

Energieeffiziente Gleichstromverteilung in kommerziell genutzten Gebäuden mit intelligenter Kopplung zum Niederspannungsnetz

Energy efficient direct current distribution in commercially used buildings with smart power link to the AC distribution grid

Dr.-Ing. Roland Weiss, Siemens AG, Erlangen, Deutschland, rolandweiss@siemens.com

Dipl. Ing. Ulrich Boeke, Philips Group Innovation – Research, Eindhoven, Niederlande, ulrich.boeke@philips.com

Dr. Wilhelm Maurer Infineon Technologies AG, Neubiberg, Deutschland, wilhelm.maurer@infineon.com

Dr.-Ing. Stefan Zeltner, Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB, Erlangen, Deutschland, stefan.zeltner@iisb.fraunhofer.de

Kurzfassung

Das Verbundvorhaben „Direct Current Components and Grid“ (DCC+G) adressiert die strategischen Herausforderungen zu Energieeinsparungen und damit verbundener Reduzierung von CO₂-Emissionen von kommerziell genutzten Gebäuden durch die Erforschung von Lösungen zur optimierten Gleichstromverteilung bei einer Spannung von ± 380 V. Die Hauptverbraucher in einem kommerziell genutztem Gebäude, welches dem „net-zero-energy“ Ziel der Europäischen Union genügt, sind Wärmepumpen, Ventilatoren und Klimageräte, Kühlgeräte, LED-Beleuchtungseinrichtungen und Informationstechnologie. Alle diese Komponenten zeichnen sich dadurch aus, dass sie ihre höchste Effizienz in Ausführungsformen mit einer Gleichstromversorgung erreichen. Hierzu passt, dass auch die lokalen zur Verfügung stehenden Erzeuger elektrischer Energie, z.B. Photovoltaikanlagen, Gleichstrom erzeugen. Ein Gleichstromnetz in Gebäuden vermeidet die in heutigen Systemen erforderliche wiederholte Gleich- und Wechselrichtung und spart somit direkt Energie. Eine wesentliche Rolle dabei spielen zentralere, intelligente, hoch effiziente, bidirektionale Gleichrichter, die die Verbindung zum Drehstromverteilnetz bilden und die viele kleine und weniger effiziente Gleichrichter ersetzen, die derzeit in großer Stückzahl verwendet werden. Zentrale Gleichrichter können zudem in einem „smart grid“ die Regelung von Strom und Spannung im Niederspannungsnetz (Ortsnetz) unterstützen. Schwerpunkt ist darüber hinaus das Aufzeigen von einem signifikanten Einsparungspotential von ca. 5 % an elektrischer Energie durch eine 2-phasige Gleichstromverteilung bei einer Spannung von ± 380 V.

Abstract

The joint undertaking “Direct Current Components and Grid” (DCC+G) takes on the strategic challenge to reduce energy consumption and thus the reduction of CO₂ emission caused by commercially used buildings through research in the fields of Direct Current distribution at a voltage level of ± 380 V. The major energy consumers in commercially used buildings, ready for the „net-zero-energy“ goal of the European Union, are heat pumps for heating, ventilation systems, air conditioning units, cooling units (HVAC), lighting systems and information technology. All these components and subsystems have in common, that the most efficient versions would benefit from a direct current supply. Additionally the local producers of electric energy like photovoltaic systems usually generate DC-current. A Direct Current distribution grid within buildings would avoid the repeating conversion from DC to AC and vice versa and therefore reduce conversion losses. Important components of a direct current distribution grid are central, smart, high efficient, bidirectional rectifiers replacing the large number of small, less efficient rectifiers used today. Such large central rectifiers units could additionally be used to actively improve the power quality of the smart local AC distribution grid. One major part of the described activities is to show energy savings of about 5% of electrical energy with a 2-phase direct current distribution grid using a voltage level of ± 380 V.

1 Beschreibung des Verbundvorhabens DCC+G

1.1 Einleitung

Historisch bedingt basiert das Niederspannungsnetz in Industrieanlagen, Ortsteilen und Gebäuden auf Drehstrom (AC). Niederspannungsgleichstromnetze bis 1500 V DC haben sich nur in Spezialmärkten, zum Beispiel bei Stadtbahnen, behaupten können.

