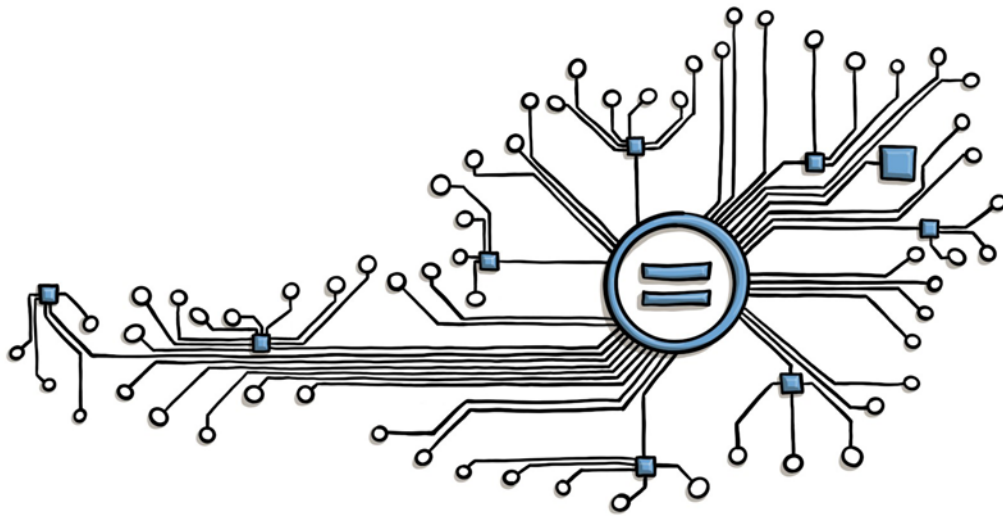


Positionspapier | 04/2022

Innovation für Österreich DC-Technologien für die Energiewende



Inhalt

Vorwort.....	1
Executive Summary.....	2
Motivation.....	4
DC-Netze: Die Rolle von Gleichstromtechnik in einem nachhaltigen Energiesystem.....	6
Situation und Stand der Technik der elektrischen Energieverteilung.....	8
Österreichische Stärken beim Thema DC.....	11
Was braucht es, um DC in Österreich weiterzuentwickeln?.....	14
Conclusio.....	15
Glossar.....	16

Über den OVE

Der OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik ist eine moderne und unabhängige Branchenplattform und gestaltet die Entwicklung der Elektrotechnik und Informationstechnik in Zeiten des digitalen Wandels aktiv mit. Der OVE vernetzt Wissenschaft und Forschung, Wirtschaft, Energieunternehmen sowie Anwender:innen und fördert mit zahlreichen Weiterbildungsangeboten den Erfolg der Branche. Als elektrotechnische Normenorganisation und mit seinen weiteren Kerngebieten Zertifizierung und Blitzforschung vertritt der Verband die österreichischen Interessen offiziell in internationalen Gremien. Für weitere Informationen besuchen Sie unsere Website: www.ove.at

Vorwort

Die DC-Initiative des OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik bietet eine Plattform für Austausch und Vernetzung im Zusammenhang mit DC-Technologien und der potentiellen Anwendung von Gleichstrom und -spannung. Sie fördert durch intensiven Erfahrungsaustausch eine koordinierte Vorgehensweise bei der Forschung zum Thema DC und unterstützt damit österreichische Unternehmen bei der Entwicklung von DC-Produkten und deren Einsatz. Der OVE sieht darin einen wesentlichen Beitrag zum Erhalt der europäischen Technologiesouveränität.

Seit dem Start der Initiative im Jahr 2021 gab es bereits mehrere Workshops zum Thema DC-Technologien mit zahlreichen Interessierten aus Wissenschaft und Forschung, Industrie und Energiewirtschaft. Die Veranstaltungen haben deutlich gezeigt, wie groß das Interesse an DC sowie der Bedarf an Erfahrungsaustausch und einem abgestimmten Vorgehen ist.

Durch aktive Wissensvermittlung will die Initiative die Vorteile der DC-Technik auch einer breiteren Öffentlichkeit näherbringen.

Dieses Positionspapier zeigt die Bedeutung von DC-Technologien für ein künftiges Stromsystem, das durch Dekarbonisierung und Digitalisierung geprägt sein wird. Es stellt Forschungsprojekte und konkrete Anwendungen vor und skizziert die Chancen und Herausforderungen durch neue DC-Technologien und damit auch für die österreichische Wirtschaft.

Aktuelle Informationen zur DC-Initiative finden Sie online unter www.ove.at.



Peter Reichel
OVE-Generalsekretär

Executive Summary

Dekarbonisierung und Digitalisierung sind wesentliche Themen unserer Zeit. Strom gewinnt in unserer hochtechnisierten Gesellschaft durch die Energie- und Mobilitätswende weiter an Bedeutung. Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, Energieeffizienzmaßnahmen sowie die Zunahme der Elektromobilität lassen auch den Markt für Gleichstromsysteme im Zuge der Dekarbonisierung der Energieversorgung weltweit wachsen.

DC hat Vorteile im Bereich Elektromobilität, bei der Energieversorgung im industriellen und gewerblichen Bereich sowie im Haushalt. Zudem bietet DC-Technologie die Chance, in Entwicklungsländern eine effiziente, regionale Stromversorgung durch erneuerbare Energien aufzubauen.

Gleichstromtechnik in einem nachhaltigen Energiesystem

Die DC-Technik kann interessante Anwendungsfälle im zukünftigen Stromsystem bieten, da z. B. Photovoltaikanlagen, Batteriespeicher, E-Fahrzeug-Bordnetze und Umrichter-Zwischenkreise in DC-Technik ausgeführt sind. Konkrete Anwendungen gibt es heute außerdem schon für sehr lange Übertragungsstrecken sowie für Offshore-Netze zur Netzintegration von Offshore-Windkraft.

Die DC-Technologie kann also die Systemintegration und -kopplung erneuerbarer Energien vereinfachen und darüber hinaus auch die Energieeffizienz steigern. Bestandteile eines nachhaltigen Energiesystems können mittels DC mit weniger Umwandlungsstufen realisiert werden, etwa Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Kombination mit lokaler Erzeugung bzw. Speicherung oder industrielle Energieversorgung.

Die DC-Technologie wird etablierte AC-Netze aller Voraussicht nach nicht ersetzen, aber dort ergänzen, wo sie entsprechende Vorteile bietet.

