zur Sicherstellung des Explosionsschutzes bei drehenden elektrischen Maschinen kommen die folgenden Zündschutzarten in Betracht: In gasexplosionsgefährdeten Bereichen der Zone 1 – erhöhte Sicherheit „eb“, druckfeste Kapselung „db/db eb“ sowie Überdruckkapselung „p“ und für Zone 2 die Zündschutzart erhöhte Sicherheit „ec“ (alt: „n“). In staubexplosionsgefährdeten Bereichen ist bei elektrischen Maschinen der „Schutz durch Gehäuse“ eine weitverbreitete Zündschutzart.

Bei der Zündschutzart druckfeste Kapselung „db“ ist eine Zündung innerhalb des Gehäuses möglich, es wird jedoch durch den konstruktiven Aufbau eine Explosionsübertragung auf die Umgebung verhindert. Das Gehäuse muss dem Explosionsdruck standhalten und bei Durchführungen muss der Flammendurchtritt durch Verwendung zünddurchschlagsicherer Spalte verhindert werden. Als weitere Bedingung dürfen an der Gehäuseoberfläche die Zündtemperaturen der am Aufstellungsort vorkommenden Gase nicht erreicht oder überschritten werden. Die Realisierung dieser Zündschutzart ist wegen der nötigen Einhaltung sehr kleiner Fertigungstoleranzen aufwändig und teuer.

Bei der Zündschutzart Überdruckkapselung „p“ wird das Gehäuseinnere mit einem Zündschutzgas unter Überdruck gespült, es kann daher keine zündfähige Atmosphäre eindringen. Zur Sicherstellung des Explosionsschutzes müssen der Druck des Zündschutzgases überwacht und unzulässige Oberflächentemperaturen verhindert werden.

Bei einem Ausfall der Zündschutzgasversorgung muss sichergestellt werden, dass bis zur Entstehung eines zündfähigen Gemisches innerhalb der Kapselung durch eindringende äußere Atmosphäre sämtliche inneren Zündquellen nicht mehr vorhanden sind. Diese Zündschutzart wird wegen der Kosten für die Zündschutzgasversorgung nur bei Maschinen oberhalb einer Leistung von etwa 1 MW realisiert.

Bei der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ kann die umgebende Atmosphäre in das Gehäuseinnere eindringen. Zur Vermeidung einer Zündgefahr dürfen sich daher bei dieser Zündschutzart auch im Inneren des Gehäuses keine wirksamen Zündquellen befinden. Diese Zündschutzart kann nur bei Betriebsmitteln realisiert werden, die betriebsmäßig keine Funken erzeugen. Zur Ausführung einer Asynchronmaschine in dieser Zündschutzart kann bei den elektrischen Inaktivteilen im Wesentlichen auf den nicht explosionsgeschützten Standardmotor zurückgegriffen werden. Bei den Aktivteilen müssen die reduzierte zulässige Erwärmung und Anforderungen bezüglich der Teilentladungen berücksichtigt werden. Die Realisierung dieser Zündschutzart bei einem frequenzumrichter gespeisten Antrieb wird im weiteren Verlauf dieser Broschüre behandelt.

Die Zündschutzart erhöhte Sicherheit „ec“ (alt: „n“) basiert auf der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“, die Anforderungen sind aufgrund der geringeren Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein zündfähiger Atmosphäre in der Zone 2 aber geringer. So kann z. B. die Maschine thermisch höher ausgenutzt werden, da der „Sicherheitsabschlag“ von 10 K bezogen auf die gemäß der Thermischen Klasse maximal zulässige Wicklungstemperatur entfällt. Des Weiteren müssen der Fehlerfall „blockierter Zustand“ nicht betrachtet und der Anlauf nicht überwacht werden. Motoren dieser Zündschutzart dürfen nicht in Betrieb genommen werden,

wenn am Aufstellungsort des Motors ein zündfähiges Gemisch vorhanden ist.

Außerdem gilt auch hier die Norm EN 60079-14, wonach der Motor gegen Überlast und Kurzschluss zu schützen ist, also z. B. ein Motorschutzschalter vorhanden sein muss. Die Norm IEC/EN 60079 Teil 15 (bzw. für die Zündschutzart „ec“ die Norm EN 60079-7) gibt über die relevanten Anforderungen detailliert Auskunft. Im Sinne der Richtlinie 2014/34/EU (alt: RL 94/9/EG) führt der Hersteller die Prüfung in Eigenverantwortung durch und bringt das Gerät in Verkehr. Eine Typprüfung durch eine notifizierte Stelle ist im Gegensatz zur Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ hier nicht erforderlich.

Bei der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ ist die Temperaturklasse eine sehr wichtige Größe. Je nach Zusammensetzung der möglicherweise auftretenden zündfähigen Atmosphäre erfolgt eine Temperaturklasseneinteilung von T1 – T6. Die Temperaturklassen markieren Temperaturbereiche, in die Gase gemäß ihrer Zündtemperatur eingeteilt werden. Bei Gemischen ist für die Einteilung die Komponente mit der niedrigsten Zündtemperatur maßgebend. Die für die Temperaturklassen maximal zulässigen Oberflächentemperaturen können der Norm IEC/EN 60079-0 entnommen werden.

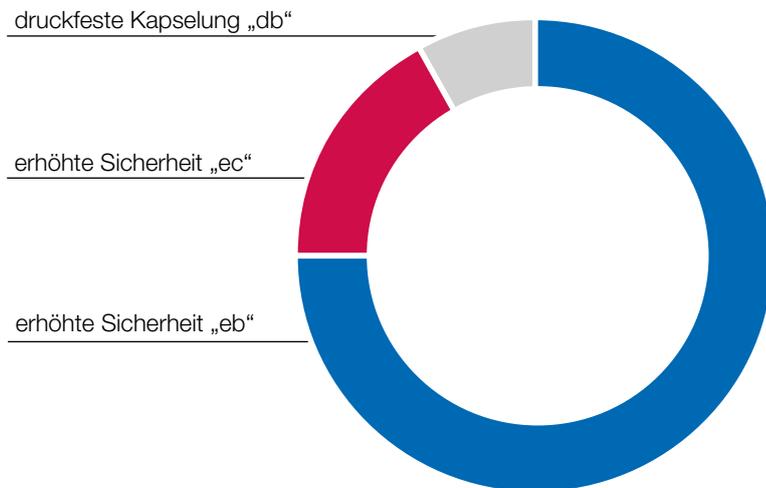


Bild 1.1: Verteilung der Zündschutzarten bei netzgespeisten Antrieben

Elektrische Maschinen der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ werden üblicherweise nur bis zur Temperaturklasse T4 ausgeführt.

Die Angaben beruhen auf einer Schätzung der Zertifizierungsstelle Explosionsschutz der PTB Braunschweig.

Bei den netzgespeisten Antrieben ergibt sich bei Normmotoren eine der Bild 1.1 entsprechende, geschätzte Verteilung auf die einzelnen Zündschutzarten. Bei Frequenzumrichterspeisten Antrieben kehrt sich das Verhältnis zwischen erhöhter Sicherheit „eb“ und druckfester Kapselung „db/db eb“ um.

Der Grund dafür ist die in der Vergangenheit feste Kopplung von Motor und Frequenzumrichter mit den damit verbundenen Einschränkungen für den Anwender und dem hohen Aufwand für die Prüfung. Die Gesamtkosten sind für einen Antrieb der Zündschutzart druckfeste Kapselung „db“ geringer, obwohl hier deutlich höhere Kosten bei der Herstellung der Motoren anfallen. Aufgrund der extrem großen potenziellen Schäden beim Auftreten einer Explosion muss den entsprechenden Schutzmaßnahmen bei der Projektierung eines Antriebssystems in explosionsgefährdeten Bereichen ein sehr hoher Stellenwert eingeräumt werden.

1.1 Übersicht der Rechtsgrundlagen zum Explosionsschutz

	Beschaffenheitsanforderungen		Betriebsanforderungen
Europäisches Recht	ATEX 114 2014/34/EU		ATEX 137 1999/92/EG
Gesetze	Geräte- Produktsicherheitsgesetz - GPSG		ArbSchG Arbeitsschutzgesetz
Verordnungen	11. ProdSV Explosionsschutzprodukteverordnung		BetrSichV Betriebssicherheitsverordnung GefStoffV 2013/2015 Gefahrstoffverordnung
Technische Regeln, Vorschriften, Normen	IEC/EN 60079 ff.		Explosionsschutzregeln BGR 104, TRBS ...

Gerätekategorien und Zonen

Gerätegruppe	Geräteklasse	Zone	Gerätegruppe	EPL	Definition nach BetrSichV	Zertifizierungspflicht	
2014/34/EU		nach IEC/EN 60079-0					
für brennbare Gase, Dämpfe und Nebel							
II	1G*	0	II	Ga	Zone 0 umfasst Bereiche, in denen eine explosionsfähige Atmosphäre, die aus einem Gemisch von Luft und Gasen, Dämpfen oder Nebel besteht, ständig, langfristig oder häufig vorhanden ist.	ja	
II	2G	1	II	Gb	Zone 1 umfasst Bereiche, in denen damit zu rechnen ist, dass eine explosionsfähige Atmosphäre aus Gasen, Dämpfen oder Nebel gelegentlich auftritt.	ja	
II	3G	2	II	Gc	Zone 2 umfasst Bereiche, in denen nicht damit zu rechnen ist, dass eine explosionsfähige Atmosphäre aus Gasen, Nebel oder Dämpfen auftritt, aber wenn sie dennoch auftritt, dann aller Wahrscheinlichkeit nach nur selten und während eines kurzen Zeitraums.	nein	
für explosionsfähige Staub-Atmosphäre							
II	1D*	20	III	Da	Zone 20 umfasst Bereiche, in denen eine explosionsfähige Atmosphäre, die aus Staub/Luft-Gemischen besteht, ständig, langfristig oder häufig vorhanden ist.	ja	
II	2D	21	III	Db	Zone 21 umfasst Bereiche, in denen damit zu rechnen ist, dass eine explosionsfähige Atmosphäre aus Staub/Luft-Gemischen gelegentlich auftritt.	ja	
II	3D	22	III	Dc	Zone 22 umfasst Bereiche, in denen nicht damit zu rechnen ist, dass eine explosionsfähige Atmosphäre durch aufgewirbelten Staub auftritt, aber wenn sie dennoch auftritt, dann aller Wahrscheinlichkeit nach nur sehr selten und während eines kurzen Zeitraums.	nein	

* für Elektromotoren nicht üblich

Staub-Explosionsschutz IEC/EN 60079-0 und IEC/EN 60079-31

Arbeitsstätte	Vorhandensein einer explosionsfähigen Staubatmosphäre	gelegentlich		selten oder kurzzeitig	
	Staubart	alle Arten	elektrisch leitend	elektrisch nicht leitend	
Betriebsmittel	Zone	21	22		
	Gerätegruppe n. RL2014/34/EU	II			
	Gerätegruppe n. EN 60079-0	IIIC	IIIC	IIIB	
	Geräteklasse	2D	3D	3D	
	EPL n. EN 60079-0	Db	Db, Dc	Db, Dc	
	Schutzart	IP 65	IP 65	IP 55	
	Temperatur	Gehäusetemperatur max. 125 °C			
	Bescheinigung	EU-Baumusterprüfbescheinigung der Prüfstelle	EU-Konformitätserklärung des Herstellers		
	Kennzeichnung n. RL2014/34/EU				
	Kennzeichnung n. EN 60079-0/EN 60079-31	Ex tb IIIC T125 °C Db (alternativ: Ex tb IIIC T125 °C	Ex tc IIIC T125 °C Dc (alternativ: Ex tc IIIC T125 °C)	Ex tc IIIB T125 °C Dc (alternativ: Ex tc IIIB T125 °C)	

1.2 Übersicht Zündschutzarten Gasexplosionsschutz

Allgemeine Anforderungen (Gas und Staub)		IEC/EN 60079-0
druckfeste Kapselung „db“		IEC/EN 60079-1 Zündschutzart druckfeste Kapselung „db“
Sandkapselung „q“		IEC/EN 60079-5 Geräteschutz durch Sandkapselung „q“
Überdruckkapselung „p“		IEC/EN 60079-2 Zündschutzart Überdruckkapselung „p“
Vergusskapselung „m“		IEC/EN 60079-18 Zündschutzart Vergusskapselung „m“
Ölkapselung „o“		IEC/EN 60079-6 Geräteschutz durch Ölkapselung „o“
erhöhte Sicherheit „eb“		IEC/EN 60079-7 Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“
erhöhte Sicherheit „ec“ (alt: Zündschutzart „n“)		IEC/EN 60079-7 (IEC/EN 60079-15) Zündschutzart erhöhte Sicherheit „ec“ (alt: „n“)
Eigensicherheit „ia/ib“		IEC/EN 60079-11 Geräteschutz durch Eigensicherheit „ia“

1.3 Erläuterung der allgemeinen Anforderungen, der Zündschutzarten und Anwendungsbereiche

1.3.1 Allgemeine Anforderungen (Gas und Staub)

IEC/EN 60079-0 (VDE 0170-1)

- Unterscheidung Gruppe I (Bergbau), II (Gas) und III (Staub)
- Anforderungen aus Staubbereichen EN 61241-0 übertragen
- Eingruppierung von Stäuben in drei Kategorien (IIIA, IIIB und IIIC)
- Explosionsgruppen für Gruppe II (IIA, IIB und IIC)
- Einführung der Geräteschutz niveaus (EPL...Equipment Protection Level)
- Umgebungstemperaturbereich -20 °C bis +40 °C
- max. Betriebstemperatur (max. Umgebungstemperatur+ Eigenerwärmung+externe Wärmequellen)
- max. Oberflächentemperatur (Temperaturklassen T1...T6)
- mechanische Festigkeit
- Öffnungszeiten (Kondensatoren, heiße Einbauteile)
- Zirkulationsströme
- Dichtungsbefestigung

- Geräte mit elektromagnetischer und Ultraschallenergie
- Anforderungen an nichtmetallische Gehäuse und Gehäuseteile
- Betriebsanleitung, Kennzeichnung
- Prüfungen

Unterteilung der Gerätegruppe II

Gase und Dämpfe wurden bisher nach IEC/EN 60079-0 aufgrund ihrer besonderen Zündfähigkeit in den Zündschutzarten „d“ und „i“ in drei Explosionsgruppen IIA, IIB und IIC eingeteilt. Die Gefährlichkeit nimmt dabei von Explosionsgruppe IIA bis IIC zu. (Die höhere Explosionsgruppe, z. B. IIC, schließt jeweils die niedrigeren IIB und IIA ein.) Ab IEC/EN 60079-0 wird die Kennzeichnung II bei allen Gasschutzarten durch die Angaben IIA, IIB und IIC ersetzt (also jetzt auch ...Ex eb IIC T3 oder ... Ex ec IIC T3)

- IIA, typisches Gas ist Propan
- IIB, typisches Gas ist Ethylen
- IIC, typisches Gas ist Wasserstoff

Temperaturklassen

IEC/EN 60079-0 Explosionsgruppe IIA; IIB; IIC		
Zündtemperatur des Mediums zur Grenztemperatur	Temperaturklasse	Zulässige Oberflächentemperatur des Betriebsmittels einschließlich 40 °C Umgebungstemperatur (Grenztemperatur)
über 450 °C	T1	450 °C
über 300 – 450 °C	T2	300 °C
über 200 – 300 °C	T3	200 °C
über 135 – 200 °C	T4	135 °C
von 100 – 135 °C	T5	100 °C
von 85 – 100 °C	T6	85 °C

Unterteilung der Gerätegruppe III

Elektrische Geräte der Gruppe III sind entsprechend den Eigenschaften der explosionsfähigen Atmosphäre, für die sie bestimmt sind, weiter unterteilt. Das Gefahrenpotenzial des Staubes nimmt im Zusammenhang mit dem Betrieb elektrischer Geräte von IIIA nach IIIC zu. Ein Gerät mit der Kennzeichnung IIIC beinhaltet auch die Eignung für die Gruppen IIIA und IIIB.

- IIIA, brennbare Flusen
- IIIB, brennbarer, nicht elektrisch leitfähiger Staub
- IIIC, brennbarer, elektrisch leitfähiger Staub

Geräteschutzniveau

(Equipment Protection Level (EPL), Definition nach IEC/EN 60079-10-2)

Gasexplosionsschutz:

EPL Ga: Gerät mit „sehr hohem“ Schutzniveau zur Verwendung in gasexplosionsgefährdeten Bereichen, bei denen bei Normalbetrieb, vorhersehbaren oder seltenen Fehlern/Fehlfunktionen keine Zündgefahr besteht

EPL Gb: Gerät mit „hohem“ Schutzniveau zur Verwendung in gasexplosionsgefährdeten Bereichen, bei denen bei Normalbetrieb oder vorhersehbaren Fehlern/Fehlfunktionen keine Zündgefahr besteht

EPL Gc: Gerät mit „erweitertem“ Schutzniveau zur Verwendung in gasexplosionsgefährdeten Bereichen, bei denen während des normalen Betriebes keine Zündgefahr besteht und die einige zusätzliche Schutzmaßnahmen aufweisen, die sicherstellen, dass bei üblicherweise vorhersehbaren Störungen des Gerätes keine Zündgefahr besteht

Staubexplosionsschutz:

EPL Da: Gerät mit „sehr hohem“ Schutzniveau zur Verwendung in brennbaren Staubatmosphären, bei denen bei Normalbetrieb, vorhersehbaren oder seltenen Fehlern/Fehlfunktionen keine Zündgefahr besteht

EPL Db: Gerät mit „hohem“ Schutzniveau zur Verwendung in brennbaren Staubatmosphären, bei denen bei Normalbetrieb oder vorhersehbaren Fehlern/Fehlfunktionen keine Zündgefahr besteht

EPL Dc: Gerät mit „erweitertem“ Schutzniveau zur Verwendung in brennbaren Staubatmosphären, bei denen während des normalen Betriebes keine Zündgefahr besteht und die einige zusätzliche Schutzmaßnahmen aufweisen, die gewährleisten, dass bei üblicherweise zu erwartenden Störungen des Gerätes keine Zündgefahr besteht

Explosionsgefährdeter Bereich nach Richtlinie 2014/34/EU	Gerätegruppe und Kategorie nach Richtlinie 2014/34/EU	Gerätegruppe und Equipment Protection Level (EPL) nach IEC/EN 60079-0
Zone 2	II 3G	II Gc
Zone 1	II 2G	II Gb
Zone 0	II 1G	II Ga
Zone 22	II 3D	III Dc
Zone 21	II 2D	III Db
Zone 20	II 1D	III Da
Bergbau (hohes Sicherheitsniveau)	I M2	I Mb
Bergbau (sehr hohes Sicherheitsniveau)	I M1	I Ma

Definition der Schutzprinzipien

- Explosionsfähige Gemische können in das Gerät eindringen und gezündet werden. Die Explosion überträgt sich nicht auf die das Gerät umgebende, explosionsfähige Atmosphäre. (Ex d)
- Das Gerät besitzt eine Kapselung, die das Eindringen vom explosionsfähigen Gemisch und dessen Kontakt mit wirksamen Zündquellen verhindert. (Ex m, Ex o)
- Explosionsfähige Gemische können in das Gerät eindringen, dürfen aber im Normalbetrieb des Gerätes nicht gezündet werden. Funken und hohe Temperaturen oberhalb der Zündtemperatur des jeweiligen Gases müssen verhindert werden. (Ex ec)
- Explosionsfähige Gemische können in das Gerät eindringen, dürfen aber auch beim Auftreten eines vorhersehbaren Fehlers nicht gezündet werden. Funken und hohe Temperaturen oberhalb der Zündtemperatur des jeweiligen Gases müssen im Normalbetrieb und bei vorhersehbaren Gerätestörungen verhindert werden. (Ex eb)
- Explosionsfähige Gemische können in das Betriebsmittel eindringen, dürfen aber nicht gezündet werden. Die Stromkreise sind in ihrer Energie begrenzt. Funken und hohe Temperaturen dürfen begrenzt auftreten, sodass Gase der für dieses Gerät zulässigen Explosionsgruppe nicht gezündet werden. (Ex i)
- Explosionsfähige Gemische dürfen nicht bzw. nicht in schädigender Menge in das Gerät eindringen. Entscheidend ist somit nur die Einhaltung der maximalen Temperatur der äußeren Oberfläche. (Ex tb, Ex tc)

1.3.2 Zündschutzarten

1.3.2.1 Zündschutzart druckfeste Kapselung „db“

Baubestimmung: IEC/EN 60079-1 (VDE 0170-5)

Definition/Schutzprinzip:

Zündschutzart, bei der die Teile, die eine explosionsfähige Atmosphäre zünden können, in einem Gehäuse angeordnet sind, das bei Explosion eines explosionsfähigen Gemisches im Inneren deren Druck aushält und eine Übertragung der Explosion auf die das Gehäuse umgebende explosionsfähige Atmosphäre verhindert.

- Beachtung der Explosionsgruppe
- Druckfestes Gehäuse
- Einhaltung der geforderten Spaltweiten und -längen
- Anschlusskasten druckfeste Kapselung „db“ oder in erhöhter Sicherheit „eb“
- Temperatur der äußeren Oberfläche muss kleiner als die Zündtemperatur der in der Umgebung auftretenden Gase sein

- Im Inneren darf eine Explosion stattfinden, das Gehäuse muss diesem Druck standhalten und eine Flamme oder zündfähige, heiße Gase dürfen über Spalte nicht nach außen dringen

Prüfungen:

- Bezugsdruck, Druckfestigkeit
- Zünddurchschlag
- Dichtheitsprüfung verklebter Spalte

Anwendungsbereiche:

Betriebsmittel Zone 1 und 2, Kategorie 2G und 3G (Gb, Gc)

1.3.2.2 Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“

Baubestimmung: IEC/EN 60079-7 (VDE 0170-6)

Definition/Schutzprinzip:

Zündschutzart, bei der zusätzliche Maßnahmen getroffen sind, um mit einem erhöhten Grad an Sicherheit die Möglichkeit des Auftretens von unzulässig hohen Temperaturen und des Entstehens von Funken oder Lichtbögen im bestimmungsgemäßen Betrieb oder unter festgelegten außergewöhnlichen Bedingungen zu verhindern.

- Verhinderung von Funken und anderen Zündquellen
- Gehäuse mindestens IP 54 bei blanken, spannungsführenden Teilen im Innenraum
- Gehäuse mindestens IP 44, wenn im Innenraum alle spannungsführenden Teile isoliert sind
- Temperaturen der äußeren und inneren Oberflächen müssen sowohl im Normalbetrieb als auch im Fehlerfall (Blockieren des Motors) kleiner als die Zündtemperatur sein
- Beachtung der Kriech- und Luftstrecken

- besondere Beachtung der Isolierstoffe und Dichtungen
- Schutzeinrichtungen (Temperaturüberwachung und/oder Überstromschalter mit I_A/I_N -t-Zeit-Kennlinie) beim Anwender erforderlich
- Frequenzumrichterbetrieb siehe Kapitel 3

Prüfungen:

- Isolationsprüfung
- Temperaturmessung bei definierten Fehlern
- zusätzliche Prüfungen bei bestimmten Betriebsmitteln (TMS-Vollschutz)

Anwendungsbereiche:

Betriebsmittel Zone 1 und 2, Kategorie 2G und 3G (Gb, Gc)

1.3.2.3 Zündschutzart erhöhte Sicherheit „ec“

Baubestimmung: IEC/EN 60079-7 (alt: IEC/EN 60079-15 (VDE 0170-16))

Definition/Schutzprinzip:

Zündschutzart elektrischer Betriebsmittel, bei der für den normalen Betrieb erreicht wird, dass die Betriebsmittel nicht in der Lage sind, eine umgebende explosionsfähige Atmosphäre zu zünden. Die Konstruktion gewährleistet, dass das Risiko des Auftretens von Lichtbögen oder Funken, die eine Zündgefahr während des normalen Gebrauchs entstehen lassen können, minimiert wird.

- Verhinderung von Funken und anderen Zündquellen
- Gehäuse mindestens IP 54 bei blanken, spannungsführenden Teilen im Innenraum
- Gehäuse mindestens IP 44, wenn im Innenraum alle spannungsführenden Teile isoliert sind
- Beachtung der Kriech- und Luftstrecken
- Besondere Beachtung der Isolierstoffe und Dichtungen

- Temperaturen der äußeren und inneren Oberflächen müssen im Normalbetrieb kleiner als die Zündtemperatur sein
- bei Bemessungsspannungen bis 1 kV und einer Gehäuseschutzart von mindestens IP 44 darf der Klemmenkasten zum Motorinneren zu öffnen sein

Prüfungen:

- Isolationsprüfung
- Temperaturmessung
- zusätzliche Prüfungen bei bestimmten Betriebsmitteln (FU-Betrieb)

Anwendungsbereiche:

Betriebsmittel Zone 2, Kategorie 3G (Gc)

1.3.2.4 Zündschutzart Überdruckkapselung „p“

Baubestimmung: IEC/EN 60079-2 (VDE 0170-3)

Definition/Schutzprinzip:

Zündschutzart elektrischer Betriebsmittel, bei der das Eindringen einer umgebenden Atmosphäre in das Gehäuse dadurch verhindert wird, dass ein Zündschutzgas in seinem Inneren unter Vordruck gegenüber der umgebenden Atmosphäre gehalten wird.

Der Überdruck wird mit oder ohne laufende Zündgasspülung aufrechterhalten.

- Gehäuse mindestens IP 4X
- Überwachungseinrichtungen
- Gasaustritt
- Containment System

Prüfungen:

- Vorspülzeit
- Leckverluste
- Überdruckprüfung (1,5 x P)
- Mindestdurchfluss

Anwendungsbereiche:

Betriebsmittel Zone 1 und 2, Kategorie 2G und 3G (Gb, Gc)

Weitere Gas-Zündschutzarten ohne detailliertere Betrachtung, die für Elektromotoren nicht relevant sind:

1.3.2.5 Zündschutzart Sandkapselung „q“

Baubestimmung: IEC/EN 60079-5 (VDE 0170-4)

Definition/Schutzprinzip:

Zündschutzart, bei der die Teile eines Betriebsmittels, die zu einer wirksamen Zündquelle werden können, fest in ihrer Position angeordnet und vollständig vom Füllgut umgeben sind, um eine Zündung einer äußeren explosionsfähigen Atmosphäre zu verhindern.

- Füllgut
- Verschlüsse
- Abstände
- Gehäuse mindestens IP 54
- Energiespeicher

Prüfungen:

- Druckprüfung (50 kPa)
- Isoliervermögen Füllgut
- Entflammbarkeit von Kunststoffen

Anwendungsbereiche:

Kategorie 2G (Gb)
Kondensatoren, Primärelemente, Transformatoren, Vorschaltgeräte und Sensoren

1.3.2.6 Zündschutzart Ölkapselung „o“

Baubestimmung: IEC/EN 60079-6 (VDE 0170-2)

Definition/Schutzprinzip:

Zündschutzart, bei der das elektrische Betriebsmittel oder Teile des Betriebsmittels derart in eine Flüssigkeitskapselung eingetaucht ist/sind, dass eine gasexplosionsgefährdete Atmosphäre, die sich oberhalb der Flüssigkeit oder außerhalb der Kapselung befinden kann, nicht gezündet werden kann.

- Schutzflüssigkeit
- Mindestfüllhöhe
- Schutzart IP 66
- Füllstandsüberwachungseinrichtung
- Energiespeicher

Prüfungen:

- Überdruckprüfung
- Temperaturen

Anwendungsbereiche:

Kategorie 2G (Gb),
Transformatoren, Schaltgeräte, Anlasswiderstände

1.3.2.7 Zündschutzart Eigensicherheit „ia/ib“

Baubestimmung: IEC/EN 60079-11 (VDE 0170-7)

Definition/Schutzprinzip:

Eigensicherer Stromkreis ist ein Stromkreis, in dem keine Funken und keine thermischen Effekte auftreten, die unter den in dieser Norm festgelegten Prüfbedingungen (die den normalen Betrieb und bestimmte Fehlerbedingungen umfassen) die eine Zündung einer bestimmten explosionsfähigen Atmosphäre verursachen können.

- Trennabstände
- Isolierungen
- Bauelemente

Prüfungen:

- Funkenprüfung
- Isolationsprüfung
- Zündprüfung bei kleinen Bauteilen
- Leistungsbetrachtung

Anwendungsbereiche:

Kategorie 1G, 2G und 3G, 1D, 2D und 3D,
EPL Ga, Gb und Gc, Mess- und Regelelektronik, Sensoren, PC-Schnittstellen

1.3.2.8 Zündschutzart Vergusskapselung „m“

Baubestimmung: IEC/EN 60079-18 (VDE 0170/0171-9)

Definition/Schutzprinzip:

Zündschutzart, bei der die Teile, die eine explosionsfähige Atmosphäre durch Funken oder Erwärmung zünden können, in eine Vergussmasse so eingebettet sind, dass die explosionsfähige Atmosphäre unter Betriebs- und Installationsbedingungen nicht gezündet werden kann.

- Vergussmasse
- Schutzniveau
- Abstände und Hohlräume

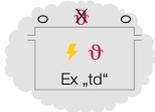
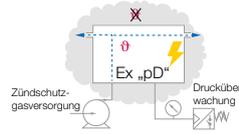
Prüfung:

- Wasseraufnahme
- Wärme- und Kältebeständigkeit
- thermische Zyklusprüfung
- Isolationsprüfung

Anwendungsbereiche:

Kategorie 1G (ma) und 2G (mb)
EPL Ga und Gb
Schaltgeräte für geringe Leistung, Sensoren, Magnetspulen, Melde- und Befehlsgeräte

1.4 Übersicht Zündschutzarten Staubexplosionsschutz

Allgemeine Anforderungen		IEC/EN 60079-0
Schutz durch Gehäuse („tx II/III T --- °C Dx“)		IEC/EN 60079-31
Überdruckkapselung „pD“ („p III/IIIY Dx“)		EN 61241-4 (IEC/EN 60079-2)
Eigensicherheit „iD“ („ix III/IIIY Dx“)		IEC/EN 60079-11
Vergusskapselung „mD“ („mx III/IIIY Dx“)		IEC/EN 60079-18

x = EPL, Y = Explosionsgruppe

Beispielkennzeichnung Schutz durch Gehäuse:  II 2D Ex tb IIIC T125 °C Db

1.4.1 Zündschutzart Schutz durch Gehäuse „tx II/IIIY Dx“

Baubestimmung: IEC/EN 60079-31 (VDE 0170-15-1)

Schutzprinzip:

Geräte mit potenziellen Zündquellen für die umgebende staubhaltige Atmosphäre werden von einem Gehäuse umschlossen. Somit wird eine Berührung mit der äußeren explosionsfähigen Atmosphäre unterbunden. Nachweis der max. Oberflächentemperatur gemäß Kategorie. Mindestschutzart IP 5X/6X (EN 60529)

Neu: Druckprüfung vor der Staubprüfung

- mit einem Überdruck von
 - 4 kPa bei Geräten mit Schutzniveau „ta“
 - 2 kPa bei Geräten mit Schutzniveau „tb“ oder „tc“

Begrenzung des anzunehmenden Kurzschlussstromes 10 kA für EPL Da

Temperaturbegrenzung abhängig vom EPL

Bestimmung der Oberflächentemperatur für EPL Da mit einer Staubauflage von mindestens 500 mm auf allen zugänglichen Flächen.

