



White Paper

DC-Lighting - 2. Ausgabe

Beleuchtung für industrielle DC-Netze

Inhalt

INHALT	2
ZUSAMMENFASSUNG	3
EINLEITUNG	4
1 STAND DER TECHNIK	4
1.1 DC-INDUSTRIE2-Projekt	4
1.2 DC-Typologien – 650 V DC	5
2 SZENARIEN DER DC-BELEUCHTUNG	6
2.1 Kurzbeschreibung des DC-Netzes	6
2.2 Ausführungsformen von Beleuchtungseinrichtungen an DC-Netzen	7
2.2.1 Direkter Betrieb mit 650 V DC	7
2.2.2 Beleuchtungsanlage mit DC-/DC-Wandler	8
2.2.3 Beleuchtungsanlage mit DC/DC-Wandler 650 V DC / 400 V DC	9
2.2.4 Beleuchtungsanlage mit DC-/DC-Wandler 650 V DC / 220 V DC	10
2.2.5 Beleuchtungsanlagen mit DC-/DC-Wandler 650 V DC / 120 V DC (ELV)	10
2.2.6 Beleuchtungsanlagen mit DC-/DC-Wandler 650 V DC / 60 V DC (SELV)	11
3 ANFORDERUNGEN AN LEUCHTEN UND BELEUCHTUNGSKOMPONENTEN (VOR- UND NACHTEILE)	12
4 FAZIT	14
5 LITERATURVERZEICHNIS / QUELLEN	15
ABKÜRZUNGEN	15

Zusammenfassung

Die Gleichstromversorgung von Beleuchtungseinrichtungen ist eine neue Art der Spannungsversorgung in industriellen Fertigungsstätten. Der Stand der Technik wurde durch die Verbundprojekte „DC-INDUSTRIE“ und „DC-INDUSTRIE2“ erarbeitet und wird durch die ODCA (Open Direct Current Alliance), einem Arbeitskreis unter dem Dach des ZVEI e.V., fortgeführt.

Diese Aktivitäten in Deutschland behandeln industrielle Gleichstromnetze basierend auf der nominellen Spannung 650 V DC. Neben der nominellen Spannung 650 V DC ist zu berücksichtigen, dass die Arbeitsspannung

- kontinuierlich Werte zwischen 475 V DC und 750 V DC annehmen kann,
- bis zu 60 Sekunden lang Werte zwischen 750 V DC und 800 V DC betragen kann, wenn z. B. Regelkreise zwischen Arbeitspunkten wechseln
- und im Sonderfall der Spannungsversorgung von bis zu 880 V DC für bis zu 5s annehmen kann, wenn zum Beispiel bei einer Vielzahl von Motorantrieben eine Notabschaltung durchgeführt wird.

Praktisch besteht die Möglichkeit, Leuchten direkt mit 650 V DC zu versorgen. Alternativ werden Konzepte aufgezeigt, bei denen mithilfe von vorgeschalteten DC/DC-Wandlern die Betriebsspannung der Leuchten reduziert wird. Als sinnvolle Werte werden 400 V DC, 220 V DC, 120 V DC und 60 V DC erachtet. Es gilt zu bedenken, dass zurzeit nur vereinzelt geeignete DC/DC Wandler am Markt erhältlich sind.

Ausgehend von den Schutzkonzepten der Versorgungsanlage (TN-S-Netz bzw. IT-Netz) sowie von ggf. zwischengeschalteten DC/DC-Wandlern (nicht isoliert / basisisoliert / verstärkt isoliert) ergeben sich für Leuchten unterschiedliche Anforderungen.

Die konstruktiven Merkmale der Leuchten, z.B. Spannungsfestigkeit, Isolation sowie die Kriech- und Luftstrecken müssen so bemessen werden, dass bei allen vorkommenden Spannungen ein sicherer Betrieb der Beleuchtungsanlage erreicht wird. Die in Leuchten verwendeten Komponenten wie Leitungen, Klemmen, Sicherungen und Betriebsgeräte müssen den neuen, sich von den 230 V AC unterscheidenden Anforderungen ebenfalls entsprechen.

Es wird keine Präferenz über zukünftige Ausführungsformen gegeben. Die unterschiedlichen Konzepte werden neutral gegenübergestellt.

Einleitung

Die fortschreitende technische Entwicklung von DC-Versorgungsnetzen erfordert eine Erweiterung der bisherigen, im Jahr 2019 durch den ZVEI e.V. erschienenen Informationsschrift [1]. Die erste Ausgabe der Informationsschrift behandelte DC-Versorgungsnetze im Spannungsbereich 48 V DC bis 230 V DC.

Die Auswirkungen höherer DC-Netzspannungen (650 V nominal) und die daraus entstehenden Anforderungen an Leuchten und Komponenten sowie die sich aus dem Betrieb bei 650 V DC ergebenden technischen Herausforderungen werden in dieser Informationsschrift dargestellt. Die Informationsschrift zeigt mithilfe verschiedener Szenarien auf, wie die Integration der Beleuchtung in die neue Gleichstrominfrastruktur erfolgen kann. Auf weiterführende Fachpublikationen wird verwiesen (vgl. Kapitel 5).

1 Stand der Technik

1.1 DC-INDUSTRIE2-Projekt

Neue und innovative Anwendungen im Bereich der Energieversorgung und Elektromobilität basieren auf Gleichstrom. Daher bietet es sich an, Gleichstromverteilnetze zu nutzen. Die Verbundprojekte DC-INDUSTRIE und DC-INDUSTRIE2 haben die optimale elektrische Energieversorgung für die digitale industrielle Produktion erarbeitet [2,3]. Die im Bild 1 dargestellte Kopplung industrieller Energiespeicher, lokaler Stromerzeugung aus Photovoltaik und Windkraftanlagen und DC-betriebenen Anwendungen mit einem Gleichstromnetz innerhalb einer industriellen Produktion, ermöglicht eine robustere, effizientere und kostengünstigere Energieversorgung als mit der klassischen Drehstromversorgung.

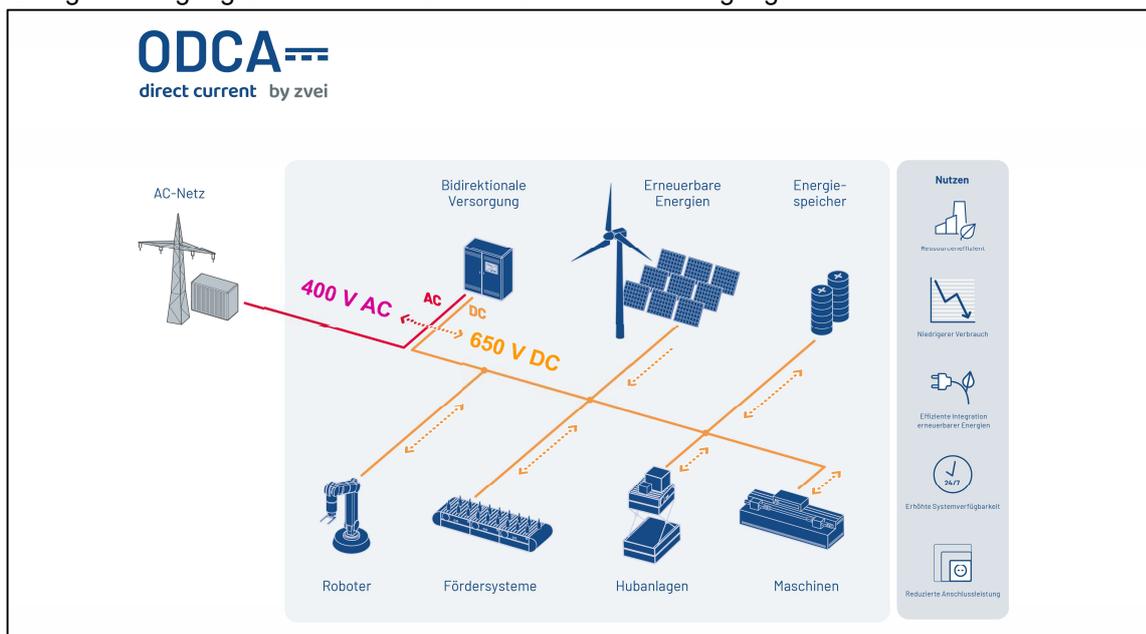


Bild 1: Illustration des Gleichstromnetzes in der industriellen Produktion [2,3]

