

Energieeffiziente Gleichstromnetze für kommerziell genutzte Gebäude

Energy Efficient DC-Grids for Commercial Buildings

Dipl.-Ing. Leopold Ott, Fraunhofer IISB, Erlangen, Deutschland, leopold.ott@iisb.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Ulrich Böke, Philips Research, Eindhoven, Niederlande, ulrich.boeke@philips.com

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

Kurzfassung

Durch moderne, hocheffiziente Leistungselektronik besteht die Möglichkeit nahezu alle elektrischen Verbraucher in kommerziell genutzten Gebäuden, z. B. die Beleuchtung, die IT-Infrastruktur, sowie drehzahlgeregelte Antriebe, direkt mit lokalen regenerativen Energieerzeugern, z. B. Photovoltaik-Anlagen und Mikro-BHKW, über ein Gleichspannungsnetz zu versorgen. Durch die hiermit verbundene Einsparung von DC/AC und AC/DC-Umwandlungen besteht die Möglichkeit zur Einsparung von elektrischer Energie und von passiven und aktiven elektronischen Bauelementen. Die vorgeschlagene Gleichstromarchitektur hat zudem den Vorteil, dass im Vergleich zu einer konventionellen AC-Verteilung Leiterquerschnitte in Kabeln und Leitungen halbiert werden können. Dies ist ein Kostenvorteil und es schont begrenzte Rohstoffressourcen. Der fehlende Nulldurchgang im Spannungsverlauf bei Gleichspannungsnetzen stellt jedoch spezielle Anforderungen an Leistungsschalter und Schutzeinrichtungen, um intern auftretende Lichtbögen beim Abschalten geeignet zu löschen.

Abstract

Modern and highly efficient power electronic devices enable the immediate supply of almost all electric power consumers in commercial buildings, e. g. lighting, IT-equipment and speed-controlled drives, out of locally available regenerative energy sources such as photovoltaic and micro-CHP units using a DC grid. The reduced number of DC/AC and AC/DC conversions holds a potential for electric energy savings and the reduction of passive and active electronic components. Another advantage compared to a conventional AC supply arises from the possibility to halve the conductor cross-sections. That is a cost advantage and it saves on the limited copper resources. Yet, the missing voltage zero-crossing of DC makes special demands on circuit breakers and protection equipment to extinguish electric arcs in suited ways.

1 Einführung

Ein Beitrag zur Schonung fossiler Energiereserven und Reduzierung von Treibhausgas-Emissionen kann durch die Steigerung der Energieeffizienz von kommerziell genutzten Gebäuden erbracht werden, die in Europa für 40 % des Energieverbrauchs verantwortlich sind. Die Europäische Union hat daher im Artikel 9 der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden festgelegt, dass neue Gebäude ab 2019 bzw. 2021 nur noch als Niedrigstenergiegebäude zugelassen werden sollen [1]. Das Verbundvorhaben „Direct Components and Grid“ (DCC+G) adressiert die hieraus resultierenden strategischen Herausforderungen, Lösungen für eine optimale Gleichstromverteilung bei einer Spannung von $\pm 380 \text{ V}_{\text{DC}}$ vorzuschlagen [2]. Mehrere europäische Forschungsministerien fördern dieses Projekt, dessen Ergebnisse anhand zweier Demonstratoren, einem Bürogebäude und einem Verbrauchermarkt, gezeigt werden sollen. Zu diesem Zweck haben sich zwölf Projektpartner (Siemens, Philips, Infineon, Emerson Network Power, Emerson Climate Technology, Fraunhofer IISB, ETA, Heliox, MTT, SolCalor, Universität Brno und die Technische Universität Eindhoven) aus Industrie und Forschung zu einem die gesamte Wertschöpfungskette abdeckenden Konsortium zusammengeschlossen. Nach ersten Untersuchungen sind Einsparungen von etwa 5 % der elektrischen Energie zu erwarten.

Der vorliegende Konferenzbeitrag gliedert sich wie folgt: Abschnitt 2 beschreibt die Netzarchitektur des DC-Netzes im Vergleich zum konventionellen AC-Versorgungsnetz, Abschnitt 3 erläutert die Vorteile einer Gleichspannungsversorgung exemplarisch für Beleuchtungsanwendungen und drehzahlgeregelte Antriebe, Abschnitt 4 beschreibt detailliert den geplanten Demonstrator für ein Bürogebäude und Abschnitt 5 fasst die bisherige Arbeit zusammen.