Moderne Leistungshalbleiter mit ihrer intrinsisch hohen Effizienz in Verbindung mit moderner Regelungstechnik

können diese historische Entwicklung jedoch aufbrechen und ermöglichen völlig neue, früher nicht umsetzbare Systemlösungen. Große Entfernungen werden heute mittels 800 kV-DC-Netzen überbrückt; motorbetriebene Geräte und die Mehrzahl der Netzgeräte für Computer und Mobiltelefone arbeiten unter Verwendung modernster Halbleitertechnologien intern mit DC und erzielen so optimale Effizienz. Auch bei der Stromerzeugung und -speicherung haben moderne Halbleitertechnologien neue Voraussetzungen geschaffen: Photovoltaik (PV) -Anlagen erzeugen Gleichstrom; zukünftige stationäre Batteriesysteme zur Absicherung der Stromversorgung und Puffe-

nung arbeiten mit Gleichstrom; selbst moderne Windkraftanlagen wandeln den erzeugten AC-Strom variabler Frequenz zuerst in DC um, um daraus netzkonforme AC-Leistung zu erzeugen. Es ist deshalb an der Zeit, das Paradigma des Niederspannungsdrehstromnetzes in einem Forschungsvorhaben experimentell zu hinterfragen.

1.2 Übergeordnete strategische Herausforderungen

Das Verbundvorhaben „Direct Current Components +Grid“ (DCC+G) adressiert daher die strategischen Herausforderungen zu Energieeinsparungen und damit verbundener Reduzierung von CO₂-Emissionen von kommerziell genutzten Gebäuden durch die Erforschung von Lösungen zur optimierten Gleichstromverteilung bei einer Spannung von ± 380 V. Der jährliche Durchschnittsverbrauch für ein zumindest teilklimatisiertes Bürogebäude liegt nach Jakob et al. oder Fisch et al. ca. zwischen 100...150 kWh/m², wobei alleine für Beleuchtung pro Jahr ca. 10...45 kWh/m² aufgewendet werden [1], [2]. Eine Effizienzsteigerung von 5 % alleine bei der Beleuchtung von deutschen Bürogebäuden führt zu einer Reduktion des CO₂-Ausstoßes um 170.000 t pro Jahr (bei 563 g/kWh [3]).

Die Hauptverbraucher in einem kommerziell genutzten Gebäude, welches dem „net-zero-energy“ Ziel der Europäischen Union genügt, sind Wärmepumpen, Ventilatoren, Klima- und Kühlgeräte, LED-Beleuchtungseinrichtungen und Informationstechnologie. Alle diese Komponenten zeichnen sich dadurch aus, dass sie ihre höchste Effizienz in Ausführungsformen mit einer Gleichstromversorgung erreichen. Zusätzlich erzeugen auch die lokalen zur Verfügung stehenden Stromerzeuger, z.B. Photovoltaikanlagen Gleichstrom. Ein Gleichstromnetz in Gebäuden vermeidet die in heutigen Systemen erforderliche wiederholte Gleich- und Wechselrichtung und spart somit direkt Energie. Der Einsatz innovativer energiesparender Technologien wie z.B. drehzahl geregelter Antriebe wird bei einem Gleichstromnetz noch attraktiver, da sich hier bereits in der Investitionsphase Kostenvorteile durch die nicht notwendige lokale Gleichrichtereinheit ergeben. Auch der Selbstverbrauch von erzeugtem Photovoltaikstrom gewinnt an Attraktivität, was zu einer zusätzlichen und wichtigen Entlastung der Netze führen wird. **Bild 1** und **Bild 2** verdeutlicht den innovativen und hocheffizienten Ansatz des Verbundvorhabens zur Erforschung der Gleichspannungsverteilung elektrischer Energie in Gebäuden im Vergleich zum Stand der Technik.

1.3 Ziele des Verbundvorhabens

1.3.1 Bestmögliche Nutzung örtlicher und zentraler Stromnetze

Das Verbundvorhaben adressiert speziell die Stromverteilung und Anwendung in kommerziell genutzten Gebäuden, insbesondere Einkaufszentren, Supermärkten und Bürogebäuden.

Ein lokales ± 380 V DC Netz ermöglicht (neben dem herkömmlichen 230 V/400 V AC Netz) eine sanftere, genauere Regelung der Stromflüsse sowie eine verbesserte Nutzung der lokal erzeugten elektrischen Energie (Solar, Wind, stationäre Batterien). Zudem wird ein Gleichstromnetz prinzipiell nicht durch Blindstrom belastet.

