



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Jahresbericht 19.11.2012

Energieeffizienz eines DC-Hauses

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm „Elektrizitätstechnologien und –anwendungen“
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

iHomeLab Hochschule Luzern T&A
Technikumstr. 21
CH-6048/Horw
www.iHomeLab.ch

Autor:

Stephan Tomek, iHomeLab, stephan.tomek@ihomelab.ch

BFE-Bereichsleiter:	Dr. Michael Moser
BFE-Programmleiter:	Roland Brüniger
BFE-Vertragsnummer:	SI/500787-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Projektziele

Studien zeigen, dass durch den Umstieg der Energieverteilung von Wechsel- auf Gleichstrom die Energieeffizienz gesteigert werden kann. In der Marine sind ganze Schiffe mit Gleichstrom-Netzen ausgerüstet worden, selbst moderne Rechenzentren basieren auf einer DC-Verteilung. In diesen Anwendungsbereichen spricht man von 10 – 20% Energieeinsparung, welche lediglich von der Umstellung auf Gleichstromverteilung herrührt.

Das BFE möchte prüfen inwiefern sich die Energieeinsparungen durch die Umstellung oder Ergänzung mit DC in Wohn- und Geschäftsgebäuden realisieren lässt.

Die Einstiegsstudie gliedert sich in folgende vier Teile:

- Recherche zum Thema DC in Gebäuden
- Erheben der statistischen Grundlagen über Wohn- und Geschäftsgebäude in der Schweiz
- Beschreiben des anwendungsspezifischen Potentials für die Steigerung der Energieeffizienz
- Auswerten des Energieeffizienz Potentials in Bezug auf die Situation von Wohn- und Geschäftsgebäuden in der Schweiz

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Grundlagen zu DC in Gebäuden

Um einen allgemeinen Überblick über die Thematik der DC Energieverteilung in Gebäuden zu erhalten, wurden einige grundlegende Aspekte genauer untersucht und in einer Darstellung des ganzheitlichen Nutzens der Umstellung der verteilten Stromform wiedergegeben. Dabei werden nebst den verschiedenen Versorgungsvarianten Synergien und Komplikationen heutiger angewandter Techniken in Bezug auf eine Gleichstrom-Energieverteilung ausgewiesen.

Energieverteilung

Um möglichst die angestrebten Ziele einer gleichspannungsbasierten Energieverteilung verwirklichen zu können, wurde eine geeignete Verteilvariante ausgearbeitet, welcher die für den Verbrauch am geeignetsten Spannungswerte zugrunde liegen. Es galt einen Kompromiss zu finden zwischen den Verlusten, die zum einen von den Leitungswiderständen, andererseits auch von den Spannungswandlern produziert werden, sowie den optimalen Spannungswerten. In der folgenden Abbildung sind die durch einen Kupferleiter verursachten Verluste in Abhängigkeit des geführten Gleichstroms dargestellt.

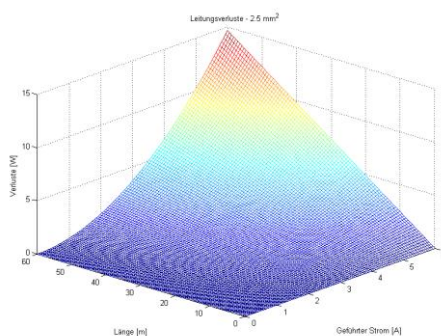


Abbildung 1 - Leitungsverluste in Abhängigkeit des Stromdurchflusses

Die Abhängigkeit zwischen dem geführten Strom und dem Leiterwiderstand wurde bestimmt. Klar ersichtlich ist, dass der Leiterwiderstand linear von der Länge und quadratisch vom Radius des Leiters beeinflusst wird. Kosten, Gewicht und Aufwände geben Anlass dazu, die Leitungen mit möglichst niedrigen Querschnitten zu verlegen, was jedoch durch die erhöhten Verlustleistungen und die damit erzeugte Wärmeentwicklung begrenzt wird. Die aktuell zu verlegenden Leiterquerschnitte sind für die Schweiz im Normenauszug definiert, worauf auch die folgenden Untersuchungen abgestützt werden. Ist nun also der Leiterquerschnitt definiert, können die Leitungsverluste nur noch mittels Variation der Spannung beeinflusst werden, wobei mit einer höheren Spannung für eine konstante Last kleinere Ströme und somit geringere Verluste resultieren. Daher eignen sich höhere Verteilspannungen wohl eher besser, wobei berücksichtigt werden muss, dass bei einer zu hohen Spannung wiederum die zu eliminierenden Netzgeräte aller Niederspannungs-Gleichstrom Geräte für eine Spannungsanpassung erforderlich sind. Aufgrund dieser Gegebenheiten entschied man sich in diversen Berechnungen und Untersuchungen für eine Niederspannungsverteilung von 48VDC, da dieser Spannungslevel unterhalb der zur bedrohlich werdenden Spannungsgrenze von 50VDC liegt. Um grösserer Lasten mit DC zu versorgen, muss ein zweiter Spannungslevel definiert werden.

