

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 103 (2012)
Heft: 8

Artikel: Effiziente Gleichstromversorgung im Rechenzentrum
Autor: Schärer, André
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-857326>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 07.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Effiziente Gleichstromversorgung im Rechenzentrum

Realisiertes Projekt zeigt Potenziale auf

Rechenzentren weisen enorme Leistungsdichten auf und verbrauchen grosse Mengen an Energie – rund hundertmal mehr Energie pro Quadratmeter als ein Bürogebäude. Kreativität ist also gefragt, um die Energieeffizienz von Rechenzentren zu steigern. Ein Ansatz, der in einem realisierten Projekt nicht nur positive Zeichen bezüglich der Energieeffizienz setzt, sondern auch den Platzbedarf und die Investitionen reduziert, besteht darin, Gleichstrom statt Wechselstrom einzusetzen.

André Schärer

Betrachtet man alle Rechenzentren weltweit, so werden jährlich rund 80 Mio. MWh an Energie verbraucht, was etwa 2% der weltweiten CO₂-Emissionen entspricht. In Kürze werden diese Werte den Verbrauch beispielsweise von Argentinien oder den Niederlanden erreichen.

Jährlich kommen weltweit mehr als 5,75 Mio. neue Server hinzu, d.h. die weltweiten CO₂-Emissionen aus Rechenzentren werden sich bis zum Jahr 2020 vervierfachen, falls sich der Strommix nicht grundlegend ändert. Die Anschlussleistung eines mittelgrossen Rechenzentrums entspricht derjenigen von 25000 Privathaushalten in den USA oder fast doppelt so vielen in Europa.

Dieser unaufhaltsame Trend verlangt nach neuen Lösungen. Der Ruf nach Energieeffizienz und flächendeckendem Einsatz erneuerbarer Energien wird immer grösser.

Es gibt verschiedene Ansätze, Rechenzentren ökologischer zu gestalten; die Gleichstromtechnologie ist nicht der einzige Weg, um dieses Ziel zu erreichen. Standort und Design des Rechenzentrums, technische Fortschritte von Servertechnologien und im Bereich der Kühlung, eine bessere Auslastung, operationelle Philosophien etc. leisten alle einen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz.

Grundsätzlich führt eine Optimierung, die sich nur auf einzelne Komponenten beschränkt, eher zu einem suboptimalem Gesamtsystem. Der Schlüssel zum Erfolg liegt im engen Zusammenspiel von Besit-

zern und Betreibern von Rechenzentren und deren Lieferanten für IT-Hardware, elektrische Infrastruktur und Kühlungsinfrastruktur.

Gleichstromtechnologie

Wir leben in einer Welt, die durch den Einsatz von Elektrizität in der Form von Wechselstrom (AC) und Gleichstrom (DC) geprägt ist. Nach anfänglichen Disputen zwischen den AC-Befürwortern Nicola Tesla und George Westinghouse mit dem DC-Befürworter Thomas A. Edison, gegen Ende des 19. Jahrhunderts, hat sich der Wechselstrom schliesslich

durchgesetzt und dominiert nun schon über 100 Jahre die Stromübertragung und -verteilung.

Im heutigen digitalen Zeitalter sind jedoch immer mehr mit Gleichstrom betriebene Geräte im Einsatz – Konsumelektronik, industrielle IT, LED-Beleuchtungstechnik, Elektrofahrzeuge, um nur ein paar Beispiele zu nennen. Am anderen Ende der Energieversorgungskette befinden sich Fotovoltaikanlagen oder Windparks, die Gleichstrom erzeugen. In den heutigen Energieübertragungs- und Versorgungsnetzen sind daher mehrere Umwandlungen und Transformationen notwendig, wovon jede ihren Beitrag zu den Gesamtverlusten von der Erzeugung bis zum Verbrauch leistet.

Einen Spezialfall bildet seit über 50 Jahren die Hochspannungs-Gleichstromübertragung HGÜ, bei der grosse Leistungen auf sehr hohen Spannungsebenen von Punkt zu Punkt übertragen werden, um die Verluste zu minimieren.

Die steigende Anzahl an DC-Verbrauchern und die Fortschritte in der Leistungselektronik motivieren uns, unseren Einsatz der Wechselstromtechnologie zu überdenken.



