



# Allzeit gute Fahrt – mit zuverlässiger Stromversorgung

Fallen Navigation und Antrieb aus, kann das zu erheblichen Problemen im Schiffsbetrieb führen. Aber nicht nur deshalb spielt die sichere elektrische Stromversorgung bei modernen Schiffen eine große Rolle. Stromnetze unterschiedlicher Sicherheitsbedeutung und mit verschiedenen Spannungen benötigen ein abgestuftes Verteilungs- und Versorgungskonzept mit entsprechenden Überwachungseinrichtungen, um ungeplanten Betriebsunterbrechungen und möglichen Gefährdungen umfassend vorzubeugen.

## Stromversorgungssysteme

Im Gegensatz zur Stromversorgung von Gebäuden an Land, kommen bei Schiffen besondere Anforderungen zum Tragen, die sich zwangsläufig aus dem Einsatzort „See“ ergeben.

- Ein Schiff ist ein autarkes System, das längere Zeit ohne Versorgung von außen sein kann.
  - Die klimatische Beanspruchung reicht von tropisch bis arktisch.
  - Beanspruchung auf See durch Schräglage, Stöße (Eisfahrt)
  - Chemisch aggressive Einwirkung von Seewasser
  - Ortsveränderungen (unterschiedliche Versorgungssysteme an Land).
- Die elektrischen Systeme auf Schiffen und Offshore-Einrichtungen sind in Primär- und Sekundärnetze unterteilt: Primärnetze haben eine direkte elektrische Verbindung zum Generator, Sekundärnetze nicht. Sekundärnetze sind z. B. durch einen Transformator oder Motor-Generator isoliert. Grundsätzlich müssen jedoch alle elektrischen Einrichtungen so ausgelegt sein, dass
- auch unter Berücksichtigung verschiedener Notfälle, die Stromversorgung der Sicherheitseinrichtungen aufrechterhalten bleibt.
  - die Sicherheit der Passagiere, der Besatzung und des Schiffes gegen elektrische Gefahren gewährleistet ist.
  - die Vorgaben und Auflagen der verschiedenen Vorschriften und Bestimmungen erfüllt werden.



## ▶▶▶ Normen und Bestimmungen

Für den Bau und Betrieb eines seegehenden Schiffes und von Offshore-Einrichtungen sind eine Reihe von Normen und Bestimmungen zu beachten, die einen wesentlichen Einfluss auf die elektrotechnische Ausrüstung haben.

Dies sind z. B.

- Normenreihe IEC 60092-xxx      Electrical installations in ships
- Normenreihe IEC 61892-xxx      Mobile and fixed offshore units – electrical installation
- Lloyd`s Register of Shipping      Rules & Regulations for ...
- Det norske veritas                  Rules for classification of ...
- International Maritime Organisation (IMO)      International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)

## Geerdete Stromversorgungen (TN-Systeme)

Spricht man auf Schiffen von geerdeten Systemen, so sind damit die Netze gemeint, in denen ein aktiver Leiter oder der Sternpunkt mit dem Schutzleiter verbunden ist (TN-Systeme). Diese Systeme findet man z. B. auf Passagierschiffen für die Kabinenbeleuchtung, im Unterhaltungsbereich von Kreuzfahrtschiffen oder teilweise bei Aufzügen. Aber auch bei Offshore-Einrichtungen wird diese Netzform für Unterverteilungen oder bei weniger wichtigen Stromkreisen bzw. Verbrauchern gelegentlich eingesetzt.