1.3.2 Reduktion des Energieverbrauchs / Steigerung der Energieeffizienz

Die Effizienz für Gebäude- und Lebensmittelkühlsysteme (Wärmepumpen, Klimaanlage, Kühlschränke; Gefriertruhen) kann durch die Bereitstellung eines ± 380 V-DC-Netzes verbessert werden. Eine Gleichstromverteilung stellt auch die optimale Stromquelle für die Verwendung von LED-Beleuchtungssystemen dar, da diese dann keinen eigenen AC/DC-Gleichrichter mehr benötigen. Dies führt zu einer Reduzierung der Energiewandelverluste und beschleunigt damit die Verbreitung von LED-Systemen.

1.3.3 Effiziente Nutzung von regenerativen Energiesystemen

Der Eigenverbrauch von Solarstrom kann unter Verwendung von ± 380 V DC Netzen ca. 7 % Verluste einsparen, da mehrmalige Wandelverluste bei lokalem Verbrauch entfallen. Auch stationäre Batteriespeicher, Windgeneratoren oder Microturbinen zur Energieerzeugung profitieren von geringeren Wandelverlusten und erhöhen dadurch ihre Effizienz.

1.4 Arbeitsgebiete des Verbundvorhabens

Um dem hohen Anspruch des Vorhabens, der Realisierung einer Einsparung von mindestens 5% des Verbrauches an elektrischer Energie gerecht werden zu können, haben sich sowohl auf europäischer Ebene als auch vor allem auf deutscher Ebene führende Anbieter und Forschungseinrichtungen im Bereich Energiemanagement und Komponenten zu einem Konsortium zusammengeschlossen. Das Projektkonsortium deckt mit den Technischen Universitäten in Eindhoven und Brno, der Fraunhofer Gesellschaft, EBM Papst, der E-T-A Elektrotechnische Apparate GmbH, MTT BV, SolCalor BV, Heliox BV, Infineon, Siemens, Philips und Emerson eine breite Wertschöpfungskette von der anwendungsorientierten Forschung über die mittelständische Industrie, die Halbleiterhersteller bis zum OEM vollständig ab und ist in der Lage, ganzheitliche Lösungen auch komplett in Europa zu produzieren.

Von den deutschen Partnern werden im Rahmen des Projektes folgende, zentrale Elemente eines hocheffizienten ± 380 V DC Netzes entwickelt:

- Architekturen und Energiemanagementsysteme zur optimalen Gleichstromverteilung
- Hocheffiziente zentrale Gleichrichter als Schnittstelle zum bestehenden Niederspannungsnetz (Ortsnetz) mit netzstabilisierender Wirkung
- Komponenten und Systeme zur Netzabsicherung

- Gleichstromkomponenten wie z.B. Elektromotoren mit Frequenzumrichtern (Kühltruhen, Ventilatoren) und IT-Infrastruktur
- Anforderungsspezifische Halbleitertechnologien und darin entwickelte hocheffiziente elektronische Steuerungskomponenten und Sensoren

2 Technischer Ansatz auf Ebene der elektrischen Energieverteilung in kommerziell genutzten Gebäuden

Das Verbundprojekt DCC+G untersucht die in Bild 2 dargestellte Gleichstromverteilung als effizientere Alternative zu der in Bild 1 skizzierten Drehstromverteilung.

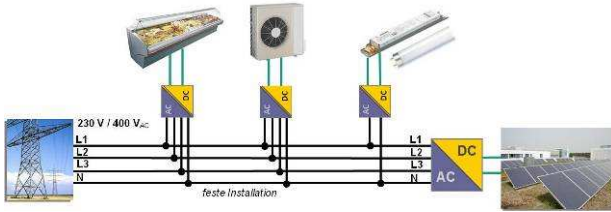


Bild 1: Stand der Technik zur Verteilung elektrischer Energie in kommerziell genutzten Gebäuden

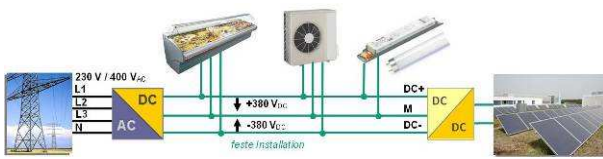


Bild 2: Hocheffiziente, innovative Architektur zur Verteilung elektrischer Energie in Gebäuden

Dabei übernehmen ein oder mehrere zentral angeordnete, bidirektionale AC/DC-Wandler die Schnittstelle zum bestehenden Niederspannungsnetz. Auf diese Weise werden zwei unterschiedliche technische Herausforderungen der Zukunft gelöst.

