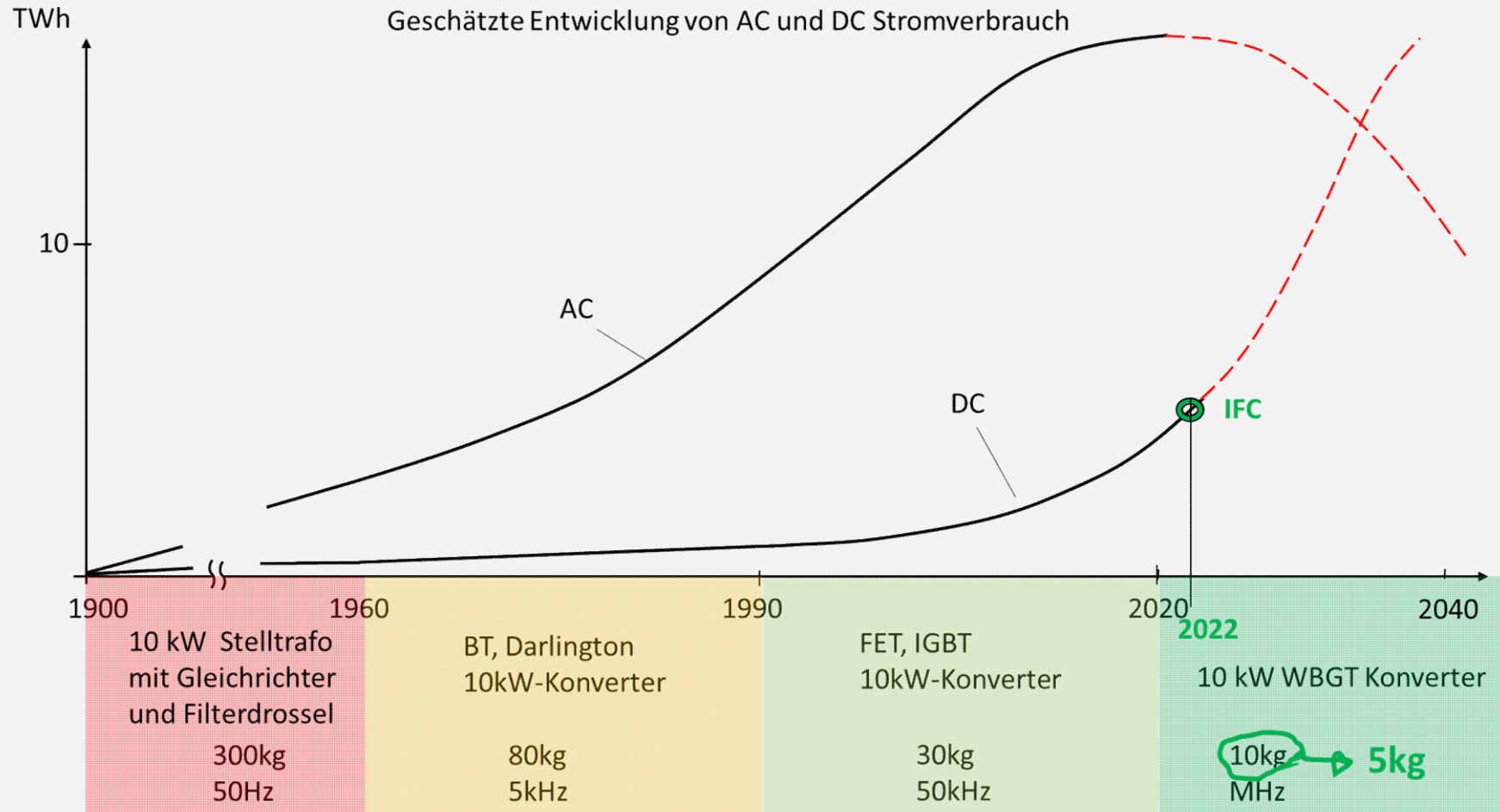


Die Zukunft der Gleichspannungsversorgung ist IFC - Idealer Fluss Konverter

Dipl.Ing.Dr. Lutz Erhartt

Paradigmenwechsel in der Stromversorgung: von AC zu DC



Geschichte

Nutzbarmachung der Elektrizität:

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts entbrannte der Stromkrieg, ob die von Edison favorisierte Gleichspannung oder die von Westinghouse favorisierte Wechselspannung die geeignetere Technik für die großflächige Versorgung der Vereinigten Staaten von Amerika mit elektrischer Energie und den Aufbau von Stromnetzen sei. Aufgrund seiner einfachen Transformierbarkeit - für Gleichspannung bildet ein Transformator den sogenannten Sättigungskurzschluss - hat sich der Wechselstrom durchgesetzt. Nachteilig dabei entstehen Blindleistungsverluste, der Netzaufbau ist kompliziert und es muss bei Netzerweiterungen immer darauf geachtet werden, dass keine destabilisierenden Resonanzen auftreten.

1960-1990:

Mit der Erfindung des Bipolartransistors (BT) um 1960 beginnt die Leistungselektronik, die sich mit der Umformung elektrischer Energie mit schaltenden elektronischen Bauteilen befasst. Dabei wird Energie in kleinen Portionen übertragen und in Filtern zwischengespeichert. Je kleiner diese Portionen sind, desto kleiner werden Transformator und Filterelemente. Im Wechselspannungs-

netz sind sämtliche Transformatoren auf die Netzfrequenz auszulegen. In Gleichspannungskonvertern, worin mittels Wechselrichter eine Eingangsgleichspannung abwechselnd in positiver und negativer Richtung an den Trafo geschaltet wird (WRT), dessen Ausgangsspannung gleichgerichtet (GR) und die gleichgerichtete Ausgangsspannung von Filter (F) geglättet wird (DC-WRT-GR-F-DC), sind Transformator und Filter sehr vorteilhaft jedoch auf die Schaltfrequenz des Wechselrichters auszulegen. Die Entwicklung der Gleichspannungsversorgung ist farblich hervorgehoben. Ein DC-DC Konverter wiegt 1980 ca. ein Viertel und heute alsbald ein Fünfzigstel von einer leistungsgleichen 50 Hz Transformator Gleichstromquelle.

Die moderne Welt (industrielle Prozesse, Kommunikation und Datenverarbeitung, Antriebe, Beleuchtung,...) verbraucht zunehmend Gleichstrom, bereits ca. ein Drittel der weltweit erzeugten elektrischen Leistung, wozu für Leistungen von bereits 100W aufwärts bis zu MW+ an Wechselrichter geschaltete Transformatoren (WRTs) eingesetzt werden. Um die Stabilität des Netzes nicht zu verringern, hat die Gleichrichtung (GR) aufwändig mit einem Leistungsfaktorkorrekturfilter (PFC) zu erfolgen, der ca. die Hälfte der Gestehungskosten z.B. eines Computernetzteils ausmacht, AC-PFC-DC-WRT-GR-F-DC.

Problem der Wechselrichtertechnik

Der geringste Gleichanteil der vom Wechselrichter erzeugten Transformatorprimärspannung führt zum Wandern des magnetischen Flusses und zur Sättigung des Transformator-kerns. Dieses Sicherheitsproblem führt dazu, dass der WRT apriori als Stellglied ungeeignet ist, zumal es in der Natur der Spannungsregelung liegt, dass die Regelung selbst zur Sättigung des Transformators führen kann, insbesondere bei der gebräuchlichen Modulation der primären Spannungsimpulsdauern (PWM). Damit nicht genug ist es schwierig, das Wandern des magnetischen Flusses messtechnisch zu erfassen.