2 Aufbau des DC-Netzes

2.1 Nennspannungen

Die Partner des Verbundvorhabens DCC+G untersuchen ein 2-Phasen Gleichspannungsnetz mit $\pm 380 \text{ V}$ Nennspannung. Eine DC Spannungsbetrag pro „Phase“ von 380 V ist vorteilhaft, weil diese Spannung bereits heute in vielen Anwendungen intern verwendet wird. **Abbildung 1** illustriert, dass eine DC Spannungsamplitude von 380 V etwas oberhalb der maximalen Netzspannungsamplitude von 358 V ($110\% \cdot \sqrt{2} \cdot 230 \text{ V}$) in Europa liegt. Hierdurch können relative einfache Konverterschaltungen für zentrale AC/DC Umrichter verwendet werden. Wie im heutigen Drehstromnetz werden im vorgeschlagenen Gleichstromnetz Anwendungen mit Leistungen bis etwa 2 kW aus ei-

ner Gleichstromphase mit 380 V versorgt. Anwendungen mit größerer Nennleistung, z. B. Antriebe, werden mit einer Nennspannung von 760 V versorgt. Während europäischen Standards für das Niederspannungsdrehstromnetz Spannungsschwankungen von $\pm 10\%$ erlauben, soll das Gleichspannungsnetz Spannungsschwankungen von maximal $\pm 5\%$ aufweisen.

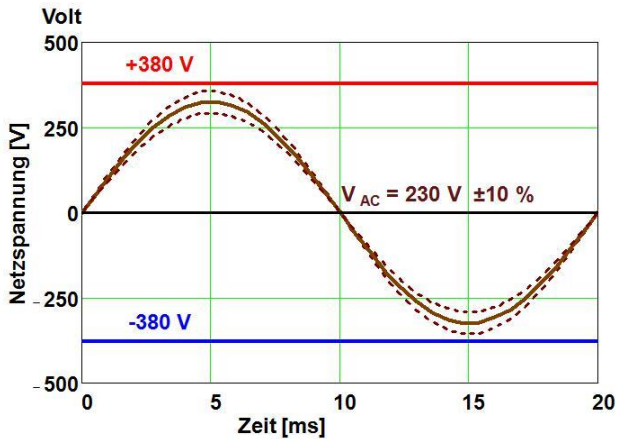


Abbildung 1: Vergleich sinusförmiger Netzspannungen und vorgeschlagene Gleichspannungsnennwerte

2.2 Vergleich von AC- und DC-Netz

Das vorgeschlagene Gleichstromnetz hat gegenüber Drehstrom verschiedene Vorteile. **Abbildung 2** illustriert Leitungsverluste durch reinen Wirkstrom in einer 400-V-Drehstromleitung anhand eines Beispiels, in dem drei Lastgruppen mit zusammen 6.600 W versorgt werden. Der Leiterstrom von 10 A verursacht an den angenommenen Leiterwiderständen von 1Ω einen Spannungsabfall von 10 V und damit Verluste in Höhe von 300 W, das entspricht 4,3 % der Eingangsleistung des Kabels. Im Neutralleiter N fließt kein Strom, weil sich die drei Phasenströme mit einer Phasenverschiebung von jeweils 120° Grad zu Null addieren. Eine zusätzliche Blindleistungsübertragung im Kabel würde die Verluste weiter erhöhen. Wird bei einer Gleichstromübertragung der gleiche Gesamtleiterquerschnitt für das Kabel wie im Beispiel mit Drehstrom berücksichtigt, dann folgt daraus ein um 25 % größerer Leiterquerschnitt, da für die zwei Phasen im Gleichstromnetz ein Leiter weniger erforderlich ist (**Abbildung 3**). Damit reduziert sich der Leiterwiderstand um 20 % auf $0,8 \Omega$. Um nun zwei Lastgruppen mit jeweils 380 V und einer Gesamtleistung von 6.600 W zu versorgen, sind zwei Phasenströme von jeweils 8,85 A erforderlich. Diese Phasenströme erzeugen im Gleichstromkabel Verluste von 125 W, das entspricht hier 1,9 % der Eingangsleistung des Kabels. Damit sind die Kabelverluste im Gleichstrombeispiel um 58 % geringer als die Verluste im Drehstromkabel bei gleichem Gesamtleiterquerschnitt. Allgemeiner ausgedrückt halbieren sich die Leitungsverluste durch den Übergang von einer Drehstromübertragung auf die vorgeschlagene Gleichstromübertragung durch den höheren Effektivwert der Spannungen im Gleichstromnetz. Zusätzliche Verluste durch eine Blind-

strombelastung treten bei der Verwendung Gleichspannung prinzipiell nicht auf.