- Diese hochwertige, leistungselektronische Komponente kann als intelligentes hoch funktionales Element innerhalb eines „smart grid“ aufgefasst werden. Dadurch werden neue Möglichkeiten zur Regelung von Strom und Spannung im Niederspannungsnetz eröffnet. Prinzipiell können so Blindleistung und Oberwellen im Niederspannungsnetz lokal kompensiert werden. Darüber hinaus ergibt sich auch auf diese Weise die Möglichkeit, durch geeignete Steuerung mehrere dieser „Gleichrichtereinheiten“ in gewissen Grenzen zu einer so genannten virtuellen Synchronmaschine zu verschalten, und so in einem bestimmten Rahmen die Netzqualität zu erhöhen.
- Eine Vielzahl von Gleichrichter- bzw. Leistungsfaktorkorrekturereinheiten in elektrischen Anwendungen, die derzeit benötigt werden, um Verbraucher wie z.B. LED-Beleuchtungssysteme, drehzahlgeregelte Antriebe

in Wärmepumpen, Klimaanlage, Kühlgeräten und Ventilatoren mit elektrischer Energie zu versorgen, würden zu einer großen Einheit zusammen gefasst. Die dadurch möglichen Skalenvorteile führen zu einem höheren Wirkungsgrad und zu geringeren Systemkosten pro Watt installierter Leistung

Der mit dieser Architektur verbundene Energiefluss ist schematisch in Bild 3 dargestellt.

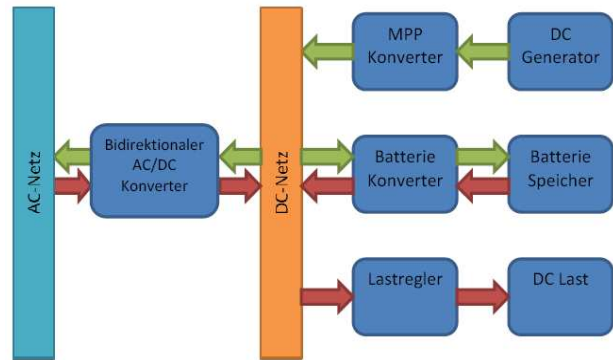


Bild 3: Neuartiger Energiefluss zwischen AC und DC-Netzen in Gebäuden

Der mit dieser Architektur verbundene Systemwechsel bei der Verteilung von elektrischer Energie in Gebäuden benötigt Forschung und Entwicklung auf den drei in Bild 4 dargestellten Ebenen. Alle drei relevanten Ebenen, dezentrale elektrische Energieerzeugung in Form von Gleichstrom und Gleichspannung, Gleichstromverteilung und Gleichstromverbraucher werden deshalb intensiv im Rahmen des Verbundprojektes DCC+G untersucht.

DCC+G Building Blocks

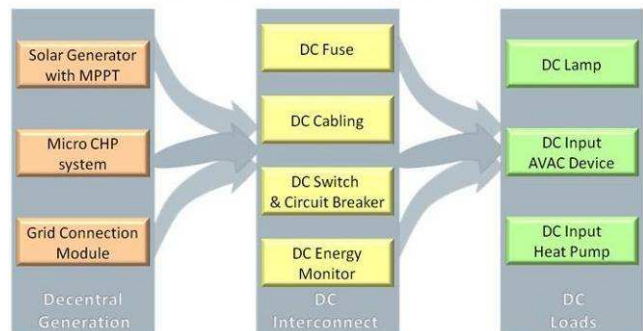


Bild 4: Schematische Darstellung der notwendigen Bestandteile einer Systemlösung zur DC-Verteilung

3 Effizienzsteigerung durch DC-Netze

Die erwarteten Effizienzsteigerungen werden vor allem in den Bereichen Niederspannungsgleichstromverteilung, Gleichstromverbraucher und Gleichstromquellen erzielt, deshalb wird im Folgenden auf diese drei Bereiche näher eingegangen.