Prüfungen:

- IP-Schutzartprüfung
- Alterungsbeständigkeit der im Gerät verwendeten Kunststoffe
- Stoßprüfung
- Dichtheit
- Thermische Prüfung mit Überlast- bzw. Fehlerbedingung

Gruppeneinteilung:

- IIIA, brennbare Flusen
- IIIB, nicht leitfähiger Staub
- IIIC, leitfähiger Staub

Schutz gegen Staubeintritt nach Tab. 1, IEC/EN 60079-31

Gruppe	Level of protection	Gehäuse - Schutzgrad
III A (Flusen, fibers)	ta	IP 6X
	tb	IP 5X
	tc	IP 5X
III B (nicht leitfähige Stäube)	ta	IP 6X
	tb	IP 6X
	tc	IP 5X
III C (leitfähige Stäube)	ta	IP 6X
	tb	IP 6X
	tc	IP 6X

Die weiteren Staub-Zündschutzarten, die für Elektromotoren nicht relevant sind:

1.4.2 Zündschutzart Überdruckkapselung „pD“

Baubestimmung: EN 61241-4
IEC/EN 60079-2 („p IIIY Dx“)

Definition/Schutzprinzip:

Zündschutzart elektrischer Betriebsmittel, bei der das Eindringen einer umgebenden Atmosphäre in das Gehäuse dadurch verhindert wird, dass ein Zündschutzgas in seinem Inneren unter Überdruck (> 50 Pa) gegenüber der umgebenden Atmosphäre gehalten wird.

Der Überdruck wird mit oder ohne laufende Zündgas-spülung aufrechterhalten.

- Gehäuse mindestens IP 4X
- Überwachungseinrichtungen
- Gasaustritt
- Containment System

Prüfungen:

- Vorspülzeit
- Dichtigkeit
- Überdruckprüfung (1,5 x P; > 200 Pa)
- Stoßprüfung

Anwendungsbereiche:

Schaltgeräte, Transformatoren, komplexe Betriebsmittel, Schränke

1.4.3 Zündschutzart Eigensicherheit „iD“

Baubestimmung:
IEC/EN 60079-11 (VDE 0170-7) („ix IIIY Dx“)

Definition/Schutzprinzip:

Begrenzung der elektrischen Energie (Spannung, Strom, Induktivität, Kapazität) und damit der auftretenden Oberflächentemperaturen, damit keine Zündung eines Staub-Luft-Gemisches durch Funken oder thermische Effekte bei eigensicheren Geräten im normalen Betrieb und bei bestimmten Fehlerbedingungen in Anlehnung an IEC/EN 60079-11.

- Trennabstände
- 2/3-Auslastung
- Nichtstöranfälligkeit

Prüfungen:

- Funkenprüfung
- Isolationsprüfung
- Zündprüfung bei kleinen Bauteilen
- Leistungsbetrachtung
- kein IP gefordert

Anwendungsbereiche:

MSR-Technik, Sensorik, mobile Messtechnik

1.4.4 Zündschutzart Vergusskapselung „mD“

Baubestimmung:
IEC/EN 60079-18 (VDE 0170/0171-9) („mx IIIY Dx“)

Definition/Schutzprinzip:

Zündschutzart, bei der die Teile in eine Vergussmasse so eingebettet sind, dass die explosionsfähige Atmosphäre unter Betriebs- und Installationsbedingungen nicht gezündet werden kann.

- Mindestanforderungen an Vergussmasse (TI-Wert)
- Mindestvergussdicke (3 mm „ma“ und 1 mm „mb“)
- Fehlerbetrachtung im Verguss
- Schutzniveau
- Abstände, Hohlräume
- Bemessungswerte

Prüfung:

- Wasseraufnahme
- Nachweis der max. Oberflächentemperatur
- Wärme- und Kältebeständigkeit
- thermische Zyklusprüfung
- Isolationsprüfung

Anwendungsbereiche:

Schaltgeräte für geringe Leistung, Befehls- und Meldegeräte, Magnetspulen, Ultraschallsensoren

1.5 Kennzeichnungen nach unterschiedlichen Normenausgaben

Motoren der Kategorie 3 werden auf dem Leistungsschild nur mit dem CE-Kennzeichen gekennzeichnet. Die Kennnummer NB für QS n. 2014/34/EU (alt: RL 94/9/EG) darf bei diesen Betriebsmitteln nicht angegeben werden.

Eine der Änderungen in der EN 60079-0:2009 (DIN EN 60079-0:2010) gegenüber den vorherigen Ausgaben war die Einführung des Geräteschutzniveaus (EPL). In diesem Zusammenhang ändert sich die bisherige Kennzeichnung von explosionsgeschützten Motoren durch die Ergänzung des Equipment Protection Levels in der Explosionschutz-

kennzeichnung. Zusätzlich zu den Angaben entsprechend den ATEX-Richtlinien (beispielsweise Ex II 2G für Motoren der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“) wird künftig auf dem Typenschild auch das Geräteschutzniveau (Ex eb IIC T3 Gb) angegeben.

Die Norm lässt unter bestimmten Voraussetzungen neben der eigentlichen EPL-Kennzeichnung auch eine alternative (verkürzte) Kennzeichnung zu. Diese wird von VEM motors nicht angewendet.

Kennzeichnung nach RL 2014/34/EU			Alte Bezeichnungen (ungültig)	Bezeichnung nach (ungültig)	Bezeichnung nach (aktuell)	künftig aktuelle Bezeichnung nach
EU	Nr. NB	Gruppe/Kategorie/ G (Gas) o. D (Staub/Dust)	(EN 50014 ff., und EN 50281,...)	EN 60079-0:2006 und EN 61241-0:2004	EN 60079-0:2009 mit EPL	EN 60079-0:2012/A11:2013 mit EPL
CE	0102	II 2G	EN 50019 EEx e II T2, T3 oder T4	EN 60079-7 Ex e II T2, T3 oder T4	EN 60079-7 Ex e IIC T3 Gb	EN 60079-7 Ex eb IIC T3 Gb
CE		II 3G	EN 50021, IEC 79-15 EEx nA II T2, T3 oder T4	EN 60079-15 Ex nA II T2, T3 oder T4	EN 60079-15 Ex nA IIC T3 Gc	EN 60079-7 Ex ec IIC T3 Gc
CE	0102	II 2D	EN 50281-1-1 IP 65 T 125 °C	EN 61241-1 Ex tD A21 IP 65 T 125 °C	EN 60079-31 Ex tb IIIC T 125 °C Db	EN 60079-31 Ex tb IIIC T 125 °C
CE		II 3D	EN 50281-1-1 IP 55 T 125 °C (IP 65 leitfähiger Staub)	EN 61241-1 Ex tD A22 IP 55 T 125 °C (IP 65 leitfähiger Staub)	EN 60079-31 Ex tc IIIB T 125 °C Dc (Ex tc IIIC T 125 °C Dc)	EN 60079-31 Ex tc IIIB T 125 °C (Ex tc IIIC T 125 °C)

Kombination Gas oder Staub

CE	0102	II 2D	IP 65 T 125 °C EEx e II T2, T3 oder T4	Ex tD A21 IP 65 T 125 °C Ex e II T2, T3 oder T4	Ex tb IIIC T 125 °C Db Ex e IIC T3 Gb	Ex tb IIIC T 125 °C Ex eb IIC T3
		II 2G				
CE	0102	II 3D	IP 55 T 125 °C (IP 65 leitfähiger Staub) EEx e II T2, T3 oder T4	Ex tD A22 IP 55 T 125 °C (IP 65 leitfähiger Staub) Ex e II T2, T3 oder T4	Ex tc IIIB T 125 °C Dc (Ex tc IIIC T 125 °C Dc) Ex e IIC T3 Gb	Ex tc IIIB T 125 °C (Ex tc IIIC T 125 °C) Ex eb IIC T3 Gb
		II 2G				
CE	0102	II 2D	IP 65 T 125 °C EEx nA II T2, T3 oder T4	Ex tD A21 IP 65 T 125 °C Ex nA II T2, T3 oder T4	Ex tb IIIC T 125 °C Db Ex nA IIC T3 Gc	Ex tb IIIC T 125 °C Ex ec IIC T3 Gc
		II 3G				
CE		II 3D	IP 55 T 125 °C (IP 65 leitfähiger Staub) Ex nA II T2, T3 oder T4	Ex tD A22 IP 55 T 125 °C (IP 65 leitfähiger Staub) Ex nA II T2, T3 oder T4	Ex tc IIIB T 125 °C Dc (Ex tc IIIC T 125 °C Dc) Ex nA IIC T3 Gc	Ex tc IIIB T 125 °C (Ex tc IIIC T 125 °C) Ex ec IIC T3 Gc
		II 3G				

[Bei Angabe einer maximalen Oberflächentemperatur: Zone 2 (Gas): Gesamte Oberfläche einschließlich Läufer und Wicklungen; bei Zone 21, 22 (Staub): Äußere Oberfläche (Gehäuse, Welle)]

Notifizierte Stelle

Kennnummer 0102... Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig
0637... IBExU Institut für Sicherheitstechnik GmbH, Freiberg
0158... DEKRA EXAM GmbH

Als Kennnummer ist die Nummer der notifizierte Stelle anzugeben, die die Zertifizierung nach RL 2014/34/EU durchgeführt hat. Dies ist nicht immer deckungsgleich zur EU-Baumusterprüfbescheinigung.

Typenschildbeispiele:

VEM motors GmbH D 38855 Wernigerode Made in Germany		VEM		II 3D		Th.Kl./Th.cl./Cl.th. 155	
3-Mot.Nr./N°/M. 193015 / 0001 H		K21R 180 M2 Ex 3D TPM VIK HW		Ex tc IIIB T125°C Dc		IP 55 175 kg	
V	Hz	cos φ	A	min ⁻¹ /r.p.m./rev/m	kW		
500	Y	50	0,90	31,0	2940	22,0	
Umrichterbetrieb/Converter feeding/Alim. par convertisseur							
500	Y	50	0,90	31,0	2940	22,0	
100	Y	10	0,90	22,5	560	3,0	
50	Y	5	0,91	19,5	265	1,2	
16							
IM B3				02/2013		IEC / EN 60034-1	
Fett/Grease/Graisse							
DE	6310 C3 DIN625	cm ³	h				
NE	6310 C3 DIN625	cm ³	h				

Motor zum Einsatz in Zone 22

VEM motors Thurm GmbH Made in Germany		VEM		DIN EN 60034-1	
Umrichterbetrieb nur mit Sinus-Filter					
Th.Kl.		3-Mot		IP	
kW cos φ		min ⁻¹ IM			
°C	Hz	V		kg	
A		mm		kgcm ²	
M _{Br}	Nm	c/h	L _{Spmax}	J _{Ext max}	
Ex nA IIC T3 Gc			Ex tc IIIC T125°C Dc		
max. Temp. °C			II 3D		
II 3G					

Motor mit Doppelkennzeichnung zum Einsatz in Zone 2 und 22

Einige Kunden (und vielleicht auch Hersteller) sehen eine Kennzeichnungspflicht nach den neuen Normen bereits seit dem 01.06.2012, dem Datum des Auslaufens der alten Norm. Diese Sichtweise ist falsch. Das einzige Dokument, was die Konformität unserer Ex-Motoren mit den ATEX-Vorschriften deklariert, ist die EU-Konformitätserklärung. Auf den Explosionsschutzseiten der PTB Braunschweig gibt es Dokumente, die diesen Sachverhalt belegen (**Kommentar zur Bedeutung der Anforderung der EU-Richtlinie 2014/34/EU (alt: RL 94/9/EG), Anhang II, Teil A, Auswirkungen der Ablösung bestehender durch neue harmonisierte Normen, Hinweise zur Ausstellung von EU-Konformitätserklärungen nach EU-Richtlinie 2014/34/EU nach dem Erscheinen einer neuen Normenausgabe**).

Zweites Typenschild bei Ex-Motoren lose beigelegt

In einigen Fällen besteht auch bei Ex-Motoren der Wunsch des Kunden nach einem lose beigelegten Typenschild. In der Regel handelt es sich hierbei um Maschinen oder Anlagen, bei denen das am Motor angebrachte Typenschild im eingebauten Zustand nicht mehr lesbar ist. Die aktuellen Normen lassen jedoch die Mitlieferung eines lose beigelegten, kompletten Typenschildes nicht zu.

Die Kennzeichnung von Ex-Erzeugnissen ist in IEC/EN 60079-0, Kapitel 29 geregelt.

Grundsätzlich gilt dabei: „Es ist unerlässlich, dass das nachstehende Kennzeichnungssystem nur auf elektrische Geräte

oder Ex-Bauteile angewendet wird, die den in Abschnitt 1 aufgelisteten, für die jeweilige Zündschutzart geltenden zutreffenden Normen entsprechen.“

Das bedeutet, dass keine Ex-Kennzeichnung nach IEC/EN 60079-0 an Bauteilen oder Erzeugnissen angebracht werden darf, die nicht den Ex-relevanten Normen entsprechen und somit auch nicht durch Hersteller oder notifizierte Stelle bescheinigt sind.

Weiterhin wird in IEC/EN 60079-0, Kapitel 29.1 die Kennzeichnungsstelle geregelt.

„Das elektrische Gerät muss deutlich lesbar auf dem Hauptbauteil auf der Außenseite des Gehäuses gekennzeichnet sein und muss vor der Installation des Gerätes lesbar sein.“ Das bedeutet, dass das mit einer Ex-Kennzeichnung versehene Bauteil einer Maschine/Anlage als Hauptbauteil des nach ATEX bescheinigten Gerätes gilt.

Damit ist es unzulässig, ein zweites Typenschild mit Ex-Kennzeichnung und Ex-Angaben mit dem Motor zu liefern, um es irgendwo außerhalb des Motorgehäuses zu befestigen.

Als Alternative, z. B. bei schlechter Lesbarkeit des Motor-Haupttypenschildes im Einbauzustand, kann ein zweites bzw. zusätzliches Motor-Informationsschild ohne Ex-Kennzeichnung (siehe untenstehende Beispiele, mit Angaben Motornummer und allen elektrischen Angaben) geliefert werden.

VEM motors GmbH D 38855 Wernigerode 0637 Made in Germany		VEM		II 2G		Exe IIC T2/T3 Gb IP 65	
3-Mot.Nr./N°/M. 186675 / 0001		K11R 160 L4 Exe II T2/T3 2D VIK HW		Ex tb IIIC T125 °C Db			
V	Hz	cos φ	A	min ⁻¹ /r.p.m./rev/m	kW		
400/690 D/Y	50	0,86	26,0/15,1	1470	13,5		
Beschein./Certif. 2G: PTB 08 ATEX 3038/05 Beschein./Certif. 2D: IBExU 09 ATEX 1065							
l ₁ /h ₁	7,2	t ₁	10	s	Th.Kl./Th.cl./Cl.th.	155	
Prüfung/Test/Essai 01.02.2013				136 kg		IEC / EN 60034-1	
IM B35				02/2013			
Fett/Grease/Graisse							
DE	6310 2RS C3 DIN625	cm ³	h				
NE	6309 2RS C3 DIN625	cm ³	h				

Motor zum Einsatz in den Zonen 1 und 21

VEM motors GmbH D 38855 Wernigerode Made in Germany		VEM		1	
Ex-Kennzeichnung siehe Motorhaupttypenschild/ Ex-identification see main name plate					
3-Mot.Nr./N° 186675 / 0001		K11R 160 L4 Exe II T2/T3 2D VIK HW			
Typ/Type		13,5 kW cos φ 0,86			
400/690 D/Y	V	26,0/15,1 A			
1470	min ⁻¹ /r.p.m.	50 Hz			
Th.Kl./Th.cl.	155	IP	65	136 kg	
02/2013		IEC / EN 60034-1			
Fett/Grease					
DE	6310 2RS C3 DIN625	cm ³	h		
NE	6309 2RS C3 DIN625	cm ³	h		

Zugehöriges zusätzliches Typenschild ohne Ex-Kennzeichnung

Die Norm IEC/EN 60079-0 ist die Grundlage der mechanischen Ausführung aller elektrischen Maschinen zum Einsatz in explosionsgeschützten Bereichen. Bei der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ (IEC/EN 60079-7) liegen dabei die Schwerpunkte auf den folgenden Bereichen, die entsprechenden Prüfungen unterzogen werden müssen:

Kabel- und Leitungseinführung:

Durchführung von Zugprüfungen, Härtezunahme der Elastomere: IEC/EN 60079-0

Materialpaarungen:

Vermeidung der Bildung von Reib- und Schlagfunken

Luft- und Kriechstrecken:

Einhaltung der Luft- und Kriechstrecken gemäß IEC/EN 60079-7 zur Vermeidung zündfähiger elektrischer Entladungen und Funkenüberschläge

Abstand zwischen bewegten Teilen:

Vermeidung des mechanischen Anschleifens während des Betriebes. Bei Asynchronmaschinen müssen z. B. die Luftspaltmindestwerte gemäß IEC/EN 60079-7 zwischen Stator und Rotor eingehalten werden.

Stoßprüfung:

Sicherstellen eines ausreichenden Schutzes gegenüber mechanischen Beschädigungen

Lüfterprüfung:

Überprüfung der mechanischen Stabilität des Lüfters

Kunststoffprüfung:

Überprüfung der Wärme- und Kältebeständigkeit der verwendeten Kunststoffe, Überprüfung der Temperaturbestän-

digkeit der Dichtungen. Bei Kunststoffoberflächen mit einer zusammenhängenden Fläche größer als in IEC/EN 60079-0 in Abhängigkeit der Explosionsgruppe spezifiziert, muss die Problematik elektrostatischer Aufladungen betrachtet werden.

IP-Schutz:

Überprüfung der IP-Schutzart des Betriebsmittels gegenüber festen Fremdkörpern und Flüssigkeiten. Wenn bei der Prüfung festgestellt wurde, dass die oben genannten Punkte im Sinne der normativen Anforderungen erfüllt sind, wird durch die Prüfstelle ein mechanischer Prüfbericht ausgestellt, der die Basis für die EU-Baumusterprüfbescheinigung bildet. Weiterhin gehören auch eine Überprüfung der Betriebsanleitung dazu und Unterlagen, die die mechanische Ausführung der Baureihe beschreiben. Spätere Änderungen durch den Hersteller sind nur nach Rücksprache mit der Prüfstelle erlaubt, u. U. sind Nachträge oder neue EU-Baumusterprüfbescheinigungen erforderlich.

Wicklungsgestaltung und elektrisch-thermische Prüfung:

Kein Teil eines elektrischen Betriebsmittels darf eine höhere Temperatur annehmen, als die Temperaturbeständigkeit der verwendeten Werkstoffe erlaubt. Außerdem darf keine Oberfläche eines Teils des Betriebsmittels, einschließlich der inneren Teile, die je nach Zündschutzart mit der explosionsfähigen Atmosphäre in Berührung kommen könnten, eine höhere Temperatur annehmen als die höchsten Oberflächen-temperaturen nach IEC/EN 60079-0.

Die Grenztemperatur isolierter Wicklungen darf bei Motoren der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ die Werte entsprechend IEC/EN-60079-7 (Tabelle 3) nicht überschreiten, denen die thermische Beständigkeit der Isolierstoffe zugrunde liegt.

Tabelle 3 – Grenztemperaturen für isolierte Wicklung

	Temperatur-Messverfahren (siehe Anmerkung 1)	Wärmeklasse Isolierung nach IEC 60085 (siehe Anmerkung 2)					
		105 (A) °C	120 (E) °C	130 (B) °C	155 (F) °C	180 (H) °C	
Grenztemperatur bei Bemessungsbetrieb							
1	a) einlagige isolierte Wicklung	Widerstand oder Temperatur	95	110	120	130	155
	b) andere isolierte Wicklungen	Widerstand	90	105	110	130	155
		Temperatur	80	95	100	115	135
2	Grenztemperatur am Ende der Zeit t_c (siehe Anmerkung 3)	Widerstand	160	175	185	210	235

Anmerkung 1: Messung mit Thermometer ist nur zulässig, wenn die Messung durch Änderung des Widerstandes nicht möglich ist. In diesem Zusammenhang hat „Thermometer“ dieselbe Bedeutung wie in IEC/EN 60034-1 (zum Beispiel ein Kugelthermometer, ein nicht eingebettetes Thermoelement oder ein Widerstandstemperaturgeber (RTD), die an den Punkten angewendet werden, die für ein übliches Kugelthermometer zugänglich sind).

Anmerkung 2: Gilt als ein vorläufiges Maß, bis Werte vorgeschrieben wurden; die in IEC 60085 durch Zahlen bezeichneten höheren Wärmeklassen von Isolierstoff werden als gültig für die in Klasse 180 (H) angegebenen Grenztemperaturen angesehen.

Anmerkung 3: Diese Werte setzen sich zusammen aus der Umgebungstemperatur, der Übertemperatur der Wicklung bei Bemessungsbetrieb und der Temperaturzunahme während der Zeit t_c .

Die elektrisch-thermische Auslegung und Prüfung ist neben der mechanischen Ausführung ein sehr wichtiger Schritt auf dem Weg zur EU-Baumusterprüfbescheinigung bei einer explosionsgeschützten elektrischen Maschine. Die bei der Prüfung der Motoren ermittelten Daten bilden die Basis des Datenblattes der EU-Baumusterprüfbescheinigung und gewährleisten bei deren Einhaltung einen sicheren Betrieb des Motors.

Die elektrisch-thermische Prüfung umfasst die folgenden Punkte:

- **Überprüfung, ob die Wicklungsausführung den Kriterien der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ gerecht wird**
- **Bestimmung/Verifizierung der Bemessungsdaten der Maschine**
- **Bestimmung der Dauerbetriebserwärmung**

Bei der Durchführung der Erwärmungsmessung werden der Prüfling mit der vorgesehenen mechanischen Last belastet und während des Versuches die aufgenommene elektrische Leistung, die abgegebene mechanische Leistung sowie Strom, Spannung, Drehzahl und Drehmoment gemessen und automatisch protokolliert. Die Messung kann dann beendet werden, wenn sich die während des Betriebes am Gehäuse gemessenen Temperaturen um weniger als 2 K pro Stunde ändern (thermischer Beharrungszustand gemäß IEC/EN 60034). Die Temperatur der Statorwicklung wird über die temperaturabhängige Widerstandsveränderung aus einer Wicklungswiderstandsmessung bei kalter Maschine vor dem Versuch und bei betriebswarmer Maschine nach Erreichen des thermischen Beharrungszustandes berechnet. Die Rotortemperaturmessung erfolgt nach dem Versuch über einen durch eine Öffnung im Lagerschild eingeführten Fühler am Kurzschlussring.

Temperaturmessung

Die Temperaturmessung am Gehäuse erfolgt über Thermo-elemente, die in kleinen Bohrungen verstemmt werden, um einen möglichst guten Wärmeübergang zu gewährleisten. Zusätzlich erfolgt eine Temperaturmessung an Elastomerdichtungen, an Kabeleinführung und Aderverzweigung sowie an eventuell vorhandenen Anbauteilen. Es muss sichergestellt werden, dass sowohl die Grenztemperatur der Temperaturklasse, für die der Motor zertifiziert werden soll, als auch die zulässigen Dauereinsatztemperaturen der verwendeten Kunststoffe und Anbauteile nicht überschritten werden. Die Temperaturmessung des Stators und des Rotors ist bei den Zündschutzarten erhöhte Sicherheit „eb“ für die Zone 1 und erhöhte Sicherheit „ec“ (alt: „nA“) für die Zone 2 erforderlich. Bei den Zündschutzarten druckfeste Kapselung „db“ und Schutz durch Gehäuse (Staub) muss nur die Erwärmung der äußeren Oberflächen geprüft werden. Eine weitere wichtige Messung ist die Bestimmung der Erwärmung im blockierten Zustand (nur Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“).

Bild 1.2 zeigt beispielhaft den während einer Erwärmungsmessung bestimmten Temperaturverlauf am Gehäuse. Beendet ist die Messung bei Erreichen des „thermischen Beharrungszustandes“, d.h. einer Temperaturänderungsgeschwindigkeit kleiner als 2 K/h.

Zur Beurteilung der Messung unter den Aspekten der Grenztemperaturen der verwendeten Elastomere muss für jede derartige Messstelle (z. B. Dichtung) die nach dem Abschalten des Motors auftretende höchste Temperatur berücksichtigt werden.

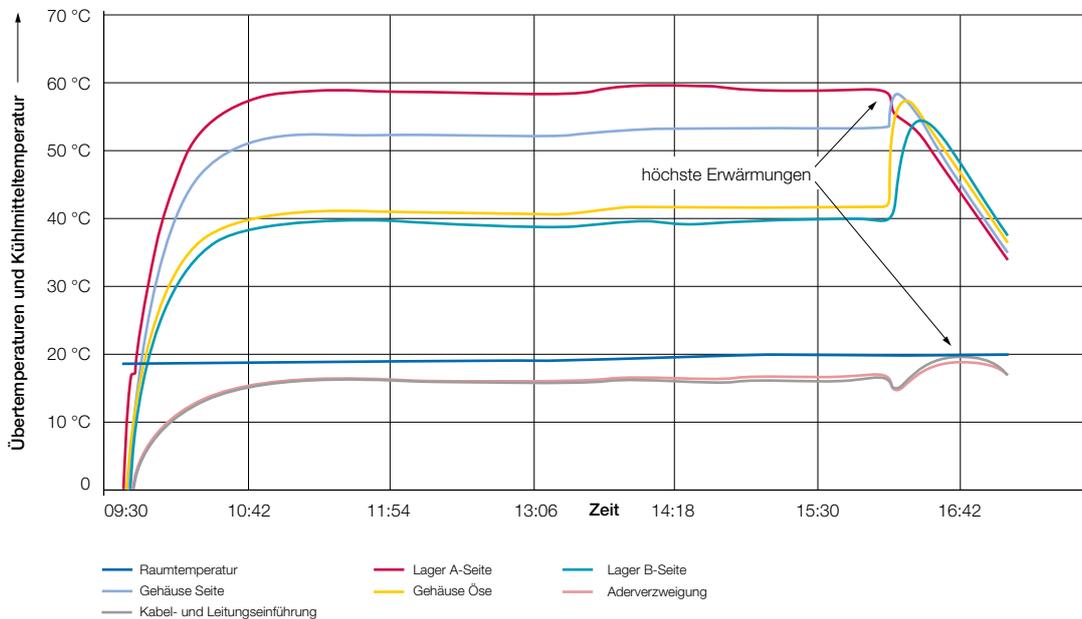


Bild 1.2: Beispielhafter Verlauf der Gehäusetemperatur während des Versuches

Überprüfung des Maschinenschutzes/Bestimmung der Zeit t_E und des Verhältnisses Anzugsstrom/Bemessungsstrom

Dieser Fehlerfall kann z. B. bei einer blockierten Arbeitsmaschine auftreten. Charakteristisch hierfür ist, dass der Motorstrom ein Mehrfaches des Bemessungsstromes erreicht (z. B. siebenfach) und sich die Maschine innerhalb kürzester Zeit sehr stark erwärmt. Ohne Motorschutz wären die zulässigen Grenztemperaturen innerhalb weniger Sekunden überschritten. Daher muss die Maschine über eine zeitabhängige Überstromschutzeinrichtung (Motorschutzschalter) oder über in die Wicklung eingebettete Kaltleiter vor unzulässigen Erwärmungen infolge Überlastung geschützt werden.

Zur Messung der Maschinenerwärmung im festgebremsten Zustand wird der Rotor über die Länge gestaffelt mit Thermoelementen präpariert und der blockierte Motor für eine definierte Zeit, z. B. 15 s, eingeschaltet. Der Temperaturverlauf des Rotors wird über einen Temperaturschreiber aufgezeichnet, die Statorwicklungstemperatur wird nach dem Abschalten über die Wicklungswiderstandserhöhung bestimmt. Der Blockierversuch wird mit beiden Drehfeldrichtungen durchgeführt, wobei sich bei geschrägt ausgeführten Läuferstäben im Rotor messbare Unterschiede in der Erwärmung ergeben. Für die weitere Auswertung wird das Drehfeld mit den größten Erwärmungen herangezogen.

Bei Maschinen der Zündschutzart druckfeste Kapselung „db“ muss der Blockierfall nicht betrachtet werden, da angenommen wird, dass bei einem dem Stand der Technik entsprechenden Motorschutz aufgrund der hohen Wärmekapazität des Statorblechpaketes und des Gehäuses an der Gehäuseoberfläche keine zündgefährlichen Erwärmungen auftreten.

Bei der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „ec“ (alt: „nA“) für die Zone 2 muss der Fehlerfall, also der blockierte Zustand, ebenfalls nicht betrachtet werden.

Zeit t_E

Die Zeit t_E ist eine sehr wichtige Größe im Datenblatt der EU-Baumusterprüfbescheinigung für die Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“. Dieser Wert sagt aus, nach welcher Zeit die Überstromschutzeinrichtung (Motorschutzschalter) den Motor im blockierten Zustand spätestens abschalten muss.

Zu deren Bestimmung werden die Dauerbetriebserwärmung und die Temperaturanstiegsgeschwindigkeit im blockierten Zustand für Stator und Rotor benötigt. Bei der Berechnung wird ausgehend von der Dauerbetriebstemperatur und den maximal zulässigen Temperaturen für Rotor und Stator die maximal zulässige Temperaturzunahme im blockierten Zustand ermittelt und über die Temperaturanstiegsgeschwindigkeit die maximale Zeitdauer für den blockierten Zustand für beide Drehfeldrichtungen berechnet. Der kleinere der beiden Zahlenwerte ergibt abzüglich eines Sicherheitsabchlages von mindestens 5 % die Zeit t_E . Wird die Maschine über eine Einrichtung zur direkten Temperaturüberwachung, z. B. Kaltleiter, geschützt, so muss durch einen Überlastversuch und einen Abschaltversuch bei blockierter Maschine nachgewiesen werden, dass auch im Fehlerfall keine unzulässigen Temperaturen auftreten. Die t_A -Zeit ist dann an Stelle der t_E -Zeit Bestandteil der EU-Baumusterprüfbescheinigung, das I_A/I_N wird nicht angegeben. Die maximal zulässigen Erwärmungen ergeben sich aus den Normen IEC/EN 60079-0 (Temperaturklassen) und IEC/EN 60034 (Wärmeklassen der Wicklungsisolations).