Normen für Schiffe und Offshore-Einrichtungen fordern häufig für geerdete System die permanente Überwachung der Fehlerströme und eine akustischen Meldung im Fehlerfall. So z. B. in der IEC 61892-7:2007-11 „Mobile and fixed offshore units – Electrical installations Part 7: Hazardous areas, in IEC 60092-502:1999-02 „Electrical installations in ships – Part 502: Tankers special features oder in Det norske veritas – Oil carriers Pt. 5. Ch. 3 Sec 8 A200:2012

Um dies zu bewerkstelligen werden Differenzstrom-Überwachungsgeräte (RCM) nach IEC 62020:2003-11 eingesetzt. Diese typischerweise mehrkanaligen



Differenzstrom-Überwachungssysteme überwachen permanent den Fehlerstrom (auch allstromsensitiv) und melden das Überschreiten eines voreingestellten Wertes. Dadurch kann auch im geerdeten System eine unerwartete Abschaltung vermieden werden. Zusätzlich werden solche Systeme zur Überwachung des zentralen Erdungspunktes in TN-S-Systemen eingesetzt, um mögliche Störungen der Schiffselektronik und mögliche Brandgefahren durch vagabundierende Ströme frühzeitig zu erkennen.



TABELLE 1: Netzformen von AC-Stromversorgungen auf Schiffen und Offshore-Einrichtungen

AC systems								
Standard	Primary and secondary systems		Primary systems up to 500 V					
			Secondary systems up to 500 V					
	3ph 3 wire isolated	3ph 3 wire N earthed	3ph 4 wire N earthed without hull return	1ph 2 wire isolated	1ph 2 wire one pole earthed	1ph, 2 wire, mid-wire earthed, for supplying lighting and socket-outlets	1ph, 3 wire mid-wire earthed without hull return	
Basic system	IT	TN	TN	IT	TN	TN	TN	
IEC 60092-201:1994-08 Electr. installations in ships - System design general	X	X	X	X	X	X	X	
IEC 61892-2:2012-03 Mobile / fixed offshore units	X	X	X	X	X	X	X	
LR Part 6: July 2011 Control, electrical ...	X		X	X	X			
LR Part 6: July 2011 Control, electrical tankers	X			X				
DNV part 4 chap. 8 :2012 Electrical installations ...	X	X	X	X	X			

TABELLE 2: Netzformen von DC-Stromversorgungen auf Schiffen und Offshore-Einrichtungen

DC systems					
	2 wire isolated	1 wire with hull return	2 wire one pole earthed	3 wire middle-wire earthed, without hull return	3 wire middle-wire earthed, with hull return
Basic system	IT	TN	TN	TN	TN
IEC 60092-201:1994-08 Electr. installations in ships - System design general	X	X	X	X	X
IEC 61892-2:2012-03 Mobile and fixed offshore System design	X		X	X	
LR Part 6: July 2011 Control, electrical .....	X				X
LR Part 6: July 2011 Control, electrical tankers	X				
DNV part 4 chap. 8 :2012 Electrical installations ...	X	X	X		



## ▶▶▶ Ungeerdete Stromversorgungen (IT-Systeme)

In ungeerdeten Stromversorgungen ist kein aktiver Leiter mit dem Schutzleiter (PE) direkt verbunden. Dadurch ergibt sich ein bedeutender Vorteil: Ein erster Fehler (Isolationsfehler) führt nicht zum Ansprechen einer Sicherung (Leitungsschutzschalter) und die Stromversorgung bleibt bestehen. In der Praxis heißt das, die Beleuchtung bleibt an, elektrisch gesteuerte Prozesse können gefahrlos beendet werden oder auch Elektromotoren bzw. Antriebe stehen nicht abrupt still. Zudem können dadurch auch Sekundärufälle, wie z. B. Verletzungen, Stürze etc. vermieden werden. Aber noch viel wichtiger, in medizinischen Bereichen von Schiffen werden dadurch eventuelle lebensbedrohliche Komplikationen durch Ausfall medizinisch elektrischer Geräte und Einrichtungen verhindert.

Damit ein Isolationsfehler  $R_F$  nicht unbemerkt bleibt und ein möglicher zweiter Fehler an einem anderen aktiven Leiter zur ungewollten Abschaltung führt, wird der Isolationswiderstand zwischen aktiven Leitern und Erde permanent mit einem Isolationsüberwachungsgerät (IMD) überwacht und das Unterschreiten eines bestimmten Wertes gemeldet.

Ein Blick in Tabelle 1 und 2 zeigt, dass IT-Systeme die einzige Netzform sind, die durchgängig in den aufgelisteten Normen und Vorschriften angewendet werden kann.