3.1 Effizientere Verteilung von elektrischer Energie

Das Verbundvorhaben untersucht ein Niederspannungsgleichstromsystem, das elektrische Quellen, Speicher und Lasten mit 1-phasiger Gleichspannung von 380 V DC oder 2-phasiger Gleichspannung von ± 380 V DC verbinden kann. Der Gleichspannungsnennwert von 380 V hat sich in der internationalen Diskussion als vorteilhaft herausgestellt, weil er oberhalb des Amplitudenwertes der relevantesten Netzwechselspannungen von $220 \text{ V}_{\text{RMS}}$ bis $240 \text{ V}_{\text{RMS}} \pm 10\%$ liegt. **Bild 5** verdeutlicht diesen Wechselspannungsbereich mit den vorgeschlagen Gleichspannungsnennwerten. Diese Spannungsverhältnisse ermöglichen besonders kostengünstige und effiziente Zentralgleichrichter. Solarwechselrichter, die im Prinzip auch als Zentralgleichrichter arbeiten könnten, erreichen heute bereits in der Leistungsklasse von 20 kW Wirkungsgrade von bis zu 99 % [4]. Derzeit werden in verschiedenen internationalen Standardisierungsgremien zwei Toleranzbereiche für 380 V Gleichspannungssysteme diskutiert. In Rechenzentren kommt es auf allerhöchste Versorgungssicherheit der Spannungsversorgung an. In diesen Gleichspannungssystemen werden Batteriespeicher auf einfache und kostengünstige Weise direkt angeschlossen. Der Arbeitsbereich der Batteriespannungen von 260 V bis 400 V legt dabei den Toleranzbereich für den Wert der Gleichspannung fest [5]. Das Verbundvorhaben untersucht hingegen Niederspannungsgleichstromnetze, die Vorteile gegenüber üblichen 230 V Wechselspannung und 400 V Drehstromnetzen aufweisen. Für solche Gleichspannungsnetze wird ein engerer Toleranzbereich von 360 V bis 400 V vorgeschlagen. Batteriespeicher werden in diesen Gleichstromsystemen immer über einen DC/DC-Wandler angeschlossen, wodurch der Batteriestrom geregelt werden kann.

Ein weiterer wichtiger Pluspunkt für Gleichstromnetze ist ein intrinsisch gegebener Scheitelfaktor gleich eins, d.h. der Scheitelwert entspricht dem Effektivwert. Eine 4-Leiter, 2-Phasen Gleichstromleitung (**Bild 7**) kann trotz eines Leiters weniger bei gleicher Stromstärke 10% mehr Wirkleistung übertragen als eine 400 V Drehstromleitung (**Bild 6**). Wenn man die Leitungsverluste in einer symmetrisch belasteten Drehstromleitung als Referenz nimmt, kann eine 2-Phasen Gleichstromleitung sogar 35 % mehr Leistung übertragen. Der Strom in zwei Gleichstromleitern einer Leitung kann $\sqrt{\frac{3}{2}}$ oder 22 % größer werden, wenn er die selben Verluste verursacht wie die drei Ströme in einer Drehstromleitung, gleiche Kabelquerschnitte vorausgesetzt. Ein weiterer Vorteil von Gleichstromnetzen ist, dass sie nicht durch Blindstrom belastet werden. Gleichstromnetze ermöglichen es daher entweder die gleiche Wirkleistung mit geringerem Kupferverbrauch zu übertragen oder alternativ den Spannungsabfall und damit Verluste auf der Leitung zu reduzieren.

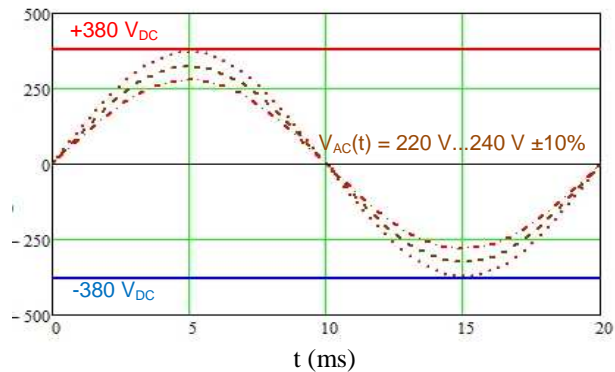


Bild 5 Vergleich sinusförmiger Netzspannungen und vorgeschlagene Gleichspannungsnennwerte