Eine klassische Drehstromversorgung hat z. B. die Eigenschaft, Störungen aus den Stromübertragungs- und Verteilnetzen in den letzten Winkel von Produktionseinrichtungen zu transportieren. Spannungsunterbrechungen länger als 20 ms führen zu ungeplanten Unterbrechungen komplexer, digital gesteuerter Produktionen, wenn keine aufwendigen unterbrechungsfreien Stromversorgungen (USV) verwendet werden. Produktionsprozesse müssen nach ungeplanten Stromunterbrechungen aufwendig neu synchronisiert werden.

Das vorgeschlagene Gleichstromnetz beinhaltet die Funktion der unterbrechungsfreien Stromversorgung für alle angeschlossenen Anwendungen. Der zentrale AC/DC-Umrichter zwischen dem öffentlichen Drehstromnetz und dem fabrikinternen Gleichstromnetz wirkt als Sicherheits-Gateway. Der Umrichter trennt im Fall von Störungen das Gleichstromnetz vom öffentlichen Stromnetz. Die Stromversorgung im Gleichstromnetz wird mit gespeicherter Energie unterbrechungsfrei fortgesetzt.

Der Energiespeicher im DC-Netz kann darüber hinaus auch zum kostenoptimierten Einkauf von elektrischer Energie verwendet werden. Der Stromeinkauf zu Tageszeiten mit hohen Strompreisen am Morgen und Abend kann zu Gunsten solcher Tageszeiten reduziert werden, an denen der Strompreis geringer ist [4]. Der Energiespeicher kann zudem Spitzenlasten versorgen, so dass Spitzenlasten aus dem öffentlichen Stromnetz und damit verbundene Netzkosten reduziert werden können [5].

Die Verbundprojekte DC-INDUSTRIE und DC-INDUSTRIE2 werden vom Verband der Elektro- und Digitalindustrie (ZVEI e.V.) geleitet. Die neue Open Direct Current Alliance im ZVEI setzt die Innovationsentwicklung der beteiligten Firmen und Forschungseinrichtungen fort [9]. Der Fachverband Licht im ZVEI dokumentiert in dieser Broschüre Aspekte zur Integration von Beleuchtungssystemen in diese industrielle Gleichstromversorgung.

1.2 DC-Typologien – 650 V DC

Energieeffizient, robust und zukunftsweisend - so fassen die Autoren aus dem "DC INDUSTRIE2" Projekt die Ergebnisse ihrer Kooperation in dem Buch "Die Gleichstromfabrik" zusammen [6]. Energieeffizient, weil sich die Nutzung der Bremsenergie aus elektrischen Antrieben mit einem Gleichstromnetz viel einfacher realisieren lässt als mit einem klassischen 400 V AC-Drehstromnetz. Robust, weil die Zuverlässigkeit von batteriegepufferten Gleichstromnetzen höher ist als die von Drehstromnetzen. Zukunftsweisend, weil sich Gleichstromnetze, erstens, mit 40 % weniger Aluminium oder Kupfer mit drei statt fünf Leitern in der Stromverteilung realisieren lassen – bei gleichbleibenden Leitungsverlusten. Zweitens, weil die Übertragung von Gleichstrom aus erneuerbaren Energieanlagen, wie Photovoltaik, effizienter ist, wenn Endanwendungen ebenfalls mit Gleichstrom arbeiten. Drittens, weil elektrische Spitzenlasten, z.B. durch Schweißgeräte, aus Batteriespeichern gespeist werden können und hiermit die Spitzenleistung und Netzanschlusskosten für die Versorgung aus dem öffentlichen Drehstromnetz reduziert werden.

Diese Erkenntnisse aus sechs Jahren gemeinsamer Kooperation haben die 40 Partner des „DC INDUSTRIE2“-Projektes in zehn Kapiteln auf 218 Seiten in diesem Buch zusammengefasst [6]¹. Für das Fachpublikum ist sicher das 5. Kapitel „Systemkonzept eines fabrikinternen DC-Netzes“ von besonderem Interesse, um den Vergleich mit klassischen 400 V Drehstromnetzen aufzustellen. Dieses Kapitel beschreibt:

- Topologien und Strukturen eines industriellen DC-Netzes
- Parallelbetrieb von DC-Quellen und DC-Energiespeichern
- DC-Spannungsband und Betriebsverhalten
- Versorgungs- und Erdungskonzept
- DC-Abzweige zum Entkoppeln und Schützen
- Vorladungs- und Entladungskonzept
- EMV-Konzept
- Lebensdauer der Zwischenkreiskapazitäten

Der wichtige Aspekt der Sicherheit im DC-Netz wird im 7. Kapitel beschrieben. Für Gleichspannung gilt hier das gleiche Regelwerk wie für Wechselspannung, einschließlich der fünf Sicherheitsregeln, die in den Normen DIN VDE 0105-100 beziehungsweise IEC 60364 für Wechsel- und Gleichspannung beschrieben sind.

Empfehlungen für die gemeinsame kennlinienbasierte Regelung von DC-Quellen, -Speichern und -Lasten sind im Kapitel 6 dargestellt. Hierzu gehört auch die Beschreibung des besonderen Vorteils von intelligenten DC-Netzen, deren Betrieb mit der vorhandenen Energie aus Batteriespeichern und Photovoltaikanlagen fortgesetzt werden kann, wenn es im öffentlichen Drehstromnetz zu Unterbrechungen oder sogar Ausfällen kommt. Statt dem ungeplanten Abschalten von komplexen, digitalen Produktionseinrichtungen kann so eine kontrollierte Abschaltung erfolgen. Die Produktionseinrichtungen können schneller wieder angefahren werden, wenn das öffentliche Stromnetz nach einer Unterbrechung wieder Leistung liefert.

¹ Voraussichtlich im Frühsommer 2023 wird das überarbeitete Systemkonzept mit Ergänzung um Messergebnisse auf www.openDCalliance.org bereitgestellt.

2 Szenarien der DC-Beleuchtung

2.1 Kurzbeschreibung des DC-Netzes

Die nominelle Spannung des speisenden Industrienetzes beträgt per Definition 650 V DC. Der dazu gehörende kontinuierliche Spannungsbereich kann abhängig von der Technologie der AC-Einspeisung unterschiedliche Werte annehmen (vgl. Bild 2). Beleuchtungseinrichtungen werden als Lasten betrachtet, deren Nennspannungsbereich von der Art der Netzgleichrichtung abhängt.

Die Netzgleichrichtung des speisenden AC-Netzes erfolgt, erstens, als gesteuerte Gleichrichter (Active Infeed Converter, AIC an 400 V AC) oder zweitens als ungesteuerter Diodengleichrichter (B6). Im ersten Fall beträgt der Nennspannungsbereich 600 V bis 750 V DC (vgl. Bild 2, 2. Balken). Im zweiten Fall beträgt der Nennspannungsbereich 530 V bis 750 V DC (vgl. Bild 2, 4. Balken). Die Verwendung von AIC ist sinnvoll, weil dadurch im Vergleich zum B6-Diodengleichrichter die AC-seitige Belastung durch harmonische Oberschwingungsströme reduziert wird.

