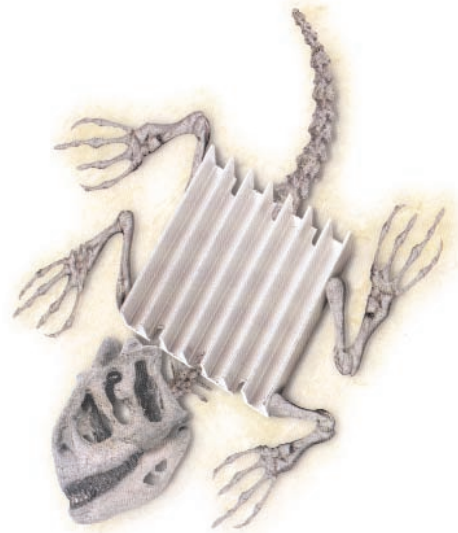


“Höhere Leistung mit DC/DC-Wandlern ohne Kühlkörper”

Eine technische Hintergrundbetrachtung von **SynQor**



Einleitung

Ziel dieser technischen Hintergrundbetrachtung ist es zu zeigen, wie die PowerQor-Familie von galvanisch trennenden synchronen DC/DC-Wandlern der Firma SynQor ohne jeden Kühlkörper mehr nutzbare Ausgangsleistung als konventionelle Wandler mit Schottky-Dioden und Kühlkörper liefern können.



vs.



Konventionelle Wandler

Bild 1: SynQors PowerQor DC/DC-Wandler gegenüber einem konventioneller Wandler mit Kühlkörper (*nicht maßstabsgetreue Darstellung*)

Das Verfahren

Zunächst soll untersucht werden, wie sich die Wärmeabfuhr reduziert, wenn bei einem DC/DC-Wandler die Kühlflächen weggelassen werden. Danach wird bestimmt, wieviel weniger Wärme bei den hocheffizienten PowerQor-Wandlern im Vergleich zu weniger effizienten konventionellen Wandlern abgeführt werden muß. Abschließend wird die Leistungsabfall-Kurven für beide Wandlertypen verglichen. Damit wird erkennbar werden, wie PowerQor-Wandler durch den höherem Wirkungsgrad mehr Leistung gewinnen, als durch den Wegfall der Kühlkörper verloren wird.

Eingangsannahmen

Zum Zwecke dieser Studie konzentriert man sich auf die standardmäßigen Half-Brick-Gleichspannungswandler (2,3" x 2,4"). Im allgemeinen liefern die besten Wandler mit Schottky-Dioden in dieser Baugröße 150 W oder 30 A am Ausgang. Dieses sind die letztendlich die "Leistungsdaten" des Wandlers. Nur wenn der Anwender dafür sorgt, daß eine ausreichende Kühlung erfolgt, kann diese Leistungsstufe erreicht werden. Wie man sehen wird, liegt normalerweise die tatsächlich ent-

nehmbare Leistung jedoch unter den Angaben der Datenblätter, wenn die Umgebungstemperatur an die Grenze des Zulässigen kommt.

Was passiert, wenn der Kühlkörper entfernt wird ?

Zweck eines Kühlkörpers ist es, die vom kühlenden Luftstrom umflossene Oberfläche zu erhöhen, womit der thermische Widerstand zu diesem Luftstrom herabgesetzt wird.

Die Messung der Effektivität eines Kühlkörpers kann einfach durch den Vergleich der Bedingungen mit und ohne Kühlkörper geschehen. Beispielsweise wird ein konventioneller DC/DC-Wandler mit Grundplatte ohne Kühlkörper einen bestimmten thermischen Widerstand, nämlich RCA (ohne Kühlkörper) zwischen der Grundplatte und dem Luftstrom besitzen. Wird nun ein Kühlkörper an dieser Grundplatte angebracht, dann wird der gegebene thermische Widerstand, nämlich RCA (mit Kühlkörper) um einen bestimmten Faktor geringer sein als RCA (ohne Kühlkörper). Dieser Faktor zeigt den Nutzen des Kühlkörpers.