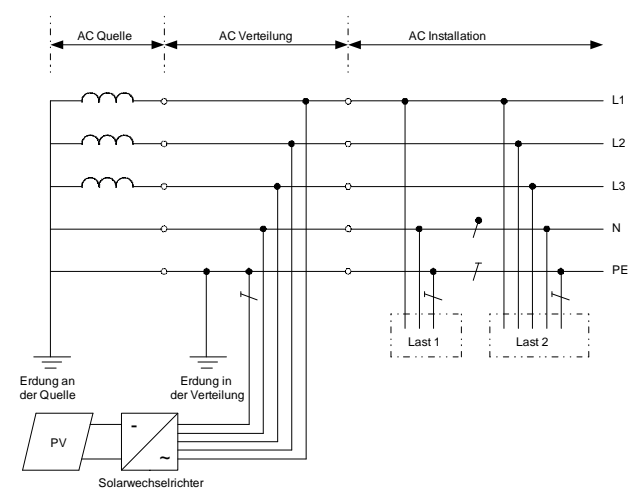


Bild 6 TN-S Niederspannungsdrehstromnetz

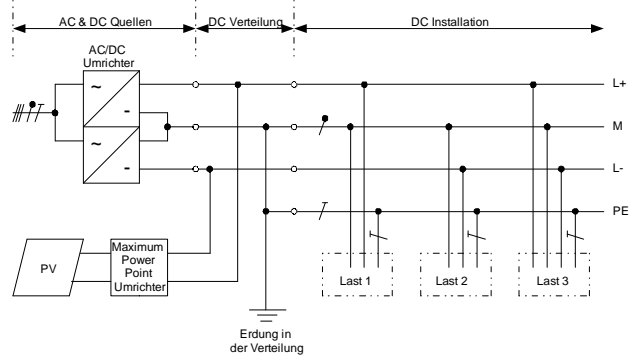


Bild 7 TN-S Niederspannungsgleichstromnetz

4 Standardisierung

Niederspannungsgleichstromnetze müssen international standardisiert sein, damit Komponenten verschiedener Hersteller in Installationen miteinander kombiniert werden können. Auf internationaler Ebene werden neue technische Standards für Gleichstromsysteme bis 1500 V DC von einer Arbeitsgruppe im IEC koordiniert [6, 7]. Deutsche Firmen engagieren sich bei der Deutschen Kommission für Elektrotechnik, (DKE) im VDE, nationale und internationale Standards in enger Zusammenarbeit mit der IEC zu erweitern [8].

Glücklicherweise sind bereits in vielen technischen Standards Details zu Niederspannungswechselstromnetzen und Niederspannungsgleichstromnetzen dokumentiert. Ein wichtiger Standard ist zum Beispiel IEC 60364-1 [9], der unter anderem verschiedene Erdungsschemata für Gleichstrom- und Drehstromnetze definiert. Die Bilder 6 und 7 skizzieren AC und DC Niederspannungsnetze mit TN-S Erdung entsprechend dieses Standards. Da auf absehbare Zeit AC und DC Niederspannungsnetze in Gebäuden parallel installiert werden, wird vorgeschlagen, für das DC Niederspannungsnetz das gleiche Erdungsschema wie für das AC Netz zu verwenden. In speziellen Anwendungen, wie zum Beispiel Rechenzentren, wird man hiervon aber auch abweichen können.

5 Steuerungskomponenten und Sensoren

Moderne Leistungshalbleiter ermöglichen mit ihrer intrinsisch wesentlich höheren Effizienz völlig neue, früher nicht umsetzbare Anwendungen. Ein großtechnisches Beispiel dafür ist die Übertragung von elektrischer Energie über große Entfernungen, welche heute mittels 800kV Gleichstromleitungen erfolgt, oder die verlustarme Steuerung der Lokomotiven von Hochgeschwindigkeitszügen, in denen Halbleiterbauelemente (IGBTs - Isolated Gate Bipolar Transistors) Leistungen von bis zu 1 MW optimal dosiert über die Motoren auf die Schiene bringen. **Bild 8** zeigt einen dieser Halbleitermodule, von denen eine Elektrolokomotive bis zu 50 enthält.



Bild 8 IGBT Halbleitermodul der Firma Infineon

Aber auch bei vergleichsweise niedrigen Leistungen spart der Einsatz innovativer Halbleiterelemente Energie: Sie sind die entscheidenden Komponenten in den Netzgeräten von Mobiltelefongeräten, um im Leerbetrieb den Verbrauch auf <1mW zu drücken.