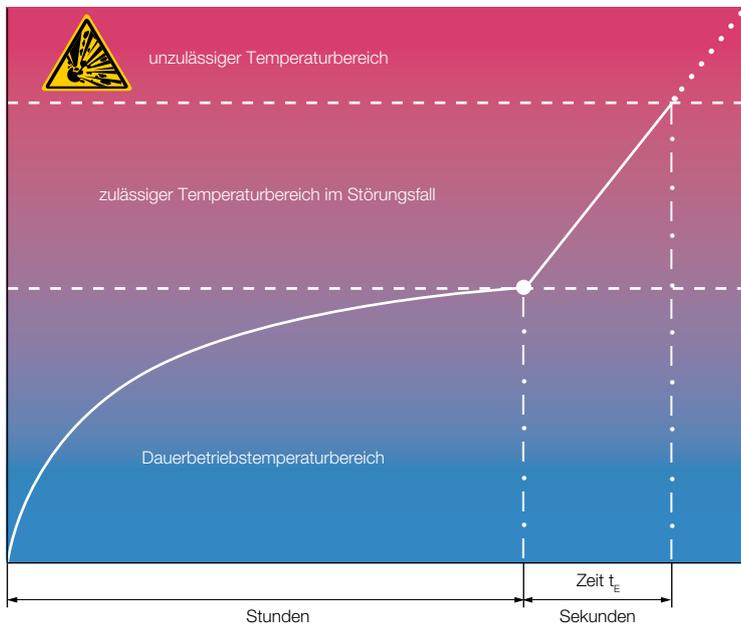


Bild 1.3: Definition der Zeit t_E

1.7 Hochspannungsprüfungen an Wicklungen unter Gas

Diese Prüfungen sind erforderlich, wenn die folgenden Kriterien zutreffen:

- Bei der Maschine handelt es sich um eine Hochspannungsmaschine (Bemessungsspannung > 1 kV).
- Eine Zündrisikobewertung gemäß IEC/EN 60079-7 Tabelle G.1 ergab einen Zündrisiko-Faktor > 6.

Die Hochspannungsprüfung setzt sich aus einer Wechselspannungsprüfung und einer Stoßspannungsprüfung zusammen. Die Wicklungen werden dabei einzeln geprüft, wobei die nicht benutzten Stränge und das Statorblechpaket geerdet werden. Der Prüfling befindet sich dabei in einem explosionsfähigen Gemisch. Für die Explosionsgruppe IIC wird dabei Wasserstoff, für IIB Ethylen und für IIA Propan verwendet. Die Mindestzündenergien steigen von der Explosionsgruppe IIC zu IIA an. Die Prüfung gilt als bestanden, wenn bei der Wechselspannungsprüfung und der Stoßspannungsprüfung bei der Prüfung von zwei Wicklungssträngen keine Zündung auftritt.



Bild 1.4: Stoßspannungstest an einem Wicklungsmodell unter Gas (Foto: PTB Braunschweig)

Risikobewertung möglicher Entladungen an Ständerwicklungen – Zündrisiko-Faktoren nach IEC/EN 60079-7

Merkmal	Wert	Faktor
Bemessungsspannung	> 6,6 kV bis 11 kV	4
	> 3,3 kV bis 6,6 kV	2
	> 1 kV bis 3,3 kV	0
Durchschnittliche Anlaufhäufigkeit im Betrieb	> 1/Stunde	3
	> 1/Tag	2
	> 1/Woche	1
	< 1/Woche	0
Zeitabstand zwischen detaillierten Inspektionen (siehe IEC 60097-17, Tabelle 1, Typ D)	> 10 Jahre	3
	> 5 bis 10 Jahre	2
	> 2 bis 5 Jahre	1
	< 2 Jahre	0
Schutzart (IP-Code)	< IP 44 ^{a)}	3
	IP 44 und IP 54	2
	IP 55	1
	> IP 55	0
Umgebungsbedingungen	sehr schmutzig und feucht ^{b)}	4
	Freiluft Küstenbereich	3
	andere Freiluftbereiche	2
	saubere Freiluftbereiche	1
	sauberer und trockener Innenbereich	0

a) Nur in sauberen Umgebungen und bei regelmäßiger Instandhaltung durch ausgebildetes Personal, siehe 5

b) „sehr schmutzig und feucht“ schließt Bereiche ein, die Überflutungen ausgesetzt sind, oder offenes Deck bei Offshore-Anwendungen.

1.8 Aufstellung und elektrischer Anschluss

Bei Montage und Inbetriebnahme sind immer die dem Motor beiliegenden Sicherheitshinweise zu beachten. Montagearbeiten dürfen nur von Fachpersonal ausgeführt werden, das aufgrund fachlicher Ausbildung, Erfahrung und Unterweisung ausreichenden Kenntnisse über

- Sicherheitsvorschriften
- Unfallverhütungsvorschriften
- Richtlinien und anerkannte Regeln der Technik (z. B. VDE-Bestimmungen, Normen) hat.

Das Fachpersonal muss die ihnen übertragenen Arbeiten beurteilen, mögliche Gefahren erkennen und vermeiden können. Es muss von dem für die Sicherheit der Anlage Verantwortlichen ermächtigt sein, die erforderlichen Arbeiten und Tätigkeiten auszuführen.

Das Errichten elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen erfordert in Deutschland die Beachtung folgender Vorschriften:

- BetrSichV „Betriebssicherheitsverordnung“
- TRBS „Technische Regeln für Betriebssicherheit“
- GefStoffV „Gefahrstoffverordnung“
- IEC/EN 60079 ff. „Explosionsfähige Atmosphäre“

Außerhalb Deutschlands sind die entsprechenden Landesvorschriften zu beachten!

Die zulässige Kühlmitteltemperatur (Raumtemperatur am Aufstellungsort) nach IEC/EN 60034-1 beträgt ohne Kennzeichnung maximal 40 °C, minimal -20 °C und die zulässige Aufstellungshöhe bis 1000 m über NN (abweichende Werte sind auf dem Motortypenschild angegeben und gegebenenfalls gesondert bescheinigt).

Es ist zu beachten, dass die Kühlluft ungehindert den Luft Eintrittsöffnungen zu- und durch die Luftaustrittsöffnungen frei abströmen und nicht unmittelbar wieder angesaugt werden kann. Ansaug- und Ausblasöffnungen müssen vor Verunreinigung und größerem Staub geschützt werden.

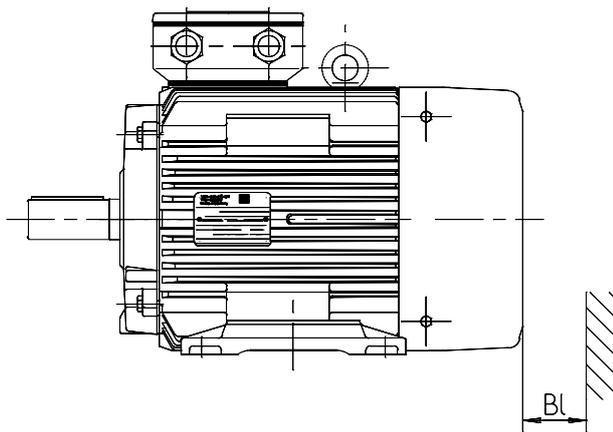


Bild 1.5: Mindestabstand am Lufteintritt

Der Mindestabstand des Luft eintritts der Lüfterhaube zu einem Hindernis (Maß Bl) ist unbedingt einzuhalten. Bei Bauformen mit Welle nach oben muss vom Betreiber das senkrechte Hineinfallen von Fremdkörpern verhindert werden. Gleiches gilt für die Aufstellung „Welle nach unten“ – hier ist ein Schutzdach über dem Gitter der Lüfterhaube erforderlich. Bei der Aufstellung der oberflächengekühlten Motoren ist zu beachten, dass sich die Kondenswasserablaufbohrungen an der tiefsten Stelle befinden.

Bei verschlossenen Kondenswasserablaufbohrungen sind die Schrauben nach dem Ablassen des Kondenswassers

mit Dichtmittel wieder einzusetzen. Bei offenen Kondenswasserlöchern ist die direkte Beaufschlagung mit Strahlwasser oder Schwallwasser zu vermeiden. Eine sorgfältige Aufstellung der Motoren auf genau ebener Unterlage zur Vermeidung von Verspannungen beim Festschrauben ist unbedingt zu gewährleisten. Bei zu kuppelnden Maschinen ist auf exaktes Ausrichten zu achten. Es sollten möglichst elastische Kupplungen verwendet werden.

Motoranschluss

Der Anschluss ist von einem Fachmann nach den geltenden Sicherheitsbestimmungen vorzunehmen. Außerhalb Deutschlands sind die entsprechenden Landesvorschriften anzuwenden.

Typenschildangaben sind unbedingt zu beachten!

- Stromart, Netzspannung und Frequenz vergleichen!
- Schaltung beachten!
- Bemessungsstrom für Schutzschaltereinstellung beachten!
- Bei Motoren in Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ ist die t_E -Zeit zu beachten!
- Motor nach dem im Anschlusskasten mitgegebenen Klemmenplan anschließen!

Für die Erdung befindet sich je nach Bauform und Ausführung der Motoren am Gehäuse bzw. am Flanschlagerschild eine Erdungsklemme. Alle Motoren haben außerdem eine Schutzleiterklemme im Inneren des Anschlusskastens. Unbenutzte Kabelverschraubungen im Anschlusskasten sind zum Schutz gegen Staub und Feuchtigkeit zu verschließen. Für den elektrischen Anschluss gelten die allgemeinen Sicherheits- und Inbetriebnahmehinweise. Die Kabelverschraubungen oder Verschlusschrauben müssen für den Ex-Bereich zertifiziert sein. Die vom Verschraubungshersteller angegebenen Installationsdrehmomente, Dichtbereiche und Klemmbereiche der Zugentlastung sind unbedingt einzuhalten.

Anschlussleitungen sind nach DIN VDE 0100 unter Berücksichtigung der Bemessungsstromstärke und der anlageabhängigen Bedingungen auszuwählen (z. B. Umgebungstemperatur, Verlegungsart usw. gemäß DIN VDE 0298 bzw. IEC/EN 60204-1).

Bei Raumtemperaturen von mehr als 40 °C sind Kabel mit einer zulässigen Betriebstemperatur von mindestens 90 °C einzusetzen. Dies gilt auch für die Motoren, in denen auf dem Beiblatt zur EU-Baumusterprüfbescheinigung durch ein X auf besondere Auflagen zur Kabelführung verwiesen wird.

Beim Anschließen der Motoren ist besonders auf sorgfältige Herstellung der Anschlussverbindungen im Anschlusskasten zu achten. Die Muttern der Anschlusschrauben sind ohne Gewaltanwendung fest anzuziehen. Bei Motoren mit einem Klemmenbrett mit Schlitzbolzen gemäß Richtlinie 2014/34/EU dürfen für den Motoranschluss nur Kabelschuhe nach DIN 46295 verwendet werden. Die Kabelschuhe werden mit Druckmuttern mit integriertem Federring befestigt. Alternativ ist für den Anschluss ein massiver Runddraht zulässig, dessen Durchmesser der Schlitzbreite des Anschlussbolzens entspricht.

Beim Einführen der Zuleitungen in den Anschlusskasten ist dafür Sorge zu tragen, dass die Leitungen zugentlastet sind. Das Innere der Anschlusskästen ist sauber zu halten. Die Dichtungen müssen unversehrt sein und richtig sitzen. Der Anschlusskasten muss beim Betrieb stets verschlossen sein.

Schutzmaßnahmen gegen unzulässige Erwärmung

Werden im Prüfungsschein bzw. auf dem Typenschild keine anderslautenden Angaben bezüglich Betriebsart und Toleranzen gemacht, sind elektrische Maschinen für Dauerbetrieb (Betriebsart S1) und normale, nicht häufig wieder-

kehrende Anläufe ausgelegt, bei denen keine wesentliche Anlaufferwärmung auftritt. Die Motoren dürfen nur für die auf dem Leistungsschild angegebene Betriebsart eingesetzt werden.

Im Allgemeinen werden Ex-Motoren für den Bereich A der Spannungs- und Frequenzgrenzen nach IEC/EN 60034-1 (DIN VDE 0530, Teil 1) – Spannung $\pm 5\%$, Frequenz $\pm 2\%$, Kurvenform, Netzsymmetrie ausgelegt und bescheinigt. Zunehmend werden Ex-Motoren auch für größere Toleranzen der Versorgungsspannung gefertigt. Dies soll auf dem Typenschild des Motors und, wenn erforderlich, der EU-Baumusterprüfbescheinigung ersichtlich sein. So gibt es zahlreiche Beiblätter zu EU-Baumusterprüfbescheinigungen mit einer Spannungstoleranz von $\pm 10\%$ nach Bereich B. Die angegebenen Toleranzen müssen zwingend eingehalten werden, damit die Erwärmung innerhalb der zulässigen Grenzen bleibt. Größere Abweichungen von den Bemessungswerten können die Erwärmung der elektrischen Maschine unzulässig erhöhen. Der Motor muss beim Anlauf gegen unzulässige Erwärmung, z. B. mit Motorschutzschalter, geschützt werden, d. h. es muss durch einen stromabhängig verzögerten Schutzschalter entsprechend DIN VDE 0660 oder eine gleichwertige Einrichtung in allen Phasen eine unzulässige Erwärmung verhindert werden. Die Schutzeinrichtung ist auf den Bemessungsstrom einzustellen. Wicklungen in Dreieck-Schaltung sind so zu schützen, dass die Auslöser oder Relais in Reihe mit den Wicklungssträngen geschaltet sind. Für die Auswahl und die Einstellung der Auslöser ist dabei der Nennwert des Strangstromes, d. h. der 0,58-fache Motorbemessungsstrom, zugrunde zu legen. Ist eine solche Schaltung nicht möglich, so sind geeignete Schutzschalter, z. B. mit Phasenausfallüberwachung zu verwenden. Bei polumschaltbaren Motoren sind für jede Drehzahlstufe stromabhängig verzögerte Auslöser oder Relais vorzusehen, die gegeneinander zu verriegeln sind.

Bei der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ wird auch der Anlauf überwacht. Die Schutzeinrichtung muss deshalb bei blockiertem Läufer innerhalb der für die jeweilige Temperaturklasse angegebenen t_E -Zeit abschalten. Die Forderung ist erfüllt, wenn die Auslösezeit (aus der Auslösekennlinie [Anfangstemperatur 20 °C] für das Verhältnis I_A/I_N zu entnehmen) nicht größer als die angegebene t_E -Zeit ist.

Elektrische Maschinen der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ für Schweranlauf (Hochlaufzeit $> 1,7 \times t_E$ -Zeit) sind entsprechend den Angaben der Konformitätsbescheinigung durch eine Anlaufüberwachung zu schützen und müssen auch so bescheinigt sein.

Thermischer Maschinenschutz durch direkte Temperaturüberwachung der Wicklung ist zulässig, wenn diese bescheinigt ist und die t_A -Zeit auf dem Leistungsschild angegeben ist. Dabei wird der Explosionsschutz über Temperaturfühler nach DIN 44081/44082 in Verbindung mit Auslösegeräten mit der Schutzartenkennung $\langle Ex \rangle$ II (2) G gewährleistet.

Zusatzeinrichtungen

Explosionsschutzgeschützte Motoren können optional mit Zusatz-einrichtungen versehen sein:

Zusätzlicher thermischer Motorschutz

Zur Überwachung der Ständerwicklungstemperatur können Temperaturfühler (Kaltleiter, KTY oder PT100) im Motor eingebaut sein. Für ihren Anschluss sind entweder im Hauptanschlusskasten oder in Zusatzanschlusskästen entsprechende Hilfsklemmen für Hilfsstromkreise vorhanden. An ihnen erfolgt der Anschluss entsprechend dem beiliegenden Klemmenplan.

Thermischer Motorschutz als Vollschutz

Die Verwendung des thermischen Wicklungsschutzes als Motorvollschutz ist nur zulässig, wenn dieser Betrieb geson-

dert geprüft und von einer notifizierten Stelle bescheinigt ist. Auf dem Typenschild erfolgt in diesem Falle die Kennzeichnung durch die Angabe der t_A -Zeit an Stelle der t_E -Zeit und die Textangabe „Betrieb nur mit funktionsgeprüftem PTC-Auslösegerät mit der Schutzartenkennung $\langle Ex \rangle$ II (2) G“.

Stillstandsheizung

Die Heizbänder müssen den Anforderungen der Richtlinie 2014/34/EU genügen. Die Heizleistung und Anschluss-spannung sind auf dem Motortypenschild angegeben. Für ihren Anschluss sind entweder im Hauptanschlusskasten oder in Zusatzanschlusskästen entsprechende Klemmen für Hilfsstromkreise vorhanden. An ihnen erfolgt der Anschluss entsprechend dem beiliegenden Klemmenplan. Die Stillstandsheizung ist erst nach Abschalten des Motors einzuschalten. Sie darf während des Motorbetriebes nicht eingeschaltet sein. Dieses ist schaltungstechnisch durch Verriegelung sicherzustellen.

Fremdbelüftungseinheit

Die Fremdlüfter müssen den Anforderungen der Richtlinie 2014/34/EU genügen und für die vorgesehene Zündschutz-art geeignet sein. Die Fremdbelüftungseinheit sorgt bei Betrieb des Hauptmotors für die Abführung der Verlustwärme. Während des Betriebes des Hauptmotors muss der Fremdbelüftungsmotor eingeschaltet sein. Nach dem Ausschalten des Hauptmotors ist ein temperaturabhängiger Nachlauf der Fremdbelüftung zu gewährleisten. Bei einer Störung des Fremdlüfters muss der Hauptmotor abgeschaltet werden. Bei Motoren mit drehrichtungsabhängigen Fremdlüftereinheiten muss unbedingt die Drehrichtung beachtet werden (Drehrichtungspfeil). Es dürfen nur die vom Hersteller gelieferten Fremdlüfteraggregate benutzt werden. Die Fremdbelüftungseinheit ist nach dem gültigen, im Anschlusskasten mitgelieferten Klemmenplan anzuschließen.

Externe Wärme- und Kältequellen

Bei vorhandenen externen Wärme- und Kältequellen sind keine zusätzlichen Maßnahmen notwendig, wenn die zulässigen Umgebungstemperaturen an der Anbaustelle nicht überschritten werden. Werden diese überschritten oder sind Auswirkungen auf die Betriebstemperaturen oder maximalen Oberflächentemperaturen zu erwarten, sind geeignete Maßnahmen zur Aufrechterhaltung und zum Nachweis des Explosionsschutzes durchzuführen. Im Zweifelsfall ist der Hersteller zu konsultieren.

Allgemeine Hinweise zum Betrieb am Frequenzumrichter

Der Betrieb von explosionsgeschützten Drehstrommotoren am Frequenzumrichter ist nur zulässig, wenn die Motoren für diesen Betrieb gefertigt, geprüft, genehmigt und gesondert gekennzeichnet sind. Die gesonderten Herstellerhinweise sind unbedingt zu beachten. Für die Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ sowie Motoren zum Einsatz in Zone 21 sind gesonderte EU-Baumusterprüfbescheinigungen erforderlich, in denen der Betrieb am Umrichter explizit genehmigt wird und in denen die einzuhaltenden Bedingungen und Parametrierungen des Systems Motor, Umrichter und Schutzeinrichtung aufgeführt sind. In der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „ec“ (alt: „n“) sowie Motoren im Einsatz in Zone 22, müssen Motoren, die durch Umrichter mit variabler Frequenz und/oder Spannung gespeist werden, ebenfalls mit dem festgelegten Umrichter oder einem hinsichtlich der Spezifikation für Ausgangsspannung und -strom vergleichbarem Umrichter geprüft sein. Die notwendigen Parameter und Bedingungen sind dem Typenschild oder der Motordokumentation zu entnehmen.

Zur Vermeidung unzulässiger Temperaturen sind die Motoren grundsätzlich mit einem thermischen Wicklungsschutz ausgestattet, der über ein geeignetes Gerät auszuwerten ist. Die Motoren dürfen nicht als Gruppenantrieb betrieben werden. Für die Aufstellung und Inbetriebnahme des Frequenzumrichters sind die Hinweise und Bedienungsanleitung des Herstellers unbedingt zu beachten.

1.9 Elektrostatische Gefährdung

1.9.1 Einleitung

In den letzten Jahren haben Produkte mit Kunststoffteilen, insbesondere Kunststoffgehäusen, und pulverlackbeschichteten Metallteilen mehr und mehr an Bedeutung gewonnen und verdrängen zunehmend Produkte aus Holz und Glas bzw. blankem oder flüssiglackiertem Metall. Im Gegensatz zu Metall, Holz, Glas und meist auch flüssiglackierten Oberflächen sind jedoch Kunststoffe und pulverlackierte Flächen in den meisten Fällen durch Reibung elektrostatisch aufladbar. So können derartige Oberflächen durch Reibung an der Kleidung oder bei Reinigungsversuchen mit einem Lappen hoch elektrostatisch aufgeladen werden. Nähert sich diesen

aufgeladenen Flächen eine geerdete Gegenelektrode, z. B. ein Finger einer Person, so können für Lösemitteldämpfe zündwirksame elektrostatische Entladungen auftreten.

Im Folgenden wird gezeigt, wie man solche Zündgefahren erkennen und in den Griff bekommen kann. Hierfür gibt es zahlreiche, sich nur in Nuancen unterscheidende langjährig erprobte Regelwerke. Bei der Einhaltung der Vorschriften in diesen Regelwerken besteht die „Vermutungswirkung“, dass ein ausreichend hohes, allen übergeordneten Regelwerken entsprechendes Schutzniveau vorliegt.

1.9.2 Regelwerke

- IEC/EN 60079-0

In dieser Norm befasst sich ein ganzes Kapitel mit den elektrostatischen Anforderungen. Man muss hierbei jedoch beachten, dass diese Anforderungen aus früheren elektrostatischen Regelwerken mehr oder weniger abgeschrieben wurden und von daher kein von elektrostatischen Fachleuten abgefasster Text darstellen. Es können daher nicht eindeutige oder missverständliche Formulierungen vorliegen.

Beispielsweise wird in der Norm gefordert, Oberflächen mit Flüssigkeit zu reinigen, bevor eine Messung des Oberflächenwiderstands erfolgt. Hierbei entstehen jedoch typischerweise Ablagerungen durch die Flüssigkeit, welche den Oberflächenwiderstand wesentlich beeinflussen. Aus diesem und anderen vergleichbaren Gründen wird empfohlen, die Prüfung nach IEC/TS 60079-32-1 Amendment 1, Abschnitt 14, mit der Prüfmethode von IEC 60079-32-2 durchzuführen. Hierbei werden solche Messfehler weitgehend vermieden. Beispielsweise wird die Oberfläche des Prüfmusters nur mit einem Pinsel gereinigt. Ansonsten erhält man in beiden Fällen (-0 und -32) exakt dasselbe Ergebnis.

Die genannten Schwächen der IEC 60079-0 sind den prüfenden Fachleuten bekannt und werden üblicherweise bei der Prüfung berücksichtigt. Von daher ist ein Überprüfen der nach der -0 erhaltenen Messwerte nicht erforderlich.

- TRGS 727:2016

Die TRGS 727:2016, früher TRBS 2153:2009, noch früher BGR132:2003 und ZH1/200:1989, ist das deutschsprachige Regelwerk zur Vermeidung elektrostatischer Aufladungen. Es ist das derzeit neueste Regelwerk hinsichtlich Elektrostatik. Es war früher das Regelwerk, aus dem die europäischen und internationalen Regelwerke abgeschrieben haben. Auch heute noch kann man sicher sein, dass die hier publizierten neuesten Erkenntnisse in internationale Normen aufgenommen werden. Die TRGS 727 ist jedoch ein Regelwerk für die gesamte Industrie und den gesamten Alltag mit allen seinen alltäglichen Prozessen (z. B. Betankung von Kraftfahrzeugen). Es ist daher für Außenstehende oft schwer, die richtigen Kapitel zu finden. Denn ein spezielles Kapitel für elektrische Betriebsmittel existiert nicht.

- IEC/TS 60079-32-1 mit Amendment 1, IEC 60079-32-2

Die IEC/TS 60079-32-1 ist eine aus der TRBS 2153:2009 abgeleitete internationale Spezifikation zur Vermeidung elektrostatischer Aufladungen. Sie stellt den derzeit bestmöglichen international anerkannten Stand der Technik zur Vermeidung gefährlicher elektrostatischer Aufladungen in lehrbuchhafter Form dar. Da in dieser Spezifikation zahlreiche betriebliche Maßnahmen vorgeschrieben werden, kann dieses Regelwerk nicht als Norm veröffentlicht werden.

Die wichtigsten Kapitel für elektrische Betriebsmittel sind Abschnitt 14 im Amendment 1 sowie das Ablaufdiagramm für eine elektrostatische Prüfung im Anhang von IEC/TS 60079-32-1 (Bild 1.9). Ausführliche Prüfvorschriften zur Ermittlung der erforderlichen Kenngrößen finden sich in IEC 60079-32-2.

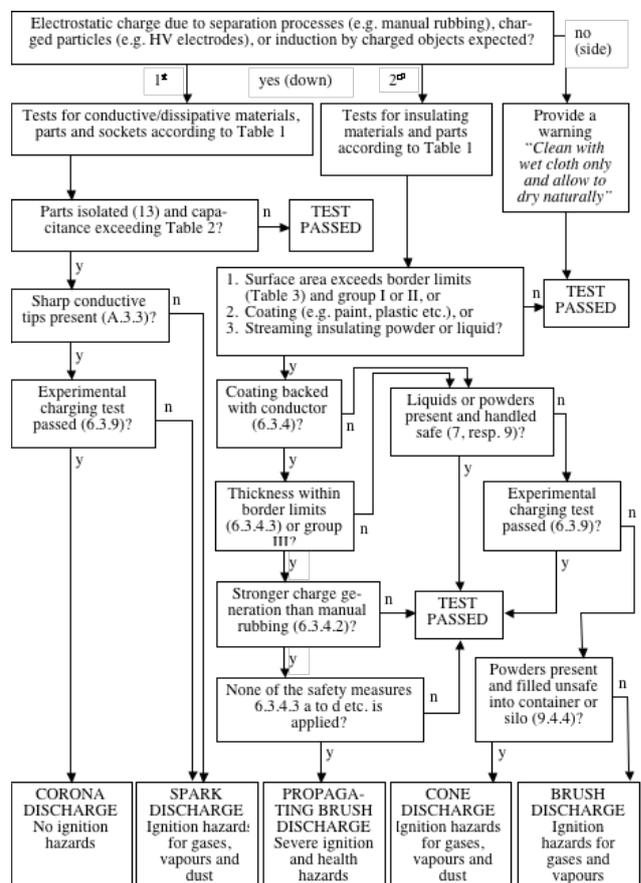


Bild 1.9: IEC/TS 60079-32-1, Figure F.1 – Flowchart for a systematic electrostatic evaluation with reference to the respective chapters

1.9.3 Prüfungsablauf

Im Folgenden wird der typische Ablauf einer elektrostatischen Prüfung gemäß dem Ablaufdiagramm in IEC/TS 60079-32-1 für ein Kunststoffgehäuse eines elektrischen Betriebsmittels, welches in einer bestimmten Zone (im Beispiel Zone 1, Gruppe IIC) eingesetzt werden soll, beschrieben (Bild 1.9.). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die in Bild 1.9 angegebenen Referenzkapitel im Falle von elektrischen Betriebsmitteln in Abschnitt 14 zusammengefasst sind. Beim Prüfungsablauf ist insbesondere auf die angegebene Reihenfolge zu achten, da die genannten Anforderungen alle durch „oder“ verknüpft sind und bei falscher Reihenfolge Widersprüche auftreten können.

1. Ist das Prüfmuster manueller Reibung, z. B. durch berührende Arbeitskleidung oder bei Reinigungsvorgängen mit einem Lappen ausgesetzt? Oder strömenden Teilchen (z. B. bei Flüssigkeiten oder Stäuben)? Oder befindet es sich in der Nähe von Hochspannungselektroden?
Ja, das Prüfmuster ist z. B. manueller Reibung durch Arbeitskleidung ausgesetzt. Weiter mit 2.
2. Befinden sich (ab)leitfähige Teile mit einer unzulässig hohen elektrischen Kapazität am Prüfmuster?
Ja, es befindet sich ein von außen der Berührung zugänglicher elektrischer Schraubkontakt an dem Prüfmuster. Dessen gemäß IEC 60079-32-2 gemessene elektrische Kapazität beträgt jedoch nur 2,5 pF, Der geforderte Grenzwert für Zone 1 Gruppe IIC von kleiner gleich 3 pF wird daher unterschritten. Weiter mit 3.

3. Beträgt der Oberflächenwiderstand des Prüfmusters, gemessen nach IEC 60079-32-2, mehr als der zulässige Grenzwert von 100 Gigaohm, gemessen bei höchstens 30 % rel. Luftfeuchte und mindestens 500 V (besser: mindestens 1000 V) Messspannung?
Ja, weiter mit 4.
4. Überschreitet die maximal mögliche, der Reibung zugängliche projizierte Fläche des Prüfmusters den vorgegebenen Maximalwert (in unserem Beispiel max. 2000 mm² für Zone 1 Gruppe IIC)?
Ja, der Wert wird deutlich überschritten. Weiter mit 5.
5. Ist das Gehäuse innen leitfähig beschichtet?
Nein, das Gehäuse ist innen nicht leitfähig beschichtet. Weiter mit 6.
6. Beträgt die maximal mögliche, von einer provozierten Entladung übertragene Ladung, gemessen nach der Methode von IEC 60079-32-2, höchstens 10 nC?
Ja, beim Aufladetest konnte überhaupt keine Entladung und somit auch keine übertragene Ladung beobachtet werden. Das Gehäuse ist somit ausreichend antistatisch und erfüllt die Anforderungen aller in 1.9.2 genannten Regelwerke. Alternativ hätte man bereits bei Punkt 3 und einer Messspannung von 10000 V feststellen können, dass bei höheren Spannungen der Oberflächenwiderstand zusammenbricht und das Prüfmuster bei den vorliegenden hohen elektrostatischen Spannungen ergo nicht gefährlich elektrostatisch aufgeladen werden kann.

Die weitere Vorgehensweise bei alternativen Antworten kann Bild 1.9 entnommen werden.

1.9.4 Weitere Hinweise

Oft steht man vor dem Problem: wie mache ich ein aufladbares Prüfmuster, welches das Flächenkriterium in 1.9.3, Punkt 4, für IIB erfüllt, auch für IIC sicher? Hierfür gibt es verschiedene Möglichkeiten, die im Folgenden beispielhaft aufgezählt werden:

1. Umhüllung des Prüfmusters mit einer Ledertasche, mit Papier/Pappe/Antistatikfolie oder einem antistatischen Lack etc; Antistatiksprays halten mindestens 1 Jahr, sind jedoch nicht im Außenbereich einsetzbar.
2. Leitfähige geerdete Beschichtung des Prüfmusters auf der Innenseite (nur bei Abwesenheit elektrostatischer Aufladungen stärker als durch manuelle Reibung möglich und bei einer Gehäusedicke von nicht mehr als etwa 0,2 mm);
3. Vermeidung elektrostatischer Aufladungen durch Gebrauch des Prüfmusters im Keller oder einem Erdloch mit permanenter Wasserpflanze (eine relative Luftfeuchte von stets mehr als 60 % bewirkt, dass unter diesen Bedingungen keine elektrostatischen Aufladungen möglich sind), durch Montage an der Raumdecke (hier ist keine manuelle Reibung möglich, allerdings ein Aufkleber „Nur mit feuchtem Lappen reinigen“) oder Gebrauch innerhalb eines Bereichs, indem durch Luftüberdruck das Eindringen explosionsfähiger Atmosphäre verhindert wird;

4. **Gebrauch von Flüssiglacken auf leitfähigen Untergründen (Grundierungen zum elektrostatischen Lackieren von Decklacken sind typischerweise leitfähig). Flüssiglacke weisen im Gegensatz zu Pulverlacken typischerweise eine ausreichend niedrige Durchschlagsfestigkeit zur Vermeidung elektrostatischer Aufladungen auf, sind dafür aber nicht so korrosionshemmend.**

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

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

– Richtlinie 2014/34/EU:

Die Richtlinie 2014/34/EU 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:

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 erhöhte Sicherheit „eb“. Über den Schutz von Motoren der Zündschutzarten „db“, „p“ und „ec“ gibt es keine Aussage.