Im Idealfall würde also bei Vergrößerung der Grundplattenfläche durch den Kühlkörper um das Doppelte der thermische Widerstand zwischen Basisplatte und der Luft um den Faktor zwei sinken. In Wirklichkeit kann aus verschiedenen Gründen ein solches Verhältnis nicht erreicht werden.

Erstens: Zunächst einmal ist mit dem Wärmedurchgang von der Grundplatte zum Kühlkörper und in dessen Rippen hinein ein zusätzlicher thermischer Widerstand verbunden. Dieser zusätzliche Wärmewiderstand entsteht zum Teil durch die Wärmeleitpaste oder -platte, die zwischen Grundplatte und Kühlkörper eingebracht wird, um Lücken zu füllen, aber zum kleineren Teil auch durch den verlängerten Wärmefluss bis in die Spitzen der schmalen Kühlrippen.

Zweitens: Nicht der gesamte Luftstrom erreicht auch die Lücken zwischen den Kühlrippen in der Geschwindigkeit, die er über einer flachen Grundplatte erreichen würde. Beide dieser Phänomene sorgen dafür, dass erheblich weniger Wärme über den Kühlkörper abgeführt wird, als man es aufgrund der vergrößerten Oberfläche eigentlich erwarten könnte.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die verbesserte Wärmeabfuhr mit Kühlkörpern verschiedener Höhen im Vergleich zu den Werten ganz ohne Kühlkörper. In dieser Tabelle wird der Faktor der Verbesserung definiert als thermischer Widerstand ohne Kühlkörper RCA (ohne Kühlkörper) geteilt durch den thermischen Widerstand mit Kühlkörper RCA (mit Kühlkörper).

Luftdurchsatz (LFM)	0	100	200	300	400	500
Für 1,00" hohen Kühlkörper	2,3	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1
Für 0,75" hohen Kühlkörper	1,7	1,9	2,1	2,2	2,3	2,3
Für 0,50" hohen Kühlkörper	1,4	1,6	1,7	1,8	1,8	1,8
Für 0,25" hohen Kühlkörper	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3

Tabelle 1: Faktor der Verbesserung der Wärmeabfuhr als Funktion der Kühlkörperhöhe und der Luftstromrate

Bemerkenswert ist auch, daß die Verbesserung der Wärmeabfuhr vom Luftdurchsatz abhängt. Bei kleinerem Luftdurchsatz bietet ein Kühlkörper bei weitem nicht die Verbesserung wie bei hohem Luftdurchsatz.

Die Verbesserung der Wärmeabfuhr geht verloren, wenn der Kühlkörper entfernt wird. Um mit DC/DC-Wandlern, die mit Kühlkörpern versehen sind "gleichzuziehen", muß bei den SynQor-Wandlern die Verlustwärme um den gleichen Faktor herabgesetzt werden. Darauf wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

Um wieviel kleiner ist die entstehende Verlustwärme in den SynQor-Wandlern?

Konventionelle Wandler benutzen Schottky-Dioden zur Gleichrichtung des Transformatorausgangs. Diese Schottky-Dioden sind hauptsächlich für die Verlustwärme bei konventionellen Wandlern verantwortlich. Die PowerQor-Wandlerreihe von SynQor verwendet Synchrongleichrichter zur Gleichrichtung des Transformatorausgangs. Diese Synchrongleichrichter in den PowerQor-Wandlern vermindern die sonst von den Schottky-Dioden in herkömmlichen Wandlern ausgehende Verlustwärme ganz erheblich.

Tabelle 2 vergleicht die Vollast-Wirkungsgrade der SynQor-Wandler PowerQor für 30 A mit denen konventioneller Wandler bei gleichem Laststrom. In der rechten Spalte dieser Tabelle erkennt man den Faktor, um den die Verlustwärme unter Verwendung der PowerQor-Wandler bei DC/DC-Wandlern vermindert wird.