Die gelb dargestellten Balkensegmente in Bild 2 beschreiben temporär auftretende Spannungsbereiche, die in der Literatur näher beschrieben sind [2,6].

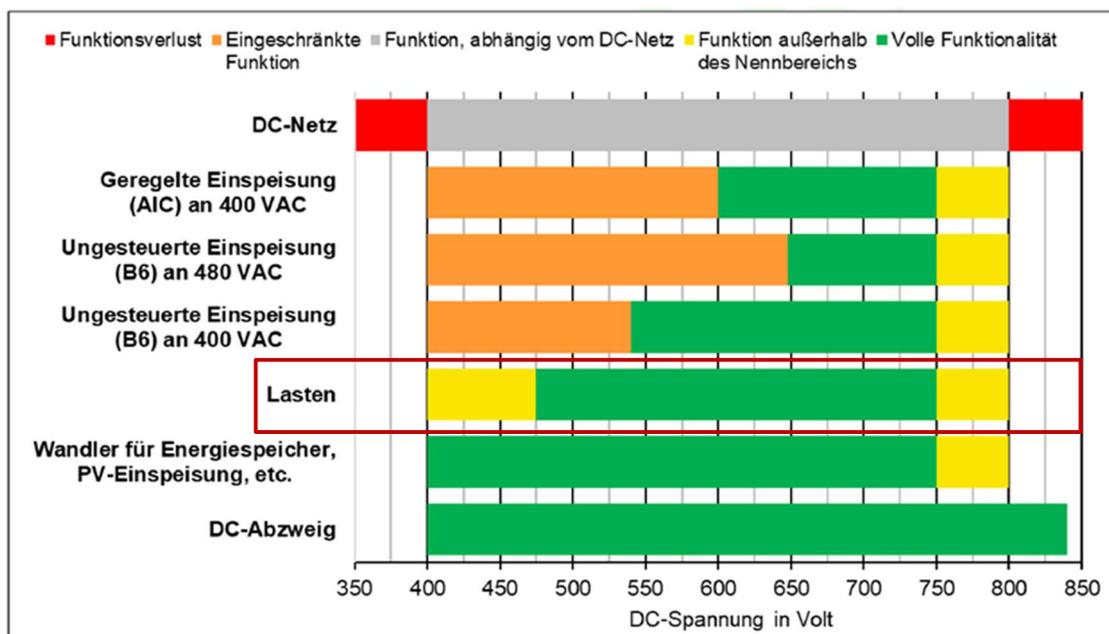


Bild 2: Definition der Spannungsbänder für Lasten im DC-Netz [7]

DC-Netze können laut DC-INDUSTRIE2 als TN-S-Netz oder als IT-Netz ausgeführt sein. Die notwendige elektrische Isolation der Beleuchtungsanlage kann ein oder beide Erdungskonzepte berücksichtigen (vgl. Bild 3).

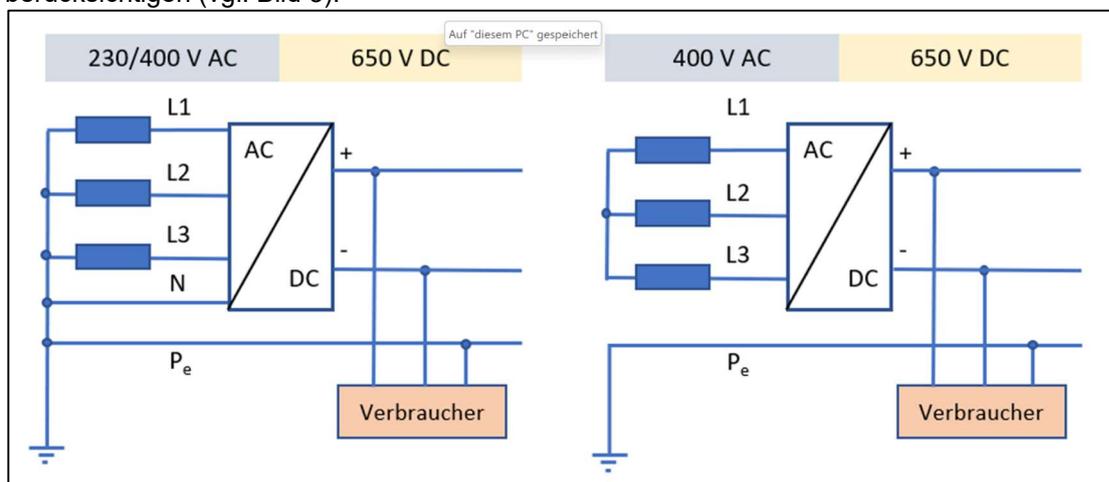


Bild 3: Netzformen TN-S-Netz (links) und IT-Netz (rechts) [8]

TN-S-Netz (terre neutre séparé)

Die DC-Spannung ist AC-seitig im Sternpunkt geerdet (TN-S). Daraus ergeben sich im normalen Betrieb die Potentiale von Pluspol gegen Erde und Minuspol gegen Erde von bis zu 800 V/2. Im Falle eines ersten Fehlers in der Versorgungsanlage trennt eine Schutz Einrichtung die Fehlerstelle vom Netz.

IT-Netz (isolé terre)

Optional kann das DC-Netz mit IT-Erdung betrieben werden. In diesem Fall ergeben sich Spannungspotentiale von Pluspol gegen Erde und Minuspol gegen Erde von bis zu 800 V/2. Im Falle eines Isolationsfehlers (wird als ein erster Fehler angesehen) in der Versorgungsanlage kann das Netz weiterbetrieben werden. Hieraus ergibt sich die besondere Anforderung eines erhöhten Versorgungspotentials nach Erde von bis zu 800 V. Per Definition von DC INDUSTRIE2 muss ein solcher Zustand nach max. 10 s abgeschaltet werden. Der Fachverband Licht empfiehlt, auch wenn die höhere Spannung nur 10 s anstehen kann, die Isolation der Beleuchtungsanlage bei einer Auslegung für die IT-Erdung auch auf den Fehlerfall auszulegen, dass 800 V zwischen Pluspol/Minuspol und Erde anstehen können.

2.2 Ausführungsformen von Beleuchtungseinrichtungen an DC-Netzen

In der Folge werden fünf mögliche Szenarien in zwei verschiedenen Gruppen dargestellt, die beispielhaft die Anbindung an DC-Versorgungsnetze aufzeigen.

Das Szenario 2.2.1 behandelt den direkten Anschluss der Beleuchtungsanlage an das 650 V DC-Netz. Alle weiteren unter 2.2.2 dargestellte Szenarien verwenden DC-/DC-Wandler, mit deren Hilfe die Betriebsspannung der Beleuchtungsanlage auf geringere DC-Spannungen reduziert wird.