Der Leitfaden sagt aus, dass definitiv Motoren der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ durch ein gemäß der Richtlinie 2014/34/EU zertifiziertes Überwachungsgerät geschützt werden müssen.

– IEC/EN 60079-14:

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 Stromunsymmetrien 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 „eb“ auch im Blockierfall wirksam sein muss.

– IEC/EN 60079-7:

Im Kapitel 5.2.4.4.1 der Anforderungen der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ 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 erhöhte Sicherheit „eb“ begrenzt ist und die Zeit t_E die in Bild 2.4 dargestellten Mindestwerte einhalten muss.

– IEC/EN 60079-1:

In der Norm für die Zündschutzart druckfeste Kapselung „db“ ist keine Aussage 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.

- **IEC/EN 60079-2:**
Die Norm über die Überdruckkapselung enthält keine Aussage zum Schutz drehender elektrischer Maschinen.
- **IEC/EN 60079-15:**
Im Gegensatz zu den oben genannten Zündschutzarten fallen die Geräte der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „ec“ (alt: „n“) in die Kategorie 3 der Richtlinie 2014/34/EU. 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 Tempera-

turklasse 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/EN 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.

2.2 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 $P_{V_{Cu,2}} = s \cdot P_s$ 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 2.1 verdeutlicht die Situation.

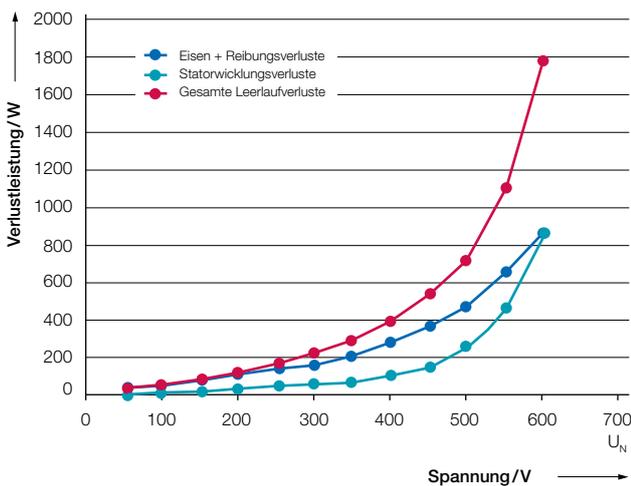


Bild 2.1: Verlauf der Leerlaufverluste in Abhängigkeit der Spannung

– 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 2.2 dazu, dass ein Wicklungsstrang nun nicht mehr den $1/\sqrt{3}$ -fachen Leiterstrom führt, sondern den $2/3$ -fachen Leiterstrom. Es ist daher eine thermische Überlastung dieses Wicklungsstranges möglich, ohne dass das Schutzgerät einen Überstrom registriert. Aus IEC/EN 60079-0 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 $1/\sqrt{3}$ -fachen Motorbemessungsstrom eingestellt werden, um zündfähige Erwärmungen und eine thermische Schädigung der Wicklung auszuschließen.

– 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 Umge-

bung 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 Anzugsmomentes. Es besteht daher die Gefahr, dass die Maschine bei entsprechendem Gegenmoment nicht mehr anläuft. Des Weiteren resultiert in dem geringeren Anzugstrom gemäß Bild 2.4 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.

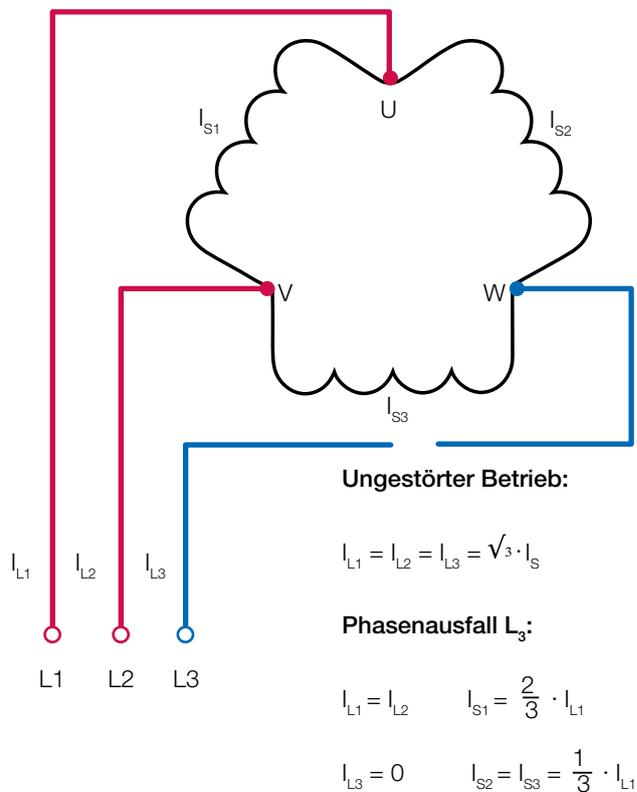


Bild 2.2: Dreieckschaltung bei Phasenausfall

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

2.3.1 Zündschutzart druckfeste Kapselung „db“

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 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 einge-

bettete Kaltleiter thermisch geschützt werden. Aus der Richtlinie 2014/34/EU und der Norm IEC/EN 60079-14 ergibt sich, dass ein Motorschutz zwingend nötig ist. Es wird jedoch der Blockierfall nicht separat betrachtet, was 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.

2.3.2 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.

2.3.3 Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“

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 IEC/EN 60079-14 an den Motorschutz besondere Anforderungen gestellt, um auch im Blockierfall bei Bemess-

ungsspannung keine unzulässigen Stator- oder Rotor-temperaturen zu erreichen. Als Schutzprinzipien sind die direkte Temperaturüberwachung oder ein zeitabhängiger Überstromauslöser einsetzbar.

2.3.4 Zündschutzart erhöhte Sicherheit „ec“ (alt: „n“)

Für die Zündschutzart muss gemäß IEC/EN 60079-7 (alt: IEC/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. 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 erhöhte Sicherheit „eb“ ist hinreichend.

2.3.5 Zündschutzart Schutz durch Gehäuse „t“

Bei staubexplosionsgeschützten Maschinen gemäß der Norm IEC/EN 60079-31 ist neben der bereits beschriebenen Überprüfung der Gehäuseschutzart die Einhaltung der in der EU-Baumusterprüfbescheinigung festgelegten maximalen Oberflächentemperatur eine Kernanforderung zur Sicherstellung des Explosionsschutzes. Die Oberflächentemperatur wird bei der elektrisch-thermischen Prüfung bei Betrieb mit Bemessungsdaten, bei Betrieb an der oberen

und unteren Grenze des Bemessungsspannungsbereiches sowie nach einem Überlastversuch mit dem 1,2-fachen Bemessungsstrom für 2 Stunden ausgehend vom thermischen Beharrungszustand nach dem Betrieb mit Bemessungsdaten ermittelt. Hierdurch soll das Abschaltverhalten des Motorschutzschalters im Überlastfall nachgebildet werden. Wichtig ist hierbei, nach dem Ende der Versuche die Nacherwärmung des Gehäuses mit zu berücksichtigen.

2.3.6 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 (Zündschutzarten erhöhte Sicherheit „eb“ und „ec“) werden muss. 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.

2.3.7 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 Motor-

schutzschalter 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 IEC/EN 60079-0 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

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

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:

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

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, sodass 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 aufwendigeres 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.

2.3.8 Auswahl und Parametrierung des Schutzes bei der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“

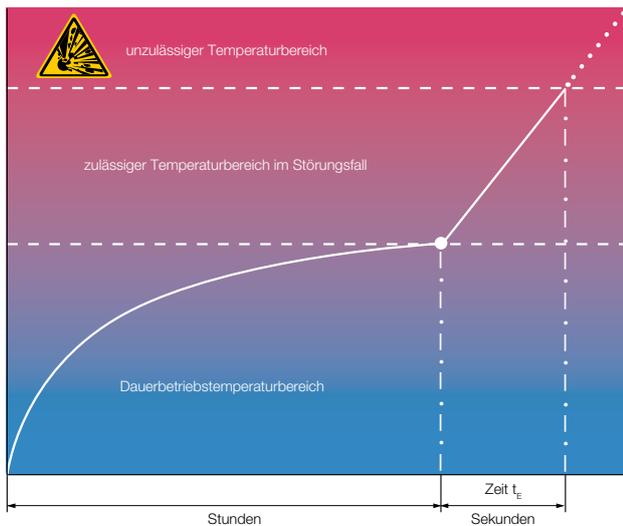


Bild 2.3: Definition der Zeit t_E

In Bild 2.3 ist der für eine Maschine thermisch ungünstigste Störfall, die Blockierung des betriebswarmen Motors, dargestellt. Hierbei muss der Motorschutz den Motor innerhalb der in der EU-Baumusterprüfbescheinigung des Motors genannten Erwärmungszeit t_E abschalten.

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 Anzugstromverhältnis des Motors immer oberhalb der in der Norm IEC/EN 60079-7, Abs. 5.2.4.4.1 enthaltenen Auslösekennlinie für Motorschutzrelais liegt (Bild 2.4). Das zulässige Verhältnis Anzugsstrom/Bemessungsstrom liegt für Maschinen der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ im Bereich von 3 – 10 (bei VIK-Motoren ist dieser Bereich eingeschränkt). Neben

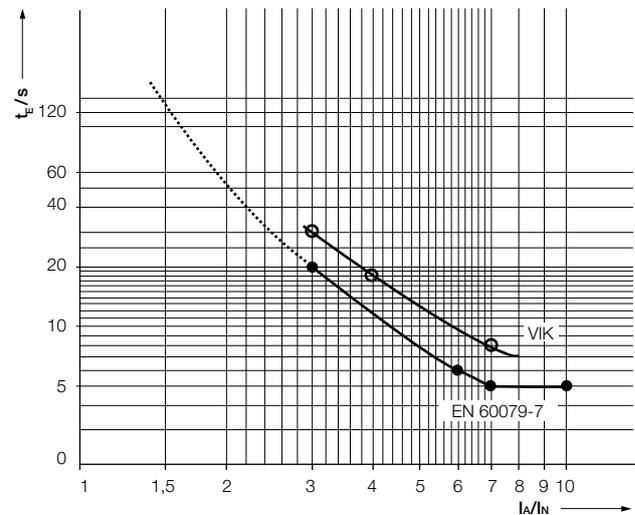


Bild 2.4: Auslösekennlinie für stromabhängige Motorschutzgeräte nach EN 60079-7, sowie VIK Empfehlung VE1-2011

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

2.3.9 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 2.5) muss der Kaltleiter nicht für den Alleinschutz ausgelegt werden, da Überlast- und Blockierfall über die Stromüberwachung erfasst werden.

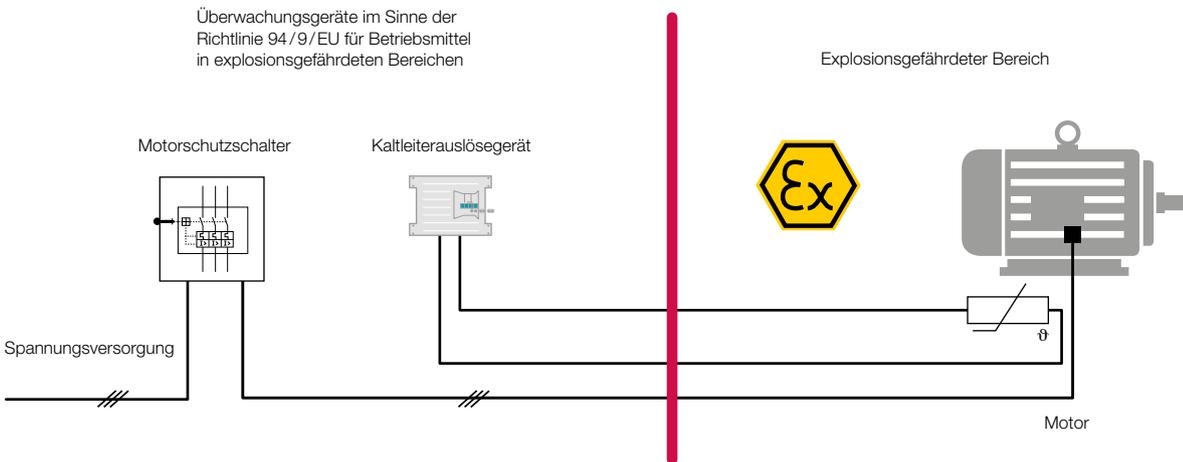


Bild 2.5: Schutz des Motors durch Strom und Temperaturüberwachung

2.4 Der Motor in Kombination mit anderen Geräten

Wird der Motor direkt mit der Arbeitsmaschine gekuppelt, was in der Praxis ein sehr häufiger Fall ist, dann ist es nicht mehr ausreichend, den Motor unter thermischen Aspekten losgelöst von der Umgebung zu betrachten, insbesondere wenn die Arbeitsmaschine eine höhere Temperatur als der Motor erreicht und sich Wärmeflüsse Richtung Motor einstellen. Bei einer Pumpe kann dieser Fall beim Fördern heißer Medien auftreten. Bild 2.6 verdeutlicht den Sachverhalt.

Bei der Betrachtung der Kombination aus Motor und Pumpe müssen nicht nur die Temperaturklasse der eventuell auftretenden Gase berücksichtigt werden, sondern auch die Grenztemperaturen der Komponenten und Anbauteile des Motors. Hier sollte besonders das Lager die nötige Aufmerksamkeit erfahren, wenn mit einem Wärmefluss über die Welle zu rechnen ist. Zu hohe Lagertemperaturen können zu einem vorzeitigen und eventuell zündfähigen Ausfall desselben führen.

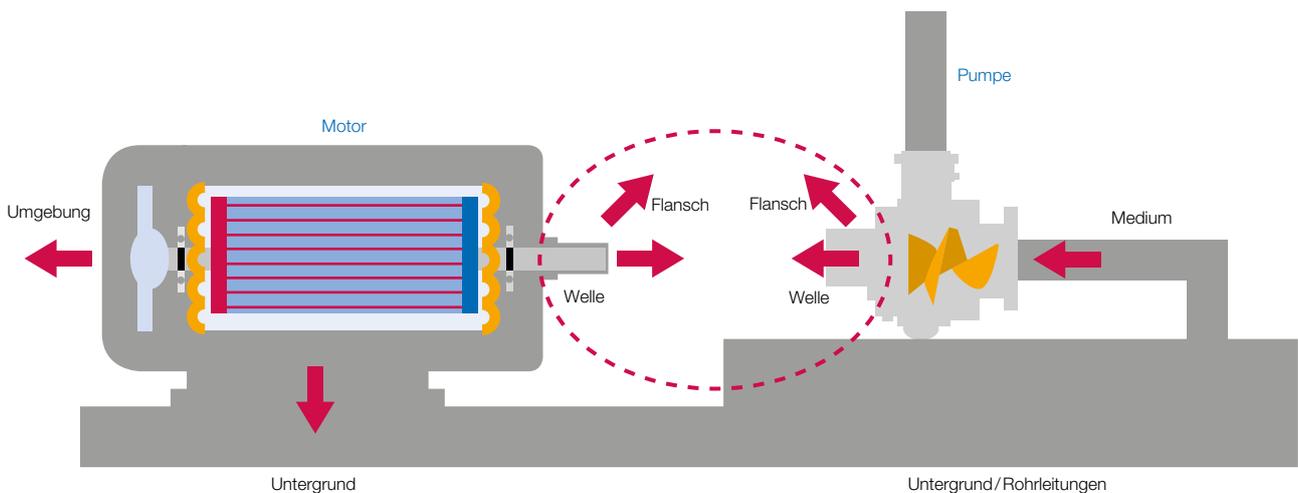


Bild 2.6: Zusammenbau Motor-Pumpe

Eine andere, sehr häufige Kombination stellt der Motor mit angekuppeltem Getriebe dar. Auch hier muss die Getriebeerwärmung bei der Auswahl und Auslegung des Antriebes berücksichtigt werden. Dieses gilt nicht, wenn Motor und Getriebe als ein Gerät vom Hersteller bezogen wurden. Das Getriebe ist dabei gemäß Bild 2.7 häufig in einer Kombination der Zündschutzarten „Konstruktive Sicherheit“ und „Flüssigkeitskapselung“ ausgeführt.

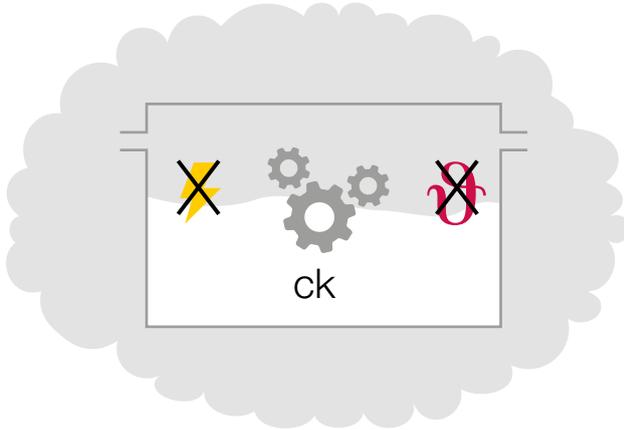


Bild 2.7: Kombination der Zündschutzarten „c“ und „k“ bei einem Getriebe („c“ und „k“...mechanischer Explosionsschutz)

Die Richtlinie 2014/34/EU führt zum Zusammenbau zweier Geräte (z. B. Motor und Pumpe) folgende Möglichkeiten aus:

1. Motor und Pumpe können nicht separat beurteilt werden: Die Kombination wird dem Konformitätsbewertungsverfahren elektrischer Betriebsmittel unterzogen.
2. Motor und Pumpe können separat beurteilt werden: Entstehen keine weiteren Zündgefahren, fällt die Einheit nicht unter den Anwendungsbereich der Richtlinie; es entsteht eine Einheit, die aus zwei individuellen Geräten besteht, die eine getrennte Konformitätserklärung vorweisen.
3. Der Hersteller der Baugruppe möchte eine zusammenfassende Konformitätserklärung abgeben: Verpflichtung, eine Zündgefahrenbewertung durchzuführen; -> Erstellung der Dokumentation, CE-Kennzeichnung, Konformitätserklärung; Hersteller trägt die volle Verantwortung, Dritt Zertifizierung nicht notwendig
4. Zusätzliche Zündgefahren durch Kombination oder ein Bauteil ist nicht in voller Übereinstimmung mit der Richtlinie: **Die Kombination muss dem vollständigen Konformitätsbewertungsverfahren unterzogen werden.**

Neben den schon beschriebenen thermischen Beeinflussungen müssen auch alle anderen Einflussgrößen auf den Explosionsschutz berücksichtigt werden. Hierbei lauern die Tücken auch oft im Detail. So muss z. B. beim Anbringen einer Schallschutzhaube aus Kunststoff neben dem Einfluss auf die Motorkühlung auch das Thema „Elektrostatik“ einer Betrachtung unterzogen werden.

2.4.1 Empfohlene maximale Schnittstellentemperaturen für Flanschmotoren

Durch die Ankopplung an Arbeitsmaschinen können bei Motoren in Flanschbauweise sowohl am Flansch als auch am Wellenende höhere Temperaturen als 40 °C auftreten. Für Motoren der Zündschutzarten Ex d und Ex e gemäß VE 1/NE 47 wird vorausgesetzt, dass sie die Bedingungen des Explosionsschutzes noch einhalten, solange die im Folgenden angegebenen Schnittstellen-Temperaturen nicht überschritten werden.

Anmerkung 1: Die angegebenen Grenzwerte werden in Abstimmung zwischen VDMA und ZVEI als VDMA-Einheitsblatt für Pumpen in Blockbauweise veröffentlicht.

Anmerkung 2: Bis zu den angegebenen Schnittstellen-Temperaturen wird noch kein wesentlicher Wärmeeintrag aus Wellenende und Flansch in die Aktivteile der Maschine erwartet.

2.4.1.1 Maschinen der Zündschutzart druckfeste Kapselung „db“ im Netzbetrieb

Temperaturklasse	T3	T4	T5	T6
max. Wellentemperatur	100 °C	100 °C	85 °C	70 °C
max. Flanchtemperatur	100 °C	100 °C	85 °C	70 °C

Rahmenbedingungen:

- maximal am Wellenende und Motorflansch zulässige Temperaturen!
- kein Umrichterbetrieb
- eigenbelüftet

- Baugröße von 63 bis 200, Motoren gemäß EN 50347
- gilt für Umgebungstemperaturen von -20 °C bis +40 °C
- 2- und 4-polige Motoren

2.4.1.2 Maschinen der Zündschutzart druckfeste Kapselung „db“ im Umrichterbetrieb

Temperaturklasse	T3	T4	T5	T6
max. Wellentemperatur	100 °C	100 °C	- *)	- *)
max. Flanchtemperatur	100 °C	100 °C	- *)	- *)

*) noch in Diskussion

Rahmenbedingungen:

- maximal am Wellenende und Motorflansch zulässige Temperaturen!
- Stellbereich von 10 Hz bis f_N (≤ 60 Hz)
- eigenbelüftet

- Baugröße von 63 bis 200, Motoren gemäß EN 50347
- gilt für Umgebungstemperaturen von -20 °C bis +40 °C
- 2- und 4-polige Motoren
- Einzelprüfung notwendig

2.4.1.3 Maschinen der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“, Temperaturklasse T3

Polpaarzahl	2-polig	4-polig
max. Wellentemperatur	60 °C	75 °C
max. Flanschtemperatur	60 °C	75 °C

Rahmenbedingungen:

- maximal am Wellenende und Motorflansch zulässige Temperaturen!
- kein Umrichterbetrieb
- eigenbelüftet
- Baugröße von 63 bis 200
- Motoren gemäß EN 50347 und DIN V 42673-2 (vormals DIN 42677-2)
- gilt für Umgebungstemperaturen von -20 °C bis +40 °C

3 Frequenzumrichter gespeiste explosionsgeschützte Antriebe, Schutzmaßnahmen für den sicheren Betrieb

Bei den Zündschutzarten druckfeste Kapselung „d“ und Überdruckkapselung „p“ beruht das Explosionsschutzprinzip darauf, dass entweder eine im Gehäuseinneren erfolgende Explosion nicht auf die umgebende Atmosphäre übertragen wird (Zündschutzart druckfeste Kapselung „d“) oder aber die explosionsfähige Atmosphäre während des Betriebes des Gerätes nicht in das Gehäuseinnere eindringen kann (Zündschutzart Überdruckkapselung „p“). Bei diesen Zündschutzarten ist daher die Temperatur der äußeren Oberflächen das maßgebende Kriterium, welche die Grenztemperatur der Temperaturklasse nicht überschreiten dürfen. Bei der Zündschutzart „p“ kommt als einschränkende Bedingung für die maximalen Temperaturen im Gehäuseinneren hinzu, dass bei einem Ausfall der Zündschutzgasversorgung und abgeschaltetem Motor die gespeicherte Restwärme eindiffundierendes Gas nicht zünden kann. Bei der Zündschutzart „db“ wird die Eignung für den Betrieb am Frequenzumrichter von der notifizierten Stelle pauschal in der EU-Baumusterprüfbescheinigung bescheinigt. Gleiches gilt für die Zündschutzart „p“.

Die inneren Temperaturen sind ansonsten nicht explosionschutzrelevant, es muss jedoch im Sinne der Betriebssicherheit und Verfügbarkeit sichergestellt sein, dass die zu-

lässigen Betriebstemperaturen der Isolationsmaterialien und anderer Einbauteile nicht überschritten werden. Der Schutz dieser Motoren erfolgt über in die Wicklung eingebettete Kaltleiter mit Auswertegerät analog zum netzgespeisten Motor. Alternativ können auch Nutzenwiderstandsthermometer verwendet werden.

Bei der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ beruht der Explosionsschutz des Betriebsmittels darauf, eine Entzündung explosionsfähiger Atmosphäre zu vermeiden, wobei die explosionsfähige Atmosphäre auch in das Innere des Betriebsmittels eindringen kann. Die möglichen Zündquellen bei einem Asynchronmotor sind heiße Oberflächen, mechanisch erzeugte Reib- und Schlagfunken und elektrische Entladungen. Zu deren Vermeidung gelten bei explosionsgeschützten Motoren erhöhte Anforderungen an die mechanische Konstruktion und Auslegung, an das elektrische Isolationssystem sowie den Schutz vor unzulässigen Erwärmungen. Bei frequenzumrichter gespeisten Maschinen kommen bei den Zündquellen „Elektrische Entladungen“ und „Heiße Oberflächen“ gegenüber dem Betrieb am Netz zusätzliche Zündgefahren hinzu, die bei der Auslegung der Maschine und der Zertifizierung berücksichtigt werden müssen.

3.1 Elektrische Entladungen

Bedingt durch die schnellen Schaltvorgänge der Leistungstransistoren und damit hohen Spannungsanstiegsgeschwindigkeiten bilden sich auf der Leitung zum Motor Wanderwellenvorgänge aus, wobei die für die hochfrequenten Vorgänge wirksamen Eingangsimpedanzen des Motors und des Umrichterausgangs sich von dem Wellenwiderstand der Leitung unterscheiden. Im Allgemeinen gilt $Z_{Motor} \gg Z_{Leitung}$, sodass sich für die in Richtung Motor laufende Spannungswelle ein Reflexionsfaktor nahe 1 ergibt, und die Welle reflektiert wird. Bei im Verhältnis zur Frequenz dieser Wanderwellenvorgänge elektrisch langen Leitungen können dabei transiente Spannungsspitzen bis zur doppelten Zwischenkreisspannung an den Motorklemmen auftreten (Bild 3.1). Die im Klemmenkasten der Maschine vorhandenen Luftstrecken müssten auf die transienten Überspannungen dimensioniert werden, wohingegen die Kriechstrecken gemäß IEC/EN 60079-7 nur für den Effektivwert der Umrichterausgangsspannung ausgelegt werden müssen. Gemäß IEC/EN 60079-7 führen kurzzeitige Spannungsspitzen nicht zur Ausbildung von Erosionen durch Kriechströme an der Oberfläche.

Praktisch bewährt hat sich bei Niederspannungsmaschinen, die Bemessungsspannung des Klemmenkastens auf die Frequenzumrichtereingangsspannung auszulegen, solange keine transienten Überspannungen mit einer Amplitude größer der doppelten Zwischenkreisspannung auftreten. Ist mit Mehrfachreflexionen und somit höheren Spannungen zu rechnen, sollte für den Klemmenkasten die nächst höhere Bemessungsspannungsstufe gewählt werden. Diese Vorgehensweise wird von der PTB empfohlen.

Sehr wichtig ist es jedoch auch, dass die Isolation der Wicklung für diese hohen, steilflankigen Spannungsimpulse ausgelegt ist. Stark belastet wird auch die Windungsisolation im Eingangsbereich der Wicklung, da sich hier ein Großteil der Spannung abbaut. Treten hier Teilentladungen auf, führt das über längere Zeiträume zu einer Zerstörung der organischen Lackdrahtisolation und letztendlich zu einem zündfähigen Durchschlag und zu einem Ausfall des Motors. Kann die Teilentladungsfreiheit vom Motorhersteller nicht garantiert werden, so ist ein Filter vorzuschalten, um die Spannungsbelastung der Wicklung zu vermindern.

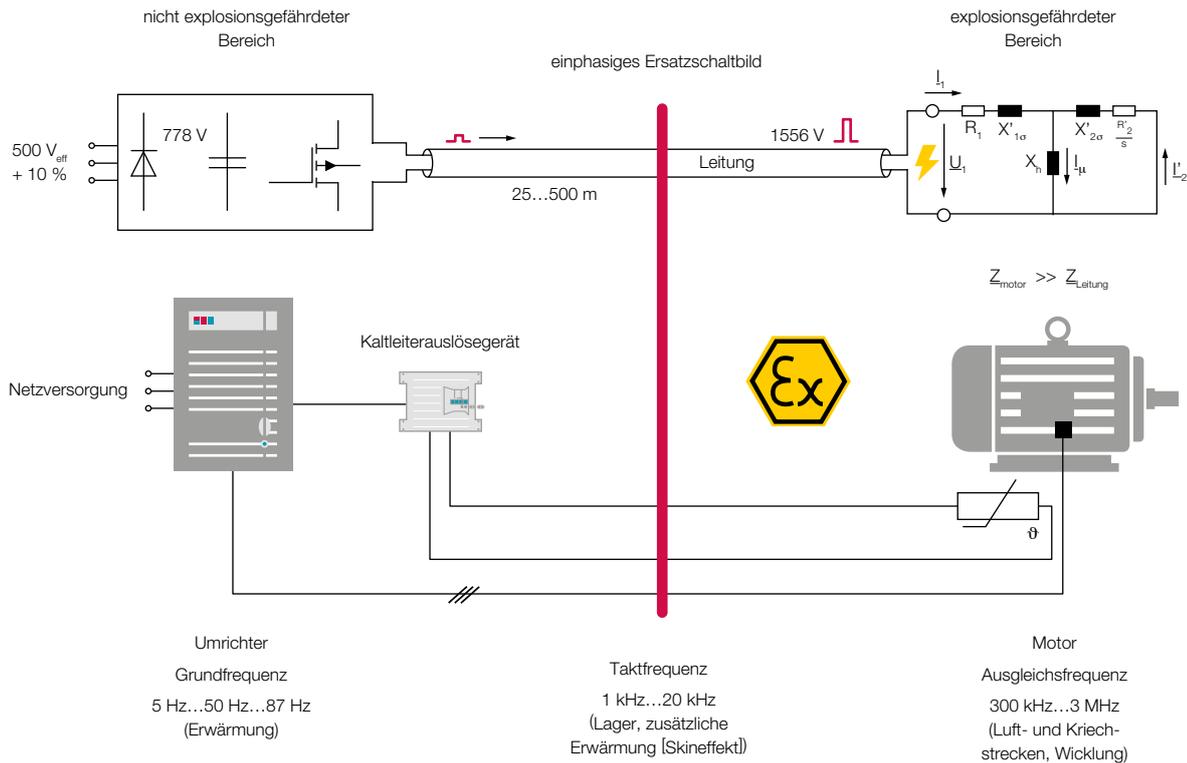


Bild 3.1: Entstehung von transienten Überspannungen an einem frequenzumrichter gespeisten Antrieb

3.2 Heiße Oberflächen

Nimmt eine elektrische Maschine eine unzulässige Temperatur an, so sind die Ursachen dafür entweder eine zu hohe Verlustleistung innerhalb der Maschine, z. B. durch Überlastung, oder eine unzureichende Kühlwirkung. Ursache für eine unzulässig hohe Verlustleistung besonders im Rotor der Maschine kann auch ein Betrieb außerhalb der Spezifikationen des Motors, z. B. mit Unterspannung, sein.

