





Automatisierungstalk

Automatisierungsregion Rhein Main Neckar c/o IHK Darmstadt

Impulsvortrag Stefan Pollmeier, ESR Pollmeier GmbH Servo-Antriebstechnik

Projekt DC-Industrie LVDC-Workshop EU LVDC bei IEC

www.dc-industrie.de

ESR Pollmeier <u>dc-industrie.zvei.org/projektpartner/esr-pollmeier</u>

ec.europa.eu/info/events/.../2021-nov-08_en

www.iec.ch/energies/lvdc

... und weitere Links zu DC-Industrie auf Seite 23

DC-INDUSTRIE2 |

20. Januar 2022 (online)

DC-INDUSTRIE – Gleichstromnetze in der Fabrik

Niederspannungen 540 V DC oder 650 V DC (abhängig von Einspeisung und Regelung) Englisch "Low Voltage DC", abgekürzt "LVDC"

Verbundvorhaben: DC-INDUSTRIE2 - Gleichstrom für die Fabrik der Zukunft

ESR Pollmeier GmbH Servo-Antriebstechnik

64372 Ober-Ramstadt

Automatisierungsregion Rhein Main Neckar

www.esr-pollmeier.de

Stefan Pollmeier, Geschäftsführer

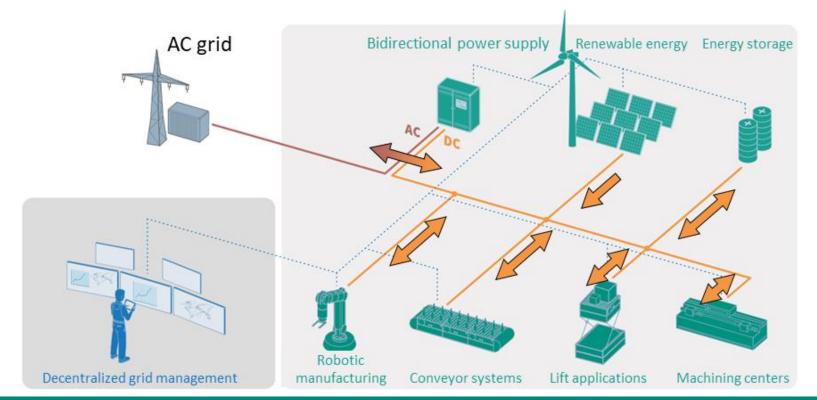
gl@esr-pollmeier.de

06167 9306-0

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages





DC-INDUSTRIE2 |

Folien Stand September 2021

DC-INDUSTRIE – der Wegbereiter für ein offenes industrielles Gleichstromnetz in der Fabrikautomation

Verbundvorhaben: DC-INDUSTRIE2 - Gleichstrom für die Fabrik der Zukunft

Ansprechpartner

Dr. Hartwig Stammberger (Eaton, Bonn, Projektkoordinator)

Prof. Dr.-Ing. Holger Borcherding (TH OWL/iFE, Wissenschaftlicher Leiter)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:





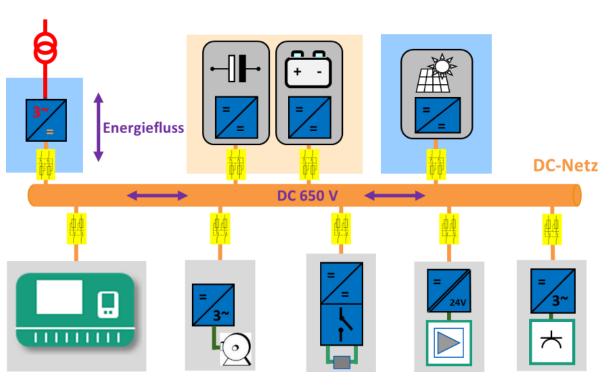
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Überblick DC-INDUSTRIE2