Stand der Forschung und Technik

Die technischen Vorteile des Gleichstroms – u. a. kein Skin-Effekt, höhere Ressourceneffizienz und kein Blindleistungsbedarf – werden weltweit seit Jahrzehnten bei der Übertragung elektrischer Energie über weite Strecken in Form der Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) genutzt. An einem Ausbau der einzelnen DC-Verbindungen zu vermaschten HGÜ-Netzen wird gearbeitet.

Auch im Nieder- und Mittelspannungsbereich könnte DC künftig an Bedeutung gewinnen, das zeigt die steigende Anzahl an dazu erscheinenden Publikationen, Patentanmeldungen und ersten Referenzprojekten. Im Vordergrund stehen dabei DC-Anwendungen in der Automatisierungstechnik, der Elektromobilität und der Energieversorgung.

Die damit verbundenen technischen Fragestellungen erfordern noch intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeit, sind aber grundsätzlich lösbar.

Österreichische Stärken im Zusammenhang mit DC-Technik

Österreichische Forschungseinrichtungen und Unternehmen können bereits auf zahlreiche Projekte im Bereich DC-Technik verweisen. Diese umfassen unter anderem die Weiterentwicklung bzw. Produktion von Leistungselektronik, Komponenten für DC-Systeme (Schalter und Sicherungen, Kabel, Spulen, Sensoren etc.), Isolationstechnologie sowie Kompetenz für den sicheren Betrieb von DC-Systemen einschließlich leistungsfähiger Prüfinfrastruktur.

Basierend auf dem vorhandenen Know-how wird das Produktportfolio laufend erweitert. Für eine skalierte Erweiterung sowie den Aufbau neuer und hochinnovativer Industriezweige sind aber noch entsprechende Investitionen notwendig.

Was braucht es, um DC-Technologie in Österreich weiterzuentwickeln?

Wesentliche Voraussetzungen für einen raschen und kosteneffizienten Einstieg in zukünftige DC-Technologien sind eine koordinierte Vorgehensweise, gemeinschaftliche Forschung sowie ein intensiver Erfahrungsaustausch. Es braucht daher eine Bündelung der Aktivitäten an Universitäten, Hochschulen und Forschungseinrichtungen unter Einbeziehung von Industrie, Gewerbe und Energiewirtschaft mit dem Ziel, Innovationsprojekte und Pilotanlagen für DC-Anwendungen bzw. -Netze aufzubauen und Betriebserfahrungen mit dieser neuen Technologie zu sammeln.

Von der Politik braucht es eine Unterstützung der Forschung im Bereich der DC-Technologieentwicklung und -Demonstration durch entsprechende Förderungen und Abstimmung mit europäischen Aktivitäten. Sichtbare Referenzprojekte für DC-Anwendungen können österreichische Industrie- und Gewerbebetriebe im internationalen Markt unterstützen und liefern gleichzeitig einen wichtigen Beitrag zur europäischen Technologiesouveränität.

Begleitet werden müssen die Forschungsaktivitäten durch eine aktive Wissensvermittlung. Hier wird die DC-Initiative des OVE auch künftig einen wichtigen Beitrag leisten und den Aufbau einer österreichischen „DC-Community“ vorantreiben.

Mit der Entwicklung neuer DC-Technologien und -Produkte muss auch die (Weiter-)Entwicklung relevanter Normen und Standards für einen sicheren Betrieb und die Marktabklärung wirtschaftlicher Lösungen einhergehen. OVE Standardization bietet hier als österreichische elektrotechnische Normungsorganisation die entsprechende Plattform. Industrie, Gewerbe und Energiewirtschaft sind aufgefordert, Expert:innen in die entsprechenden technischen Komitees zu entsenden.

1. Motivation

Die DC-Initiative des OVE hat sich zum Ziel gesetzt, österreichische Unternehmen bei der Entwicklung und Forschung zu DC-Produkten technologisch zu unterstützen. Sie will damit zum Erhalt der europäischen Infrastruktursouveränität bei einem zukünftigen Einsatz von DC-Netzen beitragen. Das bedingt einerseits die Entwicklung und Produktion von Schlüsseltechnologien in Europa, aber auch die Fähigkeit, Produkte für den Einsatz in bestehenden und zukünftigen Netzen zu qualifizieren sowie DC-Netze sicher zu betreiben.

Dekarbonisierung und Digitalisierung sind wesentliche Themen unserer Zeit. Die Europäische Union gibt mit dem Green Deal und „Fit for 55“ die Leitlinien vor, die ihre österreichische Entsprechung unter anderem in der #mission2030, der geplanten Klimaneutralität 2040 und – aktueller – im Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz (EAG) finden. Diese Ziele sind ehrgeizig, bieten aber auch die Chance, Österreichs Volkswirtschaft und Gesellschaft sowie Industrie und Gewerbe für eine nachhaltige Entwicklung auszurichten.

Elektrische Energie ist die Basis für eine hochtechnisierte, digitalisierte Gesellschaft, ohne die sämtliche Kommunikations-, Steuer- und zunehmend auch Mobilitätssysteme nicht betrieben werden können. Durch die Energie- und Mobilitätswende wird Strom weiter an Bedeutung gewinnen. Die Stromerzeugung ausschließlich aus erneuerbaren Energieträgern mit deren volatilem Energiedargebot ist dabei eine große Herausforderung und bedingt einen wirkungsvollen Ausgleich zwischen erzeugter und nachgefragter elektrischer Energie. Elektromobilität und Energiegemeinschaften stellen zusätzliche Anforderungen an die bestehenden Netze, führen zu neuen Netztopologien und erfordern in Kombination mit der Systemintegration der erneuerbaren Energien einen Ausbau der Netzinfrastruktur.

Intelligente Gleichstromnetze können hier wesentliche Beiträge zur Bewältigung der vielfältigen Aufgaben leisten. Dafür gilt es, die notwendigen Technologien und Produkte zu entwickeln sowie Normen und Standards für einen sicheren und wirtschaftlichen Betrieb zu erarbeiten.

Im Jahr 2015 haben die Vereinten Nationen 17 Strategische Ziele für eine nachhaltige Entwicklung verabschiedet, die von allen Mitgliedsländern approbiert wurden. Diese beinhalten als Ziel 7, den „Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und moderner Energie für alle [zu] sichern“. Ziel 9 steht für den Aufbau einer widerstandsfähigen Infrastruktur, die Förderung einer nachhaltigen Industrialisierung und die Unterstützung von Innovationen.