Diese Effekte müssen durch technische Schutzeinrichtungen und in der EU-Baumusterprüfbescheinigung festgelegte Betriebsparametergrenzen beherrscht und Zündgefahren ausgeschlossen werden. Neben der durch die Temperaturklasse gegebenen Begrenzung dürfen auch die Dauerbetriebstemperaturen der Wicklungsisolierung, Dichtungen und anderer Anbauteile nicht überschritten werden, um eine vorzeitige Alterung mit eventuell zündfähigem

Ausfall zu vermeiden. Bei den heute üblicherweise eingesetzten Spannungszwischenkreisumrichtern sind auch ohne Sinusausgangsfilter die zusätzlichen Erwärmungen des Motors durch die Oberschwingungen sehr gering. Sie liegen bei den in der PTB untersuchten Motoren bei Einhaltung der zulässigen Betriebsparametergrenzen in den meisten Fällen unter 10 K. Bei Auslegung des Umrichters gemäß den Vorgaben der EU-Baumusterprüfbescheinigung für den Motor braucht der Störfall „blockierter Motor“ nicht berücksichtigt zu werden. Daher kann auch die dafür vorgehaltene Temperaturreserve deutlich verkleinert werden. Ein ganz wichtiger Punkt ist hingegen die Zunahme des thermischen Widerstandes zur Umgebung mit abnehmender Drehzahl bei eigenbelüfteten Maschinen. In Bild 3.2 ist dieser Zusammenhang für zwei Maschinen der Baugrößen 180 und 132 aufgetragen.

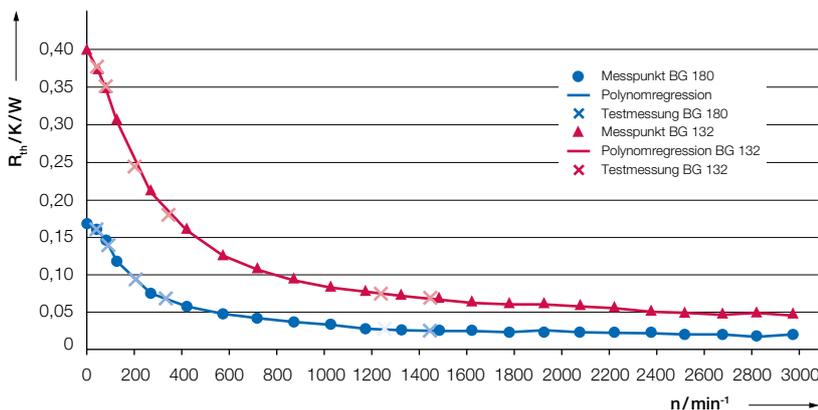


Bild 3.2: Verlauf des thermischen Widerstandes zur Umgebung in Abhängigkeit der Drehzahl

Dieser Effekt wird in dem neuen Prüf- und Zertifizierungskonzept für frequenzumrichter- und Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ durch eine drehzahlvariable Strombegrenzung des Frequenzumrichters berücksichtigt. In Bild 3.3 ist als Beispiel der maximale Maschinenstrom dargestellt, bezogen auf den Bemessungsstrom für eine

Maschine der Baugröße 132. Alle Betriebspunkte unterhalb der Kurve sind dauerhaft zulässig, oberhalb der Linie jedoch nur für eine begrenzte, in Abhängigkeit der Überlastung berechnete Zeit. Bei einem Maschinenstrom größer dem 1,5-fachen Bemessungsstrom erfolgt eine sofortige Abschaltung.

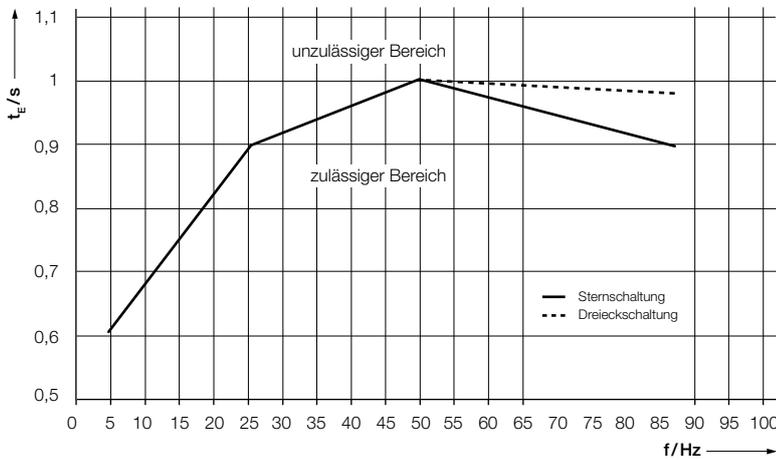


Bild 3.3: Drehzahlvariable Strombegrenzung, aus der EG-Baumusterprüfbescheinigung

Die Stützstellen der Kurven wurden durch Messungen in der PTB ermittelt. Zusätzlich zu diesem Schutz über eine frequenzabhängige Stromüberwachung wird noch eine zweite, gemäß der Richtlinie 2014/34/EU als Überwachungsgerät zertifizierte Schutzeinrichtung gefordert, da der Frequenzumrichter nicht zertifiziert ist und das von den Herstellern auch nicht gewünscht wird. Diese Schutzeinrichtung ist in den meisten Fällen eine direkte Temperaturüberwachung über Drillingskaltleiter mit geprüftem Kaltleiterauswertegerät. Die direkte Temperaturüberwachung hat den weiteren Vorteil, dass auch andere Störungen wie ein verstopftes Lüftergitter oder zu hohe Umgebungstemperaturen erkannt werden.

ter, wobei besonders der Grundsicherungsspannung an den Motorklemmen eine besondere Bedeutung zukommt. Wird z. B. der Spannungsabfall am Umrichter und den Motoranschlusskabeln nicht ausreichend berücksichtigt, so vergrößert sich bei unverändertem Drehmoment der Schlupf des Motors, und insbesondere der Rotor erhitzt sich sehr stark.

Der Spannungsabfall muss auch in jedem Fall berücksichtigt werden, wenn zwischen Motor und Umrichter zur Verminderung von Überspannungen ein Sinus-Ausgangsfilter geschaltet wird.

Sehr wichtig für den sicheren Betrieb ist auch die Einhaltung der im Datenblatt des Motors spezifizierten Betriebsparame-

ter. Der Motor ist für die zu erwartende Motorklemmenspannung zu bestellen oder die Eckfrequenz entsprechend anzupassen.

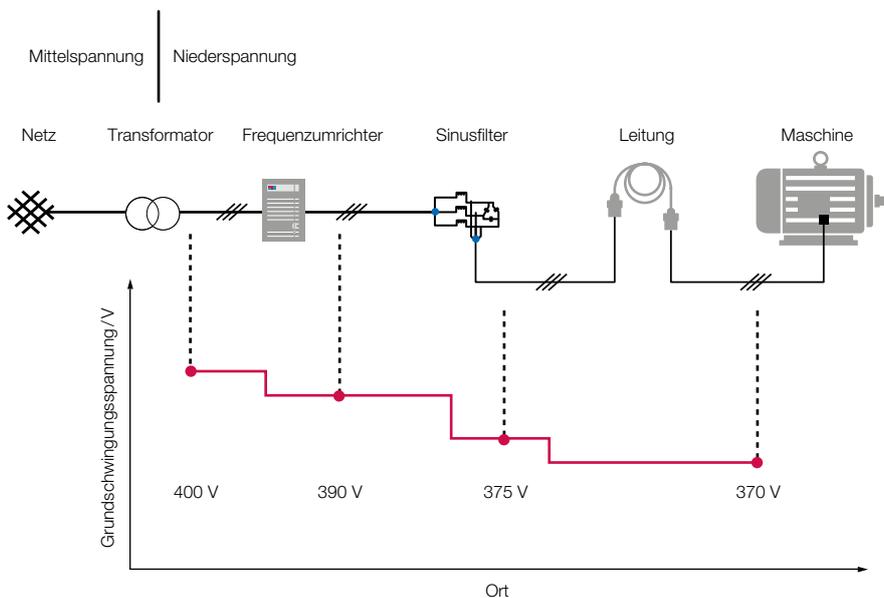


Bild 3.4: Spannungsabfälle zwischen Netz und Maschine

3.3 Oberschwingungsverluste

Eine weitere Quelle der Verluste und somit der Erwärmungen bei einem frequenzumrichter gespeisten Antrieb sind die durch die Frequenzumrichterspeisung bedingten Oberschwingungsverluste. Die Ursache hierfür sind die in der Versorgungsspannung des Motors enthaltenen Spannungsüberschwingungen, die nichts zur Drehmomentbildung des Motors beitragen, aber dennoch zu einem Stromfluss durch den Motor führen und somit zu Verlusten sowohl im Eisen (Wirbelstromverluste) als auch in der Statorwicklung sowie dem Läuferkäfig führen (ohmsche Verluste). Bildlich vorgestellt kann die Maschine aufgeteilt werden in eine das Drehmoment bildende

„Grundschwingungsmaschine“ und mehrere auf der Welle angeordnete „Oberschwingungsmaschinen“. Aufgrund der unterschiedlichen Frequenzen ist das Superpositionsprinzip anwendbar. Aus dieser bildlichen Vorstellung wird sehr gut ersichtlich, dass die Oberschwingungsverluste sowohl mit der Zahl der auftretenden Oberschwingungen als auch deren Amplitude ansteigen. Hierbei wird deutlich, dass die Frequenzumrichtereingangsspannung bzw. die Differenz zwischen dem Effektivwert und dem Grundschwingungswert der Motorspannung einen direkten Einfluss auf die Oberschwingungsverluste nehmen, wie die in Bild 3.5 dargestellte Messung zeigt.

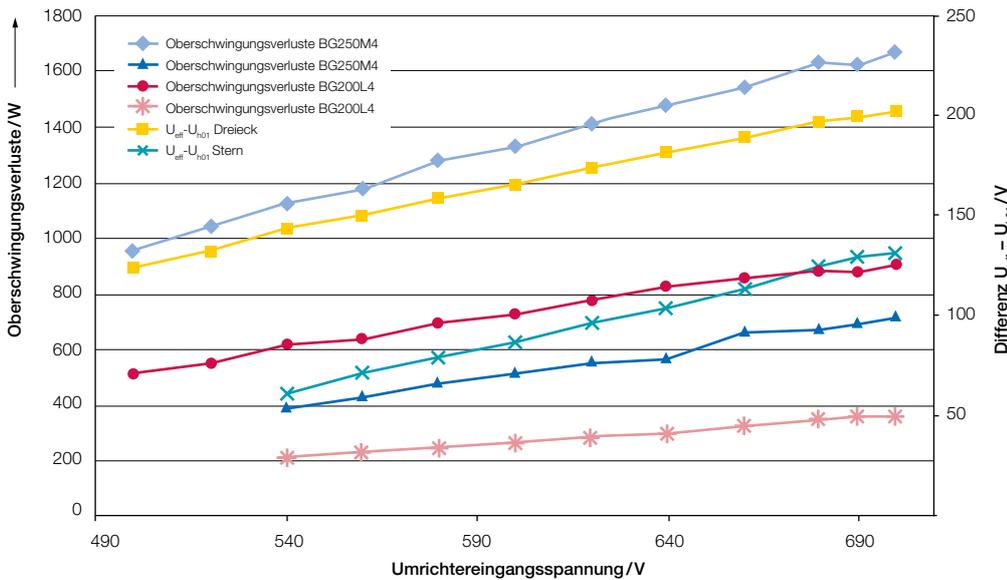


Bild 3.5: Abhängigkeit der Oberschwingungsverluste von der Umrichtereingangsspannung

Zur Begrenzung der Oberschwingungsverluste ist es daher erforderlich, die Versorgungsspannung des Umrichters zu

limitieren. Dieser Wert wird daher auch in der EU-Baumusterprüfbescheinigung aufgeführt. Bei Einhaltung dieser Vorgaben sind die Oberschwingungsverluste klein gegenüber den Grundschwingungsverlusten (unter 10 %) und führen nicht zu unzulässigen Erwärmungen.

3.4 Steigerung der Energieeffizienz

Dieser neue Ansatz wird mit dazu beitragen, den Anteil frequenzumrichterspeiseter Antriebe auch in der chemischen Industrie weiter zu steigern. Dadurch ergeben sich gerade beim Antrieb von Strömungsmaschinen sehr große Energieeinsparungspotenziale. Das Ergebnis eines Vergleiches der Energieeffizienz der Förderleistungsstellung über Bypass bzw. Reduzierventile und der direkten Drehzahlverstellung der Pumpe mittels Frequenzumrichter ist in Bild 3.6 dargestellt. Die angenommenen Randbedingungen waren dabei eine Bemessungsförderleistung der Pumpe von 50 m³/h bei einem Druck von 7 bar. Für die Betrachtung in Bild 3.6 wurde eine vom Prozess benötigte Fördermenge von 30 m³/h angesetzt. Bei angenommenen 5000 Teillastbetriebsstunden pro Jahr und einer Motor-Bemessungsleistung von 18 kW liegt bei den heutigen Energiepreisen die Amortisationszeit für den Frequenzumrichter oftmals unter einem Jahr.

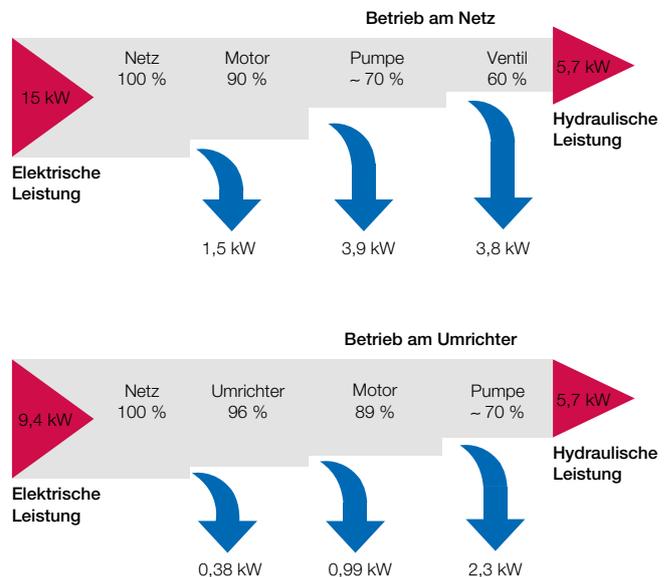


Bild 3.6: Von der elektrischen zur hydraulischen Leistung

Zusammenfassend betrachtet nimmt die Energieeinsparung gegenüber der Förderleistungsverstellung mittels Ventilen mit steigender Drosselung der Pumpe, d. h. abnehmender Förderleistung, zu. Wird die Pumpe ungedrosselt betrieben, so ergeben sich gegenüber dem direkten Betrieb am Netz hingegen wegen der Verluste des Umrichters und der Oberschwingungsverluste des Motors geringfügig höhere Verluste.

Wird die Pumpe prozessbedingt ständig mit ihrer Bemessungsförderleistung betrieben, ist eine Frequenzumrichterachrüstung nicht sinnvoll.

Bild 3.7 zeigt die abgeschätzte Amortisationszeit für einen Frequenzumrichter (Anschaffungspreis 2000 €) in Abhängigkeit der Förderleistung (Motorleistung 18 kW, Arbeitspreis 0,19 €/kWh).

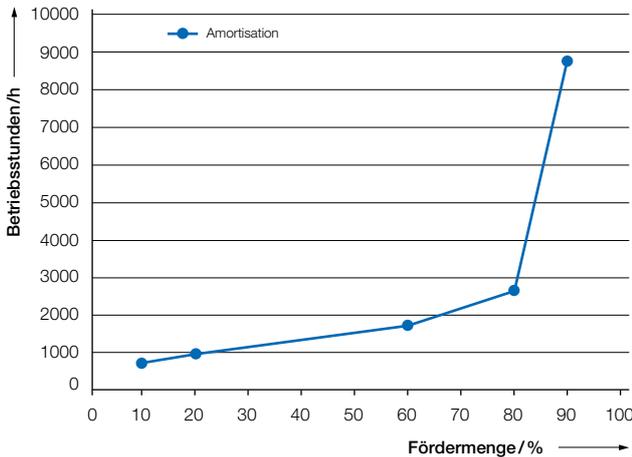


Bild 3.7: Amortisationszeit des Frequenzumrichters (Anschaffungspreis 2000 €) in Abhängigkeit Verhältnis Fördermenge zu Bemessungsfördermenge

Nun ist es in der realen Anwendung sehr unwahrscheinlich, dass die Pumpe über die Zeit konstant mit derselben hydraulischen Auslastung betrieben wird. Deutlich praxisnäher ist es, verschiedene Lastprofile für eine Abschätzung der Energieeinsparpotenziale anzunehmen, wobei jedes die Aufteilung verschiedener Auslastungen auf die gesamte Betriebszeit eines Jahres ausdrückt. Für die hier durchge-

föhrten Betrachtungen wurden die in Bild 3.8 dargestellten drei Lastprofile angenommen. Dabei wird von einer Betriebsdauer der Pumpe von insgesamt 5000 Stunden innerhalb eines Jahres ausgegangen. Die Balken stellen dort den zeitlichen Anteil der hydraulischen Auslastungen dar (50, 30, 10, 5 m³/h) dar, wobei die Bemessungsfördermenge 50 m³/h beträgt.

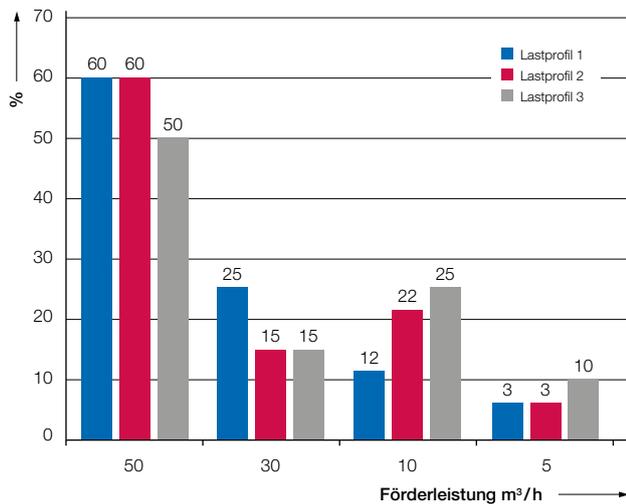


Bild 3.8: Zeitliche Aufteilung der hydraulischen Auslastung

Werden nun die über die Zeit anfallenden Kosten für den Betrieb am Netz und für den Betrieb am Frequenzumrichter unter Annahme der in Bild 3.8 dargestellten Lastprofile berechnet, so ergibt sich unter der vereinfachenden Annahme

konstanter Motorleistung für den Betrieb am Netz (Förderleistungserstellung über ein Bypassventil) eine durch den Koordinatenursprung laufende Gerade mit den Energiekosten pro Zeiteinheit als Steigung (Kosten Netzbetrieb).

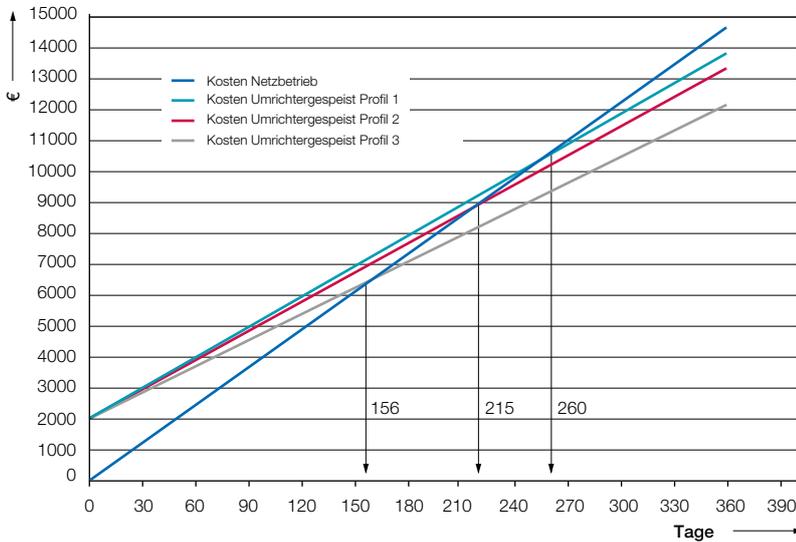


Bild 3.9: Energiekostenverlauf über der Zeit für den Betrieb am Netz und für den Frequenzumrichterbetrieb Anschaffungskosten des Frequenzumrichters: 2000 €

Die für die umrichter gespeisten Antriebe bereits bei der Zeit $t = 0$ entstandenen Kosten in Höhe von 2000 € entsprechen den angenommenen Anschaffungskosten des Frequenzumrichters. Aus den Schnittpunkten der Geraden für den Umrichterbetrieb und den Netzbetrieb ergeben sich direkt die Amortisationszeiten in Tagen, wie durch die gestrichelten Linien angedeutet. Über den in Bild 3.9 dargestellten Zusammenhang lassen sich die Amortisationszeiten für beliebige Investitionskosten (Parallelverschiebung der „Umrichterkurven“) sowie für andere, eventuell

energetisch günstigere Methoden zur konventionellen Förderleistungseinstellung (Abflachung der „Netzkurve“) ermitteln. Aber selbst bei einer deutlichen Verlängerung der Amortisationszeiten ist der Einsatz von Frequenzumrichtern für den Antrieb von Strömungsmaschinen in den meisten Fällen über die Nutzungsdauer des Gerätes mit großen finanziellen Einsparungen und anderen Vorteilen, z.B. Optimierung der Prozessführung und Vermeidung von Spannungseinbrüchen beim Anlauf von Pumpen großer Leistung, verbunden.

3.5 Zusammenfassung und Ausblick

Die bisherigen Erfahrungen mit dem neuen Prüf- und Zertifizierungskonzept für frequenzumrichter gespeiste Antriebe der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ sind äußerst vielversprechend, und es zeigt sich, dass bis zur Temperaturklasse T3 eine Zertifizierung für den Betrieb am Umrichter problemlos möglich ist. Voraussetzung für den sicheren Betrieb ist jedoch, dass die im Datenblatt spezifizierten Betriebsparameter des Motors eingehalten werden und die

Wicklung für die auftretenden Spannungsimpulse geeignet ist. Zurzeit erfolgt gerade zusammen mit einem Unternehmen die Entwicklung eines Motorschutzgerätes für umrichter gespeiste Antriebe. Beim Einsatz des Gerätes können dann auch Frequenzumrichter ohne drehzahlvariable Strombegrenzung eingesetzt werden. Der Kaltleiter ist auch nicht mehr zwingend erforderlich. Bild 3.10 zeigt den möglichen Einsatz des Schutzgerätes.

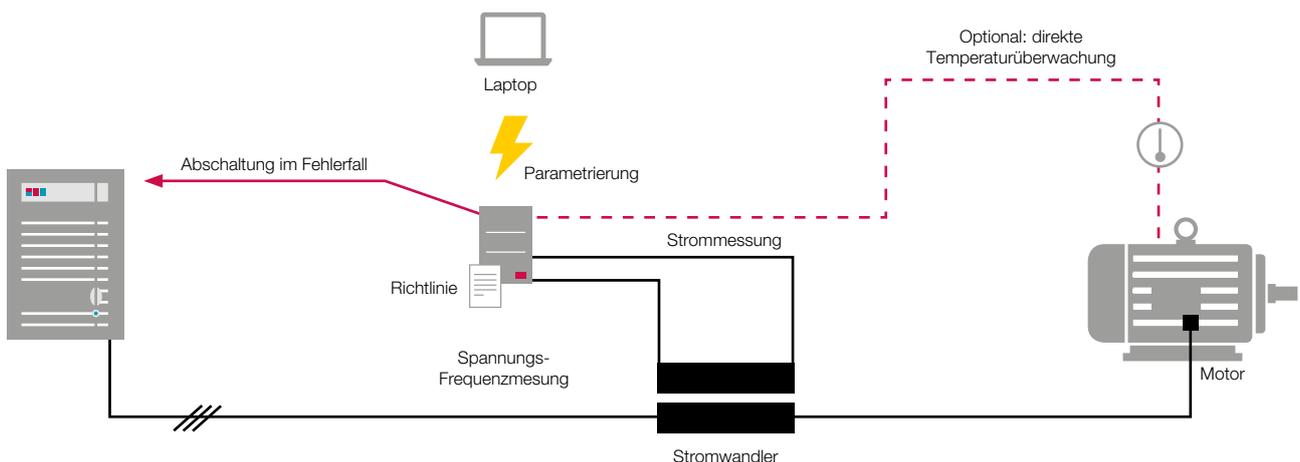


Bild 3.10: Überwachung des Motors bei Umrichterbetrieb

Zusammenfassend kann ausgeführt werden:

3.6 Betrieb am Frequenzumrichter bei Einsatz in Zone 2 (Ex II 3G) bzw. Zone 22 (Ex II 3D)

Ein Betrieb am Frequenzumrichter ist nur innerhalb der auf dem Typenschild angegebenen Betriebspunkte zulässig. Eine kurzzeitige Überschreitung des Maschinenbemessungsstromes bis zum 1,5-fachen Bemessungsstrom ist für maximal 1 min innerhalb eines Zeitintervalls von 10 min zulässig. Die angegebene maximale Drehzahl bzw. Frequenz darf in keinem Fall überschritten werden. Durch eine entsprechende Umrichtererauswahl oder/und dem Einsatz von Filtern ist sicherzustellen, dass die maximal zulässige

Impulsspannung an den Motorklemmen nicht überschritten wird.

Es ist sicherzustellen, dass die an den Motorklemmen anliegende Betriebsspannung in jedem Fall (Spannungsabfall über Filter beachten!) mit der Angabe auf dem Typenschild übereinstimmt. Der thermische Wicklungsschutz ist entweder über ein separates Auslösegerät oder durch den Umrichter auszuwerten.

3.7 Betrieb am Frequenzumrichter bei Einsatz in Zone 21 (Ex II 2D)

Motoren zum Einsatz in Zone 21 sind für den Betrieb am Frequenzumrichter grundsätzlich durch eine notifizierte Stelle zu bescheinigen. Die auf dem Typenschild sowie in der EU-Baumusterprüfbescheinigung festgelegten Grenzwerte sind unbedingt einzuhalten. Dies bedeutet

insbesondere auch die Überwachung des Motorstromes in Abhängigkeit der Frequenz. Es dürfen nur Frequenzumrichter eingesetzt werden, die den in der EU-Baumusterprüfbescheinigung genannten Anforderungen genügen.

3.8 Betrieb am Frequenzumrichter bei Einsatz in Zone 1 (Ex II 2G)

Motoren der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ zum Einsatz in Zone 1 sind für den Betrieb am Frequenzumrichter grundsätzlich durch eine notifizierte Stelle zu bescheinigen. Die auf dem Typenschild sowie in der EU-Baumusterprüfbescheinigung festgelegten Grenzwerte sind unbedingt einzuhalten. Dies bedeutet insbesondere auch die Überwachung des Dauerstroms in Abhängigkeit der Frequenz. Es dürfen nur Frequenzumrichter eingesetzt werden, die den in der EU-Baumusterprüfbescheinigung genannten Anforderungen genügen. Die Auswertung des eingebauten thermischen Wicklungsschutzes hat über eine den Anforderungen der Richtlinie 2014/34/EU entsprechende Auslöseeinheit mit der Ex-Kennzeichnung II (2) G zu erfolgen. Die angegebene maximale Drehzahl bzw. Frequenz darf in keinem Fall überschritten werden. Durch eine entsprechende Umrichtererauswahl oder/und den Einsatz von Filtern ist die maximal zulässige Impulsspannung von 1560 V an den Motorklemmen zu begrenzen. Es ist sicherzustellen, dass die an den Motorklemmen anliegende Betriebsspannung in jedem Fall (Spannungsabfall über Filter beachten!) mit der Angabe auf dem Typenschild übereinstimmt. Ist aufgrund der Spannungsabfälle über dem Frequenzumrichter, den Leitungen und eventuellen Drosseln bzw. Filtern die Klemmenspannung am Motor kleiner als die auf dem Typenschild angegebene Bemessungsspannung, so ist die Eckfrequenz auf einen entsprechend einer linearen Spannungs-/Frequenzzuordnung kleineren Wert einzustellen. Damit ergibt sich ein kleinerer möglicher Drehzahlregelbereich.

PTB

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin

Datenblatt 03 zur EG-Baumusterprüfbescheinigung PTB 07 ATEX 3143 X

der Firma **VEM Motors GmbH**
Carl-Friedrich-Gauß-Str. 1, 38655 Wemigerode, Deutschland

für Drehstrom-Asynchronmotor Typ K11R 180 L6 Eexl

Bemessungsgrößen und Daten

Diese Bescheinigung gilt unter der Voraussetzung, dass sich die Motoren dieses Typs hinsichtlich der elektrischen und thermischen Beanspruchung nur unwesentlich von dem geprüften Muster unterscheiden, für die folgenden Ausführungen:

Sternschaltung					
Drehmoment:	80	130	150	90	Nm
Leistung:	0,68	6,5	15	15,8	kW
Spannung: *)	40	200	400	400	V
Strom:	18,5	26	29,2	31,9	A
Frequenz:	5	25	50	87	Hz
Drehzahl:	81	475	972	1672	min ⁻¹
Betriebsart:	S1				
Wärmeklasse:	F				
Dreieckschaltung					
Drehmoment:	80	130	150	140	Nm
Leistung:	0,68	6,5	15	25,2	kW
Spannung: *)	23	115	230	400	V
Strom:	32	45	50,6	48,5	A
Frequenz:	5	25	50	87	Hz
Drehzahl:	81	475	972	1712	min ⁻¹
Betriebsart:	S1				
Wärmeklasse:	F				

*) Grundschiwingung, an den Motorklemmen gemessen.
Die Spannung ist von der Umrichterangangsleistung, dem Spannungsabfall am Filter und über der Motoranschlussleitung abhängig und darf den Bemessungswert auch bei minimaler Umrichterangangsleistung um nicht mehr als 5 % entsprechend IEC 60034 – 1 Bereich „A“ unterschreiten. Dies ist bei der Motorauslegung, der Umrichterparametrierung (z. B. U/f – Anpassung) und bei der minimalen Umrichterangangsleistung zu berücksichtigen. Die maximale Eingangsleistung des Umrichters beträgt 500 V.