TABELLE 3: Geforderte Überwachungseinrichtungen in verschiedenen Stromversorgungen

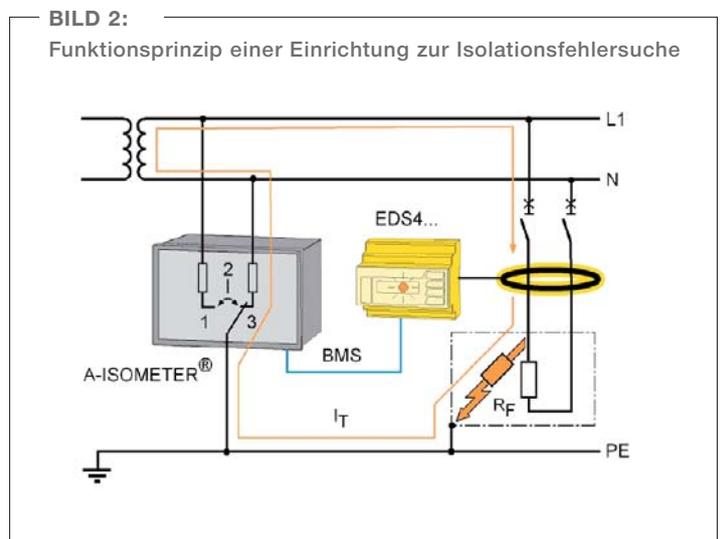
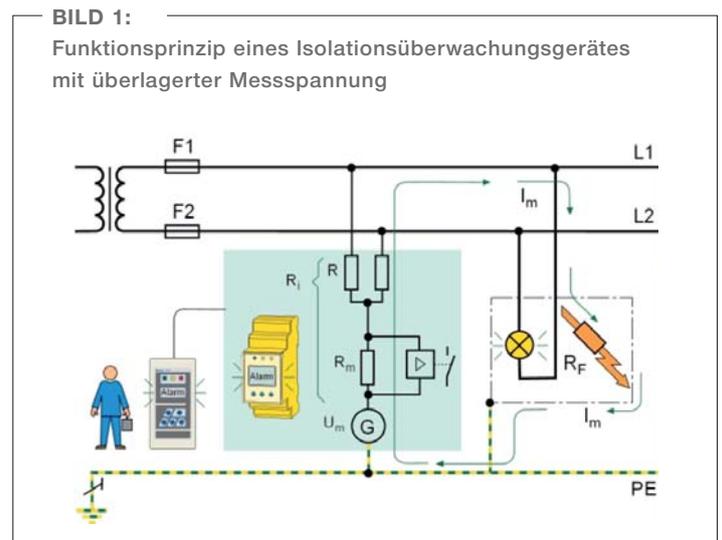
Regulation	Application	Insulation monitoring	Earth fault detection	Residual current monitoring
Supply system	-	Unearthed	Unearthed	Earthed
Lloyds register	Ships	Part 6 Ch. 5.4		
IEC 61892-2:2012-03 - System design	Offshore	Ch. 5.7	Ch. 5.7	
IEC 61892-5:2010-08 - Mobile units	Offshore	Ch. 8.4	Ch. 9.10.1.4	Ch. 9.10.1.4
IEC 61892-7:2007-11 - Hazardous areas	Offshore	Ch. 5.2.2		
IEC 60092-201:1994-08 - System design	Ships	Ch. 7.2		
IEC 60092-502:1999-02 - Tankers	Ships	Ch. 5.3.2		Ch. 5.3.2
IEC 60092-507:2008-01 - Small vessels	Ships	Ch. 7.2.3.1	Ch. 7.2.3.1	
Det norske veritas Ships / high speed, Light craft and naval surface craft: 2012	Ships	Pt 4 Ch. 8 Sec 2 102		Pt 4 Ch. 8 Sec 2 102
Det norske veritas - Oil carriers: 2012	Ships	Pt. 5. Ch. 3 Sec 8 A 200		Pt. 5. Ch. 3 Sec 8 A 200
Lloyds register: 2011	Ships	Part 6 Ch. 5.4.1		Part 6 Ch. 2.6.1