Gefördert durch deutsche Regierung, BMWi

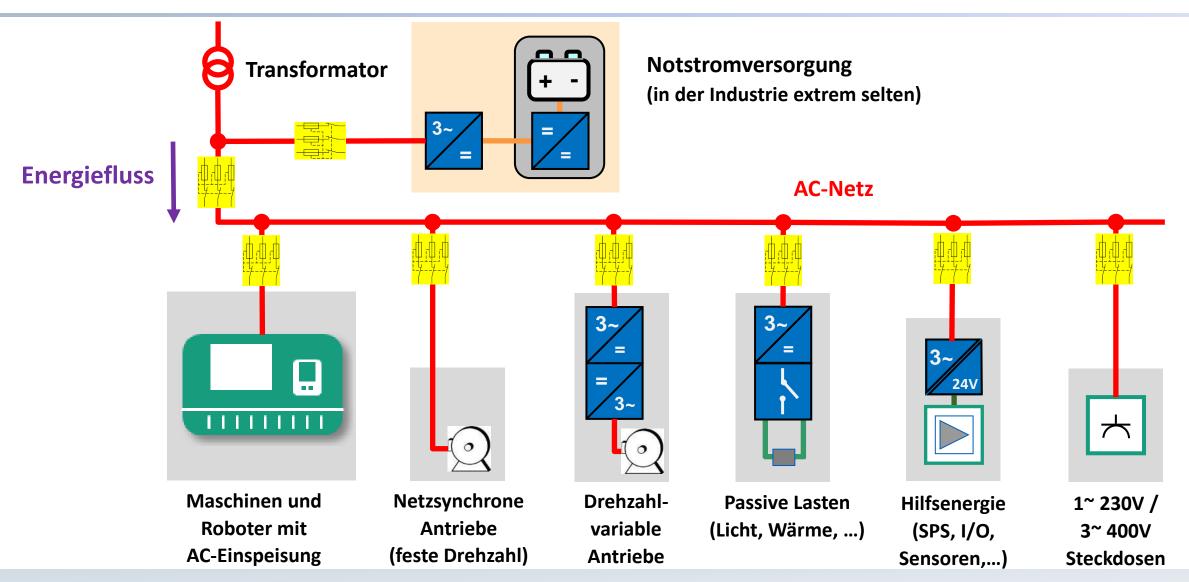
Förderkennzeichen: 03EI6002A-Q

- 3 Jahre bis Sep. 2022
- >40 Partner aus Industrie und Forschung
 - Etwa 140 Ingenieure & Forscher
- Ziele
 - Robuste Energieversorgung f
 ür die Produktion
 - Netzdienliche Anbindung an das Versorgungsnetz
 - Maximale Nutzung von dezentraler regenerativer Energie
 - Einfache Projektplanung
- Validierung
 - 7 Modellanwendungen und Transferzentren





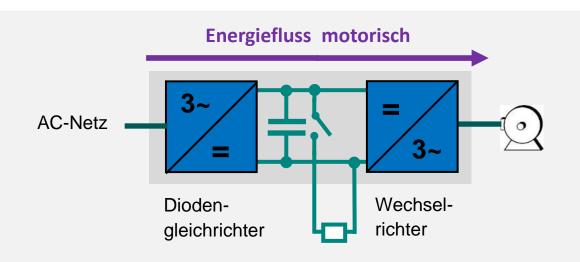
Status quo: Topologie im industriellen AC-Netz



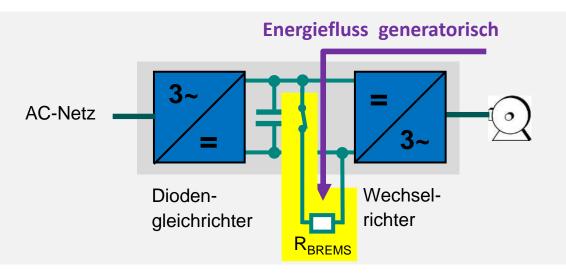


Energieaustausch: Aktueller Stand bei AC/AC Umrichtern

Die Grundschaltung des Frequenzumrichters ist in Bezug auf die Kosten für den motorischen Betrieb optimal.