Wird die Energie mittels Gleichspannung übertragen, so wird die maximal mögliche Spannungshöhe durch die Isolationsfestigkeit der Leiter begrenzt. Werden die heutigen Anwendungen als Basis genommen, kann eine maximale Spannung von 325.26VDC ohne weitere Bedenken auf die Leitungen gegeben werden, da dies dem Scheitelwert der europäischen Wechselspannung entspricht. Mit dieser Voraussetzung stehen nun folgende Möglichkeiten für eine DC Installation zur Verfügung:

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
L1	+ 0..325.26V	+ 0..325.26V	+ 0..325.26V
L2	- 0..325.26V	- 0..325.26V	N.A.
L3	+ 0..230V	N.A.	N.A.
N	0V	0V	0V

Tabelle 1 - Variationen Leiternutzung

Für Geräte mit einer mittleren Leistung würde wohl die dritte Variante mit einer Leiterspannung von mindestens 230VDC zur Anwendung kommen. Da dieser Spannungslevel gleich dem Effektivwert der derzeitig verteilten Einphasen- Wechselspannung ist, würde dies für die meisten Geräte, die in einem Wohn- oder Dienstleistungsgebäude zum Einsatz kommen, eine Umstellung auf eine DC-Verteilung vehement vereinfachen. Auf diesen Vorteil wird später im Bericht verwiesen. Trotzdem sollte für eine Normierung der Verteilspannung die Energieeinsparung, welche mit einer erhöhten Spannung und dem damit einhergehenden proportional reduzierten Strom, erzielt werden kann, nicht ausser Acht gelassen werden.

Obwohl es für Gleichspannungsgeräte keine Dreiphasen-Systeme mehr geben wird, können die Mehrleiter dazu genutzt werden, um jene Geräte mit erhöhtem Leistungsbedarf mit einer entsprechenden höheren Spannung zu versorgen, um so wiederum den Stromfluss möglichst tief zu halten. Wie in den Varianten eins und zwei vermerkt, wäre es denkbar, den Strom in zwei der drei Leitungen mit einer Spannung von +/- 325.26VDC zu verteilen, womit die Geräte mit einer maximalen Spannung von 650VDC versorgt werden könnten. Zusätzlich könnte der dritte Leiter auf ein mittleres Spannungslevel gebracht werden, was den Geräteherstellern zusätzliche Freiheit bieten würde.

Ganz gleich welche Spannungsebenen schlussendlich auf die verschiedenen Leiter gegeben werden: ein wesentlicher Vorteil der DC- gegenüber einer AC-Verteilung ist, dass alle drei Phasen im Hochspannungs-AC-Verteilnetz stets annähernd symmetrisch belastet werden. Dieser Vorteil resultiert aus der Dreiphasen-Gleichrichtung, bei welcher jede der drei Phasen während 2/3 einer Periodendauer belastet wird, jedoch nur dann, wenn keine einphasige Verteilung vorliegt. Daraus lässt sich bereits die Vorgabe ableiten, dass die Spannungswandlung zentral und über alle drei Phasen geschehen muss.

Nun bleibt noch zu untersuchen, welche Stelle in der Verteilung sich für eine Wandlung am besten eignet und wie letztendlich mit der Verteilung die Effizienz gegenüber einer AC-Verteilung am meisten gesteigert werden kann.

Beide Varianten bieten die Möglichkeit, auch weiterhin gewisse Gebäudeinfrastrukturen mit 400VAC zu versorgen, was zwar auf der einen Seite eine Umstellung auf eine DC-Verteilung begünstigt, da keine teuren Hochleistungs-DC-Antriebe angeschafft werden müssen, auf der anderen Seite jedoch dazu verleitet, eine AC-Installation beizubehalten, wobei der Vorteil einer besseren Effizienz, aufgrund des geringeren Stroms der für die gleiche Leistung übertragen werden muss, nicht ausgenutzt wird. Diese Möglichkeit bietet sich bei der Variante eins auch auf der Ebene der Wohnungen, weshalb die zweite Variante zu präferieren ist. Zusätzlich wird bei der letzteren Variante die Anzahl an Stromwandlern auf eine zentrale Einheit reduziert, was die Wandlungsverluste minimiert und so die Verteileffizienz steigert.