Bild 1 ABB-Mitarbeiter der Geschäftseinheit Niederspannungssysteme im Gleichstrom-Versorgungstrakt im Rechenzentrum der Green Datacenter AG.

Weltweit leistungsstärkstes Gleichstrom-Rechenzentrum

Gerade Rechenzentren eignen sich besonders gut für eine Versorgung mit Gleichstrom, ohne dabei viele verschiedene Spannungsniveaus zur Verfügung stellen zu müssen. Der Grund liegt darin, dass es eine Vielzahl identischer oder zumindest ähnlicher Verbraucher gibt (Server, Speicherung etc.), die den Hauptanteil des Energieverbrauchs ausmachen.

Green Datacenter AG, die Betreiberin des Rechenzentrumsge­schäfts des Internetproviders Green.ch, hat sich entschlossen, die 1100-m²-Erweiterung des 3300 m² grossen Rechenzentrums in Zürich West in Gleichstromtechnologie mit ABB als Partner auszuführen.

Technische Lösung

Um die Effizienz in einem grösseren Ausmass prüfen zu können, wurde entschieden, das Gleichstromversorgungssystem auf eine Leistung von knapp 1 MW auszulegen. Weltweit sind bereits einige kleinere und ähnliche Systeme im Einsatz, die hauptsächlich Forschungs- und Entwicklungszwecken dienen.

Bei der Wahl der Gleichspannung hat man sich auf 400 V geeinigt. Einerseits gilt es, die Spannung möglichst hoch zu halten, um die Verluste und die Menge an Kupfer zu minimieren. Andererseits müssen Personensicherheit und Kompatibilität mit den zu versorgenden Verbrauchern, also der IT-Hardware, berücksichtigt werden. Zudem gibt es Anzeichen dafür, dass sich der Gleichspannungsbereich 380–400 V zum Standard in der Versorgung und Verteilung innerhalb von Infrastrukturbauten entwickeln könnte. Gremien wie die IEC (International Electrotechnical Commission), die

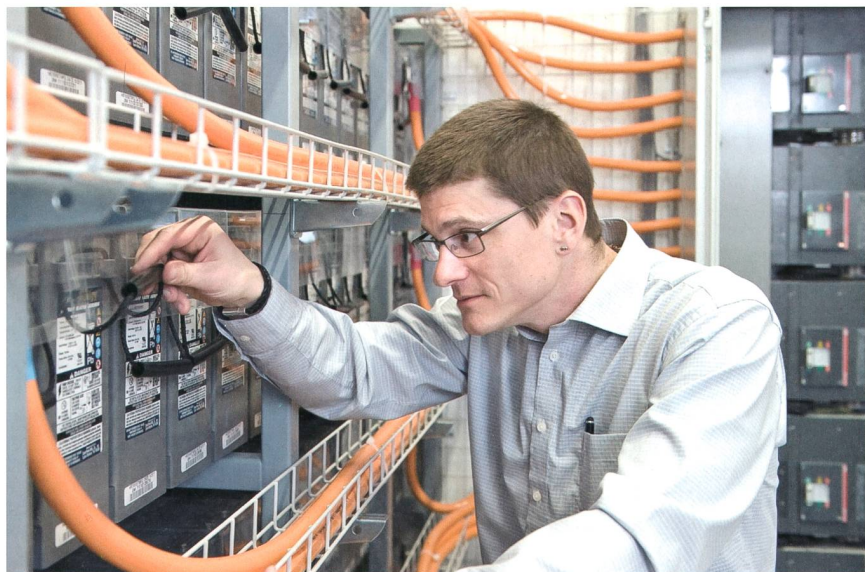


Bild 2 Batterien für die Notstromversorgung des Datenzentrums.

Nema (National Electrical Manufacturers Association) oder die Emerge Alliance¹⁾ befassen sich seit geraumer Zeit mit diesem Thema.

Entlang der gesamten Gleichstromversorgungskette kommt bewährte und erprobte Technologie zum Einsatz, um eine hohe Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit sicherzustellen. Die zentrale Gleichrichtereinheit wurde zwar spezifisch für dieses Projekt entwickelt, in deren Kern befindet sich aber modernste, modulare Leistungselektronik, wie sie in einer Vielzahl anderer Anwendungen Verwendung findet.