Stand der Technik

1990-Gegenwart:

Die Strombegrenzung und Lastkurzschlussfestigkeit, wie auch moderne industrielle Prozesse, insbesondere leistungsfähige Mikroprozessoren und dynamische Inverterantriebe, stellen höchste dynamische Anforderungen an die Stromversorgung und deren Betriebssicherheit.

Der WRT hat als Stellglied erst seit den 1990er Jahren mit der

Einführung der kurzschlussfesten FET und IGBT Transistoren eine weite Verbreitung erfahren. Der Leistungsbereich hat sich zwar von wenigen 100W auf mehrere kW vergrößert, bleibt aber eingeschränkt, denn die Zusatzverluste aufgrund der Sättigungserscheinungen nehmen mit steigender Leistung zu. Zwei Lösungen sind weit verbreitet, der LLC (Resonanz-) Konverter und die eine langsame Regelung voraussetzende Symmetrierung des magnetischen Flusses mittels Korrektur der Impulsdauern aufgrund des gemessenen Primärstroms. Bei der Versorgung dynamischer Lastprozesse werden große Energiezwischenspeicher und sogenannte Point Of Load Konverter nachgeschaltet.

Bei höheren Leistungen von 10kW bis MW+ wird das Sicherheitsproblem der Gleichspannungswandlung mit einem vorgeschalteten Schaltregler für einen materialintensiven und regelungstechnisch ebenfalls trägen Stromzwischenkreis gelöst. Hier verursacht die Sättigung keine unmittelbaren zusätzlichen Verluste, aber der Gesamtaufwand hat sich in etwa verdoppelt. Die Anwendbarkeit beschränkt sich auf langsame Prozesse. Beispielsweise müssen bei der Versorgung großer Rechenanlagen entsprechend große Energiespeicher installiert werden.

Die Hochspannungsgleichstromübertragung koppelt bereits dreiphasige Netze (3AC-3T-3F-3GR-HVDC-3WR-3F-3T-3AC), worin sich das Sättigungsproblem auf ein Schiefastproblem reduziert, wofür die Dreiphasen(Drehspannungs)transformatoren (3T) ausgelegt werden müssen. Einen wesentlichen Kostenfaktor stellt auch der Drehstromfilter (3F) dar. Heute erleben wir den schrittweisen Umbau auf ein blackoutsicheres Gleichspannungsnetz, worin keine Kettenreaktion auftreten kann.

Mit der Einführung der wesentlich effizienteren WBG-Transistoren sind die Konverter nochmals kleiner geworden, doch hat sich mit der hohen Schaltfrequenz das Problem der steigenden Zusatzverluste verschärft. Generell kann die Regelung der Ausgangsspannung nur sehr langsam erfolgen. Zur Versorgung dynamischer Lasten wird eine große Kapazität des Zwischenspeichers und eine weitere Regelstufe benötigt. Die Konverter werden mit steigender Leistung zunehmend komplexer und es gibt noch keine einstufige Lösung für hohe und höchste Leistungen.