▶▶▶ **Messtechnik von Isolationsüberwachungsgeräten**

Isolationsüberwachungsgeräte sind in der Produktnorm IEC 61557-8:2007-06 definiert. Danach müssen diese Geräte mit einem aktiven Messverfahren ausgestattet sein. Aktiv heißt in diesem Fall, die Geräte erzeugen eine Messspannung, die dem Netz zwischen aktiven Leitern und Erde überlagert wird. Kommt es zu einem Isolationsfehler  $R_F$  schließt sich der Messkreis und es fließt ein dem Isolationsfehler  $R_F$  proportionaler Messstrom  $I_m$ . Unterschreitet der Isolationswiderstand den eingestellten Ansprechwert, so erfolgt eine Meldung (Bild 1). Damit auch bei der Anwendung im Bereich der geregelten Antriebe (Schiffsantriebe) eine sichere und zuverlässige Isolationsüberwachung erfolgt, müssen diese Geräte mit einem speziellen Messverfahren, dem sogenannten Pulscode-Messverfahren, ausgerüstet sein. Isolationsüberwachungsgeräte, die mit einer reinen Messgleichspannung arbeiten, versagen in dieser Anwendung ihren Dienst und führen zu Fehlmeldungen.

**Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche in IT-Systemen**

Die Elektroinstallation auf Schiffen und Offshore-Einrichtungen ist häufig weit verzweigt und dadurch auch flächenmäßig ausgedehnt. Für den zuständigen Elektriker kann das natürlich im Falle eines Isolationsfehlers einen enormen Zeitaufwand bis hin zum Nichtfinden des Isolationsfehlers bedeuten. In der IEC 60092-507:2008-01 „Electrical installation in ships – Part 507: Pleasure craft“ heißt es deshalb z. B. Abschnitt 7.2.3.1 “Non-earthed systems: Insulation monitoring devices shall be fitted to give warning of earth faults and assist in the location of a fault”. In der Praxis erfolgt dies durch den Einsatz von Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche nach IEC 61557-09:2009-01. Diese sind in der Lage, Isolationsfehler innerhalb kürzester Zeit automatisch und präzise zu lokalisieren. Dies geschieht mit Hilfe eines Prüfstrom-Generators und entsprechenden Messstromwandlern, die in dem jeweiligen Stromkreis installiert werden. Im Falle eines



Isolationsfehlers wird vom Prüfstrom-Generator ein Prüfstrom  $I_T$  erzeugt, der dann durch die verschiedenen angeordneten Messstromwandler über den Isolationsfehler  $R_F$  fließt. Anhand der Zuordnung Messstromwandler/Stromkreis kann so schnell die fehlerbehaftete Stelle automatisch lokalisiert werden (Bild 2).



Die Forderung nach einer schnellen Lokalisierung und Beseitigung eines Isolationsfehlers ist auch in der IEC 60364-4-41:2005-7 im Abschnitt 411-6.3.2 enthalten. Dort heißt es unter ANMERKUNG: Es ist empfohlen, dass ein erster Fehler so schnell wie praktisch möglich beseitigt wird.

zuletzt können auch Anschlusskästen unbemerkt mit Salzwasser durchnässt werden. Als Folge von all diesen Möglichkeiten können unbemerkt Isolationsfehler auftreten, die dann z. B. beim Einschalten eines Motors die Sicherung auslösen und dadurch eine vielleicht wichtige Inbetriebnahme verhindern (z. B. Feuerlöschpumpen). Reicht der Fehlerstrom nicht zum Auslösen der Sicherung, besteht die Gefahr, dass es an der Fehlerstelle zu einer Überhitzung und damit zu einer akuten Brandgefahr kommen kann.