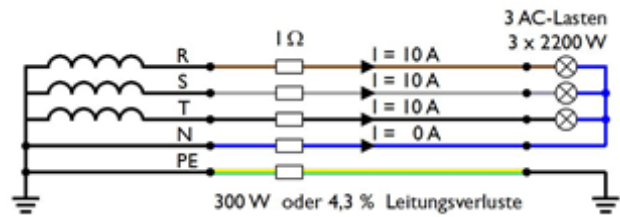


Abbildung 2: Beispiel für Verluste in einem 400 V Drehstromkabel

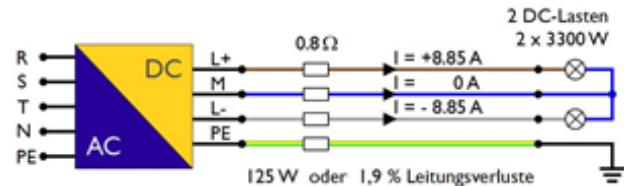


Abbildung 3: Verluste in einem ± 380 V Gleichstromkabel

2.3 Schutztechnik und Steckverbindungen zum sicheren Trennen von Betriebsmitteln unter Gleichspannungsbelastung

Der fehlende Spannungsnulldurchgang bei einer Niederspannungs-Gleichstromversorgung führt dazu, dass im Fehlerfall (z. B. Kabelbruch in Folge von Materialermüdung) und beim Trennen von Betriebsmitteln unter Last im Gegensatz zum AC-Fall der entstehende Schaltlichtbogen nicht automatisch erlischt, wodurch es zu gefährlichen Betriebssituationen kommen kann. Das hierbei entstehende Elektronenplasma erreicht Temperaturen von bis zu 10000°K , was zum Entzünden der umgebenden Materialien und zu Personenschäden führen kann. Erschwerend kommt hinzu, dass Lichtbogenfehler, die in Serie zur Last auftreten nicht ohne weiteres an der speisenden Quelle detektiert werden können, da der elektrische Widerstand des Lichtbogens den Stromfluss von der Quelle zur Last reduziert. Dies wird nicht von einer konventionellen Überstromerkennung detektiert. Man bedient sich hierbei vor Allem der Analyse des Frequenzspektrums, um einen seriellen Lichtbogenfehler anhand seines charakteristischen Störspektrums zu detektieren. **Abbildung 4** zeigt eine Aufnahme eines typischen Frequenzspektrums des gemessenen Stroms mit und ohne Lichtbogenfehler.

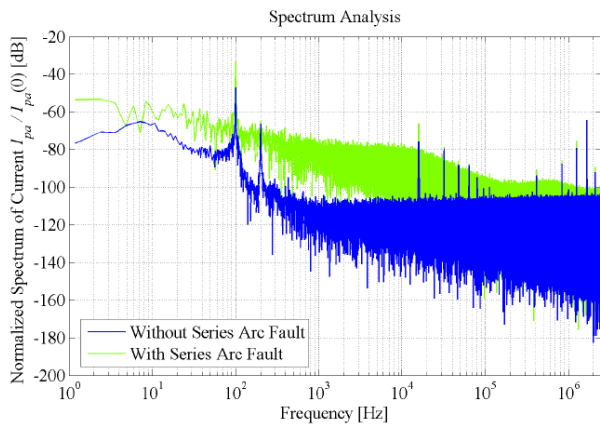


Abbildung 4: Frequenzspektrum einer Strommessung mit und ohne Lichtbogenfehler [3]

Weitere Analysen zu Lichtbogenfehlern und deren Detektion und Löschung finden sich in [3] und [4]. Ein guter Überblick über verschiedene Technologien zum Schalten von DC-Strömen findet sich in [5].

Die Anwendungen innerhalb des DCC+G-Projektes sind allesamt nicht steckbar ausgeführt, somit sind Probleme mit auftretenden Lichtbögen beim Trennen von Lasten nicht zu erwarten. Um das DC-Netz zukünftig auch auf steckbare Anwendungen, wie z. B. informationstechnische Anwendungen zu erweitern, wurde am Fraunhofer Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie eine Steckverbindung zur sicheren Trennung von Betriebsmitteln unter Gleichspannungsbelastung und bidirektionalem Energiefluss entwickelt, welche in **Abbildung 5** dargestellt ist.

