



**Energie**  
Nationale Forschungsprogramme 70 und 71

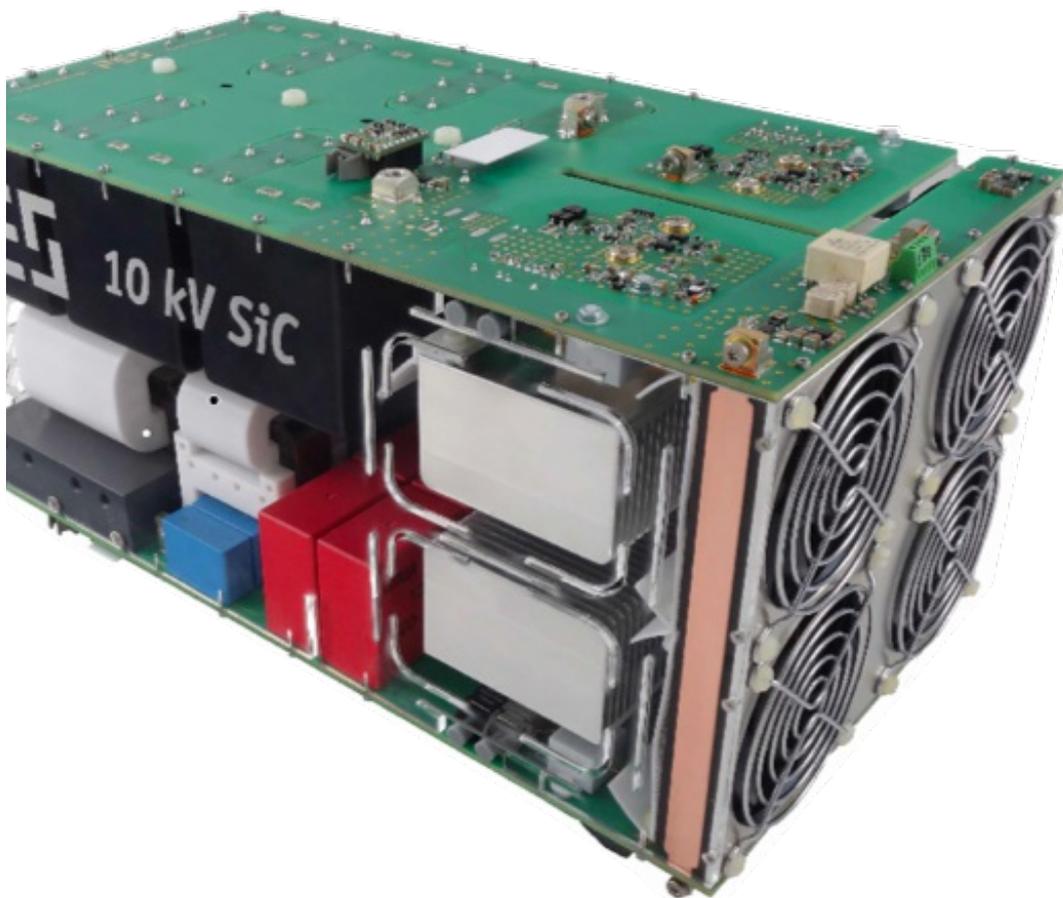
# Projekt

## Demonstrator SiC-Festkörpertransformator



## Mit neuen Solid-State-Transformatoren elektrische Energie effizienter nutzen

Neue Entwicklungen in der Transformatortechnologie ermöglichen es, die Energieversorgung mit intelligenten Lösungen zu optimieren. Forschende der ETH Zürich haben einen superkompakten und hocheffizienten 7kV-400V-Spannungsumwandler entwickelt, der das Potenzial der neuen leistungselektronischen Transformatoren demonstriert.



Ein an der ETH Zürich entwickelter leistungselektronischer Solid-State-Transformator gibt mit seinem kompakten und effizienten Aufbau einen Vorgeschmack auf die Zukunft der elektrischen Energieversorgung. *Quelle: ETHZ*





## Auf einen Blick

- Leistungselektronische Transformatoren ermöglichen eine direktere und effizientere Versorgung energieintensiver Anlagen.
- Forschende der ETH haben einen neuen leistungselektronischen Transformator für die Energieversorgung von Rechenzentren entwickelt.
- Der ETH-Transformator ist nur halb so gross wie vergleichbare Geräte und überträgt Leistung mit einer rekordhohen Effizienz von 98,1 Prozent.

Vor dem Hintergrund des Klimaschutzes nimmt die Elektrizität einen steigenden Stellenwert ein. Denn der aus erneuerbaren Quellen erzeugte kohlenstofffreie Energieträger ist für eine Energieversorgung ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen prädestiniert. So entstehen einerseits durch die verstärkte Nutzung der sauberen Energien Wind und Sonne zahlreiche neue Energieerzeuger. Andererseits wird Elektrizität auch für immer mehr energieintensive Anwendungen gebraucht, etwa in Ladestationen für Elektroautos oder zum Betrieb von Rechenzentren. Die effiziente Übertragung elektrischer Leistung und die Frequenzumwandlung und Anpassung elektrischer Spannung wird daher in Zukunft wichtiger werden.