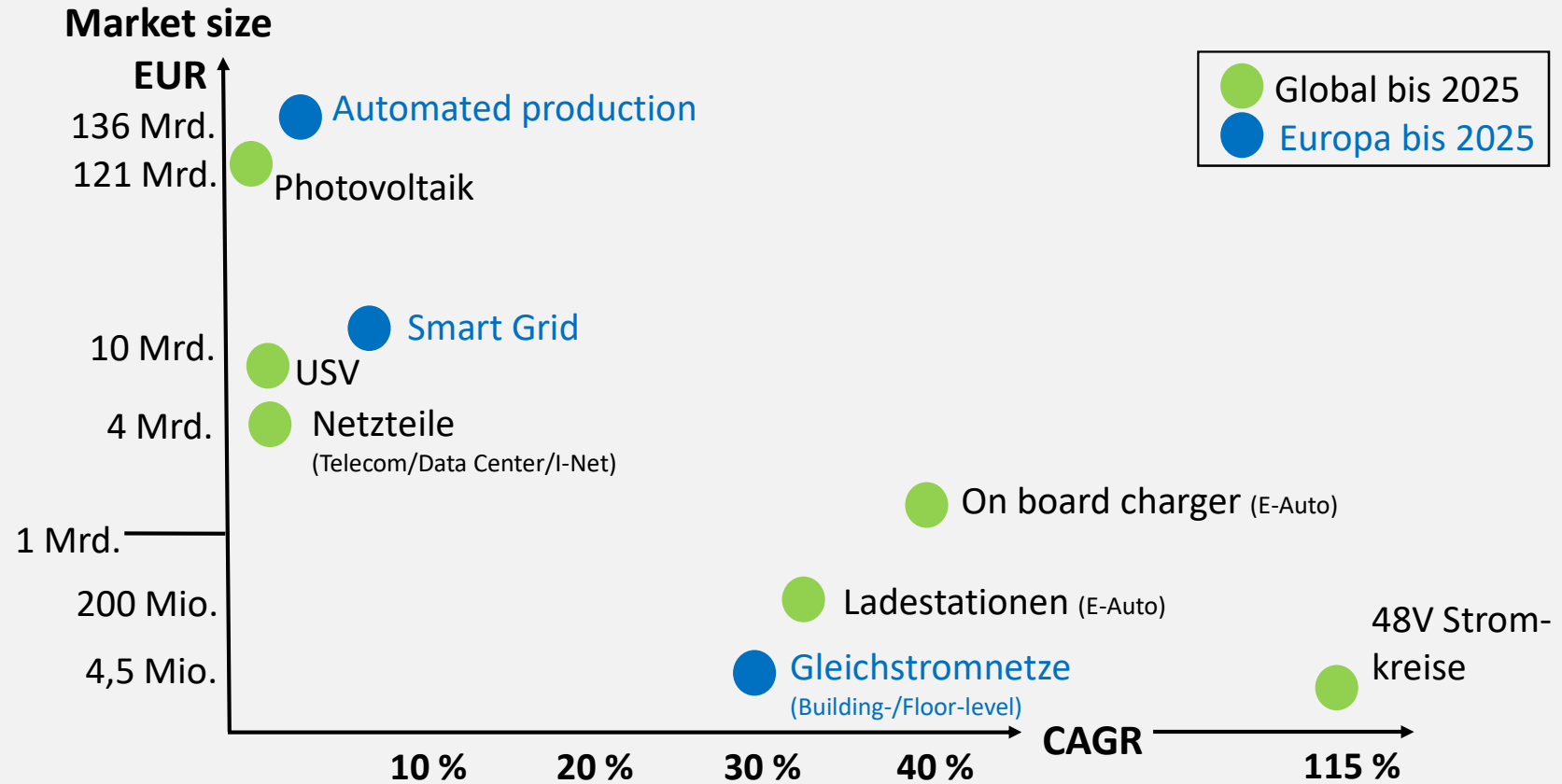
Zukunft:

Bedeutung von IFC:

IFC steht für die englischen Wörter Ideal, magnetic Flux, und Converter. IFCs sind uneingeschränkt einsetzbare DC-DC Konverter. Der Anteil des Gleichstromverbrauchs steigt ungebremst weiter an, bis hin zur vollständigen Umstellung auf ein Gleichspannungsnetz, angedeutet mit den strichliert eingetragenen Verläufen von AC- und DC-Stromverbrauch.

PFCs werden nur noch zur Schonung der Drehspannungsquellen (3AC) benötigt (3AC-PFC-IFC-HVDC-IFC-DC). Die Drehstromtransformatoren sind durch einphasige IFCs ersetzt. Der nach dem Gleichrichter befindliche Filter wird vorteilhaft mit der doppelten Schaltfrequenz des Wechselrichters beaufschlagt.