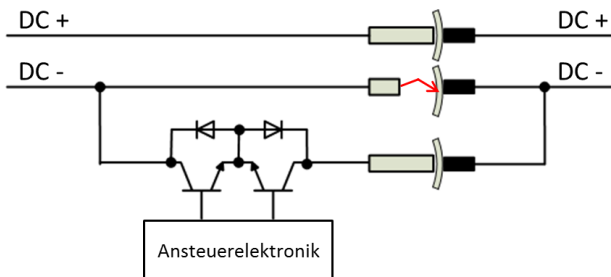


Abbildung 5: Schaltbild der DC-Steckverbindung mit zwei Hauptkontakten und einem Hilfskontakt mit Halbleiterelektronik

Der Steckverbinder weist zwei Hauptkontakte, wovon einer voreilend ausgebildet ist, sowie eine elektrische Reihenschaltung aus einem Hilfskontakt und einer Halbleiterelektronik auf. Diese Reihenschaltung ist elektrisch parallel zum voreilenden Hauptkontakt geschaltet. Der mechanische Aufbau ist dabei so gestaltet, dass beim Trennen dieser Hauptkontakt zwangsweise vor dem Hilfskontakt getrennt wird (nacheilender Hilfskontakt). Dies kann durch eine mechanische Verlängerung des Hilfskontakts ausgeführt werden oder indem der Hauptkontakt gegenüber dem parallel geschalteten Hilfskontakt zurückgesetzt im Rahmen geeigneter ausgeführter Steckerteile ausgebildet wird, wie in **Abbildung 5** gezeigt.

Die Steckverbindung ist so ausgelegt, dass keine zusätzliche Hilfsenergieversorgung für die Ansterelektronik

der Halbleiter notwendig ist, sondern die Energie zur Kommutierung des Stroms vom Haupt- auf den Hilfskontakt wird unabhängig von der Stromrichtung vollständig durch die Energie des entstehenden Schaltlichtbogens beim Trennen der Verbindung bereitgestellt. Die Halbleiterelektronik weist zwei antiseriell verschaltete, von der Ansterelektronik angesteuerte leistungselektronische Schalter auf. Es kann sich bei diesen Schaltern um IGBTs oder MOSFETs handeln.

Die Ansterelektronik umfasst als Energiespeicher einen Kondensator und einen Vollweggleichrichter als Ladeschaltung. Diese beiden Bestandteile sind so verschaltet, dass der sich ausbildende Lichtbogen über dem Hauptkontakt den Energiespeicher über die Ladeschaltung auflädt. Die gespeicherte Energie im Kondensator wird nun dazu verwendet, die Leistungshalbleiter einzuschalten. Der Strom kommutiert dann folglich vom Hauptkontakt auf den Hilfskontakt.

Die Ansterelektronik enthält ferner ein Schaltglied, welches einen Einschaltimpuls mit definierter Zeitdauer liefert. Nach Ablauf der vorbestimmten Zeitspanne t wird der Schalter wieder vom stromleitenden in den stromsperrenden Zustand geschaltet. Der Stromfluss wird somit lichtbogenfrei unterbrochen.

Die entstehende elektrische Verlustleistung beim Trennvorgang ist vernachlässigbar klein, wodurch keine zusätzliche Kühlung für die Steckverbindung erforderlich ist. Der mechanische Aufbau kann daher vergleichbar zu konventionellen Steckverbindern für AC-Technik ausgeführt werden.

3 Gleichstromquellen

3.1 Zentraler AC/DC Umrichter

Das vorgeschlagene Gleichstromnetz für Gebäude soll an einem zentralen Ort, zum Beispiel in der Nähe des Stromzählers, mit einem Zentralumrichter an das Niederspannungsdrehstromnetz angeschlossen werden. Der Zentralumrichter kann im Idealfall bidirektional arbeiten, das bedeutet, er kann mit elektrischer Leistung aus dem Drehstromnetz die Spannung im Gleichstromnetz auf die konstante Nennwerte regeln. Bei Stromüberschüssen aus lokalen Gleichstromquellen soll der Zentralumrichter aber auch Elektrizität in das Drehstromnetz einspeisen können, wenn die dabei zu berücksichtigten Netzparameter dies zulassen. **Abbildung 6** illustriert eine mögliche Schaltungstopologie für einen Zentralumrichter aus [6]. Für Zentralumrichter werden Wirkungsgrade um die 98% angestrebt, die heute bereits bei Drehstromwechselrichtern für Solarstromanlagen erreicht werden. Gegenüber Gleichrichtern mit Leistungsfaktorkorrekturschaltung für 1-Phasen Wechselspannung kann damit der Wirkungsgrad um die 3% verbessert werden.