Um diese Gefahr zu vermeiden, wird der Isolationswiderstand des Verbrauchers im Stillstand überwacht und bei Unterschreitung eines relativen hochohmigen Wertes ( $\geq 1 \text{ M}\Omega$ ) eine Meldung ausgelöst. Diese sogenannte Offline-Überwachung kann, bedingt durch die allpolige Trennung, sowohl in ungeerdeten als auch geerdeten Netzen eingesetzt werden (Bild 4).



Bild 3: Isolationsüberwachungsgerät mit integriertem Prüfstrom-Generator zur Isolationsfehlersuche (Werksfoto Bender, Germany)

### Überwachung abgeschalteter Verbraucher

Auf Schiffen und Offshore-Einrichtungen sind Winden, Motorpumpen, Generatoren usw. typische Hilfsmittel, die an Deck installiert und dort den rauen Seebedingungen ausgesetzt sind. Zu diesen Bedingungen gehören hohe Luftfeuchtigkeit, Salzwasser, extreme Temperaturunterschiede, hohe UV-Strahlung, aggressive Chemikalien und Abgase. Das elektrische Isolationsmaterial der Motoren bzw. Generatoren wird dadurch ständig mechanisch/chemisch extrem beansprucht. Dies gilt auch für Kabel, deren Isolierung einer hohen UV-Strahlung ausgesetzt und dadurch brüchig werden kann. Nicht

BILD 4: Isolationsüberwachung einer Motorwinde im abgeschalteten Zustand

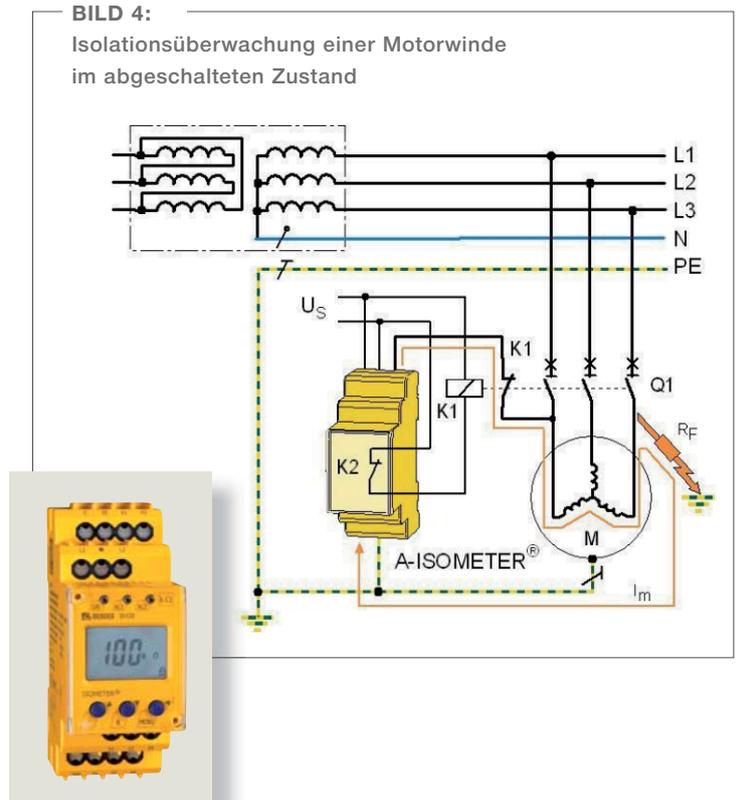
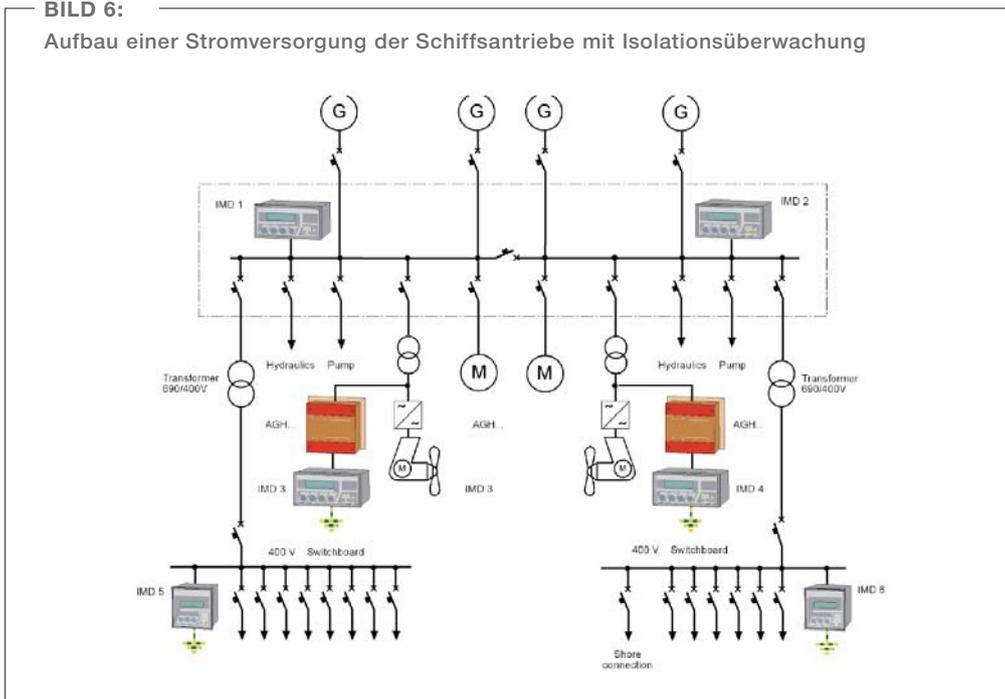