Alternativ zu den dargestellten Varianten sollte eine Hybridvariante, bei der nur gewisse Partien der Verteilstruktur mit DC betrieben werden, für eine erste Umsetzung auch miteinbezogen werden. Eine solche Zwischenlösung hätte den Vorteil, dass eine DC-Verteilung für jene Geräte, die ohnehin nur mit DC betrieben werden, einfach in die bisherige Installation integriert werden könnte, wodurch alle externen Netzteile unnötig würden, alle anderen Geräte aber weiterhin mit AC betrieben werden könnten. Des Weiteren würden die Hauptverteilung sowie alle Unterverteilungen keine wesentlichen Veränderungen erfahren, da die Stromwandlung nachstehend allen Schutz und Sicherheitseinrichtungen erfolgen kann. Dies ist ein entscheidendes Kriterium, da es in der gesamten Niederspannungstechnologie noch keine entsprechenden Schutzgeräte - weder für Personen, noch für Leitungen - gibt.

Auswirkungen durch DC

Technologien

Eine Umstellung der verteilten Stromart zieht auch einige noch nicht gelöste technische Probleme mit sich. Wo doch der Trend einer DC Distribution in der Hochspannungstechnik stets zunehmend ist, werden im Bereich der Niederspannungstechnik derzeit noch Studien und Analysen durchgeführt. Dementsprechend gibt es anders als bei der Hochspannung, wo bereits einige HGÜ Leitungen gebaut wurden und erst kürzlich erfolgreich ein Hochspannungs-Gleichstromschalter getestet wurde, im Bereich der Niederspannung - ausser ein paar ganz wenigen Experimentierobjekten - Pilotinstallationen bei Rechenzentren. Aufgrund der geringen Forschungsaktivitäten und des zwar steigenden aber dennoch schwachen Strebens nach DC-Verteilungen, sind derzeit noch Entwicklungen an Leitungsschutzschaltern (LS) sowie Fehlerstromschutzschaltern (FI) notwendig, um diese für DC-Spannungen bis zu 400V einsetzen zu können. Getrieben von immer populärer werdenden Photovoltaikinstallationen werden derzeitige AC-Komponenten auch für DC-Anwendungen angeboten, beschränken sich jedoch für den einpoligen Einzeleinsatz gemäss Angaben auf 60VDC. Diese Reduktion der Schaltspannung von 230Vrms AC auf 60V für DC ist aufgrund des fehlenden Nulldurchgangs auf die erschwerte Funkenlöschung zurückzuführen. Es besteht allerdings die Möglichkeit, die Funkenspannung auf zwei in Serie geschaltete Schutzschalter aufzuteilen, womit eine Schaltspannung von bis zu 120VDC erreicht werden kann. Im Gegensatz zu den angebotenen LS, sind nur vereinzelte Modelle von Fehlerstromschutzschaltern auf dem Markt, welche auf elektronischen Detektionen basieren und somit für Allspannungen, d.h. auch für glatte Gleichspannungen eingesetzt werden können.

Weit verbreitet und eine immer beliebtere Alternative zu Wireless sind Power Line Communication (PLC) Netzwerke, welche es ermöglichen, ein Netzwerk über die herkömmlichen Stromleitungen in der Wohnung/Haus von Raum zu Raum oder aber auch zwischen unterschiedlichen Gebäuden aufzubauen. Da diese Art der Kommunikation auch von den Netzbetreibern beispielsweise zur Steuerung oder Auslesung von Zählern verwendet wird, sind in der Norm EN 50065 die zugelassenen Signalpegel sowie das Band von 95 bis 148.5kHz für die private Nutzung spezifiziert. Da diese Art der Kommunikation vor allem durch niederfrequente eingestreute Interferenzen sowie durch die Leitungsimpedanz in Zusammenhang mit den eingestreuten Stromüberschwingungen gestört wird, haben Schaltanteile mit ihren hochfrequenten erzeugten Störungen nur einen geringen Einfluss auf die schmalbandige Powerline-Kommunikation. Jedoch gilt im Umfeld einer DC-Verteilung zu beachten, dass der Einsatz von Konvertern für die Übertragung der Daten auf das 1.262V grosse Signal wie Tiefpassfilter wirken. Daraus lässt sich ableiten, dass mittels PLC nur Daten innerhalb der gleichen Spannungsbe-

ne übermittelt werden können. Demnach ist der Einsatz eines PLC Netzwerks in einer DC-Verteilung stark von der Netztopologie abhängig.

Geräte

Der Einfluss auf die verschiedenen Endgeräte ist derzeit noch in Arbeit.

