

Kostenreduktion durch Traco Powers neueste DC/DC-Wandler mit ULTRA-weitem Eingangsspannungsbereich

“Kosten- und Platzersparnis durch den Einsatz der neuesten DC/DC-Wandler von Traco Power. Eine spezielle Funktion für den direkten Anschluss von Überbrückungskondensatoren macht es möglich.”

1 Kurzer Überblick

Traco Powers neue DC/DC-Wandler mit ultraweitem 12:1 Eingangsspannungsbereich verfügen über einen speziellen "Bus Pin" für den direkten Anschluss eines Überbrückungskondensators. Mit dieser neuen Funktion kann der Anwender bis zu 93% der Kosten für externe Kondensatoren einsparen und gleichzeitig deren Volumen um bis zu 93% reduzieren. Durch die Verringerung der Anzahl an Bestückungsvarianten von drei auf eine kann der Aufwand für Entwicklung, Zertifizierung, Prüfung, Montage, Lagerhaltung, Wartung und Support im Vergleich zu einer herkömmlichen Lösung auf ein Minimum reduziert werden.

Um die Effektivität dieser Lösung zu demonstrieren, wurde eine Fallstudie durchgeführt. Im Folgenden wird die Auslegung einer DC-Stromversorgung für ein Fahrgastinformationssystem für den Einsatz in Bahn- und Bus-Anwendungen besprochen. Die Stromversorgung kann 20ms lange Unterbrechungen der Versorgungsspannung überbrücken, ohne dass das Fahrgastinformationssystem dadurch gestört wird. Diese Unterbrechungen können bei batteriebetriebenen Systemen allgemein auftreten. Die Unterbrechungsfreie Funktion stellt daher auch in vielen Industrieanwendungen eine wichtige Anforderung dar.

Die Studie zeigt, dass Traco Powers neue Produkte sowohl im Vergleich mit konventionellen DC/DC-Wandlern mit ultraweitem 12:1-Eingangsspannungsbereich, als auch im Vergleich mit handelsüblichen DC/DC-Wandlern, welche „nur“ über einen weiten 4:1-Eingangsspannungsbereich verfügen, sehr gut abschneiden.

2 Einleitung

Die Norm EN 50155 [1] legt wichtige Anforderungen für den Betrieb, die Auslegung und die Prüfung von elektronischen Geräten in Schienenfahrzeugen fest. Dank ihrer umfassenden Berücksichtigung "rauer" Umgebungsbedingungen wird die EN 50155 häufig für die Entwicklung robuster Industrieanwendungen herangezogen. Dazu gehört auch der ungestörte Weiterbetrieb bei einer Unterbrechung der Versorgungsspannung für eine Dauer von bis zu $T_h = 20$ ms.

Während der Unterbrechung kann der Eingang kurzgeschlossen sein. Die Stromversorgung muss daher über eine (externe) Überbrückungskondensatorbank verfügen. Der Entwurf der Überbrückungsschaltung und die Dimensionierung der Kondensatorbank sind wichtige Bestandteile der Systemauslegung. Auf diese wird im Folgenden im Detail eingegangen.

3 Fallstudie: Auslegung für verlängerte Überbrückungszeit

In der folgenden Fallstudie entwickelt ein Erstausrüster (OEM) eine Gleichstromversorgung für ein kostengünstiges, sehr kompaktes und leichtes Fahrgastinformationssystem für den Einsatz in Bahn- und Bus-anwendungen. Die Stromversorgung arbeitet mit einer Nennleistung von $P_{nom} = 40$ W. Dies reicht aus, um einen kleinen Bildschirm, einen Feldcomputer und Netzwerkperipherie wie z.B. industrielles Ethernet und/oder drahtlose Kommunikation nach IEEE 802.11 zu versorgen.

3.1 Wichtigste Anforderungen an die DC-Stromversorgung

In Tabelle 1 sind die wichtigsten elektrischen Parameter der DC-Stromversorgung aufgeführt. Die Nenn Eingangsspannungen umfassen die branchenüblichen

24V-, 48V-, 96V-, und 110V-Batteriesystemspannungen.

Um die Markteinführungszeit zu verkürzen und Entwicklungs-, Herstellungs- und Wartungskosten zu sparen, hat sich der OEM für eine Lösung mit einem einzigen DC/DC-Wandler entschieden, welcher bei allen Systemspannungen betrieben werden kann

- Szenario A stellt das Referenzdesign dar, welches zur attraktivsten Lösung führt. Der gewählte Traco Power TEP 40UIR DC/DC-Wandler unterstützt den Dauerbetrieb mit einer Nennleistung bis zu 40W über den gesamten Eingangsspannungsbereich. Dank des speziellen Anschlusses für den Überbrückungskondensator sind das Volumen und die Kosten der erforderlichen externen Kondensatorbank minimal.

In dieser Fallstudie werden auch zwei alternative Szenarien analysiert:

- Szenario B verwendet ein vergleichbares Produkt eines Mitbewerbers mit ultraweitem 12:1-Eingangsspannungsbereich. Allerdings verfügt dieses nicht über einen dedizierten Anschluss für die Überbrückungskondensatoren.
- Szenario C zeigt ein Referenzdesign, welches auf einem handelsüblichen DC/DC-Wandler mit weitem 4:1-Eingangsspannungsbereich basiert. Diese Wandler weisen ebenfalls keinen speziellen Überbrückungskondensatoranschluss auf. Aufgrund des limitierten Eingangsspannungsbereichs führt diese Lösung außerdem zu insgesamt drei verschiedenen Bestückungsvarianten mit drei verschiedenen Überbrückungskreisen.

3.2 Dimensionierung der Überbrückungskondensatorbank

Die Fähigkeit einer Gleichstromversorgung, kurze Unterbrechungen der Versorgungsspannung zu tolerieren, hängt von der korrekten Dimensionierung der Überbrückungsschaltung ab. Im Folgenden wird diese für alle drei Szenarien diskutiert.

3.2.1 Szenario A:

Abbildung 1 zeigt, wie ein DC/DC-Wandler mit erweiterter Überbrückungsfunktion ("Bus-Pin") den Anschluss einer Überbrückungskondensatorbank vereinfacht. Im Normalbetrieb wird der Überbrückungskondensator durch eine interne Schaltung des DC/DC-Wandlers geladen. Im Falle einer Unterbrechung der Versorgungsspannung schaltet der Wandler selbständig von den Eingangsklemmen auf den externen Überbrückungskondensator um. Eine Diode D₁ verhindert, dass der DC/DC-Wandler bei einer versehentlichen Verpolung der Versorgungsspannung Schaden nimmt. Die Diode verhindert auch, dass sich im Kurzschlussfall die Überbrückungskondensatorbank in die Hauptstromquelle entlädt.

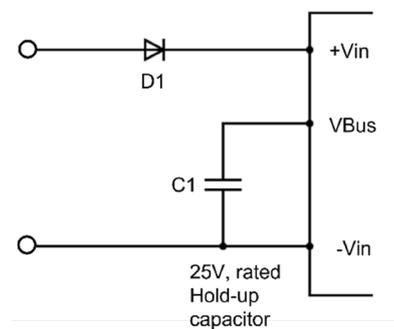


Abbildung 1: Vereinfachtes Schaltbild der Überbrückungsschaltung bei Verwendung eines DC/DC-Wandlers mit einem direkten Überbrückungskondensatoranschluss ("Bus-Pin").

Die minimale Überbrückungskapazität wird nach der folgenden Formel [2] berechnet:

$$C_1 = C_{h,min} = 1.5 \cdot \frac{1}{\eta_{wc}} \cdot \frac{2P_{nom} \cdot T_{hold}}{V_{h,nom}^2 - V_{UVLO}^2}$$

In der obigen Formel bezeichnet η_{wc} den Wirkungsgrad des DC/DC-Wandlers bei Vollast. Ein Faktor von 1,5 ist enthalten, um Toleranzen und Nichtidealitäten zu berücksichtigen. Die Variable V_{UVLO} bezeichnet die niedrigste Eingangsspannung, bei der der Wandler noch normal arbeitet. Die Spannung $V_{h,nom}$ ist die Ladespannung der Überbrückungskapazität im Normalbetrieb. Dank der erweiterten Überbrückungsfunktion des DC/DC-Wandlers ist diese Spannung im Normalbetrieb über alle Nenn Eingangsspannungen konstant [2]:

$$V_{h,nom} = 21.4V.$$

Dies ermöglicht es dem Anwender, kostengünstige Kondensatoren mit niedriger Nennspannung für die Speicherung der Überbrückungsenergie zu verwenden. Eine Nennspannung von

$$V_{C1, \text{rated}} = 25V,$$

wie in [2] empfohlen, genügt. Beachten Sie, dass diese Spannung nur geringfügig über $V_{C1, \text{nom}}$ liegt, was die Effektivität dieser Schaltung hervorhebt. Die Überbrückungszeit kann auch dann erreicht werden, wenn eine Unterbrechung bei der niedrigsten Nennspannung von $V_{\text{nom, min}} = 24V$ auftritt, wie in der EN 50155 [1] gefordert.

3.2.2 Szenario B

Abbildung 2 zeigt ein vereinfachtes Schaltbild einer Überbrückungslösung für DC/DC-Wandler, welche nicht über eine direkte Überbrückungsschaltung verfügen. Im Normalbetrieb wird der Überbrückungskondensator C_1 über einen externen Widerstand R_1 geladen. Im Falle einer Unterbrechung der Versorgungsspannung gibt der Überbrückungskondensator die gespeicherte Energie über die Diode D_2 an den DC/DC-Wandler ab. Die Diode D_1 verhindert, dass der Wandler bei einer versehentlichen Verpolung der Eingangsspannung Schaden nimmt. Wie in der obigen Schaltung, verhindert die Diode auch, dass sich im Kurzschlussfall die Überbrückungskondensatorbank über die Klemmen entlädt.

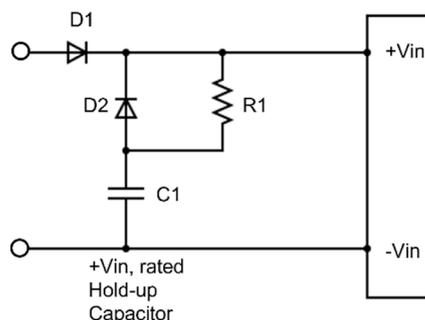


Abbildung 2: Vereinfachtes Schaltbild zeigt den Anschluss der Überbrückungskondensatorbank für den Fall, dass der DC/DC-Wandler nicht über einen direkten Überbrückungskondensatoranschluss verfügt.

Die Wahl von R_1 stellt stets einen Kompromiss zwischen der Begrenzung des Einschaltstroms und der Minimierung der (Wieder-)Aufladezeit der Kondensatorbank dar. Die minimale Überbrückungskapazität wird nach der folgenden Formel [3] berechnet:

$$C_2 = C_{h, \text{min}} = 1.5 \cdot \frac{1}{\eta_{\text{wc}}} \cdot \frac{2P_{\text{nom}} \cdot T_{\text{hold}}}{V_{h, \text{nom}}^2 - V_{\text{UVLO}}^2}.$$

In der obigen Formel steht η_{wc} wieder für den Wirkungsgrad des DC/DC-Wandlers bei Vollast. Erneut ist ein Faktor von 1,5 enthalten, um Toleranzen und andere Nichtidealitäten zu berücksichtigen. Die Variable V_{UVLO} gibt die niedrigste Eingangsspannung an, bei der der Wandler noch normal arbeitet. Da keine spezielle Überbrückungsschaltung vorhanden ist, folgt die Spannung des Überbrückungskondensators der Eingangsspannung. Für den ungünstigsten Fall, dass der Wandler mit der niedrigsten Nennspannung betrieben wird, bedeutet dies:

$$V_{h, \text{nom}} = V_{\text{nom, min}} = 24V.$$

Bei dieser Spannung muss noch genügend Energie im Kondensator vorhanden sein, um die gesamte Überbrückungszeit zu gewährleisten.

Gleichzeitig muss die Kondensatorbank jedoch auch für die maximale (transiente) Eingangsspannung von

$$V_{h, \text{rated}} \geq V_{\text{in, max}} = 154V$$

ausgelegt sein. Die Kombination dieser Faktoren stellt einen erheblichen Nachteil für Bauvolumen und Kosten der Kondensatorbank dar. Um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten, wurde vom OEM eine Spannung von $V_{h, \text{rated}} = 200V$ gewählt.

3.2.3 Szenario C:

Da DC/DC-Wandler mit ultraweiten 12:1-Eingangsspannungsbereich noch relativ neu auf dem Markt sind, wird auch ein Vergleich mit einer Schaltung auf Basis eines DC/DC-Wandlers mit „nur“ weitem 4:1-Eingangsspannungsbereich gezogen. Aufgrund des begrenzten Eingangsspannungsbereichs sind hier jedoch drei verschiedene Bestückungsvarianten erforderlich (eine für jede Systemspannung).

Da die Auslegung für den Überbrückungskreis jeder Variante prinzipiell vergleichbar mit der Auslegung in Szenario B ist, wird dies hier nicht erneut diskutiert. Eine Berechnung der Überbrückungskapazität und der Nennspannung erfolgt analog der in Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Formeln.

4 Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie. Für alle drei Szenarien wurde der Nennenergieinhalt der Überbrückungskondensatoren, die gesamten Kondensatorkosten, die Anzahl der Kondensatoren und deren Gesamtvolumen visualisiert.

Dank seines dedizierten Überbrückungskondensatoranschlusses führt der TEP 40UIR-Wandler von Traco Power (Szenario A) zur attraktivsten Lösung. Verglichen mit einem Design, welches auf einem herkömmlichen DC/DC-Wandler mit ultraweitem 12:1-Eingangsspannungsbereich ohne dedizierte Überbrückungsschaltung (Szenario B) basiert, führte die gewählte Lösung zu einer Verringerung des Volumens der externen Überbrückungskondensatoren um bis zu insgesamt 93%. Gleichzeitig ist eine Verringerung der Kosten für die Überbrückungskondensatoren um bis zu insgesamt 93% möglich.

Die Vorteile des Referenzdesigns (Szenario A) werden noch deutlicher, wenn man es mit einer Lösung vergleicht, die auf einem handelsüblichen DC/DC-Wandler mit „nur“ weitem 4:1-Eingangsspannungsbereich basiert (Szenario C). Hier kann mit dem Traco Power TEP 40UIR eine Reduzierung des Kondensatorvolumens um bis zu 36% und eine Reduktion der Kosten um bis zu 25% erreicht werden. Gleichzeitig reduziert sich die Anzahl der Aufbauvarianten von drei auf nur eine.

Mit anderen Worten: Durch den Einsatz der neuen DC/DC-Wandler von Traco Power mit ultraweitem 12:1-Eingangsspannungsbereich und direktem Überbrückungskondensatoranschluss ("Bus-Pin") kann eine einzige Stromversorgung mehrere Batteriesystemspannungen abdecken. Gleichzeitig können Kosten, Gewicht und Größe der Anwendung reduziert werden.

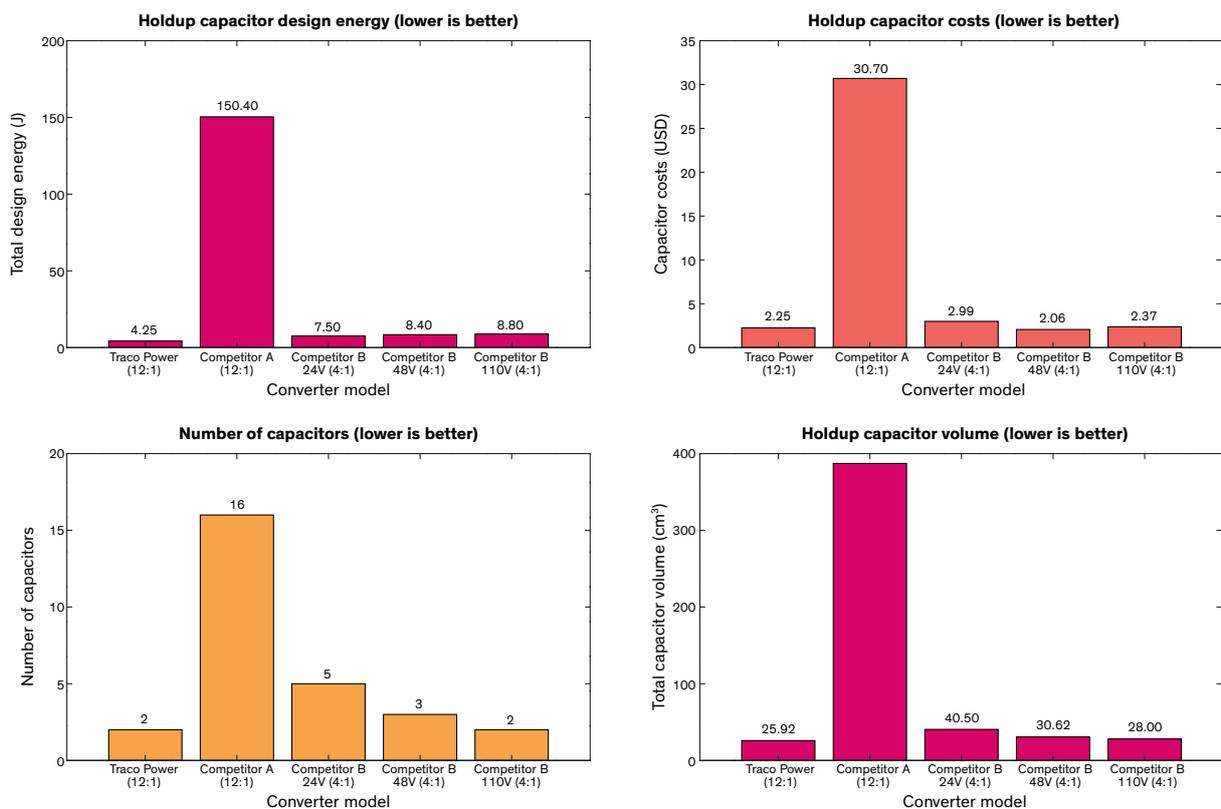


Abbildung 3: Vergleich von Nennenergieinhalt, Kosten, Anzahl und Gesamtvolumen der Überbrückungskondensatoren in allen drei Szenarien

4.1 Voraussetzungen und Einschränkungen

Diese Publikation befasst sich mit einer Anwendung aus der Praxis. Obwohl die Anforderungen und Konstruktionsentscheidungen vereinfacht wurden, spiegeln sie zentrale technische Herausforderungen bei der Konstruktion für einen kontinuierlichen Betrieb bei kurzen Unterbrechungen der DC-Versorgungsspannungen wider. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass in dieser Publikation theoretische Überlegungen angestellt werden, die auf idealen Betriebsbedingungen und idealen Komponenteneigenschaften basieren. Zusätzliche Anwendungsanforderungen können vertraglich vereinbart oder technisch erforderlich sein (z.B. Eingangsfiler und thermische Überlegungen) und müssen in jedem Fall vom Anwender gesondert beurteilt werden.

Konformitätsrichtlinien und (technische) Vorschriften können sich auf die Auslegung und Dimensionierung und damit auf das Ergebnis dieser Studie auswirken und sind vom Anwender stets zu berücksichtigen. Es wird dringend empfohlen, dass Toleranzen, Alterung und Umweltbedingungen bei der Konstruktion ausreichend berücksichtigt werden und dass ein angemessenes Risikomanagement vorhanden ist. Unterschiedliche Schaltungsvarianten (z.B. mit aktiver Umschaltung der Eingangsspannung) erfordern unterschiedliche Auslegungsmethoden. Eine detaillierte Erörterung zusätzlicher hätte den Rahmen dieser Publikation gesprengt und wurde daher der Kürze halber weggelassen.

		Szenario A	Szenario B	Szenario C		
Anwendung		Fahrgastinformationssystem				
Auslegungskanäle		Einfach		Mehrfach		
Überbrückungs-verbinding		Dediziert	Mit Eingang			
Leistungswandler		TEP 40UIR	Mitbewerber A	Mitbewerber B		
Ausgangsleistung	P_{nom}	40W	40W	40W	40W	40W
Niedrigste Nenneingangsspannung	$V_{nom,min}$	24V	24V	24V	48V	96V
Höchste Nenn-eingangsspannung	$V_{nom,max}$	110V	110V	24V	48V	110V
Maximale (transiente) Eingangsspannung	$V_{in,max}$	154V	154V	34V	67V	154V
Ausgangsspannung	$V_{out,nom}$	24V	24V	24V	24V	24V
Dauer der Unterbrechung	T_{holdup}	20 ms	20 ms	20 ms	20 ms	20 ms

Tabelle 1: Hauptanforderungen an den Stromkreis für ein Fahrgastinformationssystem für Stadt- und Straßenbahnen.

		Szenario A	Szenario B	Szenario C		
Wirkungsgrad der Leistungsumwandlung im ungünstigsten Fall	η_{wc}	90%				
Mindestens erforderliche Überbrückungskapazität	$C_{h,min}$	10'641 μ F	7'234 μ F	5'349 μ F	1'335 μ F	0.358 μ F
Maximale Unterspannungs-Ab-schaltsschwelle (UVLO)	V_{UVLO}	14.4 V	14.4 V	8.8 V	17.5 V	42 V
Nennspannung der Kondensatoren	$V_{h,rated}$	25 V	200 V	50 V	100 V	200 V
Kondensator		Nichicon UPW1E682 MHD	Nichicon UPW2C471 MRD	Nichicon UPW1H12 2MHD6	Nichicon UPW2A5 61MHD	Nichicon UPW2C2 21MRD6
Anzahl der parallel geschalteten Kondensatoren		2	16	5	3	2
Kosten pro Kondensator		1.12 \$	1.91 \$	0.60 \$	0.69 \$	1.19 \$
Gesamtvolumen der Kondensatoren (Box)		26 cm ³	387 cm ³	41 cm ³	31 cm ³	28 cm ³
Gesamtkosten für Kondensatoren		2.25 \$	30.70 \$	2.99 \$	2.06 \$	2.37 \$

Tabelle 2: Dimensionierung und Auslegung der Kondensatorbank für die Überbrückung von Netzspannungsunterbrechungen

5 Fazit

In diesem Whitepaper wurde erörtert, wie die erweiterte Überbrückungsfunktion ("Bus-Pin") der neuesten DC/DC-Wandler mit ultraweitem 12:1-Eingangsspannungsbereich von Traco Power die Kosten und das Volumen der passiven Komponenten in einer typischen Anwendung erheblich reduzieren kann. Eine Referenz-Gleichstromversorgung wurde für den Einsatz in einem Fahrgastinformationssystem für Stadt- und Straßenbahnen entwickelt. Bei Verwendung des DC/DC-Wandlers TEP 40UIR von Traco Power kann der Anwendungsingenieur bis zu 93% der Kosten für Überbrückungskondensatoren einsparen und das Volumen der Überbrückungskondensatoren um bis zu 93% reduzieren, verglichen mit einer Lösung, die auf einem Mitbewerberprodukt ohne spezielle Überbrückungsschaltung basiert.

Die Vorteile der neuen DC/DC-Wandler von Traco Power mit ultraweitem 12:1-Eingangsspannungsbereich werden noch deutlicher, wenn man sie mit modernen Produkten mit einem weiten 4:1-Eingangsspannungsbereich vergleicht. Mit dem TEP 40UIR kann der Anwendungsingenieur nicht nur bis zu 25% der Kosten für Überbrückungskondensatoren und bis zu 36% des Volumens der Überbrückungskondensatoren einsparen, sondern gleichzeitig mit einem einzigen Design mehrere Batteriesystemspannungen sicher anschließen. Auf diese Weise reduziert der Anwendungsingenieur auch die Kosten für Entwicklung, Zertifizierung, Prüfung, Montage, Umrüstung, Lagerhaltung, Wartung und Support.

6 Referenzen

- [1] EN 50155- Railway applications – Rolling stock – Electronic equipment
- [2] Traco Bus Pin AN
- [3] General Holdup Application Note

7 Haftungsausschluss

Für die Richtigkeit und Vollständigkeit der in diesem Dokument enthaltenen Information wird keine Gewähr geleistet, weder ausdrücklich noch implizit. Handlungen basierend auf den in diesem Dokument gemachten Angaben, geschehen auf eigene Verantwortung. Es wird jegliche Haftung ausgeschlossen, sowohl für direkte wie auch für indirekte Schäden und Folgeschäden, welche im Zusammenhang mit der Verwendung der Informationen dieses Dokuments entstehen können.

Autor Dr. André Buffing,
Global Product & Portfolio Manager
L. Dinkelmann,
Datum July 2022

Kontakt / Anfragen

Yves Elsasser
Traco Electronic AG
Sihlbruggstrasse 111
6340 Baar
Schweiz

Tel: +41 43 311 45 11
E-mail: y.elsasser@tracopower.com
Web: www.tracopower.com

