



White Paper: Möglicher Einsatz von bidirektionalen DC/DC Wandlern im Bereich mobile Anwendungen

Einleitung

DC/DC-Wandler dienen der Anpassung von zwei verschiedenen Gleichspannungen. Unter anderem in mobilen Anwendungen kann ein DC/DC-Wandler dazu eingesetzt werden, eine elektrische Leistung aus Energiespeichern wie Batterien oder SuperCap Kondensatoren mit volatilen Spannungen an ein System mit stabilisierter Spannung anzukoppeln. Nachfolgende Betrachtungen richten sich auf die Vorteile solcher DC/DC Wandler, beleuchten aber auch den klassischen Nachteil in Form eines Wirkungsgrades unter 100 Prozent.

Wie wir sehen werden, kann durch geeignete Technologie und Auslegung ein Wirkungsgrad von 98-99 Prozent erreicht werden, so dass dieser Nachteil überraschend gering ausfällt. Dennoch müssen Vor- und Nachteile des Einsatzes von DC/DC-Wandlern detailliert abgewogen werden. Vorliegende Ausarbeitung soll hierzu einen ersten Überblick verschaffen

1. Einige Grundlagen

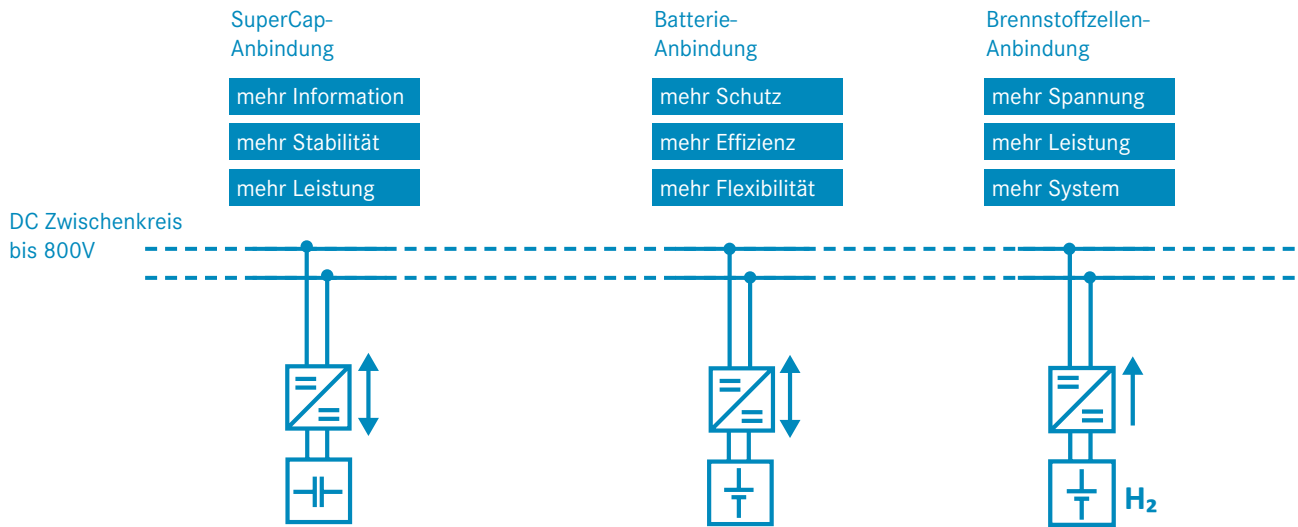
- 1.1 Möglicher Einsatz von DC/DC-Wandlern
- 1.2 Erreichbare Wirkungsgrade
- 1.3 Anwendung mit Kondensator-Speichern
 - 1.3.1 Rechenbeispiel: Traktionsantrieb: 26to LKW bremsst von 80 km/h auf Stillstand. Diese kinetische Energie soll gespeichert werden.
- 1.4 Ankopplung von Batterien
- 1.5 Zusatznutzen des DC/DC bei Batterieanwendungen
- 1.6 Anwendung bei Brennstoffzellen

1 Einige Grundlagen

1.1 Möglicher Einsatz von DC/DC-Wandlern

Generell können wir unterscheiden in:

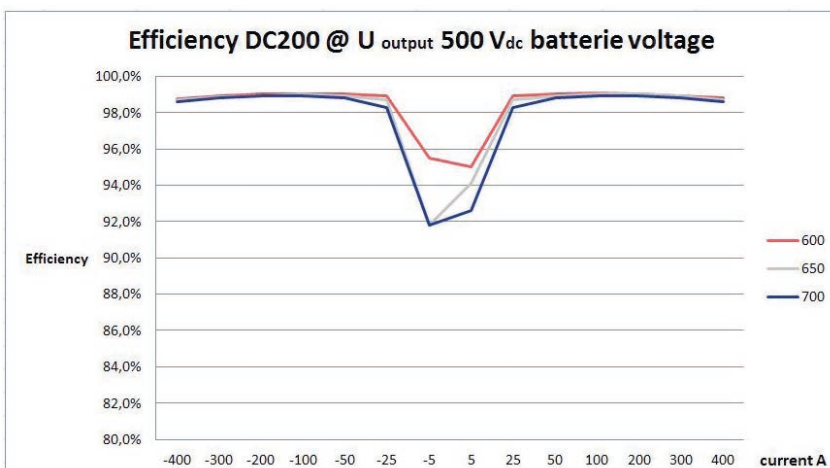
- DC/DC zum unidirektionalen Hochsetzen von Spannungen zum Beispiel aus Brennstoffzellen
- DC/DC zur bidirektionalen Anbindung von Batterien und/oder Kondensatoren
- DC/DC zum unidirektionalen Hoch- oder Tiefsetzen einer DC-Spannung für Verbraucher oder Wechselrichter, die dieses andere Niveau brauchen. Dies ist eher eine spezielle Anwendung, die wir nachfolgend nicht explizit beleuchten.



Außerdem müssen wir unterscheiden in DC/DC mit und ohne galvanischer Trennung. DC/DC mit galvanischer Trennung setzt man zum Beispiel ein, wenn eine berührbare Schutzkleinspannung an eine Hochvolt-Anlage gekoppelt werden muss. **Nachfolgend betrachten wir ausschließlich DC/DC-Wandler, die bidirektional arbeiten und ohne galvanische Trennung ausgeführt sind.**

1.2 Erreichbare Wirkungsgrade

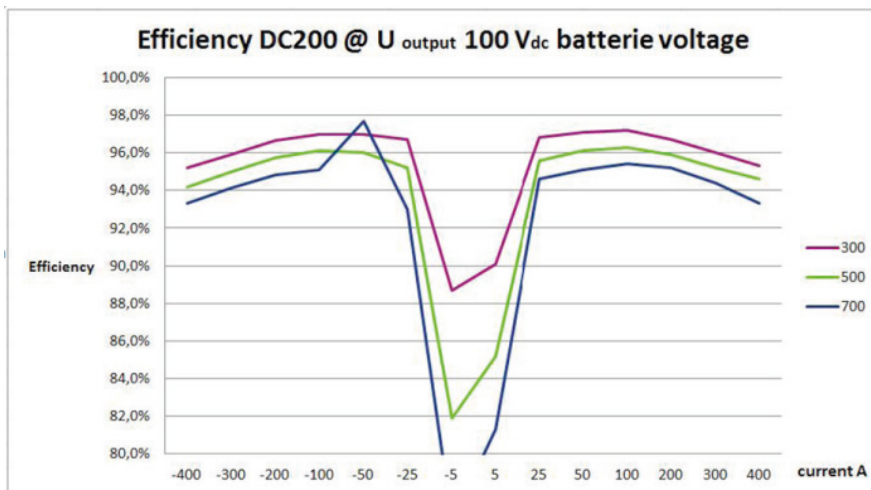
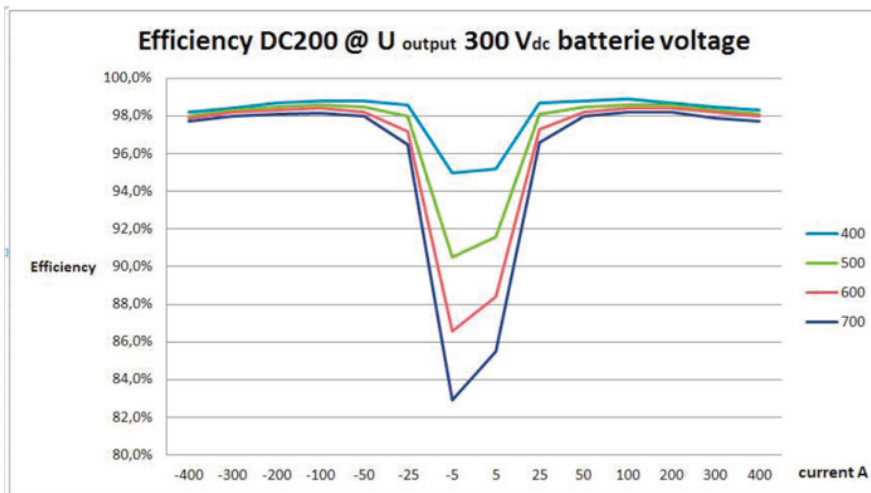
Hier reale Messwerte eines VP5000-DC200 für den Anwendungsfall der Ankopplung einer Batterie mit 500 VDC an einen stabilisierten Zwischenkreis von wahlweise 600, 650 oder 700 VDC.