Im Rahmen des Projekts DCC+G wird eine weitere Generation von IGBTs entwickelt, welche durch die Anwendung einer Micro-Pattern Trench (MPT) Technologie die Verluste im Durchlassbereich des Transistors und während des Schaltens signifikant reduziert. Dies ermöglicht entweder das Schalten höherer Leistungen durch Elemente in kleineren Gehäusen oder die Reduktion der Verlustleistung bei konstantem Formfaktor.

Neben dem Einsatz für die jeweilige Anwendung optimaler Schalter benötigt ein Gleichstromnetz auch diverse Sensoren für die Strom- und Spannungsmessung. Einerseits werden hochgenaue Stromsensoren eingesetzt, um eine der extrem verlustarmen Schaltern entsprechende Optimierung der Stromflüsse im System zu gewährleisten. Andererseits braucht man Sensoren mit kurzer Ansprechzeit, um die Möglichkeiten des kontrollierten Abschaltens durch Halbleiterschalter voll ausnutzen zu können und auf diese Weise sowohl die Anforderungen eines Gleichstromnetzes an Eigensicherheit als auch an die Sicherheit im Falle eines Unfalls erfüllen zu können.

6 Demonstratoren

Im Rahmen des Projektes sind zwei Demonstrationen geplant. Zum einen erfolgt im Fraunhofer-Institut IISB eine Realisierung des vorgestellten Konzeptes mit dem Fokus auf einer Umstellung der typischen AC-betriebenen Bürobeleuchtung hin zu einem DC-Betrieb. Zum anderen ist geplant, einen Gewerbebetrieb (vorzugsweise einen Supermarkt) mit einem DC-Netz und den hierfür notwendigen Komponenten umzurüsten.

6.1 Demonstration für ein Bürogebäude

In **Bild 9** ist eine mögliche Architektur für die geplante Demonstration in einem Bürogebäude dargestellt. Neben dem Fokus der Umstellung auf eine DC-gespeiste Bürobeleuchtung, wofür als wesentliche Komponente ein zentraler AC/DC-Wandler benötigt wird, werden auch weitere Komponenten in die Demonstration mit einbezogen. So erfolgt auch die Einbindung einer 10 kW PV-Anlage und eines bidirektionalen stationären Ladegerätes. Mit Hilfe dieser Komponenten können besonders energieeffiziente Ansätze zur direkten Nutzung regenerativ gewonnener Energie, als auch Fahrzeug-am-Netz-Szenarien (*vehicle to grid* - V2G) getestet werden. Zudem wird ein bereits bestehendes 24 V DC-Netz zur Versorgung typischer Kleinleistungsverbraucher im Bürobereich mit angekopelt.

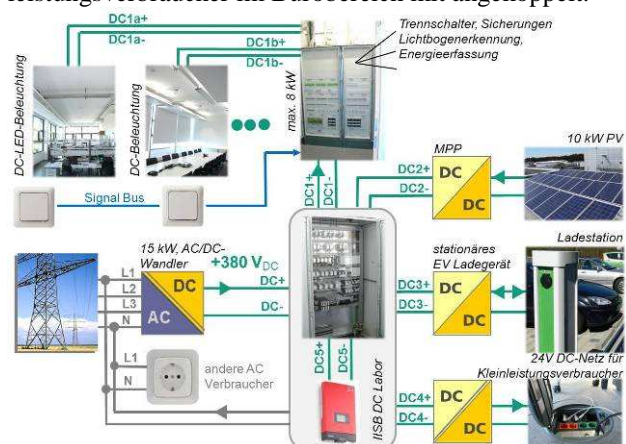


Bild 9 Mögliche Architektur zur Demonstration für ein Bürogebäude

Aufgrund der bestehenden Problematik der Lichtbogenbildung beim Abschalten von DC-Strömen bei hohen

Spannungen werden auch neuartige Komponenten zur Sicherstellung der Betriebssicherheit von DC-Netzen, wie z.B. Trennschalter, Sicherungselemente oder Einheiten zur Erkennung von Lichtbögen, getestet werden. Zum Nachweis der erhöhten Effizienz im Vergleich zu typischen AC-Installationen wird ein DC-geeignetes Energieerfassungssystem installiert werden.