DC-DC Marktsegmente: Wachstum und Größe

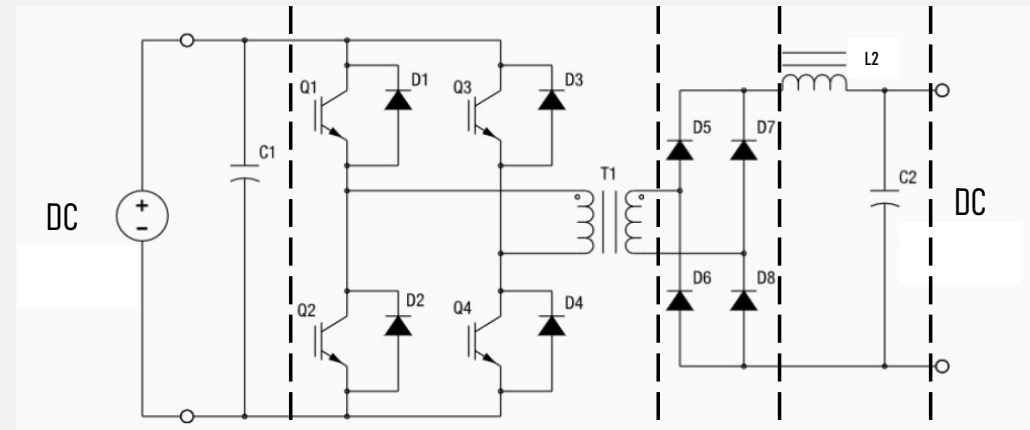


Quelle: Frost & Sullivan 2016-2018

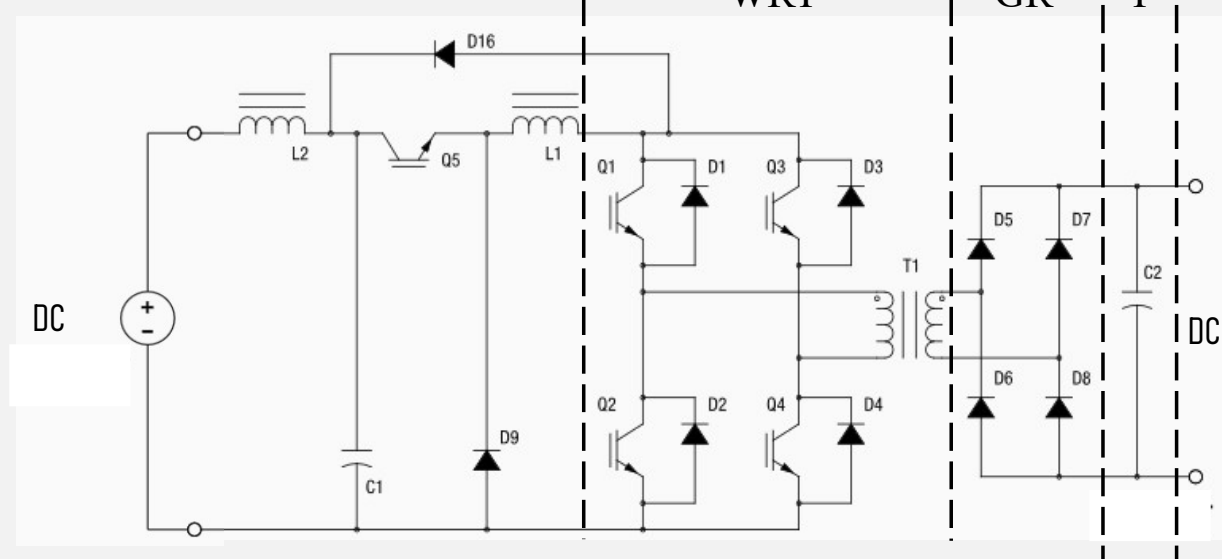
Spannungs- und Stromzwischenkreis Konverter