Die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energieträgern wird dabei eine zentrale Rolle spielen. Im Gegensatz zu Europa geht es in Entwicklungsländern allerdings um einen grundlegenden Aufbau elektrischer Netz- und Infrastruktur. DC-Technologie bietet die Möglichkeit, eine effiziente regionale Stromversorgung auf Basis erneuerbarer Energieträger aufzubauen, zum Beispiel in Kombination mit Photovoltaik. Damit besteht die Chance, rund eine Milliarde Menschen, die aktuell immer noch ohne Strom leben, regional mit nachhaltig erzeugter elektrischer Energie zu versorgen und die Basis für die Entwicklung von Anwendungssystemen für Gewerbe, Industrie, Gebäude und Verkehr zu schaffen. Auch in diesen Anwendungsbereichen kann die DC-Technologie wesentlich zu einer intelligenten und effizienten Nutzung beitragen. Dafür sind entsprechende Produkte notwendig, die es zu entwickeln und anschließend nachhaltig zu produzieren gilt.

Die Bedeutung von DC-Technologien in künftigen Netzen wurde weltweit erkannt und spiegelt sich in einer steigenden Anzahl von dazu erscheinenden Publikationen, Patentanmeldungen und ersten Referenzprojekten wider. In Österreich beschäftigen sich universitäre und außeruniversitäre Forschungsprojekte mit Aspekten der DC-Technologie und entsprechender Validierungs- und Prüfinfrastruktur. Österreichische Unternehmen sind mit ersten DC-Produkten auf dem Markt oder entwickeln solche.

Eine österreichweite DC-Initiative, abgestimmt mit Forschung, Industrie und Gewerbe sowie Energieunternehmen, soll die Voraussetzungen schaffen, Österreich als Innovationsstandort im Bereich MV/LV-DC zu etablieren – mit dem Anspruch, bei spezifischen Themen eine Führungsrolle zu übernehmen. Damit will die Initiative die österreichische Wirtschaft und insbesondere die Energiewirtschaft in diesem Bereich nachhaltig unterstützen und Österreich als führende Innovationsplattform für diese wichtige Zukunftstechnologie etablieren und weiterentwickeln.

2. DC-Netze: Die Rolle von Gleichstromtechnik in einem nachhaltigen Energiesystem

Die Entwicklung moderner Halbleiterbauelemente trägt maßgeblich dazu bei, dass DC-Lösungen zunehmend auch für Anwendungen im Nieder- und Mittelspannungsbereich kostengünstig und robust konstruiert werden können. Neue Wide-Bandgap-Halbleiter wie Silizium-Karbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN) erlauben höhere Sperrspannungen als klassische Silizium-Halbleiter und reduzieren damit die Anzahl aktiver Bauelemente, die notwendig sind, um hohe Spannungen zu verarbeiten (vgl. Abbildung 1). Darüber hinaus erlauben sie bei geeignetem Schaltungsdesign geringere Schaltverluste. Zu berücksichtigen sind jedoch die geringere Überlastbarkeit leistungselektronischer Umrichter im Vergleich zu klassischen Transformatoren und elektrischen Maschinen sowie die Lebensdauer bzw. Zuverlässigkeit von Halbleiterbauelementen.

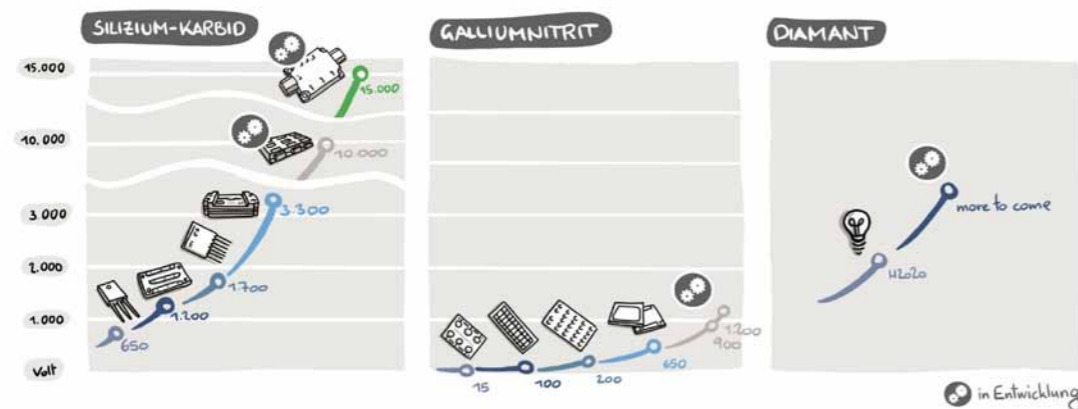


Abbildung 1: Entwicklung der Spannungsfestigkeit von Wide-Bandgap-Halbleitern

Anwendungsfälle für Mittelspannungs- und Niederspannungs-Gleichstromsysteme

Neben bestehenden Anwendungen – etwa Hochspannungs-Gleichstromübertragung, Bordnetze, Stromversorgung von Datacentern oder DC-Bahnstrom – finden Gleichstrom und -spannung eine Reihe interessanter neuer Anwendungsfälle im zukünftigen Stromsystem. Die Vorteile von Gleichstromtechnik in diesen Bereichen umfassen dabei mögliche Effizienzsteigerungen (etwa durch weniger Umwandlungsstufen), Kapazitätserweiterungen oder spezielle günstige technische Eigenschaften.

Im Bereich der Mobilität entwickeln sich neue DC-Bordnetze mit Spannungen von einigen hundert Volt bis Kilovolt. Nicht nur bei der E-Mobilität auf der Straße, sondern auch bei Flugzeugen, Schienenfahrzeugen und Schiffen ist deren temporäre Kopplung an stationäre Netze zur Schnellladung sinnvollerweise in DC ausgeführt. Aufgrund der dabei auftretenden hohen Leistungen ist zukünftig eine direkte leistungselektronische Kopplung an die Mittelspannung absehbar und deswegen ein aktives Entwicklungsfeld.

DC-Technologie kann auch die Systemintegration und -kopplung erneuerbarer Energien vereinfachen, da zum Beispiel Photovoltaikanlagen, Batteriespeicher in Elektrofahrzeugen und Umrichter-Zwischenkreise bereits in DC-Technik ausgeführt sind. Bestandteile eines nachhaltigen Energiesystems können mittels DC mit weniger Umwandlungsstufen und damit energieeffizienter realisiert werden. Beispiele hierfür sind die Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Kombination mit lokaler Erzeugung bzw. Speicherung oder auch die industrielle Energieversorgung. Speziell bei Herstellungsprozessen (DC-Versorgung von Motoren) können DC-Industrienetze Vorteile hinsichtlich Effizienz, Flächenbedarf und Steuerbarkeit aufweisen. Bei der Versorgung von Servern in Datacentern spielt DC heute bereits aufgrund der höheren Effizienz gegenüber AC-Lösungen eine wesentliche Rolle.