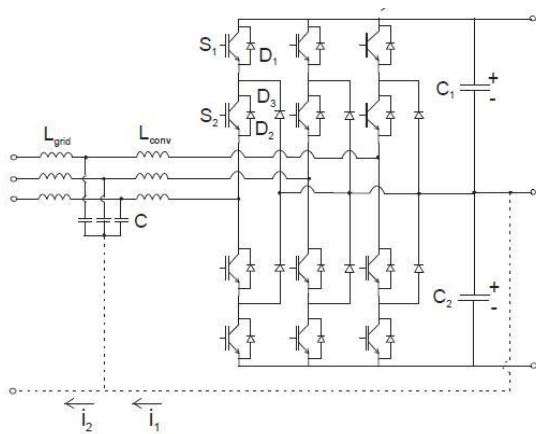


Abbildung 6: Beispielschaltung für einen Zentralumrichter in Drei-Level-Technologie nach [6]

3.2 Solarstromanlagen

Die für die Zukunft geforderten Nullenergiegebäude nutzen heute überwiegend thermische und elektrische Solartechnik, um interne Energieverbräuche im Jahresmittel zu kompensieren [7]. Aufgrund der in **Abbildung 7** dargestellten günstigen Kostenentwicklung von Strom aus Photovoltaik Systemen wird deren Strom bevorzugt selbst verbraucht. Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn Solarstrommodule den erzeugten Gleichstrom über einen als Maximum Power Point Tracker (MPPT) funktionierenden DC/DC Konverter direkt in ein Gleichstromnetz einspeisen können. Ein solcher Konverter kann prinzipiell einfacher als ein Solarwechselrichter aufgebaut werden und kann daher mindestens einen gleich guten, wenn nicht sogar höheren Wirkungsgrad aufweisen. Die Leitungsverluste im Gleichstromnetz können, wie oben dargestellt, im Vergleich zum Drehstromnetz reduziert werden. Verluste in Gleichrichter- und Leistungsfaktorkorrekturschaltungen von Applikationen entstehen, wie im folgenden Abschnitt gezeigt, nicht mehr. Damit kann selbstgenutzter Solarstrom, entsprechend der Wirkungsgradsteigerung durch Gleichstromnetze, nochmals günstiger gegenüber den bisherigen Szenarien (**Abbildung 7**) verwendet werden.

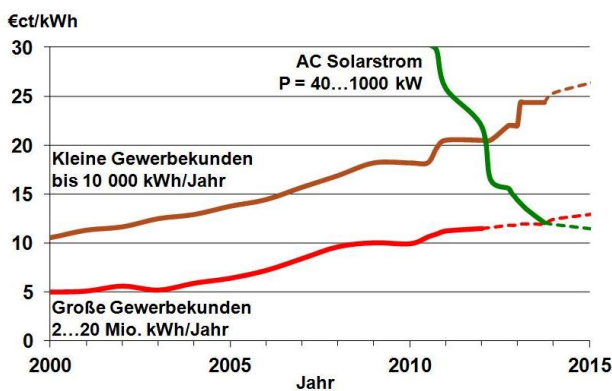


Abbildung 7: Strompreisentwicklung in Deutschland
Gewerbekundenpreise ohne Mehrwertsteuer nach DESTATIS und RWE, AC Solarstrompreise entsprechend EEG Vergütung

4 Gleichstromlasten

Bei Speisung aus dem konventionellen Niederspannungs-AC-Netz wird in nahezu allen elektronischen Geräten in kommerziell genutzten Gebäuden, z. B. in Vorschaltgeräten von Lampen, in Schaltnetzteilen von IT-Geräten, sowie in drehzahlgeregelten Antrieben, die Wechselspannung zunächst gleichgerichtet. Die Gleichrichtung erfolgt hierbei durch eine passive Diodenbrücke, bei welcher die Leitdauer der Ventile durch den Verlauf der Netzspannung vorgegeben ist. Die Glättung der Spannung auf der DC-Seite erfolgt durch einen Glättungskondensator C_d . Diese Art der Gleichrichtung belastet jedoch das speisende Netz mit nicht-sinusförmigen Strömen, die die Oberschwingungsblindleistung im AC-Netz erhöhen und somit zusätzliche Verluste im Netz darstellen. Der Leistungsfaktor λ ist hier sehr niedrig.