Eine Anpassung der Bemessungsspannung des Motors ist über die Windungszahl der Wicklung zulässig. Der Bemessungsstrom ändert sich im reziproken Verhältnis zur Bemessungsspannung.

Blatt 1/3

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Braunschweig und Berlin
Datenblatt 03 zur EG-Baumusterprüfbescheinigung PTB 07 ATEX 3143 X

Überwachungseinrichtung
 Gegen unzulässige Erwärmung infolge Überlastung werden die Motoren durch eine Einrichtung zur direkten Temperaturüberwachung verbunden mit festgelegten Einstelldaten des Umrichters überwacht.

Wegen der Besonderheiten der Motoren mit Umrichterspeisung und der angepassten Überwachungseinrichtung entfallen für die Motoren mit dem Umrichterbetrieb die Angaben über das Verhältnis I_{th}/I_n und die Erwärmungszeit t_w .

Die Einrichtung zur direkten Temperaturüberwachung ist von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt typengeprüft und besteht aus drei in die Wicklung eingebauten Kathetern DIN 44082 Typ S 130 sowie einem nach der Richtlinie 94/9/EG hierfür funktionsgeprüften Auslösegerät.

Bei einem Strangstrom von 174 A und blockierter Welle muss der Katheter nach 42,4 s ($\pm 20\%$) ausgehend vom kalten Zustand (20 °C) ansprechen.

Durch die Temperaturüberwachungseinrichtung wird gemäß EN 60079-7 die Temperaturklasse T3 eingehalten.

Umrichtereinstelldaten
 In Verbindung mit der vorgenannten Überwachungseinrichtung sind folgende Umrichterdaten einzustellen und im Betrieb einzuhalten:

Minimale Taktfrequenz:	3	kHz
Stromgrenze kurzzeitig:	1,5%	
Maximale Überlastzeit:	60	s
Minimalfrequenz f_{min} :	5	Hz
Maximalfrequenz f_{max} :	87	Hz
Zulässige Dauer für den Betrieb unter f_{max} :	60	s

Die maximale Überlastzeit und die zulässige Dauer für den Betrieb unter f_{max} beziehen sich auf ein Zeitintervall von 10 min.

Das Drehmoment in Abhängigkeit der Frequenz ergibt sich aus der zulässigen Dauerstromgrenze.

Blatt 2/3

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Braunschweig und Berlin
Datenblatt 03 zur EG-Baumusterprüfbescheinigung PTB 07 ATEX 3143 X

Die Dauerstromgrenze des Frequenzumrichters muss gemäß dem folgenden Diagramm in Abhängigkeit der Frequenz eingestellt werden:

Einstellparameter für die Dauerstromgrenze des Frequenzumrichters zwischen 5 Hz und 87 Hz

Alle übrigen Einstelldaten sind den Erfordernissen des Antriebes entsprechend zu wählen.

Besondere Bedingungen
 Ein Gruppenbetrieb der Motoren ist nicht zulässig.
 Die Motoren dieses Typs dürfen nur an Umrichtern betrieben werden, die die oben unter "Umrichtereinstelldaten" genannten Anforderungen erfüllen.
 Der Bemessungsstrom des Frequenzumrichters darf maximal dem zweifachen Motorbemessungsstrom entsprechen.
 Die Stromüberwachung des Frequenzumrichters muss den Effektivwert des Maschinenstromes mit einer Toleranz von $\pm 5\%$ bezogen auf den Motorbemessungsstrom erfassen.
 Vor der Inbetriebnahme ist sicherzustellen, dass an den Klemmen der elektrischen Maschine keine umrichterbedingten Überspannungen mit einem Scheitelwert von mehr als 1556 V ($2 \cdot \sqrt{2} \cdot 550V$) auftreten.

Bemessungs- und Prüfbericht PTB Ex 09-38060

Zertifizierungsstelle Explosionsschutz
 im Auftrag

Dr.-Ing. F. Lienesch
 Regierungsdirektor

Braunschweig, 23. Juli 2009

Blatt 3/3

Bild 3.11: Beispiel einer EG-Baumusterprüfbescheinigung in Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ für Betrieb am Frequenzumrichter

3.9 Permanentmagneterregte Synchronmaschinen/Reluktanzmaschinen

Die Synchronmaschine als solche ist ein seit den Anfängen der elektrischen Antriebstechnik bekannter Maschinentyp, der für Motoren sehr hoher Leistung als fremderregter Synchronmotor zur Anwendung kommt. Ebenfalls basieren alle Generatoren größerer Leistung von thermischen Kraftwerken und Wasserkraftwerken auf diesem Funktionsprinzip. Normativ ist in der Norm IEC/EN 60034-1 dieser Maschinentyp bezüglich der Anforderungen beschrieben.

Bei der permanentmagneterregten Synchronmaschine wird die zur Erregung des Rotormagnetfeldes benötigte Gleichstromwicklung des Rotors durch Permanentmagnete ersetzt. Im Bereich der Positionierantriebe (z. B. Roboterarm in der Automobilindustrie) ist die permanentmagneterregte Synchronmaschine schon seit mehreren Jahren als Stand der Technik anzusehen.

Der Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen ist bei den permanentmagneterregten Synchronmaschinen und den Reluktanzmaschinen prinzipiell möglich. Er erfordert aber eine Einzelfallbetrachtung, bei der ausgehend vom konstruktiven Aufbau der Maschine und den vorhandenen potenziellen Zündquellen der nötige Prüfaufwand von der notifizierten Stelle abgesteckt wird.

Für die Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ wird in den aktuell harmonisierten Normen IEC/EN 60079-7 und IEC/EN 60079-0 nicht auf die speziellen Anforderungen dieser Maschinen eingegangen. Auch auf IEC-Ebene sind aktuell keine normativen Festlegungen zur Prüfung der permanentmagneterregten Synchronmaschine vorhanden.

Die explosionsgeschützte, permanentmagneterregte Synchronmaschine und deren Prüfung ist Gegenstand eines aktuellen Forschungsprojektes in der PTB.

4 Das VEM-Lieferprogramm explosionsgeschützter Betriebsmittel

4.1 Übersicht

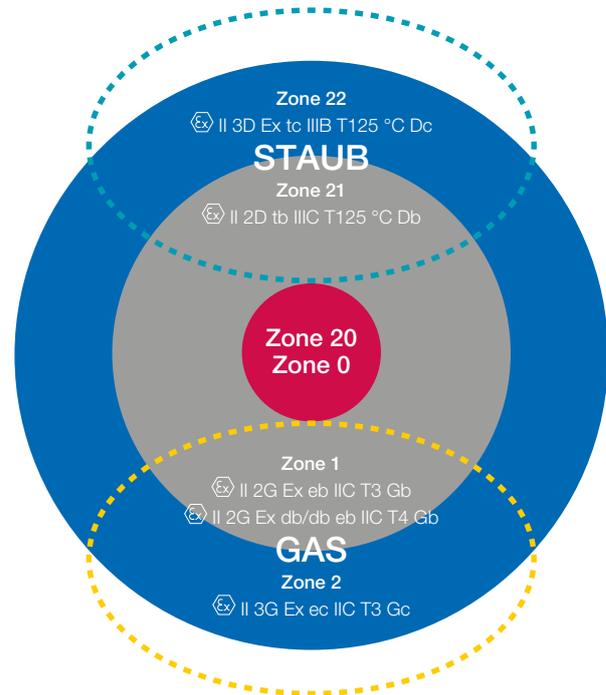
Das umfassende Sortiment an VEM-Niederspannungsmotoren bietet der Chemieindustrie eine breite Auswahl an explosionsgeschützten Motoren in den verschiedenen Zündschutzarten für gas- und staubexplosiongeschützte Bereiche. Zum Sortiment gehören die Zündschutzarten

Explosiongeschützte Drehstrom-Asynchronmotoren mit Käfigläufer für Niederspannung

- Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“
Ex e II nach IEC/EN 60079-0 / IEC/EN 60079-7
- Zündschutzart druckfeste Kapselung „db/db eb“
Ex d/de nach IEC/EN 60079-0 / IEC/EN 60079-1
- Zündschutzart erhöhte Sicherheit „ec“ (alt: „n“) nach IEC/EN 60079-0 / IEC/EN 60079-7 (alt: IEC/EN 60079-15)
- Motoren für den Einsatz in Bereichen mit brennbaren Stäuben (Ex) II 2D, (Ex) II 3D IEC/EN 60079-0 / IEC/EN 60079-31
IEC/EN 61241-1, EN 60079-0/EN 60079-31
- Motoren für den wahlweisen Einsatz in Gas- und Staubexplosionsschutz 2G oder 2D, 3G oder 2D und 3G oder 3D

VEM liefert diese Antriebe seit Jahrzehnten. Sie sind durch die

- **Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig (notifizierte Stelle Nr. 102), die**
- **IBExU Freiberg (notifizierte Stelle Nr. 0637) oder die**
- **DMT Gesellschaft für Forschung und Prüfung mbH (notifizierte Stelle 0158), jetzt DEKRA EXAM GmbH,** geprüft und bescheinigt. Diese Prüfscheine werden von allen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union anerkannt. Die nicht der EU angehörenden Mitglieder der CENELEC



akzeptieren diese ebenfalls. Bei Sonderausführungen, die den Explosionsschutz beeinflussen (andere Frequenz, Leistung, Kühlmitteltemperatur, Einsatz am Frequenzrichter usw.), kann eine Zusatz- oder Neubescheinigung erforderlich werden.

4.2 Energieeffizienz und Explosionsschutz

Waren die Fragen der Klassifizierung von Energiesparmotoren in Europa früher auf freiwilliger Basis durch das Voluntary Agreement geregelt (Wirkungsgradklassen EFF1, EFF2 und EFF3), so ist an diese Stelle jetzt die IEC/EN 60034-30-1 getreten: „Wirkungsgrad-Klassifizierung von Drehstrommotoren mit Käfigläufern, ausgenommen polumschaltbare Motoren (IE-Code)“. Diese Norm legt für 2- bis 8-polige Motoren im Leistungsbereich 0,12 kW – 1000 kW die Mindestwirkungsgrade für die Wirkungsgradklasse IE1 (Standard-Wirkungsgrad), IE2 (Hoher Wirkungsgrad), IE3 (Premium-Wirkungsgrad) und IE4 (Super Premium Wirkungsgrad) fest. Zu beachten ist, dass sich mit dem Übergang auf diese Norm auch die Messverfahren zur Bestimmung des Wirkungsgrades geändert haben. Wurde vorher die IEC/EN 60034-2 angewendet, bei der die Zusatzverluste pauschal mit 0,5 % der Eingangsleistung bewertet wurden, ist mit der neuen Regelung die IEC/EN 60034-2-1 Grundlage der Wirkungsgradbestimmung; die Zusatzverluste werden hier durch Prüfung ermittelt.

In die Wirkungsgradklassifizierung nach IEC/EN 60034-30-1 (IE1...IE4) sind auch Motoren für den Betrieb in explosiven Atmosphären (IEC/EN 60079) integriert. Damit sind alle für elektrische Betriebsmittel relevanten Zündschutzarten, wie druckfeste Kapselung „db“, erhöhte Sicherheit „eb“, erhöhte Sicherheit „ec“ (alt: „n“) und Schutz durch Gehäuse „tb“ und „tc“, eingeschlossen. Für sie gelten zwar nach VO Nr. 640/2009 und VO Nr. 4/2014 keine Mindestwirkungsgrade, aber auf Grund der Forderungen beispielsweise in der chemischen Industrie wird sich auch in diesem Produktsegment die Energieeffizienz etablieren. Von der Auslegung her sind dabei die Motoren in Ex db/db eb, Ex ec und die

Staubzündschutzarten relativ unproblematisch. Es gibt hier gegenüber den Standardmotoren keine gesonderte Baugrößen-/Leistungszuordnung; die elektrische Auslegung ist identisch. Das bedeutet, dass die EN 50347 für diese Motoren voll gültig ist. Der Explosionsschutz konzentriert sich bei diesen Zündschutzarten in erster Linie auf spezielle konstruktive Maßnahmen, wie den Einsatz zertifizierter Komponenten, spezieller Anschlusssysteme, erhöhter Luft- und Kriechstrecken, Fragen der elektrostatischen Aufladung bei Lüftern, die Einhaltung bestimmter Mindest-IP-Schutzgrade und Werkstofffragen (insbesondere Alterungs- und Temperaturbeständigkeit von Dichtungselementen). Die Temperaturbegrenzungsmaßnahmen an der Oberfläche der Motoren, bzw. im Inneren stehen hohen Wirkungsgraden ebenfalls nicht konträr gegenüber. Aus diesem Grunde waren bereits in der Vergangenheit Motoren mit erhöhten Wirkungsgraden in diesen Zündschutzarten auf dem Markt zu finden.

VEM-Motoren der Energiesparreihe WE.R in den Zündschutzarten erhöhte Sicherheit „ec“ (alt: „n“) und Schutz durch Gehäuse „tb“ und „tc“ sind seit längerer Zeit im Lieferprogramm. Diese Motoren können als IE2-W..R/IE2-KPR/KPER und als IE3-W4.R geliefert werden. Motoren in druckfester Kapselung „db“ der Reihe K82R können ebenfalls in der Klasse IE2 (K82R...Y2) und IE3 (K82R...Y3) geliefert werden.

Anders gestaltet sich die Situation in der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“. Hier kommt zusätzlich zu den bereits genannten Maßnahmen die Temperaturbegrenzung im Fehlerfall hinzu. Das bedeutet besondere Anforderungen an

den Anlaufstrom und die Gewährleistung möglichst großer t_E -Zeiten. Weiterhin ist die Baugrößen-/Leistungszuordnung in Deutschland über die Normen DIN 42673 und DIN 42677 geregelt. Da es sich bei diesen Motoren um Geräte der Kategorie 2 (Einsatz in Zone 1) handelt, sind gesonderte EU-Baumusterprüfbescheinigungen für Motoren dieser Zündschutzart erforderlich.

Bereits mit Beginn der Gültigkeit der IEC/EN 60034-30 konnten die Motoren der Reihe K1.R 112-355 in der IE1-Ausführung geliefert werden. Inzwischen stehen die Motoren in IE2- und IE3-Ausführung als Reihen IE2-K11R.../IE2-K41R.../IE2-KPR/KPER... Exe IIC T3 und IE3-K11R.../IE3-K4.R.../IE3-KPR/KPER... Exe IIC T3 zu Verfügung. Auf Anfrage sind Motoren der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“ auch in IE4-Ausführung lieferbar.

4.3 Gasexplosionsgeschützte Motoren

4.3.1 Käfigläufermotoren, Zündschutzart druckfeste Kapselung „db/db eb“

Reihe	K82R, B82R (-Y2, -Y3) (Y2 entspricht IE2-Ausführung, Y3 entspricht IE3-Ausführung)
Baugrößen	63 – 450
Schutzarten	IP 55, IP 56, IP 65 nach IEC/EN 60034-5
Kühlart	IC 411 nach EN 60034-6
Bauformen	IM B3, IM B35, IM B5, IM B14, IM B34 und abgeleitete Bauformen n. IEC/EN 60034-7
Umgebungstemperaturen	-55 °C bis +60 °C
Temperaturklasse	T3 bis T6
Explosionsgeschützte Ausführung gemäß Gerätegruppe II, Kategorie 2 Ex db(eb)	IEC/EN 60079-0 Allgemeine Bestimmungen IEC/EN 60079-1 druckfeste Kapselung „db“

Anbaumaße und Leistungszuordnung nach DIN 42673 Blatt 3 bzw. DIN 42677 Blatt 3

Zulassungsübersicht:

Baureihen und Achshöhen	Ex II 2G Ex d(e) IIC T3 – T6	Ex II 2G Ex d(e) IIB+H2 T3 – T6
K82. 63 – 71	PTB09ATEX1017 X	PTB09ATEX1032 X
K82. 80 – 160	PTB09ATEX1018 X	PTB09ATEX1033 X
K82. 180	PTB09ATEX1019 X	PTB09ATEX1034 X
K82. 200	PTB09ATEX1020 X	PTB09ATEX1035 X
K82. 225 – 315	PTB09ATEX1018 X	PTB09ATEX1033 X
K82. 355	PTB09ATEX1021 X	PTB09ATEX1036 X
K82. 400	PTB09ATEX1022 X	PTB09ATEX1037 X
K82. 450	PTB09ATEX1023 X	PTB09ATEX1038 X
B82. 80 - 132		PTB09ATEX1039 X

Kennzeichnungsbeispiel:

Ex d IIC T4 Gb oder Ex db IIC T4

4.3.2 Käfigläufermotoren, Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“

Typ	KPR/KPER/IE1-KPR/KPER/IE2- KPR/KPER K1.R/IE1-K1.R/IE2-K1.R/IE3-K1.R/K4.R/W52R
Baugröße	56 – 400
Schutzarten	IP 54, IP 55, IP 56, IP 65 nach IEC/EN 60034-5
Kühlart	IC 411 nach IEC/EN 60034-6
Bauformen	IM B3, IM B35, IM B5, IM B14, IM B34 und abgeleitete Bauformen nach IEC/EN 60034-7 Bei Montage der Motoren in Bauformen mit vertikaler Wellenlage muss das Hineinfallen von Fremdkörpern in die Belüftungsöffnungen verhindert sein (Schutzdach).
Explosionsschutz	Ausführung gemäß Gerätegruppe II, Kategorie 2 nach IEC/EN 60079-0 Allgemeine Bestimmungen IEC/EN 60079-7 erhöhte Sicherheit „eb“
Temperaturklassen	T1 und T2, T3 oder T4
Anbaumaße und Leistungszuordnung	nach EN 50347 (DIN 42673 Blatt 2 bzw. DIN 42677 Blatt 2)

Umgebungstemperaturen -40 °C bis +40 °C, bei Achshöhen 56 bis 112: -20 °C bis +40 °C, andere Werte gemäß Nachträgen und zugehörigen Daten- oder Beiblättern

Anschlusskästen:

EG-Baumusterprüfbescheinigung IExU00ATEX1051 U einschließlich 1. bis 6. Ergänzung

Die Konstruktion der Motoren ist von der PTB und vom IExU Institut für Sicherheitstechnik GmbH, geprüft und wie folgt genehmigt:

Weiterhin liegen die in Nachfolgenden aufgeführten EG-Baumusterprüfbescheinigungen mit entsprechenden Beiblättern zur Dokumentation für die bestimmungsgemäße Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen vor.

Motor mechanisch:

EG-Baumusterprüfbescheinigung IExU02ATEX 1108 U
EG-Baumusterprüfbescheinigung IExU00ATEX1083 U einschließlich 1. bis 11. Ergänzung

Die für die einzelnen Typen gültigen Beiblätter zu den EG-Baumusterprüfbescheinigungen sind der Zulassungsübersicht zu entnehmen.

Baureihen und Achshöhen	EG-Baumusterprüfbescheinigung	EG(EU)-Baumusterprüfbescheinigung
(E.-) KPER 56	PTB99ATEX3308	IExU02ATEX1109
(E.-) KPER 63	PTB99ATEX3309	IExU02ATEX1110
(E.-) KPER 71	PTB99ATEX3310	IExU02ATEX1111
(E.-) KPER 80	PTB99ATEX3311	IExU02ATEX1112
(E.-) KPER 90	PTB99ATEX3312	IExU02ATEX1113
(E.-) KPER 100	PTB99ATEX3313	IExU02ATEX1114
(E.-) KPER 112	PTB99ATEX3314	IExU02ATEX1115
(E.-) K1.R 112	PTB09ATEX3004/PTB08ATEX3026X	IExU02ATEX1153
(E.-) K1.R 132	PTB08ATEX3037/PTB08ATEX3001X	IExU99ATEX1142
(E.-) K1.R 160	PTB08ATEX3038/PTB07ATEX3142X	IExU99ATEX1105
(E.-) K1.R 180	PTB08ATEX3039/PTB07ATEX3143X	IExU99ATEX1138
(E.-) K1.R 200	PTB08ATEX3040/PTB08ATEX3027X	IExU99ATEX1143
(E.-) K1.R 225	PTB08ATEX3041/PTB08ATEX3028X	IExU99ATEX1144
(E.-) K1.R 250	PTB08ATEX3042/PTB08ATEX3029X	IExU99ATEX1131
(E.-) K1.R 280	PTB08ATEX3043/PTB08ATEX3030X	IExU99ATEX1030
(E.-) K1.R 315	PTB08ATEX3044/PTB08ATEX3031X	IExU99ATEX1137
(E.-) K1.R 355	PTB08ATEX3032X	IExU01ATEX1009
(E.-) K4.R 355		IExU15ATEX1146
(E.-) K4.R 400		IExU15ATEX1075
W52R 355		IExU15ATEX1179 *)
W52R 400		IExU15ATEX1180 *)

*) EU-Baumusterprüfbescheinigung

Kennzeichnungsbeispiel:

Ex e IIC T3 Gb (alternativ: Ex eb IIC T3)
neu nach IEC/EN 60079-7: Ex eb IIC T3 Gb (alternativ Ex eb IIC T3)

4.3.3 Käfigläufermotoren, erhöhte Sicherheit „ec“ (alt: „n“)

Typ	KPER/KPR/IE1-KPR/KPER/IE2-KPR/KPER K1.R/W.1R/IE1-K1.R/IE2-W..R/IE3-W4.R
Baugröße	56 – 400
Schutzarten	IP 54, IP 55, IP 56, IP 65 nach IEC/EN 60034-5
Kühlart	IC 411 nach IEC/EN 60034-6
Anbaumaße und Leistungszuordnung	nach EN 50347
Bauformen	IM B3, IM B35, IM B5 und abgeleitete Bauformen nach IEC/EN 60034-7, Bei Montage der Motoren in Bauformen mit vertikaler Wellenlage muss das Hineinfallen von Fremdkörpern in die Belüftungsöffnungen verhindert sein (Schutzdach)
Temperaturklasse	T2, T3 oder T4
Umgebungstemperaturen	-40 °C bis +55 °C für Achshöhen 56 – 112: -20 °C bis +55 °C
Explosiongeschützte Ausführung	gemäß Gerätegruppe II, Kategorie 3 IEC/EN 60079-0 Allgemeine Bestimmungen IEC/EN 60079-7 erhöhte Sicherheit „ec“ (alt: IEC/EN 60079-15 Zündschutzart „n“)

Für die Konstruktion der Motoren liegen folgende Baumusterprüfbescheinigungen vor:

Reihe KPR 56 – 112:	IBExU06ATEXB001
Reihe KPR 63 – 132 T:	IBExU06ATEXB002
Reihe (IE1-)K1.R 112 – 355:	IBExU09ATEXB006
Reihe (IE-)W.1R 112 – 315:	IBExU03ATEXB004

Kennzeichnungsbeispiel:

Ex nA IIC T3 Gc (alternativ: Ex nAc IIC T3)

4.4 Staubexplosiongeschützte Motoren

4.4.1 Käfigläufermotoren für den Einsatz bei Anwesenheit von brennbaren Stäuben, Zone 21

Typ	KPR/KPER/IE1-KPR/KPER/IE2-KPR/KPER K2.Q/IE1-K2.Q/K1.R/IE1-K1.R/IE2-W.1R/IE3-W4.R
Baugröße	56 – 355
Schutzart	IP 65 nach IEC/EN 60034-5
Kühlart	IC 411 nach IEC/EN 60034-6
max. Oberflächentemperatur	125 °C, andere Oberflächentemperaturen auf Anfrage
Bauformen	IM B3, IM B35, IM B5 und abgeleitete Bauformen nach IEC/EN 60034-7, bei Montage der Motoren in Bauformen mit vertikaler Wellenlage muß das Hineinfallen von Fremdkörpern in die Belüftungsöffnungen verhindert sein (Schutzdach)
Anbaumaße und Leistungszuordnungen	nach EN 50347
Umgebungstemperaturen	-30 °C bis +40 °C (+55 °C), für Achshöhen 56 bis 132 T: -20 °C bis +40 °C (+55 °C)
Explosiongeschützte Ausführung	gemäß Gerätegruppe II, Kategorie 2 IEC/EN 60079-0, IEC/EN 60079-31, EN 61241-0 Allgemeine Bestimmungen EN 61241-1 Schutz durch Gehäuse „tD“

Für die Konstruktion der Motoren liegen folgende EG-Baumusterprüfbescheinigungen vor:

Reihe KPER 56 bis 132 T:	DTM00ATEXE012X
Reihe (IE1-)K2.Q 112 – 315:	IBExU02ATEX1019
Reihe (IE1-)K1.R 112 – 355:	IBExU09ATEX1065
Reihe (IE-)W.1R 112 – 315:	IBExU04ATEX1118

Kennzeichnungsbeispiel:

Ex tb IIIC T125 °C Db (alternativ: Ex tb IIIC T125 °C)

4.4.2 Käfigläufermotoren für den Einsatz bei Anwesenheit von brennbaren Stäuben, Zone 22

Typ	KPR/KPER/IE1-KPR/KPER/IE2-KPR/KPER K1.R/K2.R/IE1-K2.R/IE2-W.1R/IE3-W.4R
Baugröße	56 – 400
Schutzart	IP 55 nach IEC/EN 60034-5 (bei leitfähigen Stäuben IP 65)
Kühlart	IC 411 nach IEC/EN 60034-6
max. Oberflächentemperatur	125 °C, andere Oberflächentemperaturen auf Anfrage
Bauformen	IM B3, IM B35, IM B5 und abgeleitete Bauformen nach IEC/EN 60034-7, bei Montage der Motoren in Bauformen mit vertikaler Wellenlage muss das Hineinfallen von Fremdkörpern in die Belüftungsöffnungen verhindert sein (Schutzdach)
Anbaumaße und Leistungszuordnungen nach EN 50347.	
Umgebungstemperaturen	-40 °C bis +40 °C, für die Achshöhen 56 bis 132 T: -35 °C bis +40 °C
Explosionsschutz Ausführung gemäß Gerätegruppe II, Kategorie 3	IEC/EN 60079-0 Allgemeine Bestimmungen IEC/EN 60079-31 Schutz durch Gehäuse „t“

Die Ausführung der Motoren ist mit einer EU-Konformitätserklärung bescheinigt.

Kennzeichnungsbeispiel:

Ex tc IIIC T125 °C Dc (alternativ: Ex tc IIIC T125 °C)

4.5 Kombinationen von Gasexplosionsschutz oder Staubexplosionsschutz

Je nach konstruktiver Ausführung sind folgende Kombinationen möglich:

2G oder 2D	Ex db(eb) IIC 2G oder Zone 21 II 2D
2G oder 2D	Ex eb IIC 2G oder Zone 21 II 2D
3G oder 2D	Ex ec IIC 3G oder Zone 21 II 2D
3G oder 3D	Ex ec IIC 3G oder Zone 22 II 3D

Die Umgebungstemperatur ist bei den kombinierten Motoren 2G oder 2D und 3G oder 2D jeweils für die Reihen K82. auf -40 °C bis +60 °C, KPER / KPR auf -20 °C bis +40 °C und für die Reihe K1.R auf -30 °C bis +40 °C (+55 °C) begrenzt. Es liegen dazu die folgenden Bescheinigungen vor:

Ausführung der Motoren 2G oder 2D

Reihe K82. 63 – 450: entsprechend der Bescheinigungsübersicht druckfeste Motoren „db“
 Reihe KPER/KPR 56 – 112: IBExU02ATEX1108 U und IBExU02ATEX1109 bis 1115
 Reihe K1.R 112 – 355: entsprechend der Bescheinigungsübersicht erhöhte Sicherheit „eb“ mit zusätzlicher Bescheinigung IBExU09ATEX1065

Ausführung der Motoren 3G oder 2D

Reihe (IE1-)K1.R 112 – 355: IBExU09ATEXB006 zusätzlich mit IBExU09ATEX1065
 Reihe (IE-)W.1R 112 – 315: IBExU03ATEXB004 zusätzlich mit IBExU04ATEX1118

Ausführung der Motoren 3G oder 3D

Reihe (IE1-)K1.R 112 – 355: IBExU09ATEXB006 zusätzlich mit Herstellererklärung Zone 22
 Reihe (IE-)W.1R 112 – 315: IBExU03ATEXB004 zusätzlich mit Herstellererklärung Zone 22

5 Wartung und Reparatur

Wartung, Reparatur und Änderungen an explosionsgeschützten Maschinen sind in Deutschland unter Beachtung der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) und **ProdSV** (Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz/Explosionsschutzverordnung) auszuführen.

Um den sicheren Betrieb der Anlage, bestehend aus den Antrieben und den zugehörigen Überwachungseinrichtungen, über die gesamte Nutzungsdauer der verfahrenstechnischen Anlage sicherzustellen, ist eine regelmäßige Überprüfung der Betriebsmittel und gegebenenfalls eine Reparatur/ein Austausch durchzuführen. Hierbei liegt es im Verantwortungsbereich des Betreibers, die ordnungsgemäße Wartung und Instandhaltung der Betriebsmittel sicherzustellen. Als Regelwerke sind hierzu die Betriebssicherheitsverordnung sowie die Norm IEC/EN 60079-17 zu nennen.

Bei den Prüfungen wird bei zunehmender Prüftiefe zwischen Sichtprüfung, Nahprüfung und der Detailprüfung unterschieden. Eine Sichtprüfung kann im laufenden Betrieb und oft auch ganz nebenbei beim Durchgang durch die Anlage durchgeführt werden. Eine Sichtprüfung bedeutet eine Inaugenscheinnahme der Betriebsmittel ohne Verwendung von Zugangshilfsmitteln. Hierbei können z. B. ein fehlender oder beschädigter Klemmenkastendeckel an einer Maschine, aber auch auffällige Lagergeräusche erkannt werden. Bei einer Nahprüfung wird das Gehäuse einer eingehenden Prüfung z. B. unter Zuhilfenahme einer Leiter unterzogen oder die Lagertemperatur mit einem Infrarotthermometer bestimmt. Eine Außerbetriebnahme ist im Allgemeinen nicht erforderlich.

Bei der Detailprüfung wird die Maschine stillgesetzt und Prüfungen wie z. B. der Messung des Isolationswiderstandes unterzogen. Anschaulich lassen sich die verschiedenen Prüfungen in der „Pyramide des Prüfens“ darstellen:

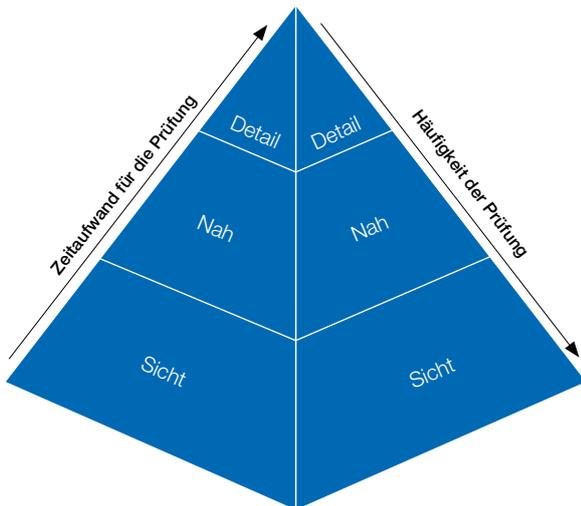


Bild 5.1: Pyramide des Prüfens

Richtwerte, herstellerabhängig

Was ist zu tun?	Zeitintervall	Empfohlene Fristen
Erstinspektion	Nach ca. 500 Betriebsstunden	spätestens nach einem ½ Jahr
Kontrolle der Luftwege und Oberfläche des Motors	je nach örtlichem Verschmutzungsgrad	
Nachschmieren (Option)	Siehe Typen- bzw. Schmierschild	
Hauptinspektion	ca. 8.000 Betriebsstunden	einmal jährlich
Kondenswasser ablassen	je nach klimatischen Bedingungen	

Außerhalb Deutschlands sind die entsprechenden Landesvorschriften zu beachten!