Vom Netz bis zum Server

Die redundante Netzeinspeisung durch das lokale Energieversorgungsunternehmen erfolgt auf der 16-kV-Mittelspannungsebene von zwei unabhängigen Unterwerken. Diese Einspeisungen

werden zusammen mit der Notstrom-einspeisung eines Dieselgenerators zunächst auf eine gasisolierte Mittelspannungs-Schaltanlage geführt. Eine übergeordnete Steuerung mit automatischer Umschaltung sorgt dafür, dass abhängig vom Betriebszustand (Normalbetrieb, Notstrombetrieb, Testbetrieb) die richtigen Schalter zum richtigen Zeitpunkt in die richtige Stellung gebracht werden.

Gleichrichtung

Der einzige Abgang der Mittelspannungs-Schaltanlage speist unmittelbar in die zentrale Gleichrichtereinheit. Innerhalb dieser Einheit befindet sich zunächst ein hocheffizienter, 3-Wicklungs-Trockentransformator mit einer Scheinleistung von 1100 kVA, um die 16 kV auf Niederspannungsniveau zu transformieren. Dann sorgen zwei parallele, thyris-

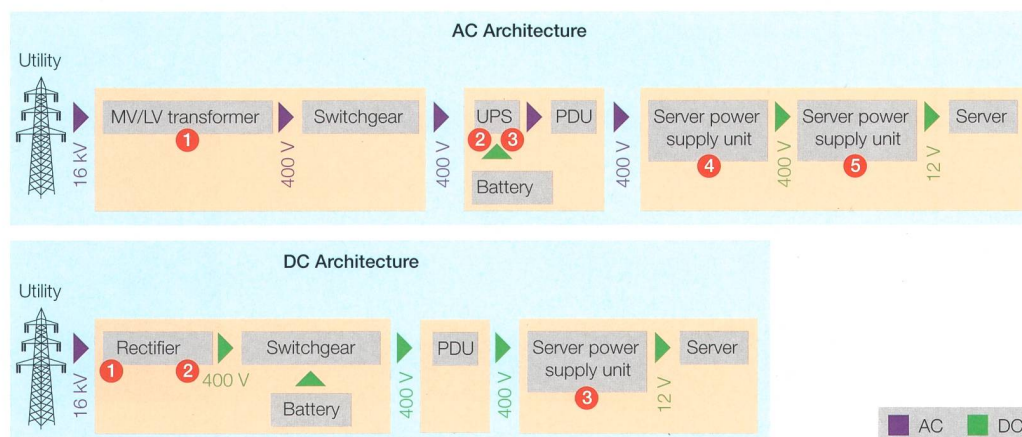


Bild 3 Vergleich der Wechselstrom- mit der einfacheren und energieeffizienteren Gleichstrom-Architektur.

torbasierte, 6-pulsige Gleichrichtermodule für die eigentliche Umwandlung in DC – dieser Schritt geschieht je einmal für die Energieversorgung der Server (Hauptversorgung) und für die Ladung der Batterien (Ladegerät), die bei voller Leistung eine Autonomiezeit von rund 10 Minuten garantieren.

Die Gleichrichtermodule sind ausgangsseitig in Serie geschaltet, sodass sie einen Mittelpunktabgriff ermöglichen und dieser auf Erde gelegt werden kann. Es ergibt sich ein Dreileiter-System mit den Leitern L+ (+200 V), M und L- (-200 V). Die Gleichspannung gegenüber Erde beträgt in einem solchen System mit Mittelpunkterdung also absolut betrachtet 200 V. Dies ist weniger als in einem vergleichbaren Wechselstromsystem, bei dem die Sternspannung bekanntlich 230 V ist. Dieser Aspekt bildet einen integrierten Bestandteil der Personensicherheit.

Schaltanlage

Die nachfolgende Niederspannungs-Schaltanlage (Hauptverteilung) stellt einerseits die Schnittstelle zu den Batterien dar, die – über Dioden entkoppelt – an der Lade- bzw. Entlade-Sammelschiene angeschlossen sind (Bild 2 und 4). Andererseits dient diese Schaltanlage der Verteilung der Energie an die sogenannten PDU (Power Distribution Units), welche sich unmittelbar neben den IT-Räumen befinden.