Bild 5: Offline-Monitor für abgeschaltete Verbraucher (Werksfoto Bender, Germany)

**BILD 6:**  
Aufbau einer Stromversorgung der Schiffsantriebe mit Isolationsüberwachung

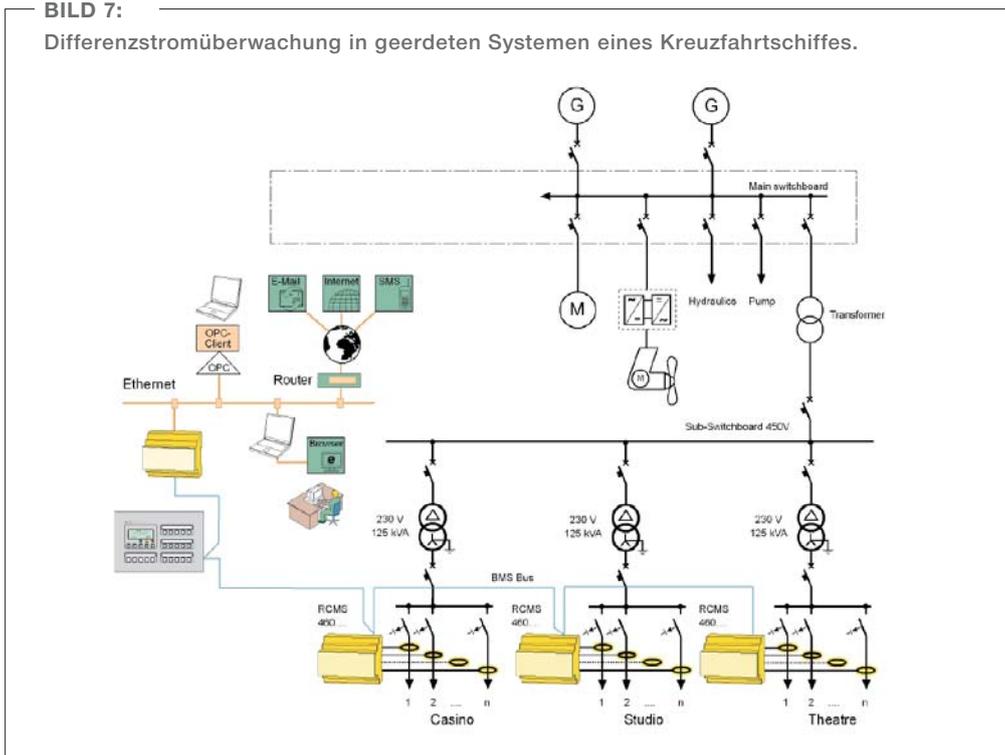


### ►►► Praktische Anwendungen

IT-Systeme mit Isolationsüberwachung werden in vielen Bereichen von Schiffen eingesetzt. Typischerweise sind dies die Antriebe von Schiffspropellern. Aber auch in untergeordneten Bereichen im Bereich von Pumpen usw. findet man häufig IT-System mit Isolationsüberwachung (Bild 6).