Weitere Hinweise zur Prüfung und Instandhaltung elektrischer Anlagen bzw. der Reparatur und Überholung von elektrischen Betriebsmitteln werden in IEC/EN 60079-17 und IEC/EN 60079-19 gegeben. Den Explosionsschutz beeinflussende Arbeiten, als solche gelten z. B.:

- Reparaturen an der Ständerwicklung und an den Klemmen
- Reparaturen am Belüftungssystem
- Reparaturen an der Lagerung und der Abdichtung bei staubexplosionsschutzgeschützten Motoren (Ex 2D, 3D) dürfen nur durch Servicepersonal des Herstellers oder von/ in autorisierten Werkstätten von qualifiziertem Personal durchgeführt werden, das aufgrund fachlicher Ausbildung, Erfahrung und Unterweisung über die erforderlichen Kenntnisse verfügt.

Bei staubexplosionsschutzgeschützten Motoren hängt der Staubexplosionsschutz sehr stark von den örtlichen Bedingungen ab. Aus diesem Grunde müssen die Motoren in diesen Bereichen regelmäßig geprüft und gewartet werden.

Dicke Staubschichten führen wegen der Wärmedämmung zu einer Temperaturerhöhung an der Oberfläche des Motors. Staubablagerungen auf Motoren oder gar ihre völlige Einschüttung müssen daher durch entsprechenden Einbau und laufende Wartung so weit wie möglich vermieden werden.

Die angegebene Oberflächentemperatur des Motors ist nur gültig, wenn die Staubablagerungen auf dem Motor eine Dicke von 5 mm nicht überschreiten. Die Sicherstellung dieser Ausgangsbedingungen (Staubart, maximale Schichtdicke usw.) ist zu gewährleisten. Der Motor darf nicht geöffnet werden, bevor eine genügend lange Zeit verstrichen ist, um die inneren Temperaturen auf nicht mehr zündfähige Werte abklingen zu lassen. Falls die Motoren zur Instandhaltung oder Instandsetzung geöffnet werden müssen, sind diese Arbeiten möglichst in einem staubfreien Raum durchzuführen. Ist dies nicht möglich, muss durch geeignete Maßnahmen verhindert werden, dass Staub in das Gehäuse eindringen kann. Bei der Demontage ist besonders darauf zu achten, dass die für die Dichtheit der Konstruktion notwendigen Teile wie Dichtungen, Planflächen usw. nicht beschädigt werden.

Sorgfältige und regelmäßige Wartung, Inspektionen und Revisionen sind erforderlich, um eventuelle Störungen rechtzeitig zu erkennen und zu beseitigen, bevor es zu Folgeschäden kommen kann. Da die Betriebsverhältnisse nicht exakt definierbar sind, können nur allgemeine Fristen unter der Voraussetzung eines störungsfreien Betriebes angegeben werden. Sie sind immer an die örtlichen Gegebenheiten (Verschmutzung, Belastung usw.) anzupassen.

Die nötigen Schmierfristen für Wälzlager sind entsprechend den Herstellerangaben zu beachten.

Wartungsarbeiten (außer Nachschmierarbeiten) sind nur im Stillstand der Maschine durchzuführen. Es ist immer sicherzustellen, dass die Maschine gegen Einschalten gesichert und durch ein entsprechendes Hinweisschild gekennzeichnet ist. Weiter sind Sicherheitshinweise und Unfallverhütungsvorschriften bei der Verwendung von Ölen, Schmierstoffen und Reinigungsmitteln der entsprechenden Hersteller zu beachten! Benachbarte, unter Spannung stehende Teile sind abzudecken!

Es ist sicherzustellen, dass die Hilfsstromkreise, z. B. Stillstandsheizung, spannungsfrei geschaltet sind. Bei der Ausführung mit Kondenswasserablaufloch ist die Ablassschraube vor dem Wiederverschließen mit geeignetem Dichtmittel (z. B. Epplle 28) einzustreichen!

Werden die Arbeiten nicht durch den Hersteller ausgeführt, müssen sie durch entsprechend qualifiziertes Personal ausgeführt und durch eine zur Prüfung befähigte Person mit behördlicher Anerkennung geprüft werden (bei Relevanz der Instandsetzung für den Explosionsschutz). Sie muss darüber eine schriftliche Bestätigung ausstellen bzw. die Maschine mit ihrem Prüfzeichen versehen.

Vorgenommene Prüfungen gemäß §14 Abs. 6 BetrSichV sind gemäß § 19 BetrSichV zu dokumentieren. Aus der Dokumentation muss hervorgehen, dass das Gerät, Schutzsystem, Sicherheits-, Kontroll- oder Regelvorrichtung nach der Instandsetzung den Anforderungen der BetrSichV entspricht. Es wird empfohlen, die Dokumentation über die Nutzungsdauer des Gerätes aufzubewahren und das Gerät zur Rückverfolgbarkeit eindeutig zu kennzeichnen. Wichtig: Der Betreiber ist verantwortlich für den Betrieb einer überwachungsbedürftigen Anlage. Dazu gehört auch die Instandsetzung von Geräten und Schutzsystemen. Im Ausland sind die entsprechenden Landesvorschriften zu beachten.

Ersatzteile

Mit Ausnahme genormter, handelsüblicher und gleichwertiger Teile (z. B. Wälzlager) dürfen nur Originalersatzteile (siehe herstellerspezifische Ersatzteillisten) verwendet werden; dies gilt insbesondere auch für Dichtungen und Anschlusssteile.

Bei Ersatzteilbestellungen sind folgende Angaben erforderlich:

- Ersatzteilbezeichnung
- Motortyp
- Motornummer

6. Instandsetzung und Änderung elektrischer Betriebsmittel

6.1 Allgemeines

Die gesetzliche Grundlage für das Betreiben explosionsgeschützter elektrischer Betriebsmittel in explosionsgefährdeten Bereichen ist die **11. ProdSV** Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Explosionsschutzprodukteverordnung) in Verbindung mit der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV).

Vorher geltende Verordnungen wie die „Verordnung über elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen (ElExV)“ wurden damit außer Kraft gesetzt.

Weitere Anforderungen sind in der **Norm IEC/EN 60079-14** und in den **Explosionsschutz-Regeln BGR 104** enthalten. Eine Änderung einer überwachungsbedürftigen Anlage im Sinne der BetrSichV ist jede Maßnahme, bei der die Sicherheit der Anlage beeinflusst wird. Als Änderung gilt auch jede Instandsetzung, welche die Sicherheit der Anlage beeinflusst. Eine **wesentliche** Veränderung einer überwachungsbedürftigen Anlage im Sinne der BetrSichV ist jede Änderung, welche die überwachungsbedürftige Anlage soweit verändert, dass sie in den Sicherheitsmerkmalen einer neuen Anlage entspricht. Als Wartung und Instandsetzung wird eine Kombination aller Tätigkeiten bezeichnet, die ausgeführt werden, um einen Gegenstand in einem Zustand zu erhalten oder ihn wieder dahin zu bringen, der den Anforderungen der betreffenden entspricht und die Ausführung der geforderten Funktionen sicherstellt.

Grundlage hierfür sind:

- IEC/EN 60079-17, Prüfung und Instandhaltung elektrischer Anlagen und die
- TRBS 1201 „Prüfung von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen“
- TRBS 1201 Teil 3 „Instandsetzung an Geräten, Schutzsystemen...“

Sie sind für Betreiber vorgesehen und behandeln die Gesichtspunkte, die direkt auf die Prüfung und Instandhaltung von elektrischen Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen bezogen sind. Die Instandsetzung eines explosionsgeschützten Betriebsmittels kann der Betreiber in

jeder beliebigen Werkstatt durchführen lassen. Werden Teile ausgewechselt oder instandgesetzt, von denen der Explosionsschutz abhängt, so muss vor der erneuten Inbetriebnahme des Betriebsmittels eine Prüfung durch eine amtlich anerkannte, zur Prüfung befähigte Person erfolgen.

(Eine „zur Prüfung befähigte Person“ im Sinne der BetrSichV ist eine Person, die durch ihre Berufsausbildung, ihre Berufserfahrung und ihre zeitnahe berufliche Tätigkeit über die erforderlichen Fachkenntnisse zur Prüfung der Arbeitsmittel verfügt.

In den Leitlinien zur Betriebssicherheitsverordnung und in der TRBS 1203 werden die Anforderungen an eine befähigte Person erläutert. Zur Prüfung befähigte Personen können entsprechend der Betriebssicherheitsverordnung durch das entsprechende Ministerium behördlich anerkannt werden – länderspezifisch unterschiedlich.

Die Anerkennung als zur Prüfung befähigte Person ist unternehmensbezogen und gilt nur für die Prüfungen von solchen Geräten, Schutzsystemen, Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen, die dieses Unternehmen instandgesetzt hat. Die Anerkennung gilt nicht für alle Prüfungen an Geräten, Schutzsystemen, Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen, die hinsichtlich eines Teiles, von dem der Explosionsschutz abhängt, im Unternehmen instandgesetzt worden sind, sondern nur für die Prüfungen nach Instandsetzungsmaßnahmen, für die der Anerkennungsantrag gestellt wurde und die im Einzelnen im Anerkennungsbescheid aufgeführt sind.)

Die technischen Regeln für die Reparatur und Überholung von Betriebsmitteln in explosionsgefährdeten Bereichen sind in der Norm IEC/EN 60079-19 definiert. Sie stellt eine Leitlinie dar, die Anweisungen technischer Art zur Reparatur, Überholung, Regenerierung und Veränderung eines zertifizierten Betriebsmittels gibt, das für die Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen konstruiert wurde.

Zielsetzung dabei sind die Anleitung zu praktischen Maßnahmen zur Erhaltung der Sicherheit der Betriebsmittel; die Definition der Anforderungen, die an die Funktion reparierter Betriebsmittel zu stellen sind; und die Beschreibung von dafür erforderlichen Verfahren, damit das Betriebsmittel nach einer Reparatur auch weiterhin allen einschlägigen Vorschriften entspricht. Für die verschiedenen Zündschutzarten werden Beispiele zur Reparatur, Überholung und Aufarbeitung sowie mögliche Änderungen explosionsgeschützter elektrischer Betriebsmittel gegeben und die dafür erforderlichen Prüfungen beschrieben.

Nach Reparatur und Überholung wird das Betriebsmittel als mit der EU-Baumusterprüfbescheinigung übereinstimmend

angenommen, wenn vom Hersteller vorgeschriebene Teile verwendet wurden.

Für den Fall, dass die Zertifizierungsunterlagen nicht oder unzureichend verfügbar sind, ist die Reparatur oder Überholung anhand der IEC/EN 60079-19 oder der entsprechenden relevanten Norm (IEC/EN 60079...) durchzuführen. Werden (weitergehende) Ausführungsarten der Reparatur oder Änderungen angewendet, die nicht normenkonform sind, so ist seitens des Herstellers oder der Zertifizierungsstelle (notifizierte Stelle) festzustellen, ob dieses Betriebsmittel für die weitere Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen geeignet ist.

6.2 Instandsetzungsarbeiten, von denen der Explosionsschutz nicht betroffen ist

Austausch von:

- Lagern
- Motorfüßen (wenn möglich)
- Klemmenkasten (-teilen)
- Austausch der Dichtung gegen originale Teile
- Einführungsteil
- Klemmenplatte
- Lüfter/Lüfterhaube
- Lagerschilden

Bauformumbauen von:

- IM B3 in IM B35, IM B34
- IM B3 in IM B5, IM B14
- Klemmenkasten (-teilen)
- IM B35 in IM B5, IM B14
- An- und Abbau von Füßen (wenn möglich)

Reinigung von:

- Dichtflächen
- Dichtungen

Es sind generell Originalersatzteile zu verwenden. Die Verwendung nichtoriginaler, jedoch ex-geprüfter Teile ist rechtlich zulässig. Es erlischt aber automatisch die Herstellergarantie.

6.3 Instandsetzungsarbeiten, die eine Prüfung durch eine amtlich anerkannte, zur Prüfung befähigte Person erfordern

- Instandsetzen oder Erneuern der Wicklung (Wickeldaten laut Hersteller)
- Nacharbeit von Zahl und/oder Größe der Einführungsöffnungen
- Erneuerung von Teilen des Belüftungssystems
- Austausch der Dichtung gegen nichtoriginale, jedoch ex-geprüfte Teile
- Aufarbeitung von Läufern und Ständer ohne wesentliche Erhöhung des Luftspaltes

Die Instandsetzung oder Erneuerung der Wicklung ist nur nach Herstellerangabe (Wickeldaten/Werkstoffe) durchzuführen. Bei einem Austausch von Isolierstoffteilen gegen Teile aus einem anderen Isolierstoff und/oder mit anderen Abmessungen erlischt automatisch die Garantie.

6.4 Instandsetzungsarbeiten an Ex eb Motoren (Änderungen), die eine erneute Typprüfung (z. B. durch eine notifizierte Stelle nach RL 2014/34/EU) erfordern

- Einbau von anderen/zusätzlichen Teilen in das Gerät (Hauptklemmen, Hilfsklemmen oder zusätzliche Geräte)
- Aufarbeitung von Läufer und Ständer
- Umwickeln für eine andere Spannung
- Erneuerung von Teilen des Belüftungssystems (z. B. Lüfterrad)
- Neuwickeln für eine andere Drehzahl
- Änderung von Spaltmaßen

Diese Arbeiten können unter der o. g. Bedingung durchgeführt werden. VEM gestattet aber z. B. diese Arbeiten nur in den Herstellerwerken. Bei Durchführung in einer Werkstatt erlischt automatisch die Garantie!

6.5 Instandsetzungsarbeiten an Ex db Motoren (Änderungen), die eine erneute Typprüfung (z. B. durch eine notifizierte Stelle nach RL (2014/34/EU) erfordern

- Einbau von zusätzlichen Teilen in das Gerät
- Aufarbeitung zünddurchschlagsicherer Spalte
- Aufarbeitung von Läufer und Ständer
- Regenerierung von Bauteilen, die nicht Bestandteil der druckfesten Kapselung sind
- Erneuerung von Teilen des Belüftungssystems (z. B. Lüfterrad)
- Regenerierte Bauteile müssen die zutreffende Überdruckprüfung bestehen

- Neuwickeln für eine andere Drehzahl oder Spannung
- Änderung der Spaltmaße
- Änderungen am Belüftungssystem

Diese Arbeiten können unter der o. g. Bedingung durchgeführt werden. VEM gestattet aber diese Arbeiten nur in den Herstellerwerken. Bei Durchführung in einer Werkstatt erlischt automatisch die Garantie!

6.6 Zusammenfassung

Aufstellung der auszuführenden Arbeiten	bei Verwendung von		durch und verantwortet von	
	Normteil	Original-Ersatzteil	geschulter Fachkraft	Herstellerwerk
Austausch von				
- Lagern	X	X	X	X
- Motorfüßen (wenn möglich)	-	X	X	X
- Klemmenkasten (teilen)	-	X	X	X
- Klemmenplatte ¹⁾	X	X	X	X
- Einführungsteil ¹⁾	-	X	X	X
- Lüfter/Lüfterhaube	-	X	X	X
- Lagerschilden	-	X	X	X
- Läufer	-	X	X ²⁾	X
Umbau von				
- IM B3 in IM B35, IM B34	-	X	X	X
- IM B3 in IM B5, IM B14	-	X	X	X
- IM B35 in IM B5, IM B14	-	X	X	X
- An- und Abbau von Füßen (wenn möglich)	-	X	X	X
Reinigung von				
- Dichtflächen	-	X	X	X
- Dichtungen	-	X	X	X
Nacharbeit von				
- Luftspalt	-	-	0	X
- Zahl und/oder Größe der Einführungsöffnungen	-	-	X ²⁾	X
Einbau anderer/zusätzlicher				
- Hauptklemmen	0	0	0	X
- Hilfsklemmen	-	X	X	X
Ersatzwicklung				
- Stator	-	-	X ²⁾	X
- TMS	-	-	X ²⁾	X
- Stator samt bewickeltem Paket	-	X	X	X
Umwickeln nach Herstellerangabe	-	-	X ²⁾	X
Umwickeln für				
- andere Polzahl/Frequenz	-	-	0	X

¹⁾ mit Teil- oder Konformitätsbescheinigung

²⁾ nur mit Prüfbescheinigung des anerkannten Werkstattsachkundigen

- nicht zutreffend/ nicht erforderlich

0 nicht zulässig

X zulässig / erforderlich

7 Prüfung der Motoren nach durchgeführten Reparaturen, Instandsetzungen oder Umbauten

Nach durchgeführten Reparaturen, Instandsetzungen oder Umbauten sind die Motoren entsprechend §15 der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) vom 3. Februar 2015 einer Prüfung zu unterziehen. Diese Prüfung darf nur von hierzu befähigten Personen durchgeführt werden.

Die Prüfung muss die Anforderungen entsprechend IEC/EN 60079-19 erfüllen. Nachfolgende Prüfungen sind durchzuführen und zu dokumentieren:

Sichtkontrolle der Wicklung und des kompletten Motors unter besonderer Beachtung der erhöhten Sicherheitsanforderungen

7.1 Sichtkontrolle

7.1.1 Sichtkontrolle der Wicklung

- Kontrolle der Wicklungsausladung
- Bandagen
- Nut- und Phasenisolierung
- Nutverschlusselemente
- Drahtisolierung

7.1.2 Sichtkontrolle des kompletten Motors

- Klemmenbezeichnung
- Ordnungsgemäßer Anschluss der Klemmenverbinder
- Kabelverschraubungen
- Dichtungen
- Lüftermontage
- Lüfterhaubenbefestigung

7.2 Wicklungsprüfung

7.2.1 Wicklungswiderstand

Die ohmschen Gleichstromwiderstände werden durch Speisung der Motorwicklung über jeweils zwei Klemmen mit einem konstanten Strom gespeist und der Spannungsabfall an den Maschinenklemmen gemessen. Hieraus wird der Widerstand zwischen den Klemmen U-V, V-W und U-W ermittelt. Zusätzlich wird die Temperatur der Wicklung gemessen.

Auf den Prüfzertifikaten wird der Wicklungswiderstand der Wicklung bei 20 °C ausgewiesen, dazu müssen die Messwerte bei von 20 °C abweichenden Temperaturen umgerechnet werden.

7.2.2 Hochspannungsprüfung

Mit der Hochspannungsprüfung wird die Isolationsfestigkeit der Wicklung geprüft.

Die IEC/EN 60034-1 bzw. VDE 0530 Teil 1 schreibt für die Prüfung von Maschinen mit einer Bemessungsspannung ≤ 1 kV folgende Vorgehensweise vor:

Die Spannungsprüfung muss zwischen den zu prüfenden Wicklungen und dem Gehäuse der Maschine durchgeführt werden. Dabei wird das Blechpaket mit den nicht zur Prüfung vorgesehenen Wicklungen bzw. Strängen (z. B. V1 und W1) verbunden und die Prüfspannung zwischen Gehäuse und U-Strang angelegt. Mit einer Messung wird so gleichzeitig die Maschine auf Körperschluss und Phasenschluss geprüft.

Die Hochspannungsprüfung wird an der imprägnierten und vollständig montierten Maschine mit einer netzfrequenten und möglichst sinusförmigen Prüfspannung mit einem Effektivwert von $2 \times U_{\text{Nenn}} + 1000$ V nach IEC/EN 60034-2 durchgeführt. Dabei sollte die Prüfung mit einer Spannung von maximal der Hälfte der vollen Prüfspannung begonnen werden und dann innerhalb von mindestens 10 s stetig oder in Stufen von höchstens 5 % des Endwertes gesteigert werden.

Die volle Prüfspannung muss 1 Minute aufrechterhalten werden.

Eine Wiederholungsprüfung darf nur bei 80 % der maximalen Prüfspannung durchgeführt werden. Bereits im Einsatz befindliche Wicklungen werden z. B. anlässlich einer Revision mit mindestens 1000 V geprüft.

7.2.3 Isolationswert (Isolationswiderstand)

Bei der ersten Inbetriebnahme und besonders nach längerer Lagerung ist der Isolationswiderstand der Wicklung gegen Masse und zwischen den Phasen zu messen. Die Prüfung hat mit Bemessungsspannung, mindestens aber mit 500 V zu erfolgen. An den Klemmen treten während und direkt nach der Messung gefährliche Spannungen auf. Klemmen keinesfalls berühren, Bedienungsanleitung des Isolationsmessgerätes genau beachten! In Abhängigkeit von der Bemessungsspannung U_N sind bei einer Wicklungstemperatur von 25 °C folgende Mindestwerte einzuhalten:

Bemessungsleistung P_B kW	Isolationswiderstand bezogen auf Bemessungsspannung $k\Omega/V$
$1 < P_B \leq 10$	6,3
$10 < P_B \leq 100$	4
$100 < P_B$	2,5

Bei Unterschreitung der Mindestwerte ist die Wicklung sachgemäß zu trocknen, bis der Isolationswiderstand dem geforderten Wert entspricht.

7.3 Probelauf

7.3.1 Drehfeld (Drehrichtungskontrolle)

Mit der Drehrichtungskontrolle wird sichergestellt, dass bei Anschluss Netzleitung an die Maschinenklemmen L1 an U, L2 an V und L3 an W die Drehrichtung Rechts mit Blick auf Antriebsseite ergibt.

7.3.2 Leerlaufprüfung, Ermittlung des Leerlaufstroms I_0

Die Leerlaufprüfung dient zur Kontrolle der Windungszahl, der Schaltung und der Beurteilung der Laufeigenschaften.

Sie wird bei Bemessungsspannung $\pm 1\%$ im kalten Maschinenzustand durchgeführt. Die Maschine ist dabei völlig unbelastet (abgekoppelt von der Lastmaschine). Während der Messung werden die Spannung, Ströme und Leistungen erfasst.

Die Stromaufnahme wird in allen Strängen gemessen und mit den **Herstellerangaben** verglichen.

Die zulässige Toleranz – bezogen auf die Herstellerangabe – beträgt $\pm 15\%$. Des Weiteren dürfen auch die Leerlaufströme der drei Stränge nur um maximal 15 % voneinander abweichen.

7.3.3 Nachweis der Phasensymmetrie

7.3.3.1 Kurzschlussprüfungen bei I_B

Die Ständerwicklung von Käfigläufermaschinen müssen bei arretiertem Läufer mit einer angemessen reduzierten Spannung gespeist werden, um den Volllast-Bemessungsstrom zu erreichen und um die Symmetrie aller Phasen zu gewährleisten.

Die Prüfung wird als Alternative zur Vollastprüfung angewendet, um die Unversehrtheit der Wicklung und des Luftspaltes nachzuweisen und um Schäden am Läufer zu erkennen. Asymmetrien von weniger als 5 % vom Mittelwert sind zulässig.

7.3.3.2 Kurzschlussprüfung nach IEC/EN 60034-1

Die Kurzschlussprüfung dient zum Bestimmen des Verhältnisses I_A/I_N . Dabei wird der Läufer festgebremst, die Ständerwicklung an Spannung gelegt und die Stromaufnahme gemessen. Wird diese Prüfung nicht bei Bemessungsspannung durchgeführt, muss der Anzugsstrom I_A im Verhältnis der Bemessungsspannung zur Prüfspannung umgerechnet werden.

Außerdem ist bei verminderter Prüfspannung noch ein Sättigungsfaktor des Eisens zu berücksichtigen. Das auf diese Weise berechnete Verhältnis I_A/I_N darf bis zu 20 % gegenüber der Leistungsschildangabe abweichen.

Anzugsstrom I_A (nur bei Zündschutzart erhöhte Sicherheit „eb“) Sättigungsfaktor f_s für Umrechnungen bei verminderter Prüfspannung mit festgebremstem Läufer
 (1) Läufer mit ganz oder fast geschlossenen Nuten
 (2) Läufer mit offenen Nuten

Sollwert für den Anzugsstrom $I_A = I_N \cdot I_A/I_N$
 a) Prüfspannung = Bemessungsspannung U_N
 Zulässige Abweichung des Prüfstromes: $\pm 20\%$ von I_A
 (Einhaltung der Minustoleranz zur Prüfung Ständer- und Läuferwicklung erforderlich)
 b) Prüfspannung U_x
 Prüfstrom I_x
 Reduktionsverhältnis $R = U_x/U_N$
 Sättigungsfaktor f_s
 Auf Bemessungsspannung umgerechneter Prüfstrom

$I_{KN} = I_x \cdot f_s / R$
 Zulässige Abweichung für den umgerechneten Prüfstrom
 $I_{KN} : \pm 10\%$ von I_A

Wenn das ursprüngliche Isoliersystem und/oder Lacksystem nicht verfügbar ist/sind, muss die t_E -Zeit nach IEC/EN 60079-7 nachgeprüft werden. Das Kopieren der Wicklung ist nicht zulässig, solange die t_E -Zeit nicht nach der Betriebsmittelnorm IEC/EN 60079-7 nachgeprüft wurde.

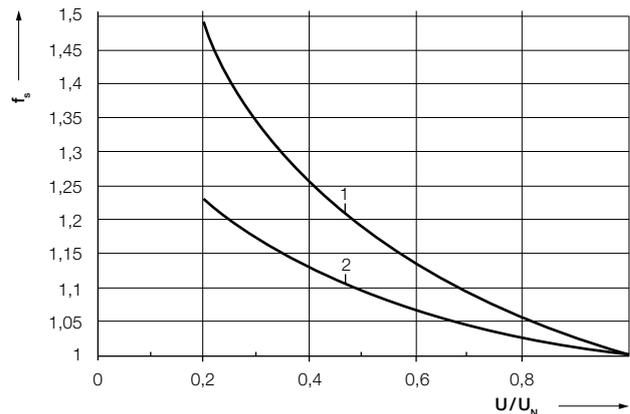


Bild 7.1: Sättigungsfaktoren in Abhängigkeit des Verhältnisses Prüf- zu Nennspannung

7.3.4 Schwingungsprüfung

Zur Beurteilung der Laufruhe ist eine Schwingungsprüfung nach IEC/EN 60034-14 (VDE 0530 Teil 14):2004 durchzuführen. Die Grenzwerte entsprechend Stufe A oder B entsprechend Vorgabe sind einzuhalten.

Stufe A
 (für Maschinen ohne besondere Schwingungsanforderungen)
 Stufe B
 (für Maschinen mit besonderen Schwingungsanforderungen)

7.4 Lackierung und Tränkung nach Reparatur- oder Instandsetzungsarbeiten

Beim Nachlackieren von explosionsgeschützten Motoren oder der Tränkung eines kompletten Stators nach Neuwicklung kann es zu dickeren Lack- bzw. Harzschichten auf der Maschinenoberfläche kommen. Diese können zu elektrostatischen Aufladungen führen, sodass bei Entladung Explosionsgefahr besteht. Aufladende Prozesse in der Nähe können ebenfalls zu elektrostatischer Aufladung der Oberfläche bzw. Teilen der Oberfläche führen, und es kann Explosionsgefahr durch Entladung entstehen. Die Anforderungen nach IEC/EN 60079-0: „Geräte – Allg. Anforderungen“, Pkt. 7.4 und der TRBS 2153 sind daher unbedingt einzuhalten, u. a. durch:

Begrenzung der Gesamtlack- bzw. Harzschichtdicke entsprechend der Explosionsgruppe auf
 – IIA, IIB: Gesamtschichtdicke ≤ 2 mm
 – IIC: Gesamtschichtdicke $\leq 0,2$ mm

Begrenzung des Oberflächenwiderstandes des eingesetzten Lackes oder Harzes auf
 – IIA, IIB, IIC, III Oberflächenwiderstand $\leq 1 \text{ G}\Omega$ bei Motoren der Gruppe II und III

Durchschlagsspannung ≤ 4 kV für Explosionsgruppe III (nur Staub, gemessen durch die Dicke des Isolierstoffes nach dem in IEC 60243-1 beschriebenen Verfahren).

Beachtung finden sollten weiterhin die Ausführungen der IEC/EN 60079-32: „Elektrostatische Gefährdungen“, besonders Anhang A: „Grundlagen der statischen Elektrizität“, Anhang B: „Elektrostatische Entladungen in besonderen Situationen“ und Anhang C: „Brennbarkeit von Substanzen“.

7.5 Dokumentation der Prüfung

Die Ergebnisse der Prüfung sind in einem Prüfprotokoll zu dokumentieren.

PRÜFBESCHEINIGUNG (Prüfung nach Instandsetzung / Umbau)		VEM
Kunde/Eigenümer	Rep.-Nr.	
Angaben zum Motor (Originalzustand)		
Motorart:	Bemessungswerte	
Motornummer (komplett):	P: kW	n: min ⁻¹
Schutzart: IP	U: V	Schaltung:
Bauform: IM	I: A	f: Hz
Therm. Klasse:	cos phi	
Weitere Angaben		
Angaben zur Instandsetzung / zum Umbau (Nichtzutreffendes streichen)		
Durchgeführte Arbeiten:		
Prüfung nach Instandsetzung / Umbau		
Wicklungswiderstand (Strangwerte)		Strang 1: Ohm
Sollwert: Ohm		Strang 2: Ohm
		Strang 3: Ohm
Hochspannungsprüfung DIN EN 60034-1:2006 Pkt. 9.2		Leeraufstrom
Prüfspannung: V		Sollwert: A
Prüfzeit: s		Strang 1: A Strang 2: A Strang 3: A
Kurzschlussprüfung (bei Bemessungsstrom) C		
Prüfspannung: V		
Kurzschlussstrom: Strang 1: A Strang 2: A Strang 3: A		
Bescheinigung		
Den instandgesetzten / umgebauten Elektromotor habe ich geprüft. Er entspricht in seiner Bauart und Ausführung den für die jeweilige Zündschutzart gültigen Normen und Vorschriften. Die durchgeführten Arbeiten entsprechen dem vom Herstellerwerk genehmigten Umfang. Entsprechend der DIN EN 60034-1:2006 Pkt. 10.2 wurde der Motor gekennzeichnet. Das elektrische Betriebsmittel darf wieder in Betrieb genommen werden.		
Ort:	Befähigte Person:	
Datum:		
Firmenstempel:	Unterschrift:	

Beispielprotokoll VEM motors GmbH

unten:
Alternativ: ZVEH-Prüfbescheinigung

Die Aufbewahrungsfrist der Prüfprotokolle beträgt 10 Jahre. Die Kontrolle der Ordnungsmäßigkeit erfolgt durch eine amtlich anerkannte, „zur Prüfung befähigte Person“.