Im öffentlichen Verteilnetz könnte künftig die Kapazität bestehender Leitungen durch die Umstellung auf DC erhöht werden. Das ermöglicht, Leitungen teilweise mit signifikant höherer Spannung zu beaufschlagen als im AC-Betrieb. Ab einer gewissen Leitungslänge sind die Lebenszykluskosten der DC-Alternative inklusive Umrichter vorteilhaft gegenüber der AC-Variante. Aus diesem Grund wird dieser Ansatz bereits heute verfolgt, beispielsweise in Finnland bei langen „Stich“-Verbindungen in dünn besiedelten Regionen.

Bei der Restrukturierung von Netzen könnten DC-Verbindungen in Zukunft eine flexible Lösung bieten. Die Erweiterung von Punkt-zu-Punkt-DC-Strecken zu DC-Verteilnetzen mit mehr als zwei Anschlusspunkten ist ein aktives Forschungsthema. Dies betrifft sowohl Komponenten wie Leistungsschalter, Schutztechnik und zeitgemäße Informations- und Kommunikationssysteme als auch zukünftige technische Regeln für den Betrieb solcher AC/DC-Hybridnetze, die noch aufzustellen sind.

Wachsender Markt für Gleichstrom-Technologien

Der heute schon signifikante Markt für DC-Systeme wird weltweit im Zuge der Dekarbonisierung der Energieversorgung weiterwachsen. Die DC-Technologie wird etablierte AC-Netze aller Voraussicht nach nicht ersetzen, aber dort ergänzen, wo sie aufgrund attraktiver Möglichkeiten entsprechende Vorteile bietet.

Die weitere Entwicklung der Elektromobilität und Schnellladeinfrastruktur ist bereits ein wachsendes Marktsegment. Ausgehend von etablierten Lösungen, wie etwa DC-versorgte Datacenter, wird sich der Markt für DC-Netze „hinter dem (AC)-Zähler“ ausdehnen – auf Gebäude und Industrieanlagen mit integrierter lokaler Erzeugung, Batterien, gegebenenfalls Elektrolyse und H₂-Brennstoffzellen sowie die E-Ladeinfrastruktur.

Die meisten dieser Systeme koppeln an die öffentliche Verteilnetzinfrastruktur an, so dass es hier früher oder später sinnvoll sein wird, die AC/DC-Umwandlung tiefer in das öffentliche Netz zu verlegen. Spätestens dann wird eine etablierte technische Lösung für aktiv gesteuerte DC-Netze auf der „letzten Meile“ zum Kunden benötigt.

3. Situation und Stand der Technik der elektrischen Energieverteilung

Die technischen Vorteile des Gleichstroms – u. a. kein Skineffekt, kein Blindleistungsbedarf, geringe Übertragungsverluste sowie hohe Regeldynamik – werden weltweit seit Jahrzehnten bei der wirtschaftlichen Übertragung elektrischer Energie über weite Strecken in Form der Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) genutzt. Dabei werden hauptsächlich bis zu 2.500 km lange Punkt-zu-Punkt-Verbindungen verwendet, etwa in den Wachstumsmärkten China und Indien.

In Österreich wurden bis 1996 zwei HGÜ-Gleichstrom-Kurz-Kupplungen (GKK) für den asynchronen Energieaustausch mit Osteuropa betrieben. Für sehr lange Übertragungstrecken und vor allem für Offshore-Netze für die Netzintegration von Offshore-Windkraft gibt es bereits heute zahlreiche konkrete Anwendungen. An einem Ausbau der einzelnen DC-Verbindungen zu vermaschten HGÜ-Netzen wird derzeit gearbeitet.

Die grundsätzlichen Vorteile der HGÜ sind auch im Nieder- und Mittelspannungsbereich (LV/MV-DC) nutzbar. Dabei stehen Anwendungen in der Automatisierungstechnik, der Elektromobilität und der Energieversorgung im Vordergrund. Insbesondere in vermaschten DC-Netzen ergeben sich durch die gute Regelbarkeit durch DC/DC-Konverter Vorteile hinsichtlich Flexibilisierung, Lastflussoptimierung und Resilienz.

Die notwendigen Kernkomponenten für LV/MV-DC-Anwendungen wie AC/DC- und DC/DC-Konverter, Leistungsschalter, Kabel und Freileitungen sowie Schutztechnik sind bereits verfügbar bzw. in Entwicklung oder Gegenstand der aktuellen Forschung:

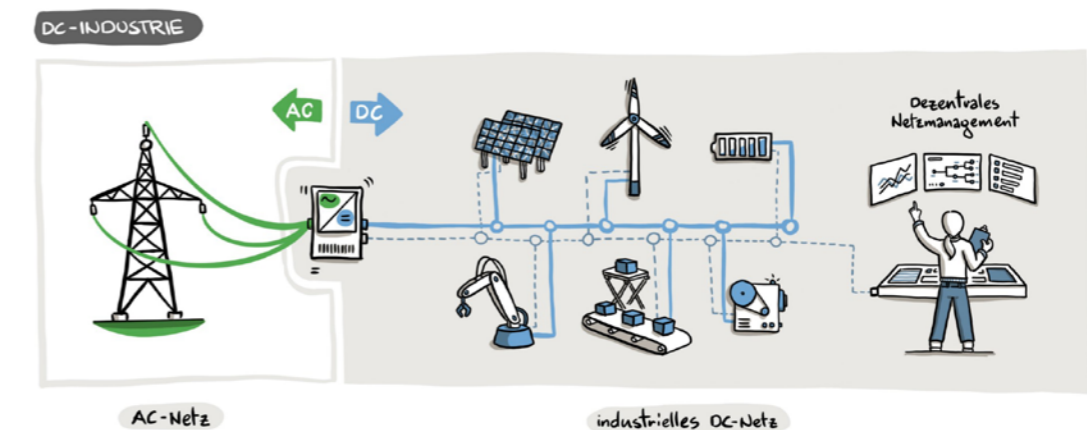
- **AC/DC- und DC/DC-Konverter:** Im Niederspannungsbereich sind entsprechende Konverter bereits im Einsatz, etwa im Bereich Photovoltaik, Windkraftanlagen, elektrische Antriebe und Elektromobilität. Im Bereich der Konverter für Mittelspannungs-Gleichstromübertragung (MGÜ-Anwendungen) sind mit IGBT ausgestattete modulare Multilevel-Konverter (MMC) vorgesehen. Diese Technologie hat sich bereits bei HGÜ-Anwendungen bewährt.
- **DC-Leistungsschalter:** Das Ausschalten eines Gleichstroms ist aufgrund des fehlenden Stromnulldurchgangs schwieriger zu realisieren als beim Wechselstrom. Für LVDC ist ein großes Produktangebot verschiedener Hersteller auf Basis von elektromechanischen Schaltern bis zu DC-Spannungen von 1200 V und einem Kurzschluss-Ausschaltstrom von 10 kA verfügbar. Erste wesentlich schnellere hybride und vollelektronische LVDC-Schalter, die das Schalten des Lichtbogens in die Leistungselektronik verlagern, sind z. B. bereits bei Flugzeuggordnetzen und Schiffen kommerziell im Einsatz. Aus der HGÜ abgeleitete DC-Leistungsschalter für MVDC befinden sich in der Entwicklung, wobei verschiedene Schaltertechnologien untersucht werden.