2.2.1 Direkter Betrieb mit 650 V DC

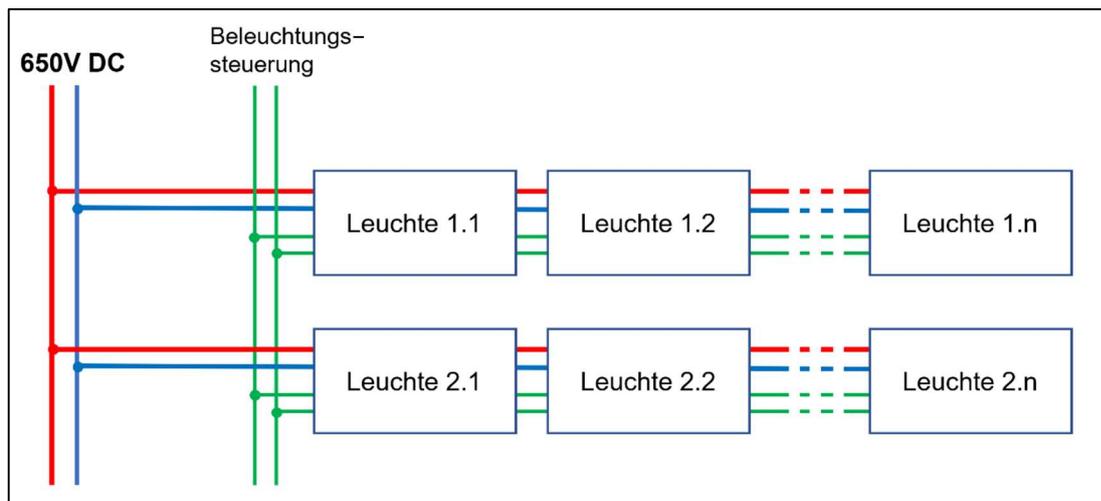


Bild 4: Leuchten werden direkt mit 650 V DC versorgt [8]

Es ist naheliegend, die Leuchten direkt mit 650 V DC-Spannung zu versorgen. Dadurch entfallen DC/DC-Wandlerstufen, die in den nachfolgenden Szenarien 2.2.2 – 2.2.5 in unterschiedlicher Ausprägung verwendet werden. Der direkte Anschluss der 650 V DC-Spannung führt jedoch zu erhöhten Anforderungen an die Auslegung der verwendeten Leuchtenkomponenten (vgl. Kapitel 3) gegenüber dem Betrieb bei 230/400 V AC.

Maßgeblich für die Auslegung der Isolation in Leuchten sind die Normenreihen DIN EN 60598 und IEC 60664-1:2020. Die dort enthaltenen Anforderungen schließen Betriebsspannungen bis 1000 V ein. Die Betriebsspannungen der industriellen DC Netze von bis zu 880 V DC für bis zu 5 Sekunden werden in der IEC 60664-1:2020, Kapitel 4.2.3 als "Temporary Overvoltages" definiert, die wiederum die Bemessungsgröße für die Isolationskoordination sind. Für eine maximale Betriebsspannung von 880 V DC für bis zu 5 s Dauer ergeben sich die in den Tabellen 1 und 2 angegebenen Kriech- und Luftstrecken (im Vergleich zu gängigen Wechselspannungen).

Kriechstrecken* nach Tabelle 11.1.A (DIN EN 60598-1:2021)	250 V AC/DC	500 V AC/DC	880 V*** AC/DC
Basis- oder zusätzl. Isolation PTI** ≥600	1,3 mm	2,5 mm	4,4 mm
Basis- oder zusätzl. Isolation PTI** <600	2,5 mm	5,0 mm	8,9 mm
Verstärkte Isolation PTI** ≥600	2,6 mm	5,0 mm	8,9 mm
Verstärkte Isolation PTI** <600	5,0 mm	10,0 mm	18,1 mm

* Kriechstrecken dürfen nicht kleiner als die geforderten Luftstrecken sein.

** PTI (Prüfzahl der Kriechwegbildung) nach IEC 60112

*** Interpoliert

Tabelle 1: Kriechstrecken für die Überspannungskategorie II

Luftstrecken* nach Tabelle 11.1.B (DIN EN 60598-1:2021)	300 V AC 424 V DC***	600 V AC 848 V DC***	1000V AC 1414 V DC***
Basis- oder zusätzl. Isolation	1,5 mm	3,0 mm	5,5 mm
Verstärkte Isolation	3,0 mm	5,5 mm	8,0 mm

* Interpolation von Zwischenwerten ist nicht zulässig, wenn Transiente durch die Versorgungsspannung auftreten

*** DC Grenzwert ergibt sich durch Multiplikation des AC-Grenzwertes mit Wurzel 2.

Tabelle 2: Luftstrecken für die Überspannungskategorie II

Für Anwendungen in der Überspannungskategorie III ergeben sich höhere Anforderungen an die Kriech- und Luftstrecken, die in der DIN EN 60598-1 explizit dargestellt sind.

Die Beleuchtungssteuerung (vgl. Bild 4) muss mit den im System gegebenen Versorgungsspannungen kompatibel sein hinsichtlich der Auslegung der Isolationsanforderungen. Dies gilt auch für alle folgenden Szenarien (vgl. Bilder 6-9).

2.2.2 Beleuchtungsanlage mit DC-/DC-Wandler

Für alle nachfolgenden Szenarien gilt, dass die 650 V DC-Spannung mittels vorgeschalteter DC-/DC-Wandler reduziert wird. Zum Einsatz können nicht-isolierte und isolierte Konverter kommen. Die elektrische Isolation der DC/DC-Wandler zwischen Primär- und Sekundärkreis kann, abhängig von der gewählten Ausgangsspannung, in doppelter bzw. verstärkter Isolation, Basisisolation oder ohne galvanische Trennung (keine Isolation) ausgeführt sein.

DC/DC Wandler Ausgangsspannung	400 V DC	220 V DC	120 V DC (ELV)	60 V DC (SELV)
Isolierte DC-/DC-Wandler	Mit mind. Basisisolation	Mit mind. Basisisolation	Mit mind. Basisisolation	Mit doppelter /verstärkter Isolation
Nicht-isolierte DC-/DC-Wandler	Keine galvanische Trennung	Keine galvanische Trennung	Unzulässig für ELV	Unzulässig für SELV

Tabelle 3: Übersicht über die zulässige Primär-/Sekundär-Isolation von DC/DC-Wandlern für Leuchten nach DIN EN 60598 [8]

Beim Einsatz von nicht-isolierten DC/DC-Wandlern ist zu berücksichtigen, dass in diesen Fällen die Kriech- und Luftstrecken der an die Wandler angeschlossenen Leuchten für 800 V DC bemessen werden müssen, trotz der niedrigeren Arbeitsspannung von 350-400 V DC bzw. 220 V DC.

Derzeit erhältliche DC/DC-Wandler sind bis zu einer Eingangsspannung von 1000V ausgelegt, die ausgangsseitig Schutzkleinspannung mit bis zu 3 kW Leistung bereitstellen. Vereinzelt existieren auch DC/DC-Wandler mit dem Übersetzungsverhältnis 600 V / 220 V. Kundenspezifische Lösungen werden von einigen Herstellern angeboten. Das Marktangebot ist nach Einschätzung des Fachverbands Licht noch gering. Es kann aber angenommen werden, dass mit steigender Nachfrage vermehrt für die Anwendung geeignete DC/DC-Wandler verfügbar werden.

Wie in Bild 5 angeführt, kommen DC/DC-Wandler in dem DC-Industriernetz zur Anwendung, um regenerative Energiequellen einzubinden oder auch die Steuerungstechnik der Produktionsmaschinen mit 24V oder 48 V DC [1] zu versorgen. Es kann davon ausgegangen werden, dass eine Systemarchitektur mit DC-Kreisen unterschiedlicher Spannungswerte mit zentralen oder dezentralen DC/DC-Wandlern umsetzbar ist.