Die Schaltanlage (Bild 1 und 3) ist auf eine Gleichstrom-Nennbetriebsspannung von 400 V ausgelegt und kann einen maximalen Dauerstrom von 3 kA führen. Um im Normalbetrieb sowie im Fall eines Kurzschlusses Personen- und Anlagensicherheit gewährleisten zu können, wurde die Schaltanlage zudem in einem unabhängigen Labor rigoros geprüft und zertifiziert – das Zertifikat attestiert eine maximale Bemessungsstossstromfestigkeit von 65 kA, wodurch den Gegebenheiten in diesem Projekt Rechnung getragen wird (z.B. Beitrag der Batterien im Kurzschlussfall etc.).

Power Distribution Units

Zwei 400-V-Gleichstrom-PDU verteilen schliesslich die Energie innerhalb der IT-Räume, wo allenfalls und je nach Anforderungen der Kunden noch Remote Power Panels (RPP) zum Einsatz kommen, die eine feinere Verteilung vornehmen und schliesslich die Server speisen. Diese PDU basieren grundsätzlich auf

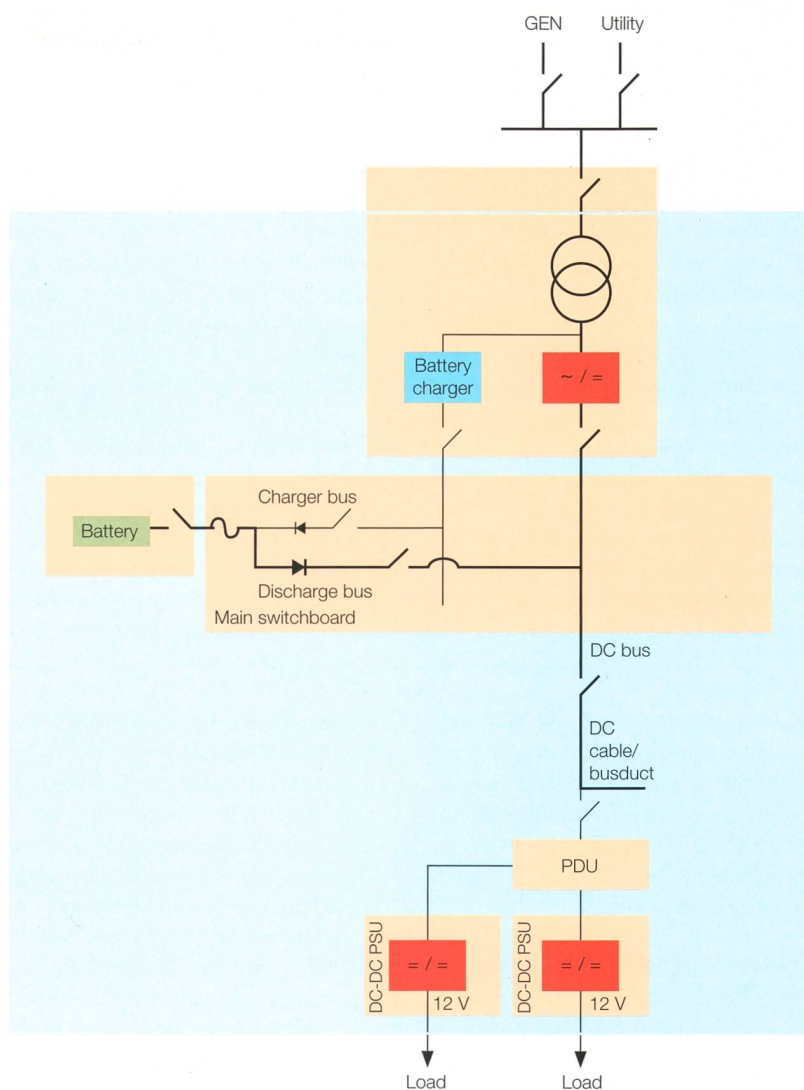


Bild 4 Übersichtsschema der DC-Stromversorgung.

demselben Niederspannungs-Schaltanlagensystem wie die zuvor beschriebene Hauptverteilung und weisen – bis auf den Nennstrom von je 1,6 kA – dieselben Leistungsdaten auf.