A.
Problematischer
Spannungszwischenkreis
Konverter
(einstufige Lösung für
Leistungen bis ca. 10 kW)

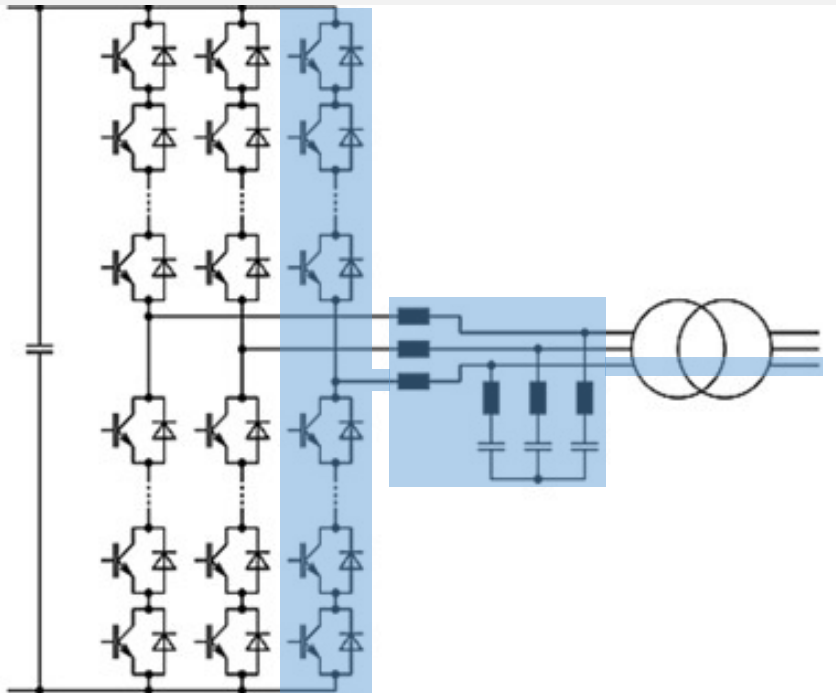


B.
Zerhacker und
Stromzwischenkreis Konverter
(zweistufige Lösung für
Leistungen bis MW+)



Quelle: High power, MAGNA

Vision Gleichspannungsnetz: Der Wechselrichter



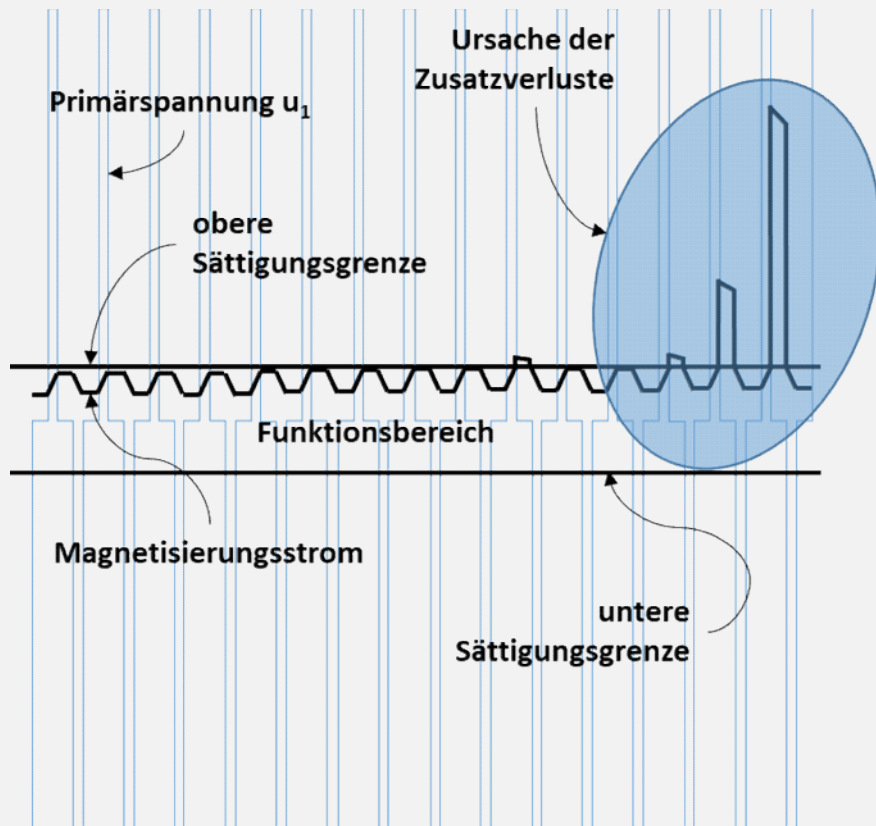
<https://www.smarterworld.de/smart-utilities/energieverteilung/umrichter-fuer-die-hgue.128838.html>