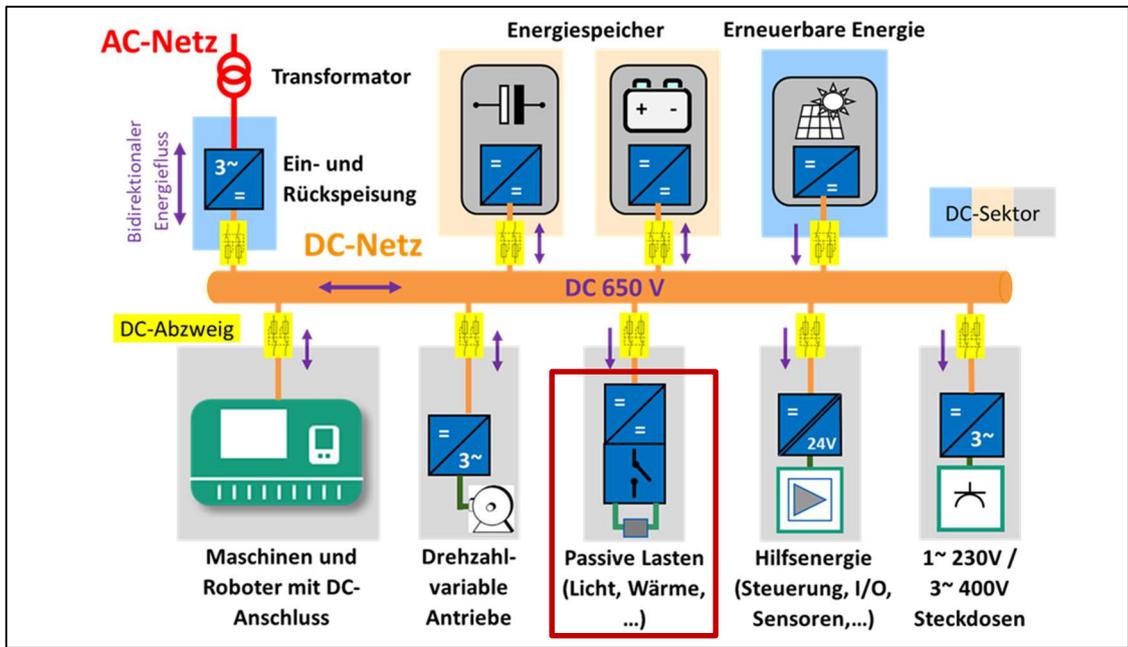


Bild 5: Der Einsatz von DC/DC Wandlern im DC-INDUSTRIE2-Konzept [7]

Die Verwendung von DC/AC-Wandlern ist nach Einschätzung des Fachverbandes Licht für große Beleuchtungssysteme aus Komplexitätsgründen nicht sinnvoll (AC-Inselnetz, aufwendige Schutzmaßnahmen mit Bezug zur Erdung/Neutralleiter). Für Kleinverbraucher (nicht Beleuchtung) sind im Bild 5 DC/AC-Wandler auf 230 V AC vorgesehen.

2.2.3 Beleuchtungsanlage mit DC/DC-Wandler 650 V DC / 400 V DC

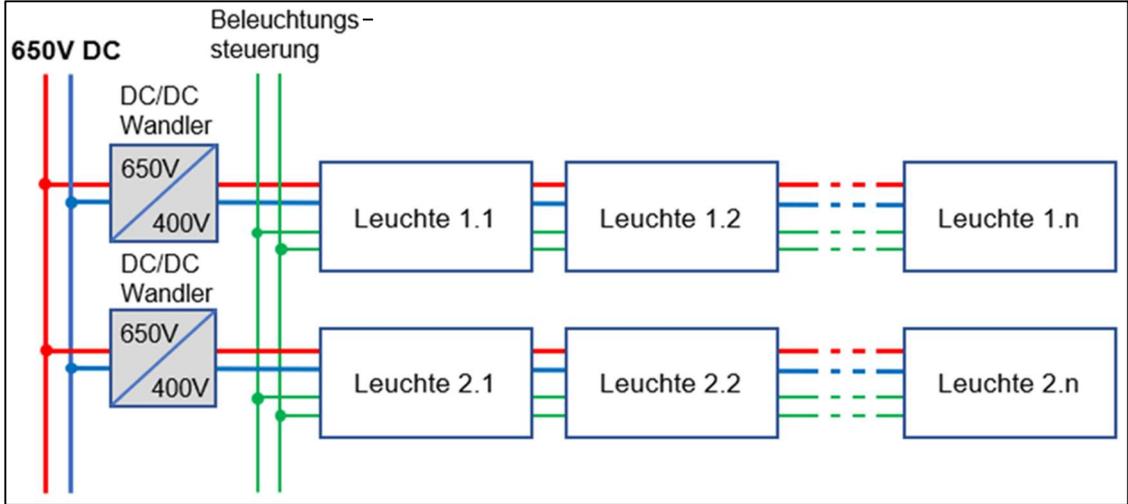


Bild 6: Prinzipielle Darstellung DC/DC-Wandler mit 400 V DC-Ausgangsspannung und angeschlossenen Leuchten [8]

Obwohl der Spannungsbereich von 600 V bis 750 V (AIC Gleichrichter) [6] viele Vorteile für leistungsintensive Verbraucher (z.B. Schweißanlagen, Förder- und Transporteinrichtungen, Fertigungsroboter, usw.) bietet, trifft dies nicht unbedingt auch auf kleinere und mittlere Verbraucher (<10 kW), wie z.B. Beleuchtungseinrichtungen, zu.

Die Umstellung von 3-phasigen 400 V AC-Produktionsmaschinen auf DC ermöglicht aufgrund des geringen Unterschiedes zwischen AC-Scheitelwert und DC-Nominalspannung die Verwendung von nahezu den gleichen Bauteilen (Klemmen, Kondensatoren, Induktivitäten, Halbleiter etc.).

Verbraucher mit kleiner Leistung, die bisher aus dem 1-phasigen AC-Netz gespeist wurden, wie z.B. Betriebsgeräte für Leuchten, können mit Modifikationen für 400 V DC geeignet sein.

2.2.4 Beleuchtungsanlage mit DC-/DC-Wandler 650 V DC / 220 V DC

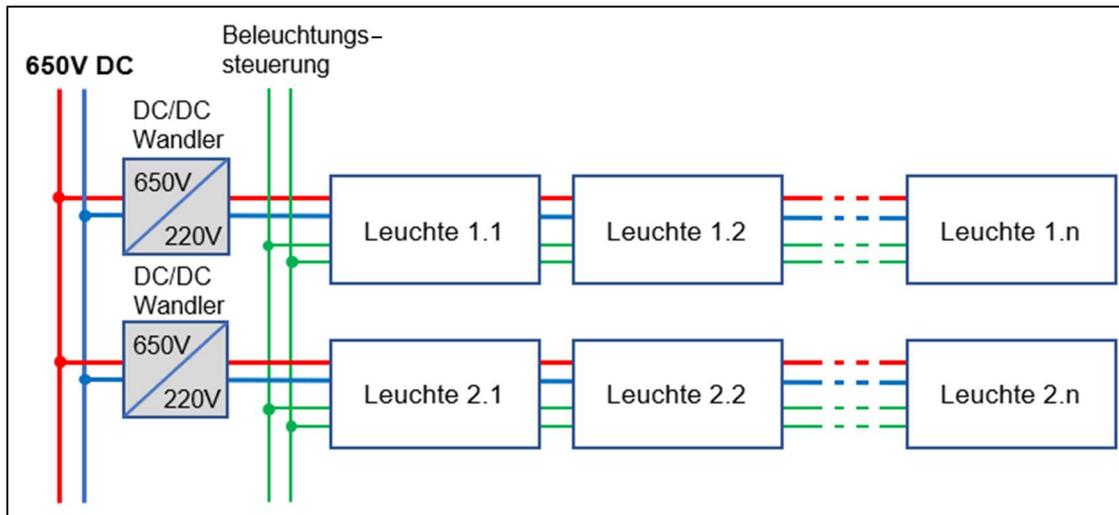


Bild 7: Prinzipielle Darstellung DC/DC-Wandler mit 220 V DC-Ausgangsspannung und angeschlossenen Leuchten [8]