Der einzige Unterschied besteht darin, dass jeder Abgang eine hochpräzise Messung auf Basis des Shunt-Messprinzips enthält. Dies eröffnet nicht nur die Möglichkeit der individuellen Energiemessung, sondern erlaubt es auch, voraussagende Wartung zu betreiben, indem die Temperatur in jedem Leiter (L+ und L-) in Echtzeit gemessen und aufgezeichnet wird. Stellt das übergeordnete Leitsystem einen abnormalen Zustand oder einen negativen Trend fest, so erfolgt eine Intervention durch Fachpersonal, bevor sich überhaupt ein gefährlicher Zustand mit einer damit verbundenen Störung entwickelt.

Server

Den Abschluss der Energieversorgungskette bildet ein Rack mit verschiedenen, marktüblichen Industrie-Standard-Servern der neuesten Generation. Dieser Aufbau mit einem HP X1800 G2 Network Storage System, 4 HP ProLiant DL385 G7 Servern, einem Blade-System c3000 mit 3 x HP BL465c G7 CTO Blades und einem HP 5500-24G DC EI Switch dient ausschliesslich zu Demonstrationszwecken, wobei ABB einige Applikationen darauf betreibt, um Auslastung zu erzeugen.

Es besteht die Ansicht, dass sich mit DC versorgte IT-Hardware von AC-versorgter unterscheidet, was nicht der Fall ist. Der Server ist identisch – unabhängig davon, ob er mit AC oder DC betrieben wird. Der einzige Unterschied liegt im Netzgerät (Power Supply Unit). Bei Gleichstrom kann es im Innern technisch

Résumé

Alimentation efficace en courant continu dans les centres de calcul

Un projet porteur de potentiels

Les centres de calcul concentrent d'énormes densités de puissance et consomment de grandes quantités d'énergie – près de cent fois plus par mètre carré qu'un immeuble de bureaux. Aussi faut-il faire preuve de créativité pour améliorer leur efficacité énergétique. Une approche prometteuse consiste à alimenter les calculateurs en courant continu plutôt qu'en courant alternatif. Un exemple actuel de cette approche est donné dans le cadre d'un projet d'agrandissement du centre de calcul de Green Datacenter AG à Zürich West au sein duquel ABB est intervenu comme partenaire-clé. Le projet démontre qu'il est à la fois possible de réduire de 10 % la consommation d'électricité nécessaire pour l'infrastructure informatique (en ne tenant pas compte de la réduction des dépenses de climatisation) et de faire simultanément baisser de 15 % les coûts d'investissement, tout en nécessitant un encombrement réduit de 25 % pour les composants électriques d'alimentation en courant du centre de calcul.

Toutefois, il existe également des applications pour lesquelles le courant alternatif est plus approprié. L'optimisation des résultats nécessite de considérer les centres de calcul dans leur globalité et de planifier le projet de A à Z, du point d'arrivée du courant du réseau jusqu'au serveur. Dans les plus petits centres de calcul, les économies peuvent par ailleurs s'avérer insuffisantes. Par conséquent, la technologie du courant continu est envisagée de préférence pour les nouveaux centres de calcul de grande envergure. Son utilisation n'est généralement pas rentable pour les rénovations et petits agrandissements d'installations existantes. No

vereinfacht werden (z.B. Wegfall des Gleichrichters am Eingang), was sich zusätzlich positiv auf die Energieeffizienz auswirkt. Äusserlich betrachtet erkennt man bis auf den Anschluss keinen Unterschied. Man spricht daher von einem identischen Formfaktor.

Systemvergleich

Wird die in diesem Projekt umgesetzte Gleichstromversorgung mit einer konventionellen Wechselstromversorgung (wie sie bei Green auch vorkommt) verglichen, stellt man fest, dass bei DC insgesamt zwei Umwandlungen weniger stattfinden. Zunächst fällt die traditionelle USV mit Gleichrichter und Wechselrichter weg. Innerhalb des Netzgeräts des Servers kann ausserdem auf Gleichrichtung am Eingang verzichtet werden.

Bei der Energieversorgung eines Rechenzentrums in Nordamerika, wo der ANSI-Standard (American National Standards Institute) vorherrscht, befindet sich bei Wechselstrom innerhalb des PDU ein zusätzlicher Transformator, um hauptsächlich aus Gründen der Personensicherheit 480/277 V auf das Niveau von 208/120 V zu transformieren. In diesem Fall entfällt bei Gleichstrom auch eine Transformation – dies wirkt sich zusätzlich positiv auf das System aus.