Ausgangsspannung	Ausgangsstrom bei Vollast	Wirkungsgrad konventioneller DC/DC Wandler mit Schottky Diode	Wirkungsgrad SynQor synchroner 30 A DC/DC-Wandler	Faktor der Verlustwärmereduzierung bei SynQors Wandler
15V	10A	88%	90%	1,2
12V	12,5A	86%	90%	1,5
5V	30A	83%	89%	1,7
3,3V	30A	79%	89%	2,2
2,5V	30A	74%	87%	2,4
2,0V	30A	68%	85%	2,7
1,5V	30A	62%	83%	3,0

Tabelle 2: Faktor der Verlustwärmereduzierung bei SynQors hocheffizienten DC/DC Wandlern im Vergleich mit herkömmlichen Schottky-Dioden basierten DC/DC-Wandlern

Dieser Tabelle kann man auch entnehmen, dass die Verminderung der Verlustwärme mit SynQor PowerQor-Wandlern für 30 A Laststrom sich im Bereich von 20 % bei einem 15 V-Wandler bis zu 300 % bei einem 1,5 V-Wandler erstreckt. Mit anderen Worten: Je kleiner die Ausgangsspannung, desto schmerzhafter der Vergleich für die Schottky-Dioden in herkömmlichen Gleichspannungswandlern und um so vorteilhafter der Wechsel zur Synchrongleichrichtung.

Warum müssen zunächst die Leistungsabfall-Kurven vor jedem weiteren Vergleich Betrachtet werden ?

Es wurde bisher untersucht:

1. die Verringerung der Wärmeabfuhr bei DC/DC-Wandlern ohne Kühlkörper
2. die Reduzierung der Verlustwärme bei 30 A PowerQor-Wandlern

Es scheint so, daß bereits ein einfacher Vergleich zeigt, ob der SynQor-Wandler vom höheren Wirkungsgrad mehr profitiert als er durch den Verzicht auf einen Kühlkörper verliert.

Jedoch ist ein echter Vergleich nicht ganz so einfach. Ein Grund dafür ist, dass der SynQor-Wandler keine Grundplatte aus Metall besitzt. Statt dessen verfügt er über eine offene Rahmenstruktur mit einigen wesentlichen Unterschieden. Zunächst hat er eine geringere Bauhöhe als übliche Wandler (0,4" gegenüber 0,5" - ohne Kühlkörper!), so daß die Luft den SynQor-Wandler schneller durchströmen kann statt außen herum laufen zu müssen. Zudem ist seine oberliegende Oberfläche strukturiert, was Luftstromturbulenzen fördert, die die Wärme besser abführen als ein geradliniger Luftstrom. Und nicht zuletzt ist Platz für eine Luftströmung unterhalb des SynQor-Wandlers (Platinenunterseite), was ebenfalls die Wärmeabfuhr fördert.

Ein zweiter den Vergleich erschwerender Grund ist, daß der Wirkungsgrad eines Wandlers eine Funktion sowohl seiner Ausgangsleistung als auch seiner Temperatur ist. Die in Tabelle 2 aufgeführten Wirkungsgrade gelten nur für eine einzige Kombination von Leistung und Temperatur: Vollast und 25 Grad Celsius. Die Wandler von SynQor sind so entwickelt, ihren hohen Wirkungsgrad relativ konstant über den gesamten Ausgangsleistungsbereich zu halten - und dieser Wirkungsgrad wird unwesentlich geringer, wenn der Wandler warm wird.

Aus diesen Gründen ist der direkte Blick auf die Leistungsabfall-Kurven der beste Weg zur Bestimmung, ob man mehr gewinnt oder verliert. Die Leistungsabfall-Kurven zeigen die Ausgangsleistung eines DC/DC-Wandlers als Funktion der Temperatur zur Strömungsrate der Umgebungsluft. Jeder Punkt einer Leistungsabfall-Kurve stellt eine Kombination aus Ausgangsleistung und auslösender Umgebungsbedingung für ein Bauelement innerhalb des Wandlers dar, an der ein vorbestimmter Grenzwert erreicht wird.

Hersteller konventioneller Gleichspannungswandler spezifizieren, daß Anwender die Grundplatte ihrer Wandler unter einem Maximalwert halten sollen (typisch 100 Grad Celsius). Heißere Umgebungsluft, gehemmter Luftstrom und kürzere Kühlkörper reduzieren sämtlich die Leistung, die der Anwender letztlich dem Wandler entnehmen kann, bevor die Basisplatte diesen thermischen Grenzwert erreicht.

Da nun die SynQor-Wandler keine Grundplatte besitzen, werden direkt die Bauteile betrachtet, um zu erkennen, wann die Ausgangsleistung des Wandlers begrenzt werden muß. SynQor hat sich entschlossen, daß die Leistungs-MOSFETs, die für den Betrieb bis 150 Grad Celsius ausgelegt sind, nicht wärmer als 125 Grad Celsius werden sollen. Zusätzlich hat man festgelegt, daß die Leiterplatte, die für 130 Grad Celsius ausgelegt ist, nicht wärmer als 120 Grad Celsius werden soll (oder 110 Grad Celsius nahe der Isolationsgrenze). Durch die Wahl dieser Werte deutlich unterhalb der tatsächlichen Temperaturgrenzwerte der Bauelemente ergeben sich deutlich eingebaute Sicherheitszonen bei den Leistungsabfall-Kurven.

Es wird darauf hingewiesen, daß die Spezifikationen herkömmlicher Wandler nicht erwähnen, wie heiß die Bauelemente innerhalb des Wandlers werden, wenn man die Grundplatte 100 Grad Celsius heiß werden läßt. Daher kann man auch nicht sagen, wieviel Sicherheitsreserve, falls vorhanden, bei den Leistungsabfall-Kurven dieser Wandler berücksichtigt ist. Falls man den schlimmsten Fall annimmt, sollte vielleicht eine grössere Schutzzone dadurch geschaffen werden, daß diese Wandler nicht an den Grenzen ihrer Leistungsabfall-Kurven betrieben werden.

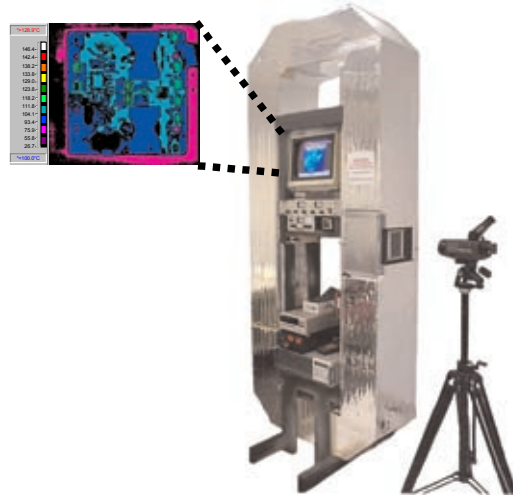


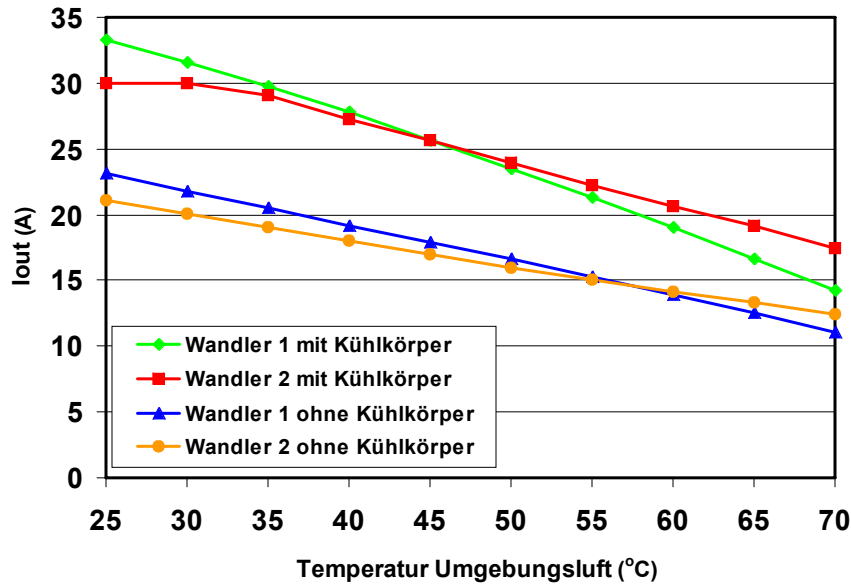
Bild 2: SynQors Windkanal mit Infrarotkamera zur exakten Messung von Leistungsabfallkurven für verschiedenste Umgebungsbedingungen

Wie sehen die Leistungsabfall-Kurven bei 3,3 V-Wandlern aus?

Sämtliche der in diesem Artikel gezeigten Leistungsrückgangs-Kurven wurden durch praktische Messungen an Gleichspannungswandlern gewonnen (außer wenn gesondert erwähnt). Zu diesem Zweck wurde der in Bild 2 gezeigten Windkanal aufgebaut, in welchem Temperatur und Luftstrom gesteuert werden können. Der Wandler wurde auf eine Leiterplatte innerhalb des Windkanals aufgebaut und durch ein seitliches Fenster des Kanals wurden Infrarotbilder aufgenommen. Mit dieser Einrichtung kann exakt der Leistungspegel ermittelt werden, bei dem ein Temperaturlimit unter einer bestimmten Umgebungsbedingung erreicht wird.

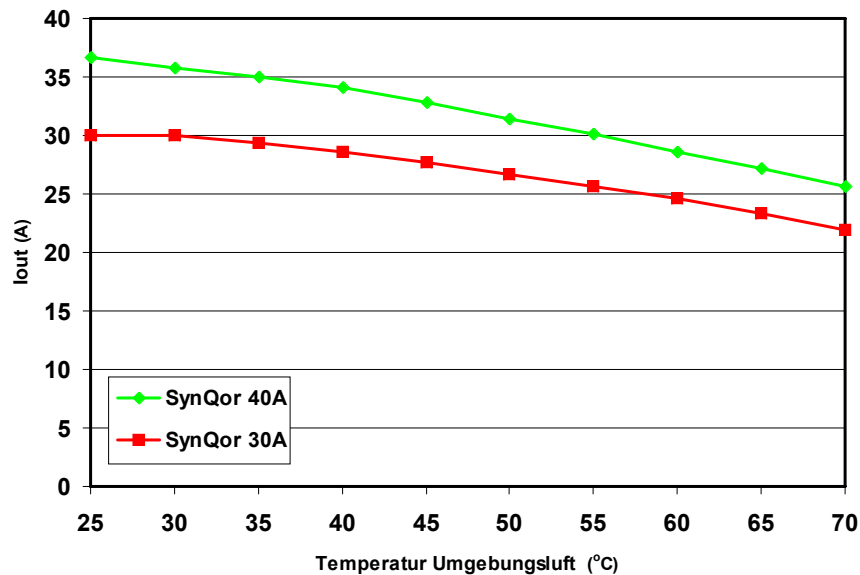
Der nachfolgende Graph (Graph 1) zeigt die Leistungsabfall-Kurven für zwei Schottky-Dioden-Markengeräte mit 3,3 V-Ausgang. Für jedes Gerät steht ein Kurvenpaar, je eine Kurve mit 0,5"-Kühlkörper auf dem Wandler und je eine ganz ohne Kühlkörper. Ähnliche Kurvenpaare würden sich bei anderen Herstellern, bei anderen Ausgangsspannungen und anderen Höhen der Kühlkörper zeigen. Manche Hersteller geben dem Benutzer alle zur Aufstellung solcher Leistungsabfall-Kurven benötigten Informationen, andere wiederum tun dies nicht.

Wie man diesen Kurven entnehmen kann, beträgt die tatsächliche einem konventionellen Half-Brick-Wandler entnehmbare Leistung weniger als der Nennwert. Beispielsweise kann man (obwohl mit einem 0,5" hohen Kühlkörper versehen) lediglich 22 A aus dem Wandler JW150 von Lucent entnehmen, wenn man die Umgebungsbedingungen auf 55 Grad Celsius und 200 LFM verschlechtert. Falls für Kühlkörper kein Platz ist, dann kann man nur noch 15 A entnehmen.



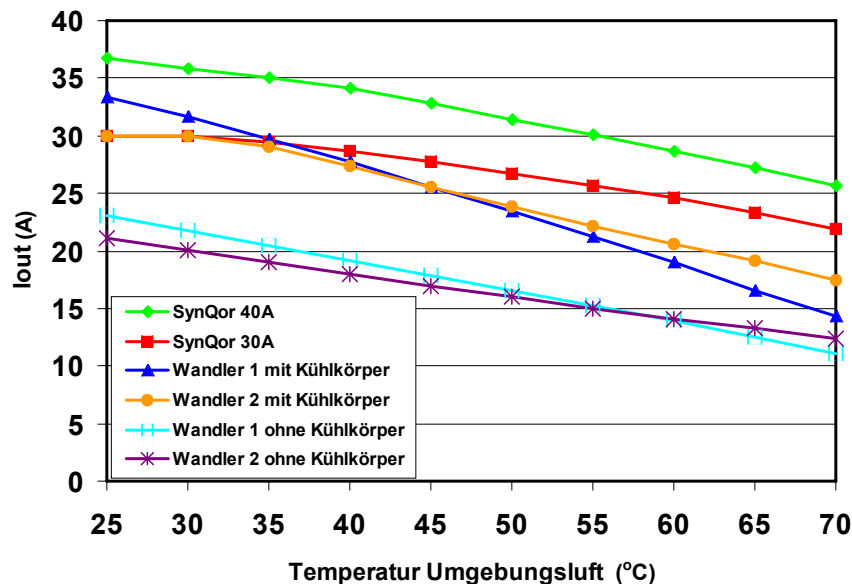
Graph 1: Leistungsabfall-Kurve für Wandler 1 and Wandler 2, 3.3V out Half-Brick Moduln mit 200 LFM Luftstrom mit und ohne 0.5" Kühlkörper.

Im Vergleich zeigt der unten aufgenommene Graph 2 die Leistungsabfall-Kurven der PowerQor-Wandler für 3,3 V und 30 A bzw. 40 A im Half-Brick-Format. Diese Kurven beziehen sich auf Wandler ohne Kühlkörper und ohne Grundplatte aus Metall !



Graph 2: Leistungsabfall-Kurve für PowerQor 30 A und 40 A Half-Brick Moduln (3.3V out) mit 200 LFM Luftstrom (**OHNE KÜHLKÖRPER**).

Um beim Vergleich der oben gezeigten Leistungsrückgangs-Kurven zu helfen, faßt der folgende Graph die Kurven bei 200 LFM mit allen vorhergehenden Graphen zusammen.



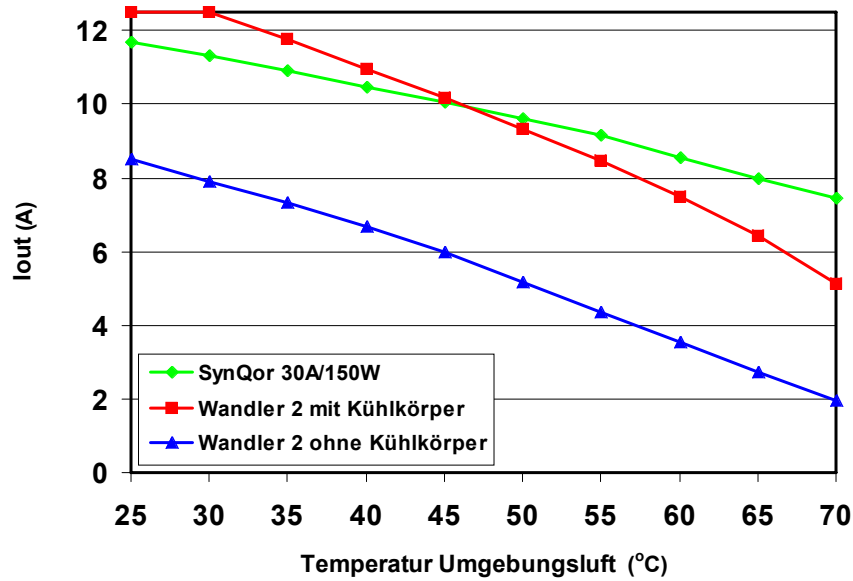
Graph 3: Leistungsabfall-Kurven im Vergleich aller Half-Brick Modulen (3,3V Ausgangsspannung) mit 200 LFM Luftstrom.

Wie man klar erkennen kann, liefert der hocheffiziente 3,3 V-Wandler von SynQor erheblich mehr Ausgangsstrom und Leistung ohne Kühlkörper, als es konventionelle 3,3V-Wandler mit einem 0,5"-Kühlkörper vermögen. Und falls man keinen Platz für Kühlkörper hat, gleich welchen anderen Wandler man wählen würde, so liefern die SynQor-Wandler dennoch beträchtlich mehr Leistung.

Wie verhalten sich die Leistungsabfall-Kurven bei anderen Ausgangsspannungen?

Was aber geschieht mit diesem Vergleich, wenn man auf Wandler mit anderen Ausgangsspannungen als 3,3 V schaut. Auf der Grundlage der Wirkungsgradebenen in der zweiten Tabelle müßte man erwarten, daß die Leistungsabfall-Kurven bei 200 LFM für die SynQor-Wandler (ohne Kühlkörper) mit denen konventioneller Konverter (mit Kühlkörpern) bei Spannungen über 3,3 V näher zusammenrücken. Dies beruht darauf, daß bei höheren Ausgangsspannungen der Wirkungsgrad eines mit Schottky-Dioden aufgebauten Wandlers viel besser als bei kleineren Spannungen ist. Andererseits würde man erwarten, daß die SynQor-Wandler für die kleinen Spannungen nur im Verhältnis besser abschneiden, weil dort die konventionelle Wandler unter ihrem schlechten Wirkungsgrad leiden. Der nachfolgende Graph liefert die exakten Daten für den Vergleich.

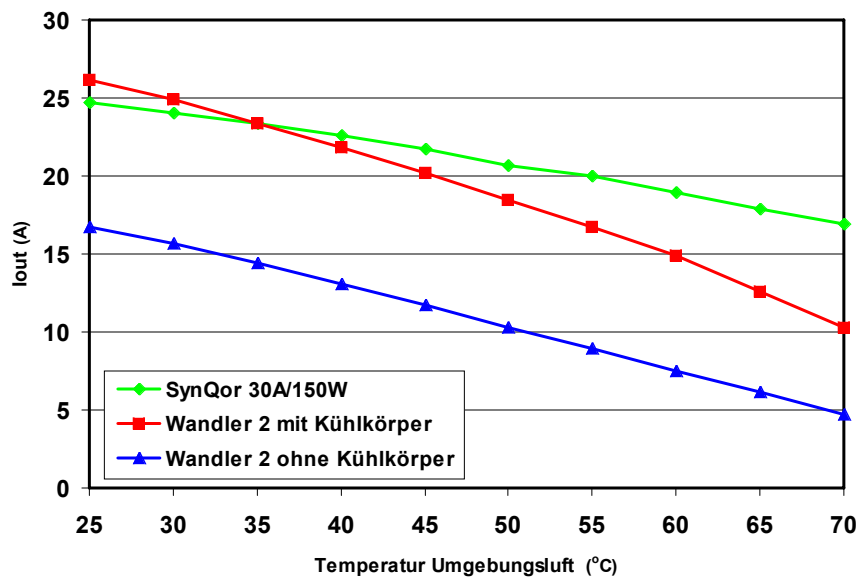
Man betrachtet zunächst die höheren Ausgangsspannungen. Der Graph 4 zeigt die Leistungsabfall-Kurven bei 200 LFM für **12 V**-Wandler von SynQor (ohne Kühlkörper) und Wandler 2 (jeweils mit und ohne 0,5" hohem Kühlkörper).



Graph 4: Leistungsabfalls-Kurven mit **12 V** Ausgangsspannung von Wandler 2 und SynQor Half-Brick Modulen mit 200 LFM Luftstrom

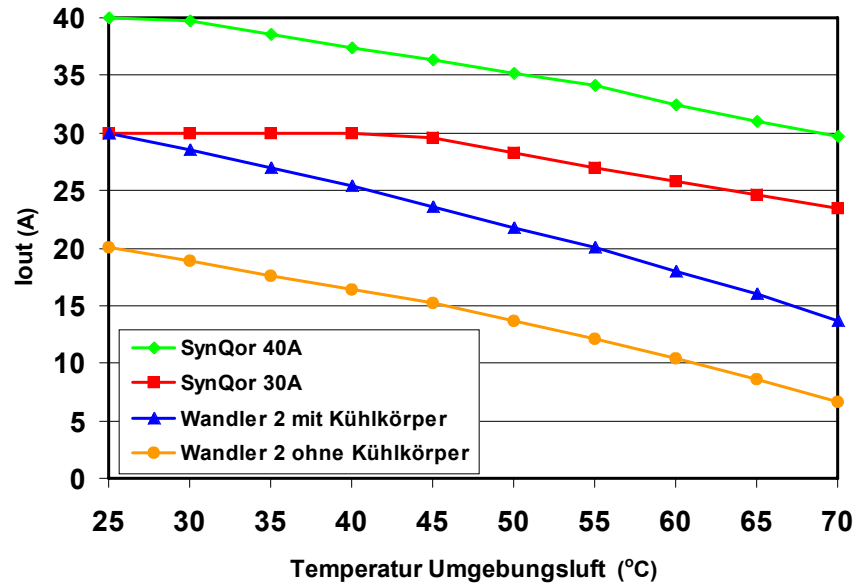
Wie man erkennt, übertrifft der SynQor-Wandler den Wandler 2 mit Kühlkörper, wenn die Umgebungstemperatur 45 Grad Celsius überschreitet. Bei 55 Grad Celsius liefert der SynQor-Wandler über 7 % mehr Ausgangsstrom als der Wandler 2 mit Kühlkörper.

Graph 5 zeigt die Leistungsabfalls-Kurven bei 200 LFM für Wandler mit **5 V** Ausgangsspannung. In diesem Fall liefert der SynQor-Wandler mehr Ausgangsstrom bei jeder Temperatur über 35 Grad Celsius. Bei 55 Grad Celsius liefert der SynQor-Wandler rund 20 % mehr Ausgangsstrom als der Wandler 2 mit Kühlkörper.



Graph 5: Leistungsabfalls-Kurven mit **5 V** Ausgangsspannung von Wandler 2 und SynQor Half-Brick Modulen mit 200 LFM Luftstrom

Nun soll betrachtet werden, was geschieht, wenn die Ausgangsspannung unter 3,3 V liegt. Graph 6 zeigt die Leistungsabfall-Kurven bei 200 LFM sowohl für die **2,5 V**-Wandler für 30 A und für 40 A von SynQor (kein Kühlkörper) und dem 30 A-Wandler von Wandler 2 (jeweils mit und ohne 0,5" hohem Kühlkörper).



Graph 6: Leistungsabfall-Kurven für **2,5 V** Ausgangsspannung von Wandler 2 und SynQor Half-Brick Modulen mit 200 LFM Luftstrom

Bei dieser kleineren Spannung liefern die SynQor-Wandler beträchtlich mehr Ausgangsstrom unter allen thermischen Bedingungen. Bei 55 Grad Celsius liefert der 30-A-SynQor-Wandler 35 % mehr Ausgangsstrom, während der 40-A-Wandler 70 % mehr Strom liefern kann als der Wandler 2 mit einem 0,5"-Kühlkörper.

Schlußfolgerungen

Die in diesem Papier vorgestellten Daten zeigen, dass die DC/DC-Wandlertechnologie einen evolutionären Schritt nach vorn getan hat. Durch die Verwendung der Synchrongleichrichtung und verbesserter Schaltungstechnik können die SynQor-Wandler eindrucksvolle Gewinne beim Wirkungsgrad verzeichnen, besonders bei kleinen Ausgangsspannungen. Im Ergebnis verursachen PowerQor-Wandler nur die Hälfte der Verlustwärme gegenüber konventionellen Wandlern bei Kleinspannungen für heutigen Logikschaltungen. Dadurch wird der Betrieb des Wandlers ohne aufgesetzte Kühlkörper oder Grundplatte möglich, was gegenüber einem Wandler mit Kühlkörper Bauhöhe, Gewicht, Kosten spart und den Einbauaufwand verringert. Die SynQor-Wandler können auch deutlich mehr Ausgangsleistung als vergleichbare Wandler mit Kühlkörpern liefern. Durch die Verwendung der kühlkörperlosen Wandler befreit man sich von dieser Last und fängt an, die Vorteile eines höheren Wirkungsgrads und verbesserter thermischer Daten zu ernten.