Der Betrieb von Leuchten an DC-Spannungen im Bereich von 180-270 V DC ist schon seit langem bekannt. Diese Gleichspannungen werden in der Regel von Zentralbatterieanlagen zur Verfügung gestellt, um Leuchten bei Ausfall der AC-Netzversorgung mit 220 V DC versorgen. Betriebsgeräte müssen für den DC Betrieb geeignet sein. Dies kann u.a. mit der EL- bzw. EL-T-Kennzeichnung dargestellt werden oder durch eine Spezifikation im Datenblatt (sofern nicht für die Notbeleuchtung verwendet). Die EL-Kennzeichnung gibt dementsprechend nur eine Aussage über die Möglichkeit, die Betriebsgeräte mit DC-Spannung zu versorgen. Von Vorteil ist, dass viele Komponenten für die Nutzung einer DC-Versorgungsspannung von nominell 220 V DC bereits verfügbar sind:

1. Die benötigten Komponenten wie Sicherungen, Klemmen, DC-Schaltelemente, Schutzschalter, Betriebsgeräte und Lichtquellen sind am Markt verfügbar.
2. In der Regel arbeiten die Betriebsgeräte intern mit einer gleichgerichteten Wechsellspannung ähnlicher Größenordnung, aus der eine DC-Ausgangsspannung für die LED-Module erzeugt wird.

Die Hersteller von Zentralbatterieanlagen, den zugehörigen Komponenten und Betriebsgeräten verwenden DC-Spannungen im Bereich von 180-270 V seit Jahrzehnten. Die nachvollziehbare Idee, den Batteriespeicher des 650 V DC-Netzes zur Versorgung der Sicherheitsbeleuchtung, über DC/DC-Wandler oder direkt, zu nutzen, muss auf Grund der aktuellen Normen und Vorschriften gesondert betrachtet werden.

2.2.5 Beleuchtungsanlagen mit DC-/DC-Wandler 650 V DC / 120 V DC (ELV)

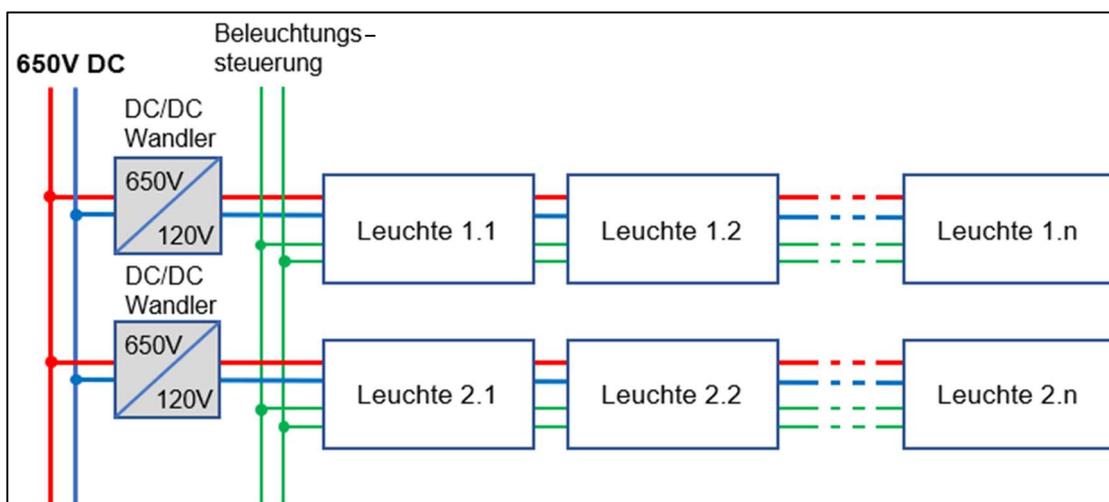


Bild 8: Prinzipielle Darstellung DC/DC-Wandler mit 120 V DC Ausgangsspannung und angeschlossenen Leuchten [8]

In diesem vierten Szenario wird erstmals eine wesentliche Änderung gegenüber den bisher beschriebenen Szenarien eingeführt. Der Ausgangskreis des Konverters ist gegenüber der Eingangsspannung einfach- bzw. basisisoliert und erfüllt mit einer Ausgangsspannung von maximal 120 V DC die Kriterien einer ELV (Extra Low Voltage) nach IEC 60449.

Mit dieser Dimensionierung sind spezifische Merkmale verknüpft, die im Folgenden aufgelistet sind:

- Dieses Szenario bietet mit einer basisisolierten Leuchteneingangsspannung von 120 V DC einen erhöhten Schutz bei der Montage und Wartung aufgrund von ELV.
- Die Tiefsetzsteller (DC/DC-Wandler) der in den Leuchten verwendeten EVG arbeiten besonders effizient, wenn die Eingangsspannung und Ausgangsspannung nahe beieinanderliegen (Lastverhältnis nahe 1). Sekundärseitige EVG-Arbeitsspannungen in der Größenordnung von 120 V sind gebräuchlich.

2.2.6 Beleuchtungsanlagen mit DC-/DC-Wandler 650 V DC / 60 V DC (SELV)

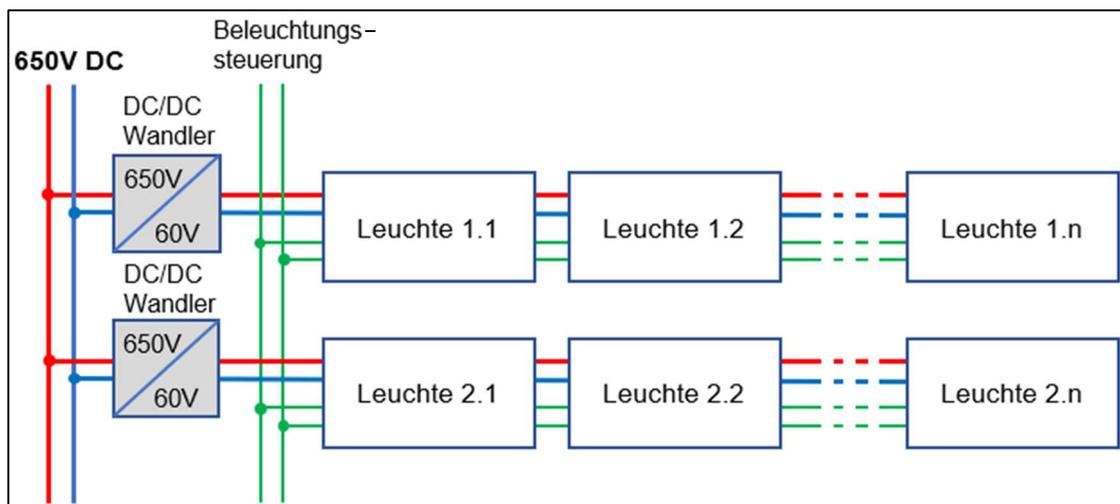


Bild 9: Prinzipielle Darstellung DC/DC-Wandler mit 60 V DC Ausgangsspannung und angeschlossenen Leuchten [8]

DC/DC-Wandler mit einer Eingangsspannung von 750V oder höher und einer SELV-Ausgangsspannung sind für Leistungen bis 3kW am Markt erhältlich. Die Nutzung relativ niedriger DC-Versorgungsspannungen führt bei größeren Beleuchtungsanlagen schnell zu hohen Leiterquerschnitten (vgl. ZVEI-Informationsschrift DC-Lighting 2019 [1]). Insofern ist eine Versorgungsspannung bis max. 60 V eher geeignet, kleinere, auf wenige Räume begrenzte Beleuchtungsanlagen aufzubauen.