Wenn wir die blaue Kurve betrachten (500 V auf 700 V), dann sehen wir, dass der Wirkungsgrad sowohl für das Laden wie das Entladen in einem großen Arbeitsbereich in der Nähe von 99 Prozent liegt. Selbst wenn wir nur 5 der 400 möglichen Ampere fahren (das ist eine Auslastung von 1,25 Prozent) erreichen wir noch 92 Prozent.

- **ARADEx-Vorteil:** Durch entsprechende Technologie und Materialwahl lassen sich mit DC/DC-Wandlern sehr hohe Wirkungsgrade in einem extrem breiten Leistungsbereich erzielen.

Funktionsgemäß sinkt der Wirkungsgrad in der vorliegenden technischen Ausführung, je höher die Spannungsdifferenz zwischen Eingang und Ausgang ist. Betrachten wir nachfolgend also noch Ausgangsspannungen von zum Beispiel 300 V auf 700 V und sogar 100 V auf 700 V.



- Selbst bei einem Hub von 100 V auf 700 V lassen sich etwa 94 Prozent Wirkungsgrad erzielen. Und die Ankopplung zum Beispiel einer in Fahrzeugen üblichen 300 V Batterie an 700 V gelingt sogar mit nahe 98 Prozent.
- **ARADEx-Vorteil:** Auch bei hohen Spannungshüben lassen sich exzellente Wirkungsgrade erzielen.

Dies ermöglicht zum Beispiel die Kombination von Energiequellen und Energiespeichern von sehr unterschiedlichen Spannungen in einem Gesamtsystem mit stabilisierter Spannung.

1.3 Anwendung mit Kondensator-Speichern

Wenn wir Kondensatorspeicher z.B. auf max 700 VDC aufladen und mittels DC/DC zum Beispiel an 750 VDC ZK ankoppeln und die Kondensatoren dann auf 100 V entladen, dann nutzen wir nach $W = \frac{1}{2} * C * U^2$:

$dW = \frac{1}{2} * C * (700V * 700V - 100V * 100V)$, das sind dann 98 Prozent der gespeicherten Energie.

Selbst wenn wir „nur“ bis 200V entladen, nutzen wir noch über 91 Prozent der gespeicherten Energie.

- **ARADEx-Vorteil:** Kondensatoren als Energiespeicher lassen sich zu einem sehr hohen Prozentsatz der gespeicherten Energie ausnutzen und damit kleiner auslegen.

1.3.1 Rechenbeispiel: Traktionsantrieb: 26-Tonnen-LKW bremst von 80 km/h auf Stillstand. Diese kinetische Energie soll gespeichert werden.

$$W_{kin} = \frac{1}{2} * m * v^2 = \frac{1}{2} * 26000kg * (22.2 \frac{m}{s})^2 = 6.4MJ$$

Fall 1: Ohne DC/DC – Wandler: Unter der Annahme einer zulässigen Zwischenkreisspannungsänderung von ca. -15 Prozent (von 700 VDC auf 600 VDC):

$$W = \frac{1}{2} * C * (700^2 - 600^2)V^2$$

Bräuchte man zur Speicherung der Energie von 6.4 MJ ohne DC/DC Wandler eine Kapazität von $C = 98 F$

Fall 2: Mit DC/DC – Wandler und UZK=700VDC:
Annahme: Supercap soll bis auf 30 Prozent (= 210VDC) entladen werden:

$$W = \frac{1}{2} * C * (700^2 - 210^2)V^2$$

Die Kapazität beträgt jetzt nur noch: $C = 29 F$

1.4 Ankopplung von Batterien

Selbst Batterien mit sehr „flachen“ Spannungskennlinien wie LiFePo-Zellen haben im realen Betrieb je nach Ladezustand und Temperatur einen Arbeitsbereich der Spannung $U_{max}/U_{min} = 1,25$.

Wenn wir zum Beispiel so viele Zellen in Reihe schalten, dass die maximale Spannung 750 VDC beträgt, so liegt die minimale Spannung im normalen Arbeitsbereich bei 600V. Allein dieser Faktor erfordert für den Fall, dass die Batterie ohne DC/DC den Zwischenkreis bildet, eine Überdimensionierung von Leitungen und Wechselrichtern. Siehe hierzu WhitePaper „Spannungsauslegung von Antrieben“.

UZK	P Motor1 (410 VAC) rel.	P Motor2 (512 VAC) rel.
600 VDC	100%	Keine Funktion
750 VDC	91,7%	114,5%

Legt man also auf stabilisierte 750 VDC aus, so liefert derselbe Wechselrichter 14,5 Prozent höhere Leistungen. Bzw. man kann bei gegebener Leistung Kabelquerschnitte, Klemmen und Umrichter um etwa 13 Prozent kleiner auslegen ($1/1.145 = 0.87$).

1.5 Zusatznutzen des DC/DC bei Batterieanwendungen

Koppelt man mehrere Batterien jeweils über einen „eigenen“ DC/DC an eine zentrale DC-Versorgung an, so lässt sich ein hochredundantes System darstellen:

- Batterien „mit Problemen“ können einfach und fliegend weg geschaltet werden
 - Batterien, die eine Leistungseinschränkung aufweisen – und das sind die überaus häufigsten Schadensbilder in praktischen Anwendungen – sind immer noch nutzbar. Sie werden einfach per Parametrierung des DC/DC fliegend mit weniger Leistung beaufschlagt, fallen aber nicht total aus.
- **ARADEx-Vorteil:** Auch Batterien, die eine akute technische Einschränkung haben, können weiter verwendet werden, was die Verfügbarkeit des Systems deutlich erhöht.
- **ARADEx-Vorteil:** Man kann Batterien mit verschiedenen Technologien in einem System kombinieren. Also z.B. eine Hochleistungszelle und anderen die weniger Leistung aber mehr Energie haben

1.6 Anwendung bei Brennstoffzellen

Brennstoffzellen haben funktionsbedingt eine sehr „weiche“ Spannungskennlinie. Die Spannung im Bereich der nominalen Leistung liegt nur bei etwa 50 Prozent der Leerlaufspannung. Zudem werden Brennstoffzellen bevorzugt mit niedrigen Systemspannungen ausgelegt, um die Zahl der in Reihe zu schaltenden Elemente möglichst gering zu halten. So ergibt ein Stack mit etwa 100 Zellen in Reihe eine Leerlaufspannung im Bereich 224 VDC und eine Spannung unter Nominallast von etwa 120 VDC.

Mittels DC/DC können wir auch diese sehr niedrigen Spannungen mit ausreichend gutem Wirkungsgrad auf übliche DC-Systemspannungen von 600-750 VDC hochsetzen.