6.2 Demonstration für einen Supermarkt

Eine zweite Demonstration einer Gleichstrominstallation soll im Rahmen des Verbundprojektes in einem Supermarkt realisiert werden. Dies ist motiviert durch das heutige Einkaufsverhalten, dementsprechend sehr viele Lebensmittel gekühlt oder tiefgekühlt gekauft werden. Dies hat zur Folge, dass Supermärkte heute einen signifikanten Energieverbrauch für Kühl- und Tiefkühleinrichtungen aufweisen. Als Beispiel wird hier auf die Zahlen des REWE Green Building Supermarktes in Berlin verwiesen [10]. Die Energieversorgung dieses Gebäudes wird ausschließlich mit Elektrizität in Form von Wechselstrom realisiert. Der spezifische, jährliche Energieverbrauch dieses Gebäudes für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung ist mit etwa 210 kWh/m^2 bereits deutlich höher als bei den oben beschriebenen Bürogebäuden. Hinzu kommt der spezifische, jährliche Energieverbrauch für Kühl- und Tiefkühleinrichtung von etwa 290 kWh/m^2 . Von diesem spezifischen Energieverbrauch in Summe von 500 kWh/m^2 pro Jahr werden 96 % in fest installierten elektrischen Anlagen umgesetzt, die für eine energieeffiziente Gleichstromversorgung prädestiniert sind. Auf dem Dach dieses Supermarktes wird zudem mit einer Solarstromanlage zunächst Gleichstrom erzeugt, der nach dem Stand der Technik im Wechselstrom umgewandelt wird, bevor er in einer der vielen elektrischen Anlagen wahrscheinlich wieder in Gleichstrom umgewandelt wird. Mit dem Demonstrationsvorhaben in einem Supermarkt sollen mindestens die Beleuchtungseinrichtungen, Lüftungsanlagen und Solarstromanlagen in zwei Teilnetzen gleicher Nennleistung jeweils mit einem 400 V Drehstrom und einem $\pm 380 \text{ V}$ Gleichstromnetz verbunden werden. Beide Teilnetze sollen mit intelligenten Stromzählern für detaillierte Messungen ausgerüstet werden, um die Unterschiede von Drehstrom- und Gleichstromverteilung sowie dezentralen und zentralen Gleichrichtermodule messtechnisch zu belegen.

7 Danksagung

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung und der Europäischen Union für die Förderung des Projektes DCC+G (BMBF FKZ 13N12113; ENIAC Nr. 296108 "DC Components and Grid")

8 Literatur

- [1] M. Jakob et.al: Stromverbrauch in Bürogebäuden – Erhebung und Analyse von Energiekennzahlen, 15. Schweizerisches Status-Seminar „Energie- und Umweltforschung im Bauwesen“, 11./12. September 2008, ETH Zürich
- [2] M.N. Fisch: EVA – Evaluierung von Energiekonzepten für Bürogebäude, Abschlussbericht Förderkennzeichen 0327346A, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
- [3] Umweltbundesamt: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2010 und erste Schätzungen 2011, April 2012, <http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf>
- [4] Photon Profi: Der mit dem Plus, Test SMA STP 20000TLHE-10, Dezember 2011, Seiten 40-47
- [5] European Telecommunications Standards Institute: Environmental Engineering (EE); Power supply interface at the input to telecommunications and datacom (ICT) equipment; Part 3: Operated by rectified current source, alternating current source or direct current source up to 400 V; Sub-part 1: Direct current source up to 400 V, European Standard ETSI EN 300 132-3-1 V2.1.1 (2012-02)
- [6] International Electrotechnical Commission: Standardization Management Board Strategic Group 4 (IEC SMB SG4) http://www.iec.ch/about/annual_report/2010/technical/smb7.htm
- [7] W. De Kesel: Introduction to the IEC SMB SG4 workshop on LVDC, 2011, <http://www.vde.com/en/dke/dkework/newsfromthecommittees/2011/documents/1.pdf>
- [8] DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE: Arbeitsgruppe TBINK.LVDC "Niederspannungsgleichstromverteilnetze", Ansprechpartner Herr Dirk Barthel, dirk.barthel@vde.com
- [9] International Electrotechnical Commission: Low voltage electrical installations – Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions, Standard IEC 60364-1, 5th Edition 2005
- [10] REWE: Erster Supermarkt mit DGNB-Prädikat in Gold spart fast 50 % Energie, <http://www.rewe-group.com/nachhaltigkeit/energie-klima-umwelt/energieeffizienz/green-building/>