Es wird daher in der Regel eine von zwei Möglichkeiten, den verwendet den Leistungsfaktor der Gleichrichterstufe zu erhöhen. Zum einen kann eine zusätzliche Induktivität in die Zuleitung auf der AC-Seite eingebaut werden. Diese verzögert den Anstieg des Ladestroms, wodurch die höherfrequenten Anteile des Netzstroms reduziert werden und der Leistungsfaktor gesteigert wird. Dieses kostengünstige Verfahren wird als passive PFC (*Power Factor Correction*) bezeichnet und kommt v. A. bei kleinen Leistungen zum Einsatz.

Daneben existiert noch die Möglichkeit, durch eine aktive PWM-gesteuerte Schaltung die Kurvenform des Netzstroms sinusförmig zu regeln. Die Schaltung arbeitet wie ein Hochsetzsteller und ist in **Abbildung 8** zu sehen.

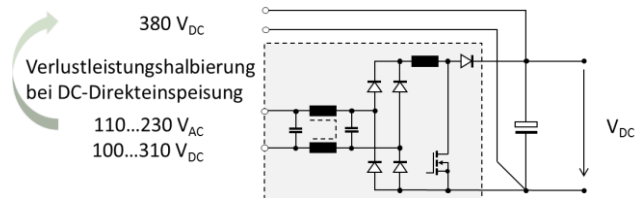


Abbildung 8: Aktive PFC-Schaltung bei AC Einspeisung im Vergleich zur direkter Speisung aus einem DC-Netz

Der resultierende Wirkungsgrad der Gleichrichter-Schaltung (Netzfilter, Diodengleichrichter und PFC-Stufe) beträgt etwa 95 %. Bei einer angenommenen Effizienz von 95 % für den nachgeschalteten DC/DC-Wandler, der das gewünschte Spannungsniveau für die Anwendung bereit stellt, bedeutet das, dass 50 % der gesamten Verluste eines Schaltnetzteils durch die Gleichrichterschaltung verursacht werden. Zusätzlich hierzu verursacht diese Stufe durch ihren großen Bedarf an passiven elektronischen Bauteilen ca. 50 % der Kosten des Schaltnetzteils und bildet mehr als 2/3 des Bauvolumens [8]. Eine Speisung aus einem Gleichstromnetz birgt daher große Kosten- und Effizienzvorteile für die einzelnen Komponenten.

Im Gleichstromnetz ist nach **Abschnitt 3.1** nur noch eine AC/DC-Schnittstelle als Verbindung zum AC-Netz notwendig. Durch die Verwendung einer zentralen Gleichrichtung kann also im Vergleich zur konventionellen Nie-

derspannungs-AC-Versorgung die Verlustleistung um ca. 5 % reduziert werden, was **Abbildung 9** veranschaulicht.

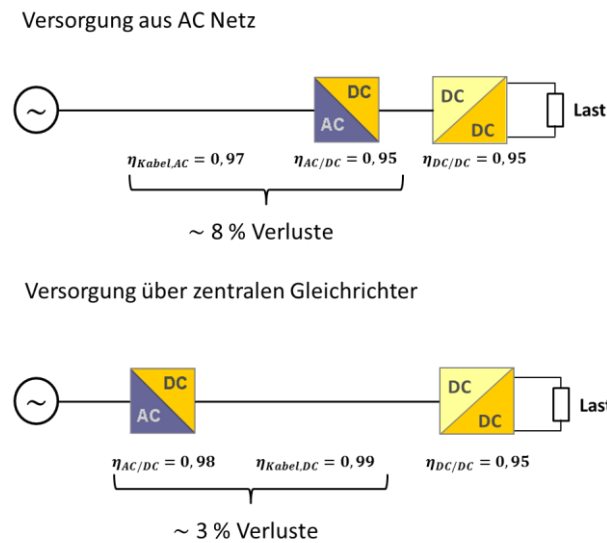


Abbildung 9: Minimierung der Verlustleistung bei zentraler Gleichrichtung

4.1 Lichttechnik

LED Beleuchtungssysteme erreichen heute für sehr viele Anwendungen deutlich bessere Wirkungsgrade als Leuchtstoff- und Gasentladungslampen [9]. Da LED's mit Gleichstrom betrieben werden, sind sie geradezu prädestiniert für eine Stromversorgung aus einem Gleichstromnetz. Durch den Wechsel von einer Wechselspannungsversorgung auf die vorgeschlagene Gleichspannungsversorgung können Vorschaltgeräte deutlich kompakter werden. Zudem erwärmen sich LED Lampen und Leuchten weniger, weil die Verluste des Gleichrichters nun in den Zentralumrichter verlagert werden.