Ein 60 V DC Verteilnetz ist nicht geeignet für die Beleuchtung von Industriehallen.

3 Anforderungen an Leuchten und Beleuchtungskomponenten (Vor- und Nachteile)

Abhängig von der genutzten Leuchtenspannung (650 V DC, oder eine mittels DC/DC-Wandler reduzierte separate Netzspannung von 400/220/120 oder 60 V DC) ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die in Leuchten verwendeten Komponenten.

Netzanschlussklemmen

Generell können Anschlussklemmen sowohl mit AC als auch mit DC verwendet werden. Bei der Anwendung ist immer zu beachten, dass nach den Klemmen-Normen für unterschiedliche Spannungswerte und Netzformen auch dementsprechende Luft- und Kriechstrecken erforderlich sind. Es ist im Einzelfall zu prüfen, ob durch Nichtnutzung einzelner Klemmstellen (vormals AC L1/L2/L3/N, jetzt DC L+ und L-) die Möglichkeit besteht, die Kriech- und Luftstreckenanforderungen auch bei höheren DC-Spannungen einzuhalten.

Sollte in der Versorgungsanlage die TN-S-Erdung genutzt werden, würden sich durch eine wie im Bild 10 (rechts) dargestellte Klemmenanordnung auch bei 650 V DC-Versorgungsspannung Teilspannungspotenziale zwischen den Klemmstellen ergeben, die geringer als bei 400 V AC-Netzen (links) sind.

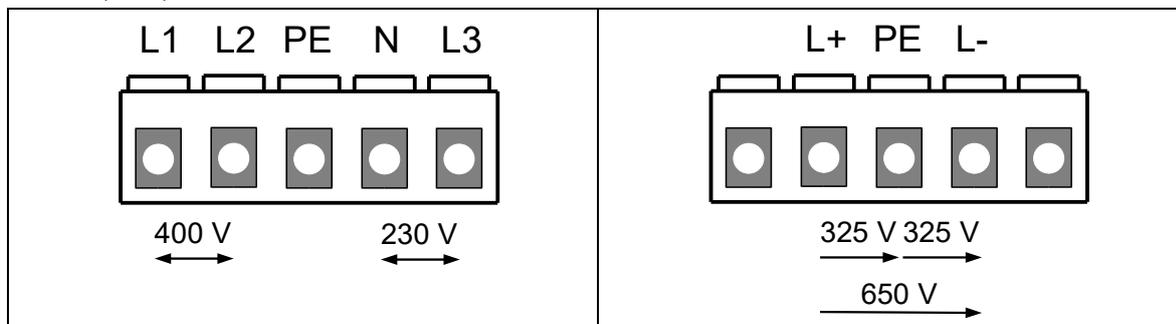


Bild 10: Beispiel für eine Klemmenbelegung mit 400 V AC (links) und 650 V DC-Nennspannung mit TN-S-Erdung vor einem AC/DC-Gleichrichter (rechts) [8]

Sicherungen

In Leuchten werden Sicherungen verwendet, um im Fehlerfall von Produkten, diese schnell und sicher von dem Stromversorgungsnetz trennen zu können. Parameter zur Auswahl von Sicherungen sind:

- Gleichstrom- (DC) oder Wechselstrombetrieb (AC)
- Betriebsspannungsbereich
- Nennstrom, der dauerhaft anliegen kann
- Das Ausschaltvermögen für den maximalen Fehlerstrom
- Das Schmelzintegral, bei dem eine Sicherung den Stromfluss trennt

Die Tabelle 5 gibt einen Überblick zu unterschiedlichen Gerätesicherungen und deren Parametern.

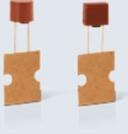
Sicherungsart	Technische Parameter	Maße	Bemerkungen	Geeignet für Szenarien
KLEINSTSICHERUNGEN 	Rund und eckig für gedruckte Schaltungen <ul style="list-style-type: none"> U_N: bis 250 V AC / DC I_N: 2 mA bis 10 A Ausschaltvermögen: 35 A bis 100 A Norm für DC Parameter erweitert 	<ul style="list-style-type: none"> 8,5 x 8 mm (rund) 8,5 x 8,5 x 4 mm (eckig) 		bis DC 220 V
UNIVERSELLE MODULARE SICHERUNGSEINSÄTZE (UMF) 	Für gedruckte Schaltungen und andere Trägermaterialien (THT & SMD) <ul style="list-style-type: none"> U_N: 12,5 bis 250 V AC, bis 600 V DC I_N: 32 mA bis 10 A Ausschaltvermögen: 35 A bis 1.500 A 	<ul style="list-style-type: none"> 1,6 x 0,8 bis 3,2 x 1,6 mm 6,1 x 2,5 bis 10,1 x 3,12 mm 	Höhere DC Nennspannungen vereinzelt am Markt verfügbar	bis DC 400 V
GERÄTESCHUTZ-SICHERUNGSEINSÄTZE 	<ul style="list-style-type: none"> U_N: bis 450 V AC / DC I_N: 32 mA bis 10 A Ausschaltvermögen 35 A bis 1.500 A Norm für DC Parameter erweitert 	<ul style="list-style-type: none"> 5 x 20 mm 	DC noch selten am Markt verfügbar	bis DC 400 V
GERÄTESCHUTZ-SICHERUNGSEINSÄTZE 	<ul style="list-style-type: none"> U_N: bis 1000 V AC / DC I_N: 32 mA bis 10 A Ausschaltvermögen 35 A bis 1.500 A Norm für DC-Parameter erweitert 	<ul style="list-style-type: none"> 6,3 x 32 mm 	DC noch selten am Markt verfügbar	bis DC 650 V
GERÄTESCHUTZ-SICHERUNGSEINSÄTZE FÜR SONDERANWENDUNGEN (IEC 60127-7)	<ul style="list-style-type: none"> U_N: bis 1.000 V I_N: bis 20 A Ausschaltvermögen: bis 50 kA 	<ul style="list-style-type: none"> 5 x 20 mm 6,3 x 32 mm 	Noch sehr selten am Markt verfügbar	bis DC 650 V
NIEDERSPANNUNGS-SICHERUNGEN	<ul style="list-style-type: none"> U_N: bis 1.000 V AC / bis 1.500 V DC I_N: bis 100 A Ausschaltvermögen: mind. 50 kA AC / 8 kA DC 	<ul style="list-style-type: none"> 10,3 x 38 mm 22 x 58 mm 	Groß und kostenintensiv	bis DC 650 V
	<ul style="list-style-type: none"> U_N: bis 1.000 V AC / bis 1.500 V DC I_N: bis 1.250 A Ausschaltvermögen: mind. 50 kA AC / 25 kA DC 	ab Größe NH0 <ul style="list-style-type: none"> 79 x 21 x 52 mm 	Sehr groß und sehr kostenintensiv	bis DC 650 V

Tabelle 5: Übersicht zu unterschiedlichen Gerätesicherungen und deren Parameter [8]

Leitungen

Es werden speziell für die DC-Technologie gefertigte Leitungen angeboten.