Das Bild zeigt die Schaltung für das Stellglied einer HGÜ. Im IFC Konverter in einem Gleichspannungsnetz entfallen die blau hinterlegten Schaltungsteile.

Im Drehstromverbundnetz können Überlandleitungen nur mittels Abschaltung vor Überlast geschützt werden. Weitere Leitungen müssen eventuell abgeschaltet werden und es besteht die Möglichkeit einer Kettenreaktion, die zu einem großflächigen Stromausfall (Blackout) führt. U.a. daraus resultieren entsprechende Überdimensionierungen und die hohe Vernetzung. Ein DC-Netz mit erfindungsgemäßen DC-DC Umspannstationen bzw. IFC Konverterstationen verhielte sich grundlegend anders und wäre wesentlich einfacher zu handhaben. Die Leitungen könnten nicht mehr überlastet werden. Wird, z.B. weil Leitungen ausfallen, mehr Strom gefordert, als geliefert werden kann, so droht deshalb nicht gleich ein Blackout. Es sinkt regional die Netzspannung, worauf z.B. DC-DC Versorgungen niedriger Priorität automatisch abschalten, bis sich die Netzspannung wieder normalisiert hat. Eine elektrische Grundversorgung könnte mit geringerem Aufwand gesichert werden. Netzerweiterungen wären unproblematisch im Vergleich zum Drehstromnetz.

Die Erfindung trägt zum Aufbau eines Gleichstromnetzes bei, das nicht nur hinsichtlich Flächenverbrauch sondern auch hinsichtlich Aufwand und Effizienz unserem Drehstromnetz überlegen wäre.

PROBLEM der Gleichspannungswandlung



Die LÖSUNG ist der IFC Konverter

- Verdoppelung der Leistungsdichte:
 - Wirkungsgrad nahe 100%;
 - Keine Überdimensionierungen;
 - Keine zusätzlichen Bauteile;
 - Kleine Filterelemente L1, C2 (Folie 7A);
 - Prozessoptimale Regelung;
 - Puls zu Puls Strombegrenzung.
- Zusatznutzen:
 - Entfall der PFC-Filter im Gleichspannungsnetz;
 - Verkleinerung der Motorleistung in dynamischen dcdc-gespeisten Umrichterantrieben;
 - Beschleunigung automatisierter Abläufe;
 - Blackoutsicherheit eines Gleichspannungsnetzes.

Technologische Führung für die nächsten 2 Jahrzehnte ! Hauptanwendungsgebiet: DC Stromversorgung von 100W (Netzteil) bis GW+ (HGÜ)

Funktionsnachweis liegt vor!

Neuheit:

Eine erste Recherche brachte kein Ergebnis.

Anmeldung:

Anmeldereife Unterlagen liegen vor.

Die Anmeldung kann jederzeit erfolgen, sobald sich eine wirtschaftliche Verwertung abzeichnet.

**Eine Idee ist nur so viel wert,
wie ihre Umsetzung.**

Sie wollen ein konkurrenzloses Produkt?

**Ich suche einen strategischen Partner
oder Käufer!**

Dipl.Ing.Dr. Lutz Erhartt



**Die Zukunft der
Gleichspannungs-
versorgung ist IFC
- Idealer Fluss
Konverter!**