- **DC-Kabel und DC-Freileitungen:** Im Bereich der Leitungen stehen Lösungen und Produkte zur Verfügung. Die Umrüstung bestehender Mittelspannungsleitungen auf DC-Betrieb wird u. a. im MVDC-Pilotprojekt „Angle-DC“ in Großbritannien durchgeführt. Die Verwendung von neuen VPE-isolierten MVAC-Kabelsystemen für einen bipolaren Betrieb mit hoher DC-Bemessungsspannung zur Erhöhung der Übertragungskapazität (je nach Bedingungen bis zu Faktor 5) wird im Rahmen eines Forschungsprojekts an der TU Graz untersucht.
- **Schutztechnik:** Diese ist im DC-Bereich eng mit der Konverter-Technologie und Konverter-Regelung verknüpft. Neben klassischen Schutzeinrichtungen (Sicherung, Leistungsschalter) spielt die regelungstechnische Begrenzung des Fehlerstroms eine maßgebliche Rolle.
- **Erdung:** Die Bereiche Personensicherheit und Beeinflussung (Streuströme, Korrosion) sind eng mit der Thematik der Erdung von DC-Systemen verbunden.

Es existieren bereits mehrere Forschungs- und Pilotprojekte für LV/MV-DC. Diese werden nachfolgend anhand von Beispielen vorgestellt:

Beispiel LVDC „DC-Industrie“ (D)

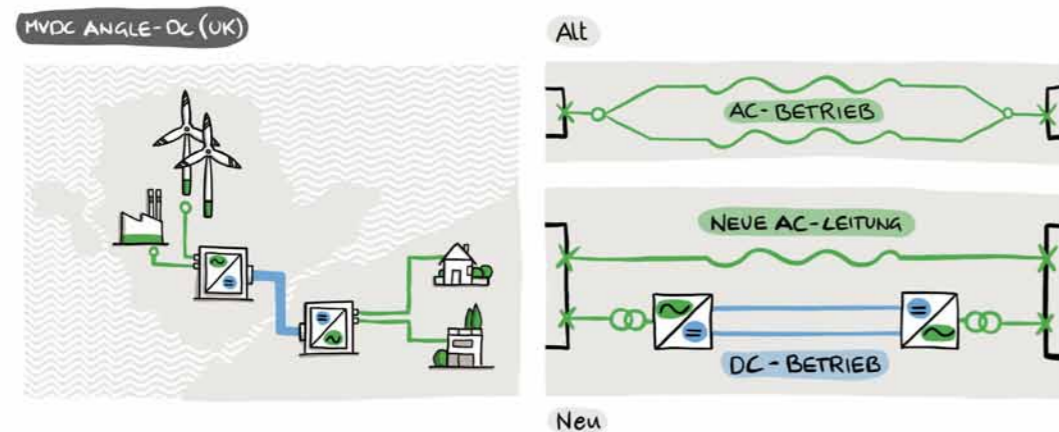
Im Rahmen des deutschen Forschungsprojekts „DC-Industrie“ forschen 39 Partner an industriellen DC-Netzen in der Produktion. Im Fokus der Forschung steht die Gleichstromversorgung einer Produktionshalle. Die DC-Infrastruktur wird in neun Modellanlagen und Transferzentren bei verschiedenen Projektpartnern realisiert und ausführlich getestet. Die Leistung dieser Anlagen reicht von einigen Kilowatt bis zu zwei Megawatt.



Beispiel MVDC „Angle-DC“ (UK)

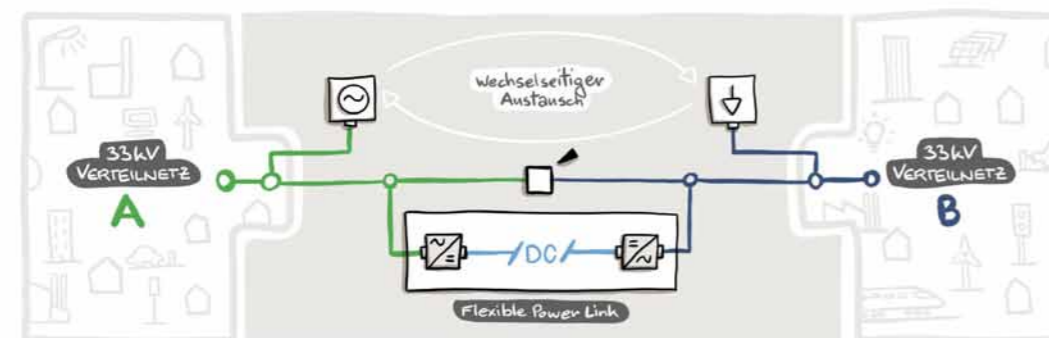
An der Nordwestküste von Wales nimmt seit einigen Jahren die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern stark zu, weshalb ein Export zum Festland notwendig wird. Das führt jedoch zu Stabilitätsproblemen, da die vorhandene 33-kV-AC-Verbindungsstrecke zwischen der Insel und dem Festland an ihre Kapazitätsgrenze gelangt ist. Um die notwendige Erhöhung der Übertragungskapazität zu erreichen, wird sie daher auf eine Mittelspannungs-Gleichstromübertragung (MGÜ) umgerüstet. Da es sich hier um ein Übertragungssystem handelt, welches

seit Langem in Betrieb ist und aus verschiedenen Kabeltypen (Öl/Papier-isolierte Kabel, Massekabel und VPE-Kabel) sowie einer Freileitung besteht, wurde die Nenn-Gleichspannung auf ± 27 kV (Spitzenwert der 33-kV-Wechselspannung) festgelegt. Obwohl in Anbetracht des Alters der Kabelstrecke die maximale Leitertemperatur auf 50 °C beschränkt wurde, erhöht sich die Übertragungskapazität dennoch um ca. 23 %.