Herausgeber:
Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informations-
technischen Handwerke (ZVEH)

AUFZEICHNUNGEN der behördlich anerkannten befähigten Person nach §14 (6) der BetrSichV zur Prüfung nach der Instandsetzung von Ex - Elektromotoren Druckfeste Kapselung "d" nach DIN EN 50014/50018 bzw. DIN EN 60079-0/60079-1 Erhöhte Sicherheit "e" nach DIN EN 50014/50019 bzw. DIN EN 60079-0/60079-1		VEM
Betreiber/Kunde:	Reparatur-Auftrag-Nummer:	
Leistungsschild		
Hersteller	Fertigungsnummer	
Typ / Kennzeichen		
Schutzart IP	Bauform/Aufstellung IM	Wärmeklasse vor nach Instandsetzung
Bemessungswerte		
P (kW)	U (V)	Schaltung / I (A)
		cos phi
		n (r/min)
		f (Hz)
Prüfprotokoll und Zertifikat (Prüfungsschein / Konformitätsbescheinigung / Baumusterprüfbescheinigung)		
Ben. Stelle	Nr.	Zeit t _g (s)
		I _g /I _N
		Zündschutzart: Ex d II / Ex e II /
Wicklungsprüfung nach Instandsetzung bei zusammengebautem Motor und bei Raumtemperatur		
		Ergebnisse
Stehspannung nach DIN EN 60034-1, 9.2		Prüfdauer 1 Minute <input type="checkbox"/> 5 Sekunden <input type="checkbox"/>
Alle Wicklungen gegen Masse (Maschinenkörper) <input type="checkbox"/>		mit 120 % Norm-Prüfspannung 1 Sekunde <input type="checkbox"/>
Wicklung gegen Wicklung <input type="checkbox"/>		Wicklung erneuert <input type="checkbox"/> teilweise erneuert <input type="checkbox"/>
Wicklung gegen Hilfseinrichtungen <input type="checkbox"/>		Prüfspannung (kV)
Hochspannungswicklung (>1000 V nur bei Zündschutzart „e“) <input type="checkbox"/> DIN EN-60079-7 : 2007, Abs. 6.2.3.1 beachten		
Wicklungswiderstand		
Schaltverbindungen offen <input type="checkbox"/> geschlossen <input type="checkbox"/>		Strang 1 Ohm
Sollwert (z.B. laut Hersteller oder Aufnahme an unbeschädigtem Strang) Ohm		Strang 2 Ohm
		Strang 3 Ohm
Leeraufstrom I_g		
Zulässige Abweichung ± 15 % gegenüber Sollwert oder Erfahrungswerten an gleichartigen Maschinen sowie für die Symmetrie		U V bei 50 Hz
Sollwert (z.B. lt. Hersteller) A		Leiter 1 A
		Leiter 2 A
		Leiter 3 A
Anzugsstrom I_k (nur bei Zündschutzart "e")		
Sollwert für den Anzugsstrom I _k = I _N · I _k /I _N = A		Kurzschlussmessung mit festgebremstem Läufer
a) Prüfspannung = Bemessungsspannung U _N		Sättigungsfaktor I _g für Umrechnungen bei verminderter Prüfspannung (2. Ausgabe PTB-Prüfregel 3.2.2.3)
Zul. Abweichung des Prüfstroms: ± 10 % von I _k		(1) Läufer mit ganz oder fast geschlossenen Nuten
b) Prüfspannung U _k = V		(2) Läufer mit offenen Nuten
Prüfstrom I _k = A		
Reduktionsverhältnis R = U _k / U _N =		
Sättigungsfaktor aus nebenstehendem Diagramm: I _g =		
Auf Bemessungsspannung umgerechneter Prüfstrom I _{kN} = I _k · I _g / R = A		
Zulässige Abweichung für den umgerechneten Prüfstrom I _{kN} : ± 10 % von I _k		
Abweichend von DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1) ist eine Minus-Toleranz angegeben, weil das Prüfergebn auch zur Kontrolle der Auslegung von Ständer und Käfig dient.		
Lager getauscht <input type="checkbox"/> (bei Ex d nur nach Herstellerzertifizierung mit Berechnung der Maße k / m, Bild 20 in IEC 60079-1)		
Isolierte Lager A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> Wellendichtung <input type="checkbox"/> Bemerkung:		

Befund der Teile für die druckfeste Kapselung																																																					
Spaltflächen (z.B. Wellendurchführung, Lagerdeckel, Lagerflansch und andere Bestandteile der druckfesten Kapselung) bei Sichtprüfung unbeschädigt <input type="checkbox"/>																																																					
durch Original-Ersatzteile des Herstellers ersetzt <input type="checkbox"/>																																																					
Bemerkungen:																																																					
Falls Nachbesserung erforderlich: nach Herstellerangaben oder Genehmigungsunterlagen fachgerecht aufgearbeitet <input type="checkbox"/>																																																					
(Spaltabmessungen gemäß Tabellen 1 und 2 der EN 60079-1 sind nicht ausreichend)																																																					
Bemerkungen:																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Wellenspalt:</th> <th>D (mm)</th> <th>Sollwert nach Herstellerangaben</th> <th>Istwert nach Reparatur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Durchmesser der Nabe</td> <td>D (mm)</td> <td>AS BS</td> <td>AS BS</td> </tr> <tr> <td>Durchmesser der Welle</td> <td>d (mm)</td> <td>AS BS</td> <td>AS BS</td> </tr> <tr> <td>Maximale Spaltweite</td> <td>D - d (mm) ≤</td> <td>AS BS</td> <td>AS BS</td> </tr> <tr> <td>Minimale Spaltweite</td> <td>D - d (mm) ≥</td> <td>AS BS</td> <td>AS BS</td> </tr> <tr> <td>Spaltlänge</td> <td>D - d (mm) ≥</td> <td>AS BS</td> <td>AS BS</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Oberflächenrauigkeit < 6,3 µm <input type="checkbox"/> (Einschränkung möglich, siehe Herstellerspezifikation)</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Lagerschildspalt: (nur für rein zylindrische Spalte)</td> </tr> <tr> <td>Durchmesser Lagerschild</td> <td>D (mm)</td> <td>AS BS</td> <td>AS BS</td> </tr> <tr> <td>Durchmesser Gehäuse</td> <td>d (mm)</td> <td>AS BS</td> <td>AS BS</td> </tr> <tr> <td>Spaltweite</td> <td>D - d (mm) ≤</td> <td>AS BS</td> <td>AS BS</td> </tr> <tr> <td>Spaltlänge</td> <td>D - d (mm) ≥</td> <td>AS BS</td> <td>AS BS</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Oberflächenrauigkeit < 6,3 µm <input type="checkbox"/> (Einschränkung möglich, siehe Herstellerspezifikation)</td> </tr> </tbody> </table>		Wellenspalt:	D (mm)	Sollwert nach Herstellerangaben	Istwert nach Reparatur	Durchmesser der Nabe	D (mm)	AS BS	AS BS	Durchmesser der Welle	d (mm)	AS BS	AS BS	Maximale Spaltweite	D - d (mm) ≤	AS BS	AS BS	Minimale Spaltweite	D - d (mm) ≥	AS BS	AS BS	Spaltlänge	D - d (mm) ≥	AS BS	AS BS	Oberflächenrauigkeit < 6,3 µm <input type="checkbox"/> (Einschränkung möglich, siehe Herstellerspezifikation)				Lagerschildspalt: (nur für rein zylindrische Spalte)				Durchmesser Lagerschild	D (mm)	AS BS	AS BS	Durchmesser Gehäuse	d (mm)	AS BS	AS BS	Spaltweite	D - d (mm) ≤	AS BS	AS BS	Spaltlänge	D - d (mm) ≥	AS BS	AS BS	Oberflächenrauigkeit < 6,3 µm <input type="checkbox"/> (Einschränkung möglich, siehe Herstellerspezifikation)			
Wellenspalt:	D (mm)	Sollwert nach Herstellerangaben	Istwert nach Reparatur																																																		
Durchmesser der Nabe	D (mm)	AS BS	AS BS																																																		
Durchmesser der Welle	d (mm)	AS BS	AS BS																																																		
Maximale Spaltweite	D - d (mm) ≤	AS BS	AS BS																																																		
Minimale Spaltweite	D - d (mm) ≥	AS BS	AS BS																																																		
Spaltlänge	D - d (mm) ≥	AS BS	AS BS																																																		
Oberflächenrauigkeit < 6,3 µm <input type="checkbox"/> (Einschränkung möglich, siehe Herstellerspezifikation)																																																					
Lagerschildspalt: (nur für rein zylindrische Spalte)																																																					
Durchmesser Lagerschild	D (mm)	AS BS	AS BS																																																		
Durchmesser Gehäuse	d (mm)	AS BS	AS BS																																																		
Spaltweite	D - d (mm) ≤	AS BS	AS BS																																																		
Spaltlänge	D - d (mm) ≥	AS BS	AS BS																																																		
Oberflächenrauigkeit < 6,3 µm <input type="checkbox"/> (Einschränkung möglich, siehe Herstellerspezifikation)																																																					
Korrosionsschutz <input type="checkbox"/> Bemerkung:																																																					
Anschlusskasten Erhöhte Sicherheit <input type="checkbox"/>																																																					
Verschmutzungen im Anschlussraum (IP 54) <input type="checkbox"/> Bemerkung:																																																					
Austausch Dichtung <input type="checkbox"/> Originaldichtung <input type="checkbox"/> Bemerkung:																																																					
Thermistoren als Alleinschutz																																																					
Typ und Nennansprechtemperatur (NAT)	Herstellerangaben oder Zusatzschild PTC DIN 44081/82:																																																				
Relativer Anzugsstrom I _k /I _N	Istwert bei der Prüfung nach Reparatur PTC DIN 44081/82:																																																				
Ansprechzeit t _a bei U _k und RT ca. 20 °C s																																																				
Zul. Toleranz ± 20%; Umrechnung bei abweichender Prüfspannung nach 2. Ausgabe PTB-Prüfregeln, Abschnitt 3.2.2.4																																																					
Anbauten																																																					
Schutzhaube <input type="checkbox"/>	Bemerkungen:																																																				
Fremdlüfter <input type="checkbox"/>																																																					
Federdruckbremse <input type="checkbox"/>																																																					
Durchgeführte Arbeiten																																																					
Bemerkungen:																																																					
Bestätigung des Instandsetzers																																																					
Das oben näher bezeichnete Gerät wurde fachgerecht unter Beachtung der "Technischen Regel für Betriebssicherheit" TRBS 1201-3 instand gesetzt.																																																					
Unternehmen: Stempel:																																																					
Ort:	Datum:																																																				
Unterschrift des Werkstattbeauftragten:																																																					
Prüfung nach Instandsetzung durch die behördlich anerkannte befähigte Person																																																					
Das instand gesetzte Gerät entspricht in den für den Explosionsschutz wesentlichen Merkmalen den Anforderungen der BetrSichV. Es darf wieder in Betrieb genommen werden.																																																					
Die behördlich anerkannte befähigte Person nach §14 (6) Satz 2 der BetrSichV:																																																					
(Unterschrift)																																																					
anerkannt durch: Bescheid vom: Aktenzeichen:																																																					
Dieses Formular für die Aufzeichnungen nach der Instandsetzung eines explosionsgeschützten Elektromotors stimmt überein mit den Anforderungen der TRBS 1201-3.																																																					

8 Übersicht über Normen und Vorschriften

8.1 Allgemeine Normen

Titel	International IEC – International Electrotechnical Commission	Europa EN – CENELEC Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung	Deutschland DIN/VDE Deutsche Industrie Norm/Verband Deutscher Elektrotechniker
Drehende elektrische Maschinen Bemessung und Betriebsverhalten	IEC 60034-1	EN 60034-1	DIN EN 60034-1/ VDE 0530-1
Verfahren zur Bestimmung der Verluste und des Wirkungsgrades drehender elektrischer Maschinen aus Prüfungen	IEC 60034-2-1	EN 60034-2-1	DIN EN 60034-2-1/
	IEC 60034-2	EN 60034-2	VDE 0530-2-1 DIN EN 60034-2/ VDE 0530-2
Wirkungsgradklassifizierung von Drehstrommotoren mit Käfigläufer	IEC 60034-30-1	EN 60034-30-1	DIN EN 60034-30-1 VDE 0530-30-1
Schutzarten aufgrund der Gesamtkonstruktion von drehenden elektrischen Maschinen-(IP-Code)-Einleitung	IEC 60034-5	EN 60034-5	DIN EN 60034-5/ VDE 0530-5
Einteilung der Kühlverfahren (IC-Code)	IEC 60034-6	EN 60034-6	DIN EN 60034-6/ VDE 0530-6
Klassifizierung der Bauarten, der Aufstellungsarten und der Klemmkasten-Lage (IM-Code)	IEC 60034-7	EN 60034-7	DIN EN 60034-7/ VDE 0530-7
Anschlussbezeichnungen und Drehsinn	IEC 60034-8	EN 60034-8	DIN EN 60034-8/ VDE 0530 Teil 8
Geräuschgrenzwerte	IEC 60034-9	EN 60034-9	DIN EN 60034-9/ VDE 0530-9
Anlaufverhalten von Drehstrommotoren mit Käfigläufer, ausgenommen polumschaltbare Motoren	IEC 60034-12	EN 60034-12	DIN EN 60034-12/ VDE 0530 Teil 12
Mechanische Schwingungen von bestimmten Maschinen mit einer Achshöhe von 56 mm und höher; Messung, Bewertung und Grenzwerte der Schwingstärke	IEC 60034-14	EN 60034-14	DIN EN 60034-14/ VDE 0530-14
Auswuchtgüte	ISO 1940	-	DIN ISO 1940/ VDE 0175
IEC Normspannungen	IEC 60038	-	DIN IEC 60038
Bewertung und Klassifikationen elektrischer Isolierungen nach ihrem thermischen Verhalten	IEC 60085	-	DIN IEC 60085/ VDE 0301-1
Drehstromasynchronmotoren für den Allgemeingebrauch mit standardisierten Abmessungen und Leistungen	IEC 60072-1	EN 50347	DIN EN 50347

8.2 Normen für Explosionsschutz

	Titel	IEC
Grundlagen	Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz Teil 1: Grundlagen und Methodik	
	Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz Teil 2: Grundlagen und Methodik in Bergwerken	
	Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz Teil 1: Begriffe für Geräte, Schutzsysteme und Komponenten zur Verwendung in explosionsfähigen Atmosphären	
Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe	Verfahren zur Bestimmung des maximalen Explosionsdruckes und des maximalen zeitlichen Druckanstieges für Gase und Dämpfe	
	Flameproof enclosures „d“ – Method of test for ascertainment of maximum experimental safe gap (Prüfverfahren zur Bestimmung der maximalen Grenzspaltweite)	IEC 60079-1-1:2002
	Prüfung von Mineralölkohlenwasserstoffen – Bestimmung der Zündtemperatur	
Kennzahlen brennbarer Stäube	Explosionsfähige Atmosphären – Teil 20 – 1: Stoffliche Eigenschaften zur Klassifizierung von Gasen und Dämpfen – Prüfverfahren und Daten	ISO/IEC DIS 80079-20-1:2015
	Explosive atmospheres – Part 20 – 2: Material characteristics – Combustible dusts test methods	ISO/IEC 80079-20-2:2016
Einstufung gefährdeter Bereiche	Elektrische Betriebsmittel für gasexplosionsgefährdete Bereiche Teil 10: Einteilung von gasexplosionsgefährdeten Bereichen	IEC 60079-10-1:2015
	Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 10 – 2: Einteilung der Bereiche – Staubexplosionsgefährdete Bereiche	IEC 60079-10-2:2015
Anlagen, Ausführung, Installation, Instandhaltung und Reparatur	Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 14: Projektierung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen	IEC 60079-14:2013
	Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 17: Prüfung und Instandhaltung elektrischer Anlagen	IEC 60079-17:2013
	Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 19: Geräte-reparatur, Überholung und Regenerierung	IEC 60079-19:2010 + A1:2015
Schutzarten explosionsschutzter Betriebsmittel	Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 0: Betriebsmittel - Allgemeine Anforderungen	IEC 60079-0:2011, modifiziert + Cor.:2012+Cor.:2013
	Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 1: Geräteschutz durch druckfeste Kapselung „d“	IEC 60079-1:2014
	Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 2: Geräteschutz durch Überdruckkapselung „p“	IEC 60079-2:2014:2014 + Cor.:2015
	Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 5: Geräteschutz durch Sandkapselung „q“	IEC 60079-5:2015
	Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 6: Geräteschutz durch Flüssigkeitskapselung „o“	IEC 60079-6:2015
	Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 7: Geräteschutz durch erhöhte Sicherheit „e“	IEC 60079-7:2015
	Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 11: Geräteschutz durch Eigensicherheit „i“	IEC 60079-11:2011
	Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 15: Geräteschutz durch Zündschutzart „n“	IEC 60079-15:2010
	Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 18: Geräteschutz durch Vergusskapselung „m“	IEC 60079-18:2014
	Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 25: Eigensichere Systeme	IEC 60079-25:2010
	Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 26: Betriebsmittel mit Geräteschutzniveau (EPL) Ga	IEC 60079-26:2014
	Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 27: Konzept für eigensichere Feldbusssysteme (FISCO)	IEC 60079-27:2008
	Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 28: Schutz von Geräten und Übertragungssystemen, die mit optischer Strahlung arbeiten	IEC 60079-28:2015
	Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 29 – 1: Gasmessgeräte - Anforderungen an das Betriebs- verhalten von Geräten für die Messung brennbarer Gase	IEC 60079-29-1:2007 (modifiziert)
	Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 29 – 4: Gasmessgeräte - Anforderungen an das Betriebs- verhalten von Geräten mit offener Messstrecke für die Messung brennbarer Gase	IEC 60079-29-4:2009 (modifiziert)
Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 30 – 1: Elektrische Widerstands-Begleitheizungen – Allgemeine Anforderungen und Prüfanforderungen	IEC 60079-30-1:2007	
Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 31: Geräte- Staubexplosionsschutz durch Gehäuse „t“	IEC 60079-31:2013	
Kopfleuchten für die Verwendung in schlagwettergefährdeten Grubenbauen – Teil 35 – 1: Allgemeine Anforderungen – Konstruktion und Prüfung in Relation zum Explosionsrisiko	IEC 60079-35-1:2011	
QS	Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 34: Anwendung von Qualitätsmanagementsystemen für die Herstellung von Geräten	ISO/IEC 80079- 34:2011

CEN/CENELEC	DIN/VDE	Referenz der eretzten Norm	Datum der Beendigung der Annahme der Konformitätsvermutung für die ersetzte Norm
EN 1127-1:2011	DIN EN 1127-1:2011-10		
EN 1127-2:2014	DIN EN 1127-2:2014-09		
EN 13237:2012	DIN EN 13237:2013-01		
EN 15967:2011	DIN EN 15967:2011-10		
	DIN 51794:2003-05		
ISO/IEC DIS 80079-20-1:2015	DIN EN ISO/IEC 80079-20-1:2016-02 – Entwurf		
FprEN 60079:2014	DIN EN 60079-10-1:2014-10; VDE 0165-101:2014-10 – Entwurf		
EN 60079-10-2:2015	DIN EN 60079-10-2:2015-10; VDE 0165-102:2015-10		
EN 60079-14:2014	DIN EN 60079-14:2014-10; VDE 0165-1:2014-10		
EN 60079-17:2014	DIN EN 60079-17; VDE 0165-10-1:2014-10		
EN 60079-19:2011 + A1:2015	DIN EN 60079-19:2015-09; VDE 0165-20-1:2015-09		
EN 60079-0:2012/A11:2013	DIN EN 60079-0; VDE 0170-1:2014-06	DIN EN 60079-0:2013	7.10.2016
EN 60079-1:2014	DIN EN 60079-1:2015-04; VDE 0170-5:2015-04	EN 60079-1:2007	1.8.2017
EN 60079-2:2014/AC:2015	DIN EN 60079-2:2015-05; VDE 0170-3:2015-05 + Berichtigung 1:2016-01	EN 61241-4:2006 EN 60079-2:2007	25.8.2017
EN 60079-5:2015	DIN EN 60079-5:2015-12; VDE 0170-4:2015-12		
EN 60079-6:2015	DIN EN 60079-6:2016-06; VDE 0170-2:2016-06	EN 60079-6:2007	27.3.2018
EN 60079-7:2015	DIN EN 60079-7:2016	EN 60079-7:2007	31.7.2018
EN 60079-11:2012	DIN EN 60079-11:2012-06; VDE 0170-7:2012-06		
EN 60079-15:2010	DIN EN 60079-15:2011-02; VDE 0170-16:2011-02		
EN 60079-18:2015		EN 60079-18:2009	16.1.2018
EN 60079-25:2010	DIN EN 60079-25:2011-06; VDE 0170-10-1:2011-06		
EN 60079-26:2015		EN 60079-26:2007	2.12.2017
EN 60079-27:2008			
EN 60079-28:2015		EN 60079-28:2007	1.7.2018
EN 60079-29-1:2007	DIN EN 60079-29-1:2008-07; VDE 0400-1:2008-07		
EN 60079-29-4:2010	DIN EN 60079-29-4:2011-02; VDE 0400-40:2011-02		
EN 60079-30-1:2007	DIN EN 60079-30-1:2007-12; VDE 0170-60-1:2007-12		
EN 60079-31:2014	DIN EN 60079-31:2014-12; VDE 0170-15-1:2014-12	EN 60079-31:2009	1.1.2017
EN 60079-35-1:2011 + Cor.:2011	DIN EN 60079-35-1:2012-01; VDE 0170-14-1:2012-01		
EN ISO/IEC 80079-34:2011			

9 Toleranzen

9.1 Elektrische Parameter

nach IEC/EN 60034-1 sind folgende Toleranzen zugelassen:

Wirkungsgrad	-0,15 (1- η) bei $P_N \leq 150$ kW -0,1 (1- η) bei $P_N > 150$ kW
Leistungsfaktor	$\frac{1 - \cos \varphi}{6}$ mindestens 0,02 höchstens 0,07
Schlupf (bei Nennlast in betriebswarmem Zustand)	± 20 % bei $P_N \geq 1$ kW ± 30 % bei $P_N < 1$ kW
Anzugsstrom (in der vorgesehenen Anlass-Schaltung)	+ 20 % ohne Begrenzung nach unten
Anzugsmoment	- 15 % und + 25 %
Sattelmoment	- 15 %
Kippmoment	- 10 % (nach Anwendung dieser Toleranz M_k/M_N noch mindestens 1,6)
Trägheitsmoment	± 10 %
Geräuschstärke (Messflächen-Schalldruckpegel)	+ 3 dB (A)

Diese Toleranzen sind für Drehstrom-Asynchronmotoren mit Rücksicht auf notwendige Fertigungstoleranzen und Materialabweichungen bei den verwendeten Rohstoffen für die gewährleisteten Werte zugelassen. In der Norm werden dazu folgende Anmerkungen gegeben:

1. Eine Gewährleistung aller oder irgendeines der Werte nach Tabelle ist nicht zwingend vorgesehen. In Angeboten müssen gewährleistete Werte, für die zulässige Abweichungen gelten sollen, ausdrücklich genannt

werden. Die zulässigen Abweichungen müssen der Tabelle entsprechen.

2. Es wird auf die Unterschiede in der Auslegung des Begriffes „Gewährleistung“ hingewiesen. In einigen Ländern wird ein Unterschied gemacht zwischen typischen (typical) oder erklärten (declared) Werten.
3. Gilt eine zulässige Abweichung nur in einer Richtung, so ist der Wert in der anderen Richtung nicht begrenzt.

9.2 Mechanische Parameter – übliche Toleranzen

Maßkurzzeichen nach DIN 42939	Bedeutung des Maßes	Passung oder Toleranz
a	Abstand der Befestigungslöcher des Gehäusefußes in Achsrichtung	± 1 mm
a ₁	Durchmesser bzw. Eckmaß des Flansches	- 1 mm
b	Abstand der Befestigungslöcher des Gehäusefußes quer zur Achsrichtung	± 1 mm
b ₁	Durchmesser des Zentrierrandes des Befestigungsflansches	bis Durchmesser 230 mm j6 ab Durchmesser 250 mm h6
d, d ₁	Durchmesser des zylindrischen Wellenendes	bis Durchmesser 48 mm k6 ab Durchmesser 55 mm m6
e, e ₁	Lochkreisdurchmesser des Befestigungsflansches	$\pm 0,8$ mm
f, g	größte Breite des Motors (ohne Klemmenkasten)	+ 2 %
h	Achshöhe (Unterkante Fuß bis Mitte Wellenende)	bis 250 mm -0,5 über 250 mm -1
k, k ₁	Gesamtlänge des Motors	+ 1 %
p	Gesamthöhe des Motors (Unterkante Fuß, Gehäuse oder Flansch bis zum höchsten Punkt des Motors)	+ 2 %
s, s ₁	Durchmesser der Befestigungslöcher des Fußes oder Flansches	+ 3 %
t, t ₁	Unterkante Wellenende bis Oberkante Passfeder	+ 0,2 mm
u, u ₁	Breite der Passfeder	h9
w ₁ , w ₂	Abstand zwischen der Mitte des ersten Fußbefestigungsloches bis Wellenbund oder Flanschlagefläche	$\pm 3,0$ mm
	Abstand Wellenbund bis Flanschlagefläche bei Festlager D-Seite	$\pm 0,5$ mm
	Abstand Wellenbund bis Flanschlagefläche	$\pm 3,0$ mm
m	Motormasse	-5 bis +10 %

Übliche Passungen-Wellenenden

Wellenenden	bis $\varnothing 48$	k6
	ab $\varnothing 55$	m6
Gegenstücke		H7

RICHTLINIE 2014/34/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES

vom 26. Februar 2014

Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (Neufassung)

RICHTLINIE 1999/92/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES

vom 16. Dezember 1999

über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können (Fünfzehnte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG)

ATEX-Leitlinien, 4. Ausgabe, 09/2012 (deutsche Fassung zur RL 94/9/EG)

ATEX 2014-34-EU Guidelines – 1st Edition April 2016 (bisher nur in Englisch)

Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV)

Ausfertigungsdatum: 03.02.2015

(Zuletzt geändert durch Art. 15 V v. 2.6.2016 I1257)

Leitlinien zur Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), 2. überarbeitete Auflage 2006

Explosionsschutz-Regeln (Ex-RL) DGUV Regel 113-001 Sammlung technischer Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre Beispielsammlung zur Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche in Zonen Ausgabe März 2015

Friedl, W. J.: Ökologische und ökonomische Bedeutung des Brand- und Explosionsschutzes, Verlag Kohlhammer, 1998

PTB-Prüfregel; Explosionsschutzte Maschinen der Schutzart Erhöhte Sicherheit „e“ Ex e, Band 3, zweite Ausgabe 2007

PTB-Merkblatt zum Schutz von Asynchronmaschinen bei Anlauf mit verminderter Spannung, Sicherstellung des Explosionsschutzes, AG 3.72, April 2009

Lehrmann, C., Pape, H., Dreger, U., Lienesch, F.: Umrichtergespeiste Antriebe – ein neuartiges Schutzkonzept für Antriebe in explosionsgefährdeten Bereichen; Ex-Zeitschrift R. Stahl Schaltgeräte GmbH, Heft 38/2006, S. 36–47

Lehrmann, C.: Über ein Zulassungsverfahren für explosionsgeschützte, umrichtergespeiste Käfigläufer der Zündschutzart Erhöhte Sicherheit „e“; Dissertation Leibniz-Universität Hannover 2006; erschienen im Shaker-Verlag, Aachen

Elektrische und nichtelektrische Geräte für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen, Dipl.-Ing. (FH) Burkhard Hille/ Dipl.-Ing. Kai Willamowski IBExU Institut für Sicherheitstechnik GmbH, Freiberg

Instandsetzung und Änderung von explosionsgeschützten elektrischen Betriebsmitteln, Dipl.-Ing. (FH) Burkhard Hille, IBExU Institut für Sicherheitstechnik GmbH, Freiberg

Druckfest gekapselte Motoren für Gas- und Staubexplosionsschutz, W. Sobel, ATB Motorentchnik GmbH

Normen für explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel im Wandel, Vortrag zum 7. Technischen Tag der VEM Gruppe 2008, Dr.-Ing. F. Lienesch, PTB Braunschweig

Explosionsschutz Drehstrommotoren und die neuen Normspannungen von U. Engel und H. Wickboldt, PTB Braunschweig

Elektrische Betriebsmittel für Staubexplosionsgefährdete Bereiche, Dipl.-Ing Götze, IBExU Institut für Sicherheitstechnik GmbH, Freiberg

TRBS 1201 (September 2006)

Teil 1: Prüfung von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen und Überprüfung von Arbeitsplätzen in explosionsgefährdeten Bereichen, BAnz. Nr. 232a, S. 20 v. 9.12.2006

TRBS 1201 (Februar 2009)

Teil 3: Instandsetzung an Geräten, Schutzsystemen, Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen im Sinne der Richtlinie 94/9/EG – Ermittlung der Prüfnotwendigkeit gemäß § 14 Abs. 6 BetrSichV GMBI. Nr. 25, S. 527 vom 15.06.2009

TRBS 1201 (Oktober 2009)

Teil 4: Prüfung von überwachungsbedürftigen Anlagen – Prüfung von Aufzugsanlagen GMBI. Nr. 77, S. 1598 v. 20.11.2009 sowie Änderung GMBI 2013 S. 1154 (Nr. 57)

TRBS 1203 (März 2010) (Neufassung) Befähigte Personen GMBI. Nr. 29, S. 627 v. 12.05.2010

PTB Hinweise, <http://www.explosionsschutz.ptb.de>

DKE 241_2015-0204

Explosionsschutz: Highlights der internationalen Normungsaktivitäten 2015 Gerhard Schwarz, GSA Consulting, Germany

Mitteilung der Kommission im Rahmen der Durchführung der Richtlinie 2014/34/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (Neufassung), Amtsblatt der Europäischen Union 2016/C 126/02 vom 08.02.2016

Instandsetzung und Änderungen von Arbeitsmitteln nach § 10 BetrSichV, Dipl.-Ing Kai Willamowski

Rechtliche Grundlagen des Explosionsschutzes Dr.-Ing Andreas Pärnt

Diverse weitere Normen und Normenentwürfe

VEM Holding GmbH

Pirnaer Landstraße 176
01257 Dresden
Deutschland

VEM Vertrieb

Fachbereich Niederspannung

Tel. +49 3943 68-3127
Fax +49 3943 68-2440
E-Mail: niederspannung@vem-group.com

Fachbereich Hochspannung

Tel. +49 351 208-3237
Fax +49 351 208-1108
E-Mail: hochspannung@vem-group.com

Fachbereich Antriebssysteme

Tel. +49 351 208-1180
Fax +49 351 208-1185
E-Mail: antriebssysteme@vem-group.com

VEM Kundendienst

Tel. +49 351 208-3237
Fax +49 351 208-1108
E-Mail: service@vem-group.com



Ausführliche Informationen
finden Sie auf unserer Homepage.

www.vem-group.com