Resultate

Die Diskussionen bezüglich der Vorteile der Gleichstromversorgung in Rechenzen-

tren werden oft auf die Energieeffizienz reduziert, was nicht selten zu kontroversen Ansichten führt. Tatsache ist, dass die Effizienz von der Netzeinspeisung bis zum Server (unter Berücksichtigung des Server-Netzgeräts) durch die reduzierte Anzahl an Umwandlungen je nach Last um bis zu 10 % verbessert werden kann.

Zudem wird die Kühlleistung im IT-Raum reduziert, was den Energiebedarf zusätzlich verringert und einen nicht vernachlässigbaren Beitrag an die Gesamteffizienz des Rechenzentrums leistet.

Leider werden die anderen Vorteile nur selten erwähnt. Im vorliegenden Projekt konnten anhand von Vergleichsmessungen und realen Daten folgende Resultate erzielt werden:

- 10 % verbesserte Energieeffizienz (ohne Berücksichtigung des reduzierten Bedarfs an Kühlleistung im IT-Raum).
- 15 % tiefere Investitionskosten.
- 25 % geringerer Platzbedarf für die elektrischen Komponenten der Stromversorgung des Rechenzentrums.

Wenn weniger Komponenten eingesetzt werden, erhöht sich auch die Zuverlässigkeit, und die Wahrscheinlichkeit eines menschlichen Fehlverhaltens wird reduziert.

Die Kosten für Installation, Betrieb und Wartung sinken ebenfalls aufgrund der einfacheren Architektur und der reduzierten Ausstattung. Die Einsparungen bei den Installationskosten liegen um 20 %. Diese basieren auf den im Projekt gemachten Erfahrungen. Zu den Betriebs- und Wartungskosten können mo-

mentan noch keine qualifizierten Aussagen gemacht werden.

Eine ausgewogene, auf Fakten basierende Evaluation von Gleichstrom- und Wechselstromsystemen muss alle Aspekte von Planungskosten über Baukosten bis hin zu Betriebs- und Wartungskosten berücksichtigen.

Einsatz und DC-Mikro-Netze

Die Gleichstromtechnologie ist nicht grundsätzlich das A und O für Rechenzentren. Es gibt Anwendungen, bei denen Wechselstrom geeigneter ist. Für optimale Resultate müssen Rechenzentren ganzheitlich betrachtet und durchgängig geplant werden – von der Netzeinspeisung bis zum Server. In kleineren Rechenzentren mögen die Einsparungen zudem nicht hoch genug sein.

Daher kommt die Gleichstromtechnologie vorzugsweise bei neuen und grossen Rechenzentren infrage. Bei Sanierungen und kleinen Erweiterungen von bestehenden Einrichtungen lohnt sich ihr Einsatz eher nicht.

Weiteren Schwung erhält diese Technologie aber auch bei der Betrachtung des Rechenzentrums als DC-Mikronetz, das entweder parallel zum Stromnetz oder vollkommen autonom funktionieren kann. Durch Wegfall unzähliger Umwandlungen werden Zusammenschaltung und Kompatibilität von erneuerbaren Energiequellen (Fotovoltaik, Wind etc.), Energiespeicherung (Batterien) und Verbrauchern im Rechenzentrum vereinfacht und Effizienz, Sicherheit und Zuverlässigkeit stark verbessert.

Die Idee des Rechenzentrums als Mikronetz ist übrigens nicht länger Vision – es gibt bereits erste Ansätze und Projekte in diesem Zusammenhang.

Angaben zum Autor



André Schärer ist als Global Data Center Segment Manager und Global Marketing Unit Manager in der weltweiten ABB-Geschäftseinheit «Niederspannungssysteme» tätig. Er ist Elektroingenieur HTL (Windisch), verfügt über ein

Executive Master of Business Administration in General Management und übt seit knapp 8 Jahren bei ABB verschiedene Managementfunktionen aus.

ABB Schweiz AG, 5600 Lenzburg,
andre.schaerer@ch.abb.com

¹⁾ Die Emerge Alliance ist ein offener Industrieverband, der sich die schnelle Übernahme von Gleichstromverteilung in kommerziellen Gebäuden durch einheitliche Standards zum Ziel gesetzt hat. Mehr Informationen auf www.emergealliance.org.