Beispiel MVDC „Network Equilibrium“ (UK)

Das Hauptziel des Projekts war die Verbesserung der Spannungshaltung und der Lastflusssteuerung innerhalb des Verteilnetzes. Es wurden verschiedene Verfahren eingesetzt und untersucht, um eine verbesserte Integration von erneuerbaren Energiequellen im 33-kV-Verteilnetz zu ermöglichen. Der eingesetzte FPL (flexible power link) besteht aus einer Gleichstrom-Kurzkupplung, die eine Verbindung von zwei unabhängigen Verteilnetzen herstellt und mittels Lastflusssteuerung einen gezielten Energieaustausch ermöglicht.



Die neuen Möglichkeiten, die sich durch DC-Technologie eröffnen, bedürfen auch einer Standardisierung, um eine sichere und interoperable Anwendung in der Praxis zu ermöglichen. Ein Überblick über bestehende DC-Standards ist im Report der CIRED Working Group 2019-1 mit dem Titel „DC Networks on the Distribution Level – New Trend or Vision“ zu finden. Jedoch schreitet die technische Entwicklung schnell voran. Die Identifikation von für Österreich und Europa relevanten Normungsthemen im Kontext von DC ist dauerhaft notwendig und sollte aus einem Branchendialog heraus stattfinden. In diesem Zusammenhang spielen auch Themen der Automatisierung und des Managements von DC-Versorgungssystemen eine wichtige Rolle.

4. Österreichische Stärken beim Thema DC

Österreichische Forschungseinrichtungen und Unternehmen können bereits jetzt auf zahlreiche relevante Aktivitäten im Bereich DC-Technik verweisen. Diese umfassen beispielsweise Themen der Weiterentwicklung bzw. Produktion von

- leistungselektronischen Bauelementen,
- auf Leistungselektronik basierenden Systemen zur Kopplung von Wechselstrom- mit Gleichstromsystemen,
- Lösungen zur asynchronen Kopplung von Wechselstromsystemen miteinander und von Gleichspannungssystemen unterschiedlicher Spannungsebenen,
- Komponenten für DC-Systeme wie Schalter, Sicherungen, Kabel, Spulen und Sensoren,
- Technologien und Materialien zur Isolation mittlerer und hoher Gleichspannungen, sowie
- Methoden und Konzepten zum Schutz und sicheren Betrieb derartiger Systeme.

Die österreichische Industrie adressiert dabei den Weltmarkt von DC-Produkten. Es sind hier daher auch Anwendungsfelder zu berücksichtigen, die in Europa keine wesentliche Rolle spielen – etwa DC-Lösungen für Entwicklungsländer.

Als Beispiele für Projekte in diesem Themenbereich, an denen österreichische Forschungseinrichtungen und Unternehmen maßgeblich beteiligt sind, seien an dieser Stelle die Folgenden genannt:

Projekt: [Hochspannungsbatterie](#)
Projektbeteiligte: FH Oberösterreich, FH Landshut, Technologiezentrum Energie Ruhstorf
Ziel: Die Entwicklung von Konzepten und Lösungsansätzen für Mittelspannungs-Batterien zum direkten Einsatz in DC-Mittelspannungsnetzen. Die entwickelte Infrastruktur steht auch nach erfolgreichem Abschluss des Projektes für Forschung und Lehre zur Verfügung.

Projekt: [Flash Check * \(Lichtbogenerkennung\)](#)
Projektbeteiligte: FH Oberösterreich, EATON, Fronius, RISC Software GmbH
Ziel: Die Untersuchung der Emission von Harmonischen in Strom und Spannung an einem unter DC gezogenen Lichtbogen bei einem Strom von bis zu 10 A bei sehr kleinen Kontaktpalten und verschiedenen Materialien (Kupfer, Stahl, Aluminium und Messing) zum Zweck der Lichtbogenerkennung.

Projekt: „Surface break down of polluted Medium Voltage DC insulators in Air“
Projektbeteiligte: FH Oberösterreich, Florida State University, Center of Advanced Power Systems
Ziel: Entwicklung von Modellen zur Beschreibung des DC-Isolator-Überschlagverhaltens. Einsatz in Batterie- und Leistungselektronik-Systemen unter besonderer Berücksichtigung der Verschmutzung (bei verschiedenen Verschmutzungstypen).

Projekt: ProBat * (Entwicklung von E-Auto Sicherungen)
Projektbeteiligte: FH Oberösterreich, AIT, MIBA, Voltlabor
Ziel: Untersuchung der Lichtbogenphysik in pyrotechnisch getriggerten E-Auto Sicherungen bei einem Strom von bis zu 30 kA und einer Spannung von bis zu 1000 V.

Projekt: MGÜ@Netz (MGÜ-Anlagen und DC-Kabel/DC-Freileitung)
Projektbeteiligte: TU Graz, mit Unterstützung durch Österreichs Energie
Ziel: Untersuchung von MGÜ-Anlagen und Nutzung von VPE-isolierten 12/20-kV-MVAC Kabelsystemen für MVDC inkl. Erhöhung der Übertragungskapazität um ca. den Faktor 5,5.

Projekt: ADC Labs* – Austrian DC Labs
Projektbeteiligte: AIT, TU Graz
Ziel: Schaffung von Grundlagen für die Entwicklung von Testmethoden zur Unterstützung des Entwicklungs- und Validierungsprozesses von DC-Komponenten und -Systemen auf Basis von Power-Hardware-in-the-Loop (P-HIL). Einbindung von Stakeholdern aus der Industrie in die Formulierung des zukünftigen Validierungsbedarfs.