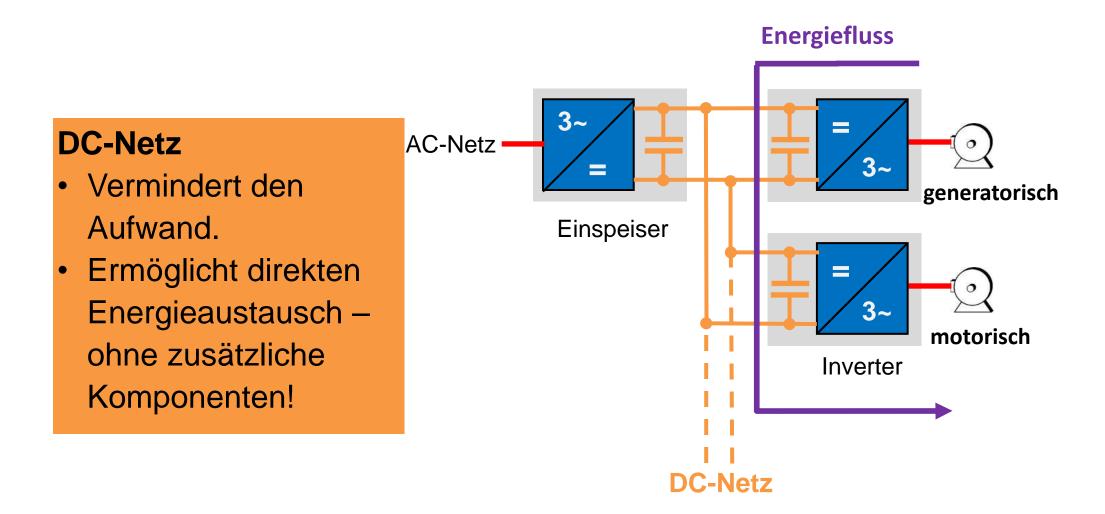


Beim Abbremsen/Absenken muss der Umrichter die Bremsenergie loswerden, damit er nicht abschalten muss! Die häufigste Methode ist das Verheizen hochwertiger elektrischer Energie im Bremswiderstand.



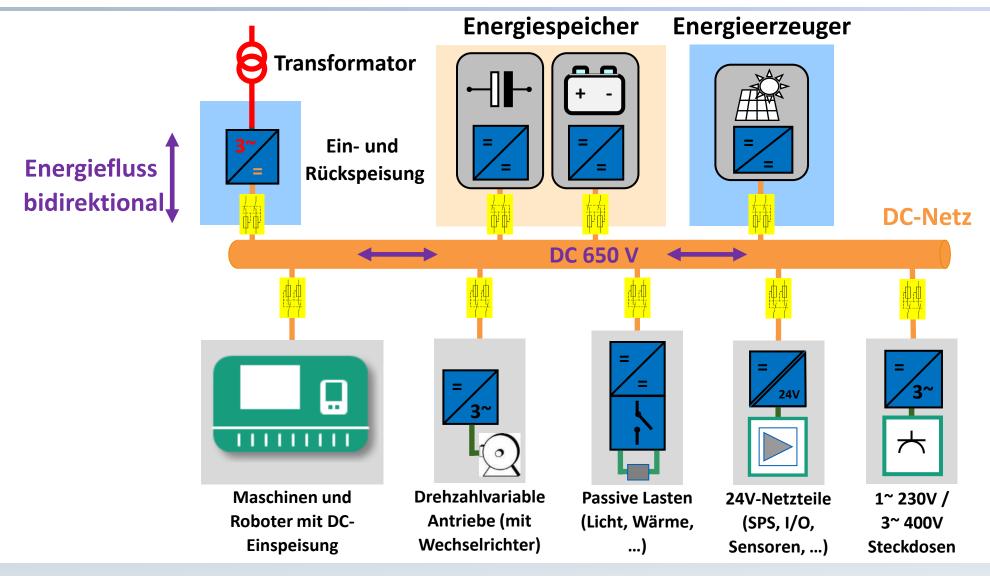


Elektrischer Energieaustausch: Keine Begrenzung im DC-Netz





Wie sieht ein industrielles DC-Fabriknetz aus?





Vorteile einer DC Versorgung für Industrie-Anlagen

Energie-Effizienz

- Geringere Verluste (typisch 2-4% *)
- Nutzung der gesamten Bremsenergie *
- Direkte Nutzung erneuerbarer Energiequellen *
- Spitzenlast-Reduktion durch geeignete Speicher (bis zu 80% *)