In geerdeten Systemen wird die Differenzstromüberwachung z. B. zur Kontrolle von AC-230-V-Netzen eingesetzt, um dort ein Ansprechen von Schutzeinrichtungen zu vermeiden bzw. um sich anbahnende mögliche Störungen frühzeitig zu erkennen. Diese Systeme nutzen dann auch die modernen Kommunikationsstrukturen, um diese Informationen an eine zentrale Leittechnik zu melden (Bild 7).

**BILD 7:**  
Differenzstromüberwachung in geerdeten Systemen eines Kreuzfahrtschiffes.





## ▶▶ ZUSAMMENFASSUNG

Auf Kreuzfahrtschiffen, Tankschiffen und Offshore-Plattformen haben die Betreiber ein gemeinsames Ziel: Passagiere und Personal umfassend vor den Gefahren durch elektrischen Strom zu schützen und einen möglichst störungsfreien Betrieb der elektrischen Anlagen zu gewährleisten. Mit der Anwendung des IT-Systems mit Isolationsüberwachung oder Differenzstromüberwachung in geerdeten Systemen sind vielfältige Möglichkeiten zum Erreichen dieser Ziele gegeben. ■

### AUTOR:

**Dipl.-Ing. Harald Sellner**

Leiter Technischen Marketing

Bender GmbH & Co.KG

35305 Grünberg

E-Mail: Harald.Sellner@bender-de.com

### LITERATURHINWEISE:

**Wolfgang Hofheinz:**

VDE-Schriftenreihe Band 114

3. Auflage Schutztechnik mit Isolationsüberwachung

IEC 60364-4-41:2005-12	Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock
IEC 61557-8:2007-01	Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures Part 8: Insulation monitoring devices for IT systems (IEC 61557-8:2007 + Corrigendum 2007-05)
IEC 61557-9:2009-01	Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures Part 9: Equipment for insulation fault location in IT systems (IEC 61557-9:2009)
IEC 62020:2003-11	Electrical accessories - Residual current monitors for household and similar uses (RCMs)
IEC 61892-2:2012-03	Mobile and fixed offshore units – Part 2: System design
IEC 61892-5:2010-08	Mobile and fixed offshore units – Electrical installations Part 5: mobile units
IEC 61892-7:2007-11	Mobile and fixed offshore units – Electrical installations Part 7: Hazardous areas
IEC 60092-201:1994-08	Electrical installations in ships – Part 201 System design – general
IEC 60092-202:1994-03	Electrical installations in ships – Part 202: System design – Protection
IEC 60092-502:1999-02	Electrical installations in ships – Part 502: Tankers – special features
IEC 60092-504:2001-03	Electrical Installations in ships - Part 504: Special features – Control and instrumentation
IEC 60092-507:2008-01	Electrical installations in ships – Part 507: Small vessels
Lloyd's Register of Shipping	www.lr.org Rules & Regulations For The Classification Of Naval Ships:2007 – Part 10 (Electrical Engineering) Rules & Regulations For The Classification Of Ships:2007 – Part 6: Control, electrical, refrigeration and fire Rules & Regulations for Classification of Floating Offshore Installation At Fixed Location:1999 Part 6 Control and electrical
Det norske veritas	www.dnv.com, Rules for classification of ships – Part 4 Machinery and systems Chapter 8 Electrical Installations (Ships), 2012 – Part 5 Special service and type Chapter 2 Passenger and Dry Cargo Ships (Ships), 2012 Chapter 3 Oil Carriers (Ships) July 2012
International maritime organisation	www.imo.org International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974