Projekt: HYPERRIDE** – Hybrid Provision of Energy based on Reliability and Resiliency by Integration of DC Equipment
Projektbeteiligte: AIT (Konsortialführer), u. a. Zelisko, Eaton
Ziele: Technologiedemonstration von MV/LV DC – AC/DC hybriden Netzen (Micro- und Nanogrids) an drei virtuell verbundenen Demo-Standorten (EPFL Campus in Lausanne/Schweiz, MVDC Campusgrid der RWTH Aachen/Deutschland und im Feld eines Verteilnetzbetreibers ASM Terni/Italien) auf einem Technologieentwicklungsgrad 5 - 8. Reduzierung von Netzplanungs- und Investitionsrisiken (Modularität), Firewall-Effekt gegen Fehler und Cyberattacken, Unterbringung von hohen Anteilen erneuerbarer Energie (Photovoltaik) in Kombination mit Batteriespeichern und Elektromobilität in einem auf Gleichstrom basierendem System (Betrieb am und getrennt vom Netz).

DC Prüfinfrastruktur am AIT Austrian Institute of Technology

Als Reaktion auf die beschriebene Entwicklung im Bereich DC-Technologien und zum Teil basierend auf den Ergebnissen des Projektes ADC Labs hat das AIT seine elektrische Forschungs- und Prüfinfrastruktur für DC-Experimente auf eine höhere Leistung ausgebaut. Das AIT unterhält bereits jetzt eine große Bandbreite an Laborinfrastruktur für die Entwicklung, Prüfung und Zertifizierung von technischen Systemen wie z. B. Hochspannungsprüffeld bis 600 kV AC / 1200 kV Stoßspannung, Hochstromprüffelder bis 120 MVA AC und 35 MW DC, Smart Grid-Labor (C-, und P-HIL), Leistungselektronik-Labor für Prototypenentwicklung. Das neue DC-Prüffeld hat einen Spannungsbereich von 150 V bis 3800 V und die Anlage ist für Dauerströme bis 5 kA und Impulsströme bis 80 kA (3 s) ausgelegt.

TU Graz und Versuchsanstalt für Hochspannungstechnik Graz GmbH (VAH)

Das akkreditierte Nikola Tesla-Prüflabor verfügt über die notwendigen Hochspannungsprüfanlagen (u. a. 1500 kV DC, 3250 kV Stoßspannung) und Messsysteme für die Entwicklung und Prüfung von DC-Geräten und DC-Komponenten bis zur ±800 kV Spannungsebene. Darüber hinaus stehen ein C/P-HIL-Prüflabor (60 kVA) und Rechenprogramme für die AC/DC-Netzberechnung zur Verfügung.

CIRED-Arbeitsgruppe WG 2019-1 DC Distribution Networks

Leitung: AIT
Beteiligung: TU Graz, Energienetze Steiermark und Eaton
Anwendungsbereich: DC-Komponenten, Planungsthemen, Standardisierung und regulatorische Rahmenbedingungen, Schwerpunkt MVDC und LVDC Verteilnetze (bis etwa 100 kV DC), öffentliche Netze, Industriegebäude, Einrichtungen und spezielle Netze, Pilotanlagen und
Anwendungsfälle: Diese Arbeitsgruppe geht unter dem Titel "WG-2021-1 DC and hybrid AC/DC distribution networks integration" in eine zweite Phase.

Die derzeitigen Aktivitäten sind durchwegs eine Erweiterung der Produktportfolios basierend auf dem vorhandenen Know-how. Sie können einen wesentlichen Beitrag zur Erhaltung und zum Ausbau der Technologiesouveränität leisten, mit den entsprechenden zu erwartenden Auswirkungen auf Sicherung einschlägiger Arbeitsplätze des Forschungs- und Industriestandortes Österreich. Für eine Umsetzung und den Aufbau neuer und hochinnovativer Industriezweige braucht es aber noch entsprechende Investitionen.

* Gefördert durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

** Gefördert durch das EU-Programm Horizon 2020

5. Was braucht es, um DC in Österreich weiterzuentwickeln?

Um Österreich als Innovationsstandort im Bereich MV/LV-DC zu etablieren, müssen entsprechende Voraussetzungen geschaffen werden, die es erlauben, bei spezifischen Themen eine Führungsrolle zu übernehmen. Dafür sind insbesondere die folgenden Punkte von Bedeutung:

1. **Eine Bündelung der Aktivitäten an Universitäten, Hochschulen und Forschungseinrichtungen unter Einbeziehung von Industrie, Gewerbe und Energiewirtschaft.** Ziel ist es, Innovationsprojekte und Pilotanlagen für DC-Anwendungen bzw. -Netze aufzubauen und Betriebserfahrungen für die Marktreife von Produkten und Lösungen zu sammeln. In diesem Zusammenhang soll auch eine wirtschaftliche und umweltrelevante Bewertung von potenziellen Anwendungsfällen unternommen werden.
2. **Die Unterstützung der Forschungsaktivitäten im Bereich der DC-Technologieentwicklung und -Demonstration auf politischer Ebene durch entsprechende Förderungen und eine Abstimmung mit europäischen Aktivitäten.** Als wesentliche Akteure seien hier das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), der Klima- und Energiefonds, die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG sowie der Wissenschaftsfonds FWF genannt. Richtungsweisende Referenzprojekte für DC-Anwendungen können österreichische Industrie- und Gewerbebetriebe im internationalen Markt unterstützen und sind gleichzeitig ein wichtiger Beitrag zur europäischen Technologiesouveränität.
3. **Eine koordinierte Vorgehensweise, ein intensiver Erfahrungsaustausch sowie Wissensvermittlung als wesentliche Voraussetzungen für einen raschen und kosteneffizienten Einstieg in künftige DC-Technologie.** Die DC-Initiative des OVE will hier einen wichtigen Beitrag leisten und den Aufbau einer österreichischen „DC-Community“ weiterverfolgen.
4. **Die aktive Mitwirkung an der (Weiter-)Entwicklung relevanter Normen und Standards.** Für einen sicheren Betrieb und eine kommerzielle Nutzung muss mit der Entwicklung neuer DC-Technologien auch die Arbeit an entsprechenden Normen und Standards einhergehen. Mit der Entsendung von Expert:innen in die relevanten technischen Komitees von IEC und CENELEC können Industrie, Gewerbe und Energiewirtschaft hier aktiv mitwirken.

Conclusio

Dekarbonisierung und Digitalisierung betreffen als wesentliche Themen unserer Zeit vor allem auch unser Stromsystem. Die Energie- und die Mobilitätswende machen eine intensive Auseinandersetzung mit der Forschung an DC-Technologien lohnenswert, denn diese haben das Potential, in unserem künftigen Stromsystem eine wesentliche Rolle zu spielen: Sie können die Systemintegration und -kopplung erneuerbarer Energien vereinfachen und darüber hinaus die Energieeffizienz steigern, da etwa Photovoltaikanlagen, Batteriespeicher, E-Fahrzeug-Bordnetze und Umrichter-Zwischenkreise in DC-Technik ausgeführt sind.