Für das DC-Netz können i.A. 3-adrige Leitungen eingesetzt werden, wie beispielhaft im folgenden Bild 11 gezeigt. Die Isolation und das Mantelmaterial bestehen aus PVC. Im Standard IEC 60227-1:2007 "Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V - Part 1: General requirements" findet man im Kapitel 2.3 auf der Seite 8 hierzu den Satz "In a direct current system, the nominal voltage of the system shall be not higher than 1,5 times the rated voltage of the cable". "The rated voltage of the cable" bezieht sich dabei auf die AC Bemessungsspannung eines Kabels.

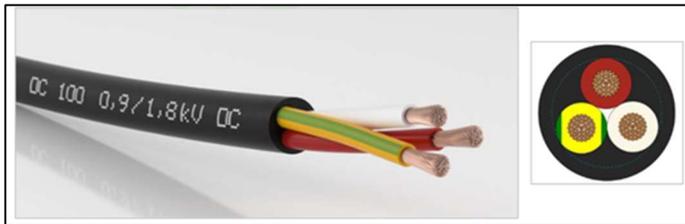


Bild 11: Dreiadrige DC-Leitung (Quelle: Systemkonzept DC-INDUSTRIE2, S. 36 [7])

Schalter, Lasttrennschalter

Im Systemkonzept von DC-INDUSTRIE2 werden Schalter und deren Anforderungen nicht beschrieben, da die Beleuchtung nicht im Fokus des Projektes steht. Es können jedoch direkt marktverfügbare Schalter für die jeweilige Spannung eingesetzt werden. So gibt es im Bereich Fotovoltaik z.B. Schutzschalter für 1500 V DC bis 32 A Nennstrom. Bei einem direkten Anschluss an das 650 V DC-Netz sollten die Anforderungen aus dem DC-INDUSTRIE2-Systemkonzept [7] eingehalten werden.

Steckverbindingssysteme

Generell können Steckverbindingssysteme sowohl mit AC als auch mit DC verwendet werden. Bei der Anwendung ist immer zu beachten, dass nach den entsprechenden Normen für unterschiedliche Spannungswerte und Netzformen auch dementsprechende Luft- und Kriechstrecken erforderlich sind. Es ist im Einzelfall zu prüfen, ob durch Nichtnutzung (vormals L1/L2/L3/N, jetzt L+ und L-) einzelner Klemmstellen die Möglichkeit besteht, die Kriech- und Luftstreckenanforderungen auch bei höheren Spannungen einzuhalten. Die Eignung von Steckverbindingen zum Ziehen und Stecken unter Last oder unter Spannung ist vom Hersteller entsprechend zu erklären (siehe auch DIN EN 61984 3.8).

4 Fazit

Der Fachverband Licht erwartet, dass zukünftig vermehrt elektrische Anlagen mit der 650 V DC-Technik ausgestattet werden, um die damit verbundenen Vorteile bei der industriellen Anwendung zu nutzen:

- Nutzung erneuerbarer Energien
- Nutzung von KFZ-Batteriespeichern als Second-Life-Anwendung in der industriellen Produktion
- Höherer Schutz gegen akute Netzspannungsausfälle
- Nutzung von Bremsenergien / Rekuperation aus dem Betrieb von Industrierobotern

Die Lichtbranche wird vor die Aufgabe gestellt, geeignete Lichtlösungen bereitzustellen. Diese Informationsschrift zeigt hierfür verschiedene, alternative Lösungsansätze auf.

5 Literaturverzeichnis / Quellen

- [1] ZVEI e.V. (Hrsg.), Juli 2019: [DC-Lighting, Information](#), Fachverband Licht
- [2] ZVEI e.V., 2022: Website DC-Industrie, dc-industrie.zvei.org - dc-industrie.zvei.org - Microsite
- [3] ZVEI e.V., Oktober 2020: [Gleichstrom für die nachhaltige Fabrik, Positionspapier](#)
- [4] Fraunhofer ISE: Börsenstrompreise, https://www.energy-charts.info/charts/price_spot_market/chart.htm?l=de&c=DE
- [5] Mainova, Juni 2022: §19 StromNEV: So reduzieren Sie Ihre Netzentgelte, <https://www.mainova.de/de/fuer-unternehmen/blog/2018/netzentgelte-reduzieren-62584#>
- [6] Sauer, Alexander (Hrsg.), Oktober 2020: Die Gleichstromfabrik, Hanser Verlag, [Die Gleichstromfabrik | Hanser-Fachbuch \(hanser-kundencenter.de\)](#)
- [7] ZVEI e.V. & Konsortium DC-INDUSTRIE2 (Hrsg.), April 2022: [Systemkonzept DC-INDUSTRIE2](#)
- [8] Inhalte/Grafiken: ESKA Erich Schweizer GmbH, Register-Nr.: 302018105151
- [9] ZVEI: [Open Direct Current Alliance \(ODCA\), Website](#)

Abkürzungen

AC	Alternating Current - Wechselstrom
AIC	Active Infeed Converter - Aktiver Einspeise-Umwandler
DC	Direct Current - Gleichstrom
DIN	Deutsches Institut für Normung
EL	Kennzeichen für elektronische Betriebsgeräte für die Notbeleuchtung (Emergency Lighting)
EL-T	Kennzeichen für batteriebetriebene elektronische Betriebsgeräte für die Notbeleuchtung mit automatischer Testfunktion
ELV	Extra Low Voltage – Kleinspannung
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EN	Europäische Norm
IEC	Internationale Elektrotechnische Kommission
IT	Isolé Terre – Erde isoliert
KFZ	Kraftfahrzeug
LED	Light Emitting Diode – Licht emittierende Diode
SELV	Safety Extra Low Voltage – Sicherheits-Kleinspannung
SMD	Surface Mounted Device – auf der Oberfläche montiertes Gerät / Bauteil
TN-S	Terre Neutre Séparé - Neutralleiter und Erde getrennt
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e.V.
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgungen
ZVEI	Zentralverband der Elektro- und Digitalindustrie e. V.

ZVEI: Der Verband der Elektro- und Digitalindustrie

Der ZVEI vertritt die gemeinsamen Interessen der Elektro- und Digitalindustrie und der zugehörigen Dienstleistungsunternehmen in Deutschland und auf internationaler Ebene. Der Verband zählt mehr als 1.100 Mitgliedsunternehmen, in der ZVEI-Gruppe arbeiten 170 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Die Branche beschäftigt fast 900.000 Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer im Inland (Stand: November 2022). Im Jahr 2022 lag ihr Umsatz bei rund 246 Milliarden Euro.

Die Elektro- und Digitalindustrie ist einer der innovativsten Wirtschaftszweige in Deutschland. Knapp ein Viertel des Branchenumsatzes entfällt auf Produktneuheiten. Jede dritte Neuerung im Verarbeitenden Gewerbe insgesamt erfährt hier ihren originären Anstoß. Fast ein Viertel aller F+E-Aufwendungen des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland kommt von der Elektro- und Digitalindustrie. Jährlich wendet die Branche rund 20 Milliarden Euro für F+E auf und mehr als sieben Milliarden Euro für Investitionen.

Kontakt

Toni Will • Manager Technical Communication • Fachverband Licht •
Tel.: +49 69 6302 350 • Mobil: +49 151 26441 516 • E-Mail: Toni.Will@zvei.org

ZVEI e. V. • Verband der Elektro- und Digitalindustrie • Lyoner Straße 9 • 60528 Frankfurt am Main
Lobbyregisternr.: R002101 • EU Transparenzregister ID: 94770746469-09 • www.zvei.org

Datum: 01.06.2023