Ressourcen-Effizienz

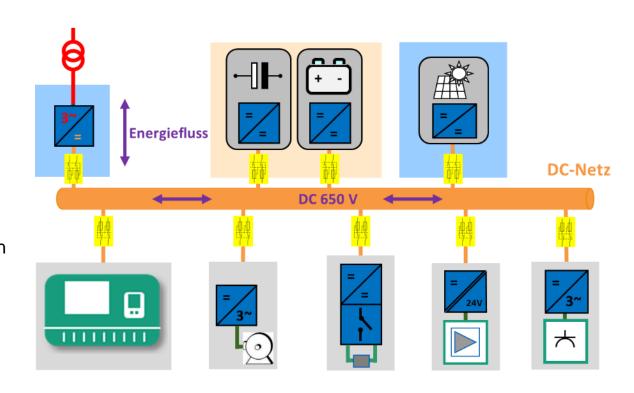
- Reduzierung des Kupferverbrauchs (Leitungen)
- Geringere Gerätekosten und Platzeinsparung im Feld

Netz-Stabilität

- Zusatzinvestitionen zur Netzfilterung und Kompensation k\u00f6nnen entfallen und die Bestandsnetze werden gest\u00fctzt
- Produktionsausfälle durch Netzstörungen werden verhindert / reduziert

Industrielles smartes DC-Netz / Flexibilität

- Infrastruktur für die intelligente Steuerung der Energieflüsse ermöglicht Vorteile im Energieeinkauf
- · Unterstützt modulare Maschinenkonzepte



im Projekt an den Modellanlagen ermittelt



Vereinfachte Leistungsberechnung bei Gleichstrom

Leistungen bei Wechselstrom

- Wirkleistung
 - $P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$
- Blindleistung

•
$$Q = \sum_{n=1}^{\infty} [U \cdot I \cdot \cos(\varphi_{Un} - \varphi_{In})]$$

Verzerrungsleistung

•
$$D = U \cdot \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots} = U \cdot \sum_{m=2}^{\infty} [I_m^2]$$

und bei Drehstrom alles dreimal...

Leistungen bei Gleichstrom

- Wirkleistung $P = U \cdot I$
- Es ist wirklich so einfach...

- Blind- und Verzerrungsleistung müssen bei AC bis zum Endverbraucher über die Leitungen übertragen werden
- Diese Belastung entfällt bei DC

Systemkonzept: Betriebsspannung

Für das DC-Netz sind zwei Nennspannungen definiert

- 650 V: Für geregelte Einspeisung und ungeregelte am 480V-Netz
- 540 V: Für ungeregelte Einspeisung am 400V-AC-Netz

Nennbetrieb

Uneingeschränkte Funktionsfähigkeit der Geräte

Stationäre Über- / Unterspannung

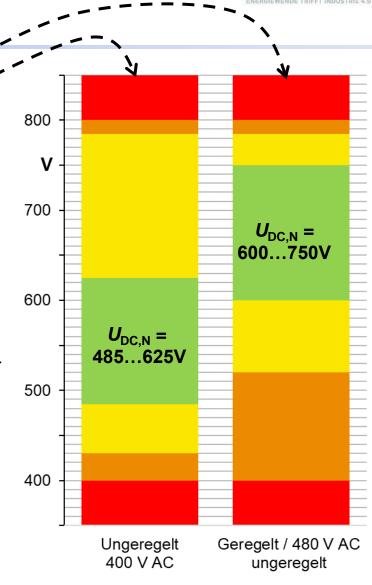
- · Geräte dürfen in diesem Bereich dauerhaft betrieben werden
- Die Funktionalität darf eingeschränkt werden (z.B. Leistungsderating)
- Aktive Teilnehmer wirken der Spannungsabweichung entgegen

Transiente Über- / Unterspannung

- Geräte dürfen Funktion verlieren, müssen aber nach Spannungsrückkehr die Funktion wieder übernehmen
- Spannung darf nur zeitlich begrenzt in diesem Bereich bleiben

Abschaltgrenzen: 400V/800V

- · Geräte schalten dauerhaft ab
- Der Hersteller kann für die beiden Netzspannungen unterschiedliche Nenndaten (z.B. Nennleistung) spezifizieren