Nationale Zusammenarbeit

Diego Sandoval Vargas, ETH Zürich
Alfred Furrer, ElectroSuisse
Alexander Horch, ABB Schweiz AG
Francisco Canales, ABB Schweiz AG
Juerg Gisler, VZUG AG
Karin Flury, ESU-Services
Meier Ulrich, TRACO Power

Internationale Zusammenarbeit

Peter Vaessen KEMA (NL)

Bewertung 2012 und Ausblick 2013

Beurteilung: WP1 ist zu 80% beendet.

Beurteilung: WP 1 ist zu 60% bearbeitet					
WP Nummer:	1	WP Dauer:	M1 – M1 (2M)	Lead:	HSLU
WP Titel	Recherchen zum Thema DC-Energieverteilung				
Beschreibung: Für die Potentialstudie werden Recherchen zum Thema DC-Energieverteilung im Gebäude durchgeführt. Folgende Fragestellungen sollen abgedeckt werden: • Einfluss von DC auf die Gebäudeinstallation, Spannungsebenen und Topologien • Marktanalyse bezüglich Anwendungen und Produkte die sich für DC eignen • Welche Normen gibt es im Zusammenhang mit DC • Welche Leistungsklassen der Geräte und Sicherheitsaspekte gilt es bei DC zu berücksichtigen • Künftige Entwicklungen, Abhängigkeiten und Enabler					
Tätigkeiten (Tasks): T1.1 Durchführen der Recherchen (HSLU)					
Deliverables: D1.1 Rechercheergebnisse (HSLU)					

Beurteilung: WP2 ist zu 20% beendet.

WP Nummer:	2	WP Dauer:	M2 – M2 (1M)	Lead:	HSLU
WP Titel	Zielgruppen-Datenerhebung				
Beschreibung: Für die Zielgruppen EFH, MFH und Dienstleistungsgebäude werden statistischen Daten eruiert. Diese Daten sollen aufzeigen, welche Geräte und / oder Gerätearten eingesetzt werden und wie gross deren Anteil am Energieverbrauch ist.					
Tätigkeiten (Tasks): T2.1 Ermitteln der Daten in den Zielgruppen (HSLU) T2.2 Einfluss der Energiewende 2035 und 2050 auf die Zielgruppe (HSLU)					

Deliverables:

D2.1 Datenbasis (HSLU)

Beurteilung: WP3 ist zu 20% beendet.

WP Nummer:	3	WP Dauer:	M3 – M4 (2M)	Lead:	HSLU
WP Titel	Anwendungsspezifische Steigerung der Energieeffizienz				
Beschreibung: Die Eignung der unterschiedlichen Geräte und Gerätetypen aus der Datenerhebung wird untersucht. Wie hoch ist die Energieersparnis durch die Umstellung auf DC und ist diese Umstellung ausnahmslos möglich. Welche technischen Hemmnisse stehen einer Umstellung auf DC im Weg? Und welche technischen Herausforderungen müssen gelöst werden, um auf Gleichstrom umzustellen. So muss gezeigt werden welche Spannungsebenen und Topologien sich eignen und in welche Leistungsklassen die Endgeräte unterteilt werden können. Es soll aufgezeigt werden, unter welchen Bedingungen im Gebäude auf AC verzichtet werden kann.					
Tätigkeiten (Tasks): T3.1 Erkenntnisse aus der Recherche werden auf die Geräte und Gerätetypen angewendet (HSLU)					
Deliverables: D3.1 Anwendungsspezifische Untersuchung von DC in Gebäuden (HSLU)					

Beurteilung: WP4 ist zu 10% beendet.

Beurteilung: WP 4 ist zu 20% beendet.					
WP Nummer:	4	WP Dauer:	M5 – M6 (1M)	Lead:	HSLU
WP Titel	Detailauswertung gerätespezifische Steigerung der Energieeffizienz in der Zielgruppe				
Beschreibung: Die anwendungsspezifischen Erkenntnisse werden auf die Zielgruppe umgelegt. Das Energieeffizienz-Potential wird analysiert, es wird aufgezeigt, wie viel die mögliche Energieeinsparung in der Schweiz betragen kann. Jede Zielgruppe wird verfeinert, damit das Potential der einzelnen Gerätarten gezeigt wird und der Anteil zur Energieeffizienz-Steigerung ersichtlich ist.					
Tätigkeiten (Tasks):					
T4.1 Auswerten der Daten hinsichtlich Zielgruppen und gerätespezifischer Steigerung der Energieeffizienz in der Schweiz (HSLU)					
T4.2 Verfassen des Schlussberichts (HSLU)					
Deliverables:					
D4.1 Vollständige Potentialstudie mit den Inhalten aus WP1 – WP4.					

Ausblick 2013

Der Fertigstellung Termin ist am 28. Februar. Bis dahin werden WP1 – 4 zu 100% erledigt sein.