DC-Technik wird etablierte AC-Netze aller Voraussicht nach nicht ersetzen, kann sie allerdings dort ergänzen, wo sie entsprechende Vorteile bietet. Für Entwicklungsländer bietet sie zudem die Chance, eine effiziente, regionale Stromversorgung basierend auf erneuerbaren Energien aufzubauen.

Technische Fragestellungen im Zusammenhang mit DC-Technologien erfordern noch intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeit, sind aber grundsätzlich lösbar.

Österreichische Forschungseinrichtungen und Unternehmen können bereits auf zahlreiche Projekte im Bereich DC-Technik verweisen. Um Österreich als Innovationsstandort in diesem Bereich nachhaltig zu etablieren, müssen allerdings noch entsprechende Voraussetzungen geschaffen werden. Dazu gehören eine koordinierte Vorgehensweise, gemeinschaftliche Forschung sowie ein intensiver Erfahrungsaustausch, aber auch eine Unterstützung der Forschung durch die Politik, etwa durch entsprechende Förderungen für richtungsweisende Referenzprojekte. Diese können österreichische Industrie- und Gewerbebetriebe im internationalen Markt unterstützen und liefern gleichzeitig einen wichtigen Beitrag zur europäischen Technologiesouveränität.

Der OVE stellt mit seiner DC-Initiative eine Plattform für Erfahrungsaustausch und Wissensvermittlung zur Verfügung und fördert damit den Aufbau einer „DC-Community“. Darüber hinaus ist OVE Standardization als nationale elektrotechnische Normungsorganisation mit zahlreichen Expert:innen in den internationalen Gremien an der Entwicklung entsprechender Normen und Standards beteiligt. Diese sind notwendig, um einen sicheren Betrieb und damit den Erfolg von DC-Technologien zu gewährleisten.

Glossar

HGÜ	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung. Eine Technologie der elektrischen Energieübertragung mit hoher Gleichspannung.
HIL, P-HIL	Hardware in the Loop, Power-Hardware in the Loop. Bezeichnet ein Verfahren, bei dem ein reales eingebettetes System (z. B. elektronisches Steuergerät oder mechatronische Komponente) über seine physikalischen Ein- und Ausgänge an ein angepasstes und von einer Simulation gesteuertes Gegenstück angeschlossen und getestet wird. Power-Hardware in the Loop erfordert dabei die Simulation höherer Leistungen zwischen den Prüflingen und der im Simulator nachgebildeten Umgebung.
IGBT	Insulated-Gate Bipolar Transistor; Bipolartransistor mit isolierter Gate-Elektrode. Ein IGBT ist ein leistungselektronisches Halbleiterbauelement, das z. B. in Schaltnetzteilen und Frequenzumrichtern eingesetzt wird und sehr schnell getaktet mit hohem Wirkungsgrad große Ströme schalten kann.
MGÜ	Mittelspannungs-Gleichstrom-Übertragung, engl.: MVDC. Siehe HGÜ, nur auf der Mittelspannungsebene statt auf der Hochspannungsebene.
Multilevel-Konverter	Frequenzumrichter, bei dem die Ausgangsgrößen aus vielen geeignet verschalteten und koordiniert gesteuerten Einzelkomponenten zusammengesetzt werden.
MVAC	Mittelspannungs-Drehstrom-Verteilung
MVDC	siehe MGÜ
Netztopologie	Struktur von elektrischen Energieversorgungsnetzen, z. B. vermascht, strahlen- oder ringförmig.
Offshore-Netze	Engl.: „vor der Küste“, Netze, die im Küstenvorfeld der Meere errichtet werden.
Skineffekt	Widerstandserhöhung stromdurchflossener Leiter bei hohen Frequenzen. Der Skineffekt beruht auf der Tatsache, dass bei hohen Frequenzen die Stromdichte in einem Leiter nicht mehr homogen ist, weil der Strom zur Oberfläche des Leiters hin verdrängt wird.
Umrichter	Elektrische Schaltung, die Gleichstrom in Wechselstrom oder einen Gleichstrom mit anderer Spannungshöhe oder Polarität umwandelt.
Vermaschte Netze	Vermaschte Netze zeichnen sich dadurch aus, dass ihre Netzknoten über mehrere Verbindungen (die also Maschen bilden) mit anderen Knoten verbunden sind – im Gegensatz zu strahlenförmigen Netzen, bei denen es in der Regel nur genau einen Verbindungspfad zwischen zwei Punkten gibt.
VPE-isoliertes Kabel	Hochspannungskabel, das vernetztes Polyethylen (VPE) zur Isolation der spannungsführenden Teile verwendet.
Wide-Bandgap-Halbleiter	Halbleiter mit breitem Bandabstand; Halbleiter, deren Bandabstand/Bandlücke (Energieabstand zwischen Valenzband und Leitungsband) höher als bei klassischen Siliziumhalbleitern ist. Halbleiterschalter mit Wide-Bandgap-Materialien zeichnen sich durch im Vergleich zur Silizium-Lösung höhere Spannungsfestigkeit und geringere Schaltverluste aus.
Zwischenkreis	Über den Zwischenkreis werden zwei oder mehrere Umrichter miteinander gekoppelt. Zwischenkreise können z. B. als Gleichspannungs- oder Gleichstromzwischenkreis ausgeführt werden.

Impressum

Herausgeber: OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik,
Generalsekretär Peter Reichel, Eschenbachgasse 9, 1010 Wien

Redaktion: Wolfgang Gawlik (TU Wien), Friederich Kupzog (AIT), Peter Reichel (OVE),
Herwig Renner (TU Graz), Cornelia Schaupp (OVE), Uwe Schichler (TU Graz),
Peter Zeller (FH Wels)

Grafiken: r6 - Robert Six

Layout & Satz: Manuela Tippel

Kontakt & Rückfragen

OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik
Cornelia Schaupp, Leitung Presse und Kommunikation
Eschenbachgasse 9 | 1010 Wien
T +43 587 63 73-534
M +43 664 968 04 76
c.schaupp@ove.at
www.ove.at

Folgen Sie uns auf



OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik

Eschenbachgasse 9 | 1010 Wien

T +43 1 587 63 73-0

ove@ove.at

www.ove.at