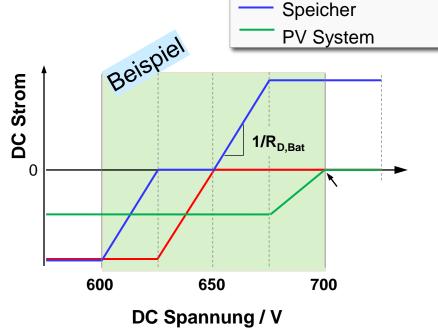
Einspeiser

Systemkonzept: Verfahren zur Spannungshaltung

Spannung spiegelt die Energiebilanz

- a) Ungeregelter Betrieb:
 - Keine aktive Regelung der DC-Spannung (Betrieb mit Diodengleichrichter)
- b) Dezentrale Kennlinien-basierte Regelung:
 - Aktive Einspeise-Geräte regeln ihren DC-Strom abhängig von der aktuellen Spannung
 - Ein einfache Kennlinie gibt den Sollwert vor (siehe Diagramm)
 - Stabil ohne Kommunikation
- c) Kennlinienänderung bei Kommunikation:
- Kennlinie wird von einer zentralen Steuerungseinheit im Betrieb verändert (keine Echtzeit)
- d) Zentrale Spannungsregelung:
 - Zentrale Steuerungseinheit gibt den Einspeisegeräten die Leistungssollwerte (in Echtzeit)

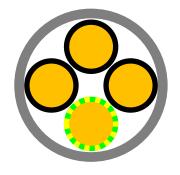
Durch die Wahl des Regelverfahrens lassen sich sowohl sehr einfache, als auch komplexe DC-Netze mit mehreren Erzeugern aufbauen



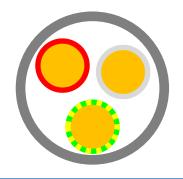


Ressourceneffizienz – weniger Kupfer für Kabel

AC-Kabel 3~ AC 400 V **4-Leiter-System**



DC-Kabel DC 650 V **3-Leiter-System**

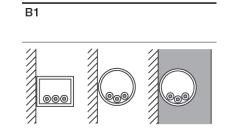


Verlegeart	B1	
Anzahl der	2	3
gleichzeitig		
belasteten Adern		
Nennquer-	Leiters	strom in A
schnitt in mm ²		
1,5	17,5	15,5

24

32

41



Zulässiger Strom in A bei 30°C nach DIN VDE 0298-4

Beispiel

- Strom für Dreiphasenmotor, angetrieben über Frequenzumrichter
- 7.5 kW, Leistungsfaktor 0.85, η=.887 × .968 ¹⁾
- AC: L1, L2, L3, PE, 400 V
 - Strom = $\frac{20 \text{ A}^{2)}}{20 \text{ A}^{2}}$
 - Kabelquerschnitt → 2.5 mm²
 - Kupferbedarf: 4 × 2.5 mm² = 10 mm²
- DC: Plus, Minus, PE, 585 V
 - Strom = 14.6 A $(I = P/U/\eta)$
 - Kabelquerschnitt → 1.5 mm²
 - Kupferbedarf: 3 × 1.5 mm² = 4.5 mm²
- 55% weniger Kupfer für gleiche Leistung
 - ¹⁾ Wirkungsgrad η von Motor und Umrichter
 - 2) Daten von Betriebsanleitung für i550 Umrichter von Lenze
 - 3) Niedrigste DC Spannung im nominalen Spannungsband

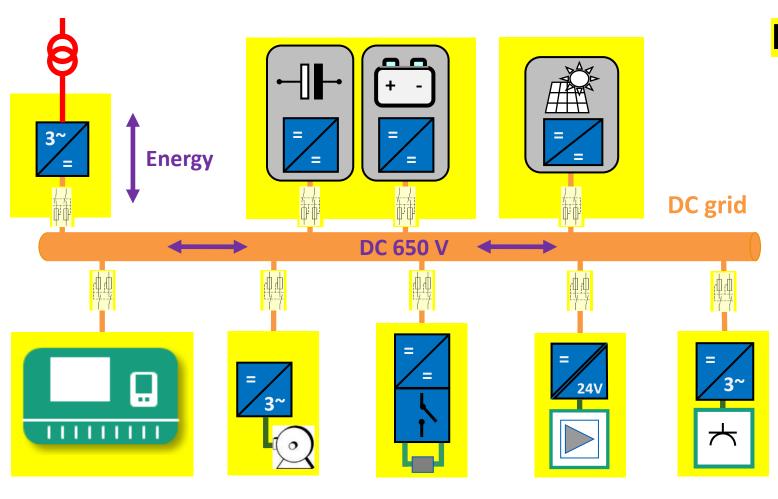
6

28

36



Systemkonzept: Unterteilung in DC-Sektoren



DC-Sektoren

- > ... bilden eine logische Einheit
- ... beinhalten Komponenten, die funktional zusammen gehören
- ... beinhalten ausreichend Zwischenkreiskapazität, um schaltfrequente Ausgleichsvorgänge zwischen ihren Geräten vom DC-Netz fern zu halten
- ... werden mit einem Smart Breaker an das DC-Netz angeschlossen



Schneller, zuverlässiger Schutz mit Halbleiterschaltern

Anforderungen

Schnell, Spannungseinbruch vermeiden

Mechanische Schalter zu langsam

Leistungselektronik

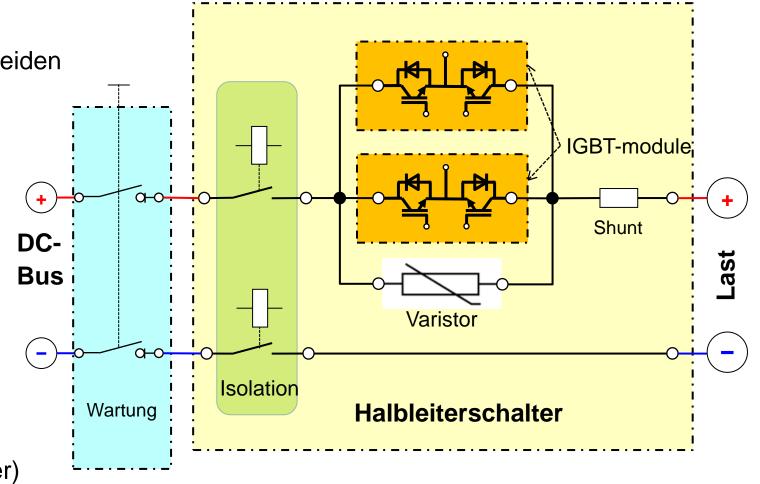
Bi-direktional, IGBT + Diode

Funktionen

- Schalten
- Überstromschutz
- Isolation
- Spannungsüberwachung
- Vorladung, wo gefordert

Eigenschaften

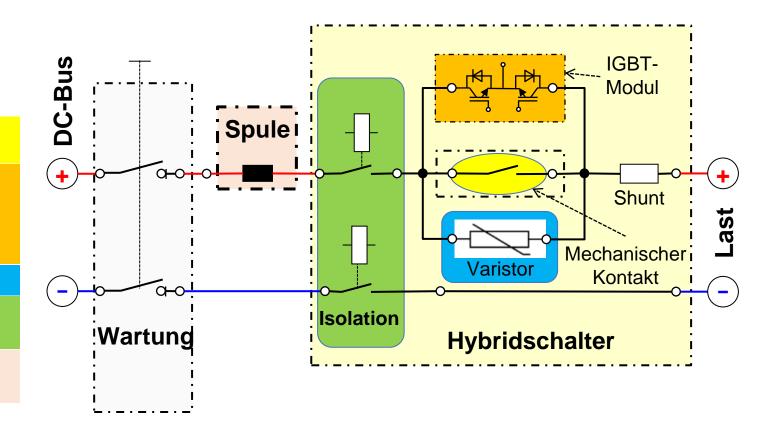
- < 100 µs Ausschaltzeit
- Geringe Fehlerenergie (<< 1% vs. mechanischem Schalter)





Systemkonzept Schutzschalter: Hybridschalter

- Mechanischer Kontakt führt Strom → Geringe Verluste
- Leistungshalbleiter (IGBT) schaltet → Schnell
- AUS-Schalten:
 - Aktor öffnet mechanischen Kontakt → kurzer Lichtbogen
 - IGBT übernimmt Strom (Durchlassspannung < Lichtbogenspannung) und wird abgeschaltet →
 - Varistor führt Strom zu Null
 - Isolationskontakt öffnet stromlos und isoliert
 - Spule limitiert Stromsteilheit beim Kurzschluss





Isolierstoffe für DC-Kabel und -Leitungen

Grundlagen Elektrisches E-Feld

- AC: E-Feld lediglich abhängig von Spannung und Geometrie
- DC: E-Feld unterliegt ausgeprägtem Temperatureinfluss, da Polaritätseinfluss des Isolators abhängig von Temperatur T und Leitfähigkeit σ (ca. ~ 10-14 ... 10-16 S/m)

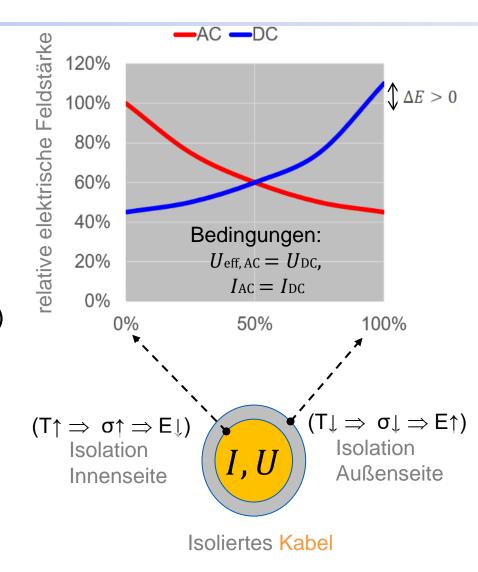
Auswirkungen

- Höhere Beanspruchung des Isolierstoffs bei DC gegenüber AC möglich (bei gleicher Spannung, gleichem Strom, gleicher Geometrie)
- Andere Alterungsvorgänge im Isolierstoff bei DC
 - Ursachen: Leitungsvorgänge und Kraftwirkungen auf molekulare Ketten im Isolierstoff

DC-Industrie2

 Untersuchungen zum Alterungsverhalten ausgewählter typischer AC-Isolierstoffe unter DC-Beanspruchung







Modellanlagen von DC-INDUSTRIE (2016 – 2019)

Mercedes-Benz

- Fertigungszelle mit 4 Robotern
- Hochenergie-Anwendung Alu-Schweißen
- Aus EU Projekt AREUS



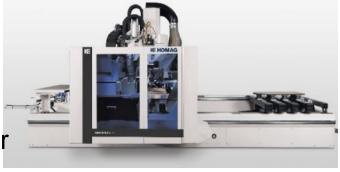
Mercedes-Benz

- Elektrohängebahn
- 5 Einzelantriebe mit Schleifringen
- Kopplung von zwei Anwendungen



Homag

- Holzbearbeitungsmaschine
- Viele Lasten
- Sensorik & Aktorik
- Anbindung
 Energiespeicher



KHS

- Getränkekisten entleeren und füllen
- Offenes Konzept
- Mehr als 30 Antriebe





Modellanlagen von DC-INDUSTRIE (2016 – 2019)

Mercedes-Benz

- Fertigungszelle
- Geräte aller Partner arbeiten Zusami Hele Last 60 Kurzschlüsse wurden fehlerften abgeschaltet

 - nergiespeicher

Mercedes-Benz

Elektroh







Modellanlagen von DC-INDUSTRIE2

BMW

- Fertigung Autokarosserie
- Fokus
 - Energieverteilung & -speicherung
 - Energierückspeisung ins Netz
 - Schalten und Schütze



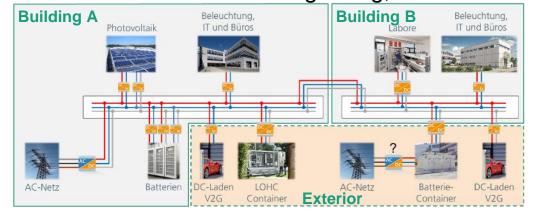
KUKA

Testzelle mit 4 Robotern
 Fokus: Steuerung



Fraunhofer IISB

DC Infrastruktur in Büroumgebung, E-Auto-Laden



DC- INDUSTRIE

Modellanlagen von DC-INDUSTRIE2

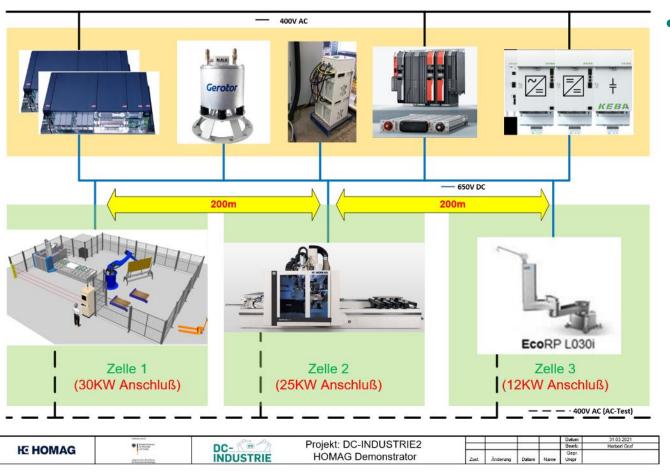


Mercedes-Benz Factory 56

- Anlage dient im Projekt für Untersuchung großer Ausdehnungen und Leistungen
- Produktionsfläche der Montage 222.000 m²
- 2 MW-Gleichstromnetz für die Halleninfrastruktur
- direkte EinbindungPhotovoltaik 5.7 MWp
- •Ziel ist CO₂-neutrale Produktion



Modellanlagen von DC-INDUSTRIE2



Homag

- Holzbearbeitungsmaschinen
- Drei Anwendungen verteilt in einer Produktionshalle
- Setup
 - Mehrfacheinspeisung aus dem AC-Netz
 - Verschiedene Speicheroptionen
 - Schwungmassenspeicher
 - Kondensatoren
 - Batterien
- Fokus
 - Einfluss langer Leitungen auf Spannungseinbrüche während Netzausfällen und -fehlern
 - Koordination der Mehrfacheinspeisung mit Active Infeed Convertern (AICs)



Modellanlagen von DC-INDUSTRIE2

TH OWL

- Nachbildung elektromechanischer Lasten
- Energiespeicher
 Mehrere Einspeiser
- Fokus
 - Lastnachbildung in Echtzeit
 - Test virtueller Maschinen im DC-Netz

Nachbildung von Fehlerfällen

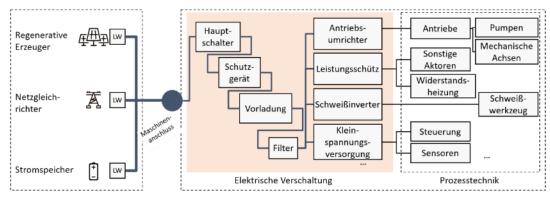


Fraunhofer IPA

- Industrielle Energieverteilung
- AC-DC Transformation
- Schutzkonzept
- Parallelbetrieb von AICs



Welche Anpassungen der Gestalt sind bei Maschinen- und Anlagen notwendig für den Betrieb mit Gleichstrom?





www.dc-industrie.de Website beim ZVEI

- DC-INDUSTRIE Website <u>www.dc-industrie.de</u>
- Computer & Automation
 - 4 Artikel zur Technik von DC-INDUSTRIE

- Publikationen (Auswahl)
 - Positionspapier
 - Deutsch und Englisch
 - Diverse Fachaufsätze (etz, MM, ...)
 - Fachbuch Die Gleichstromfabrik im Hanser Verlag, https://www.hanser-fachbuch.de/
 buch/Die+Gleichstromfabrik/
 9783446465817
 - Englische Version kommt



Projekt 'DC-Industrie' - Teil 1

DC statt AC im Produktionsnetz

22. März 2019, 01:00 Uhr | Holger Borcherding



Hannover Messe 2019 Präsentationen

https://experience.dc-industrie.zvei.org





DC- INDUSTRIE ENERGIEWENDE TRIFFT INDUSTRIE 4.0

Warum Gleichstrom und DC-INDUSTRIE?

- 1. Offenes System
- 2. Effiziente Integration grüner Energie
- 3. Niedrigerer Verbrauch
- 4. Reduzierte Anschlussleistung
- 5. Erhöhte Verfügbarkeit













DC-INDUSTRIE2 Team: Begeistert von der Gleichstromfabrik



Projektpartner - www.dc-industrie.de/projektpartner



ESR Pollmeier - dc-industrie.zvei.org/projektpartner/esr-pollmeier

Gefördert durch:





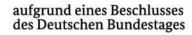
























Powering Business Worldwide



Mercedes-Benz













Assoziierte Partner: ABB Stotz-Kontakt; <u>AMK Arnold Müller</u>; Audi; <u>Bauer Gear Motor</u>; Bender; <u>Danfoss</u>; DEHN; <u>ESR Pollmeier</u>; Gerotor; <u>Harting</u>; JEAN MÜLLER; <u>KUKA</u>; LEONI; <u>Maschinenfabrik Reinhausen</u>; Paul Vahle; <u>Puls</u>; Rittal; <u>SEW-PowerSystems</u>; Siemens; <u>TU Ilmenau</u>; Wöhner