4.2 Drehzahlgeregelte Antriebe

In vielen Anwendungen kann die Energieeffizienz von elektrischen Antrieben durch Drehzahlregelungen gesteigert werden. Ein Beispiel hierfür sind drehzahlgeregelte Antriebe für Wärmepumpen [10]. Um einen Drehstrommotor in der Drehzahl zu regeln benötigt man eine Drehstromquelle mit variabler Frequenz. Diese Drehstromquelle wird als Wechselrichter, die aus einer Gleichrichterstufe gespeist wird, ausgeführt. Die Gleichspannungsversorgung ist durch einen Zwischenkreis mit einem Energiespeicher gepuffert. Am häufigsten wird für diesen Energiespeicher ein Kondensator verwendet. Die Kombination aus Gleichrichter, Zwischenkreis und Wechselrichter wird als Frequenzumrichter bezeichnet. Der Frequenzumrichter wird idealerweise so ausgeführt, dass ein generatorischer Betrieb, bei dem elektrische Leistung in das Drehstromnetz zurückgespeist wird, möglich ist. Die Drehzahl des Antriebs wird durch die Steuerung der Frequenz des Wechselrichters ermöglicht. **Abbildung 10** zeigt schematisch den Aufbau eines derartigen Frequenzumrichters bei Speisung aus einem AC-Netz.



Abbildung 10: Schema eines Frequenzumrichters mit Gleichspannungszwischenkreis nach [11]

Dieser Aufbau bietet den Vorteil, mehrere Antriebe an einer gemeinsamen DC-Sammelschiene zu betreiben und diese gegebenenfalls anstatt der Zwischenkreiskondensatoren durch Pufferbatterien vor Netzausfall zu schützen. Die DC-Sammelschiene kann als Teil des Niederspannungs-Gleichstromnetzes ausgeführt werden und ermöglicht eine Reihe drehzahl geregelter Antriebe, z. B. in Klimageräten von kommerziell genutzten Gebäuden, effizient in das Gesamtsystem zu integrieren. Es besteht so auch die Möglichkeit weitere Energiequellen, beispielsweise Windenergiekonverter oder Mikro-Blockheizkraftwerke (BHKW) in das DC-Netz einbinden und so den Grad der Autonomie des Netzes zu erhöhen.

5 Testnetz für ein Bürogebäude

Die Machbarkeit des vorgeschlagenen Konzeptes für eine DC-Netzverteilung wird praxisnah an Hand eines Demonstrators erprobt. Hierfür wird ein Teil des Bürogebäudes des Fraunhofer Instituts für Integrierte Systeme für Bauelementetechnologie in Erlangen als Testfeld umgebaut. Als regenerative Energiequelle steht eine PV-Anlage mit einer Peakleistung von 10 kW zur Verfügung. Die PV-Anlage ist in drei Strings gegliedert, die jeweils eine maximale Systemspannung von 420 V bereitstellen. Der Anschluss an das 380 V_{DC}-Netz erfolgt entweder über einen DC/DC-Wandler mit MPPT-Algorithmus (Maximum Power Point Tracking). Dieser kann entweder für jeden String ausgeführt oder panelintegriert sein. Letztere Möglichkeit garantiert vor allem bei einer fassadenintegrierten Installation der PV-Anlage eine hohe Energieausbeute. Beide Varianten werden im DCC+G-Projekt untersucht. Als weitere Energiequelle ist ein Mikro-BHKW mit einer elektrischen Nennleistung von 3 kW vorgesehen. Die Lasten, die direkt an 380 V_{DC} angeschlossen werden, umfassen ein Beleuchtungsnetz mit einer maximalen Leistung von ca. 6 kW. Das Beleuchtungsnetz besteht sowohl aus Leuchtstoffröhren, als auch aus modernen LED-Leuchten. Des Weiteren wird innerhalb des Projektes ein Ladegerät für ein Elektrofahrzeug (EV) evaluiert, welches ein direktes Laden der Fahrzeugbatterie aus dem DC-Netz ermöglicht. Zusätzlich zu diesen Lasten wird ein durch das 380 V_{DC}-Netz gespeistes 24 V_{DC}-Netz im Bürobereich implementiert, um informationstechnische Komponenten, wie z. B. Laptops und Monitore direkt mit Gleichspannung zu versorgen. Die maximale Leistung für dieses Kleinspannungsnetz liegt bei ungefähr 300 W. Eine solche Kleinspannungs-Versorgung kann in einer weiteren Ausbaustufe auch für weitere Büroräume installiert werden. Die Schnittstelle zum konventionellen Niederspannungs-AC-Netz wird durch einen Gleichrichter mit einer Nennleistung von 15 kW sicherge-

stellt. Der schematische Aufbau des DC-Testnetzes ist in **Abbildung 11** zu sehen.

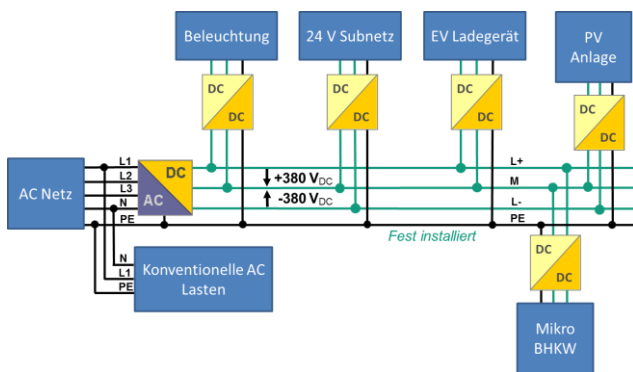


Abbildung 11: Schematischer Aufbau des DC-Testnetzes am Fraunhofer IISB

6 Zusammenfassung

Das vorgestellte Projekt DCC+G bietet einen vielversprechenden Ansatz, um kommerziell genutzte Gebäude effizient und zuverlässig mit einem hohen Anteil an lokal erzeugter regenerativer Energie zu versorgen und damit die zukünftigen Energieeffizienzrichtlinien der Europäischen Union für Gebäude noch kostengünstiger zu erfüllen. Der Umstieg von konventioneller Wechselspannungsversorgung auf Gleichstrom reduziert sowohl die Verlustleistung, als auch die Kosten für leistungselektronische Betriebsmittel und hat daher auch wirtschaftliche Vorteile. Durch eine ausgefeilte Sicherheitstechnik, die alle möglichen Fehlerfälle zuverlässig erkennt, ist ein sicherer Betrieb des Systems jederzeit gewährleistet. Ferner wurde in diesem Beitrag eine elektrische Steckverbindung beschrieben, die dem Nutzer die gleiche Handhabung beim Ein- und Ausstecken von elektronischen Geräten ermöglicht, wie bei konventioneller AC-Netztechnik.

7 Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die erfolgreiche Zusammenarbeit bei den Partnern des DCC+G Projektes, bei dem Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie der Europäischen Union für die Förderung des Projektes DCC+G (BMBF FKZ 16N12113; ENIAC Nr. 296108 "DC Components and Grid") und bei Prof. Dr. Waffenschmidt von der Fachhochschule Köln für die Unterstützung in diesem Projekt.

8 Literatur

- [1] Europäische Kommission: Richtlinie 2010/31/EU vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. http://ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings/buildings_de.htm
- [2] Direct Current Components and Grid, www.dcc-g.eu
- [3] Strobl, Meckler: Arc faults in photovoltaic systems, Proceedings of the 25th ICEC & 56th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, ICEC 2010 / Charleston, 2010
- [4] Strobl, Christian: Arc fault detection in AC and DC systems, E-T-A Elektrotechnische Apparate GmbH, Altdorf, Germany, 2012
- [5] Meckler, Peter: Switching of DC Currents, ECPE Cluster Seminar LV DC Grids, Erlangen, 11-08-2012
- [6] J. Rekola, H. Tuusa: Comparison of line and load converter topologies in a bipolar LVDC distribution, Proceedings of the European Power Electronic Conference 2011, ISBN 9789075815153
- [7] K. Voss, E. Musall: Nullenergiegebäude. Detail Green Books, ISBN 978-3-920034-50-8. <http://shop.detail.de/de/buecher/detail-green-books/nullenergiegebäude.html>
- [8] März: Energiesparen in Haushalt und Büro, Fraunhofer Innovationscluster „Elektronik für nachhaltige Energienutzung“ Kick-Off Meeting, 2010
- [9] Philips Lighting: Sustainable lighting for industry, Brochure, http://www.lighting.philips.com/pwc_li/main/application_areas/industry/sustainable-industries/images/sustainable-lighting-for-industry-brochure-final-int-lr.pdf
- [10] L. Gasser et al: Effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpen durch kontinuierliche Leistungsregelung, besonders Kapitel 8.3, Schlussbericht Dezember 2011, http://www.bfe.admin.ch/forschungwkk/02425/02724/02732/index.html?dossier_id=03594&lang=en
- [11] Specovius: Grundkurs Leistungselektronik-Bauelemente, Schaltungen und Systeme, 2013, ISBN 978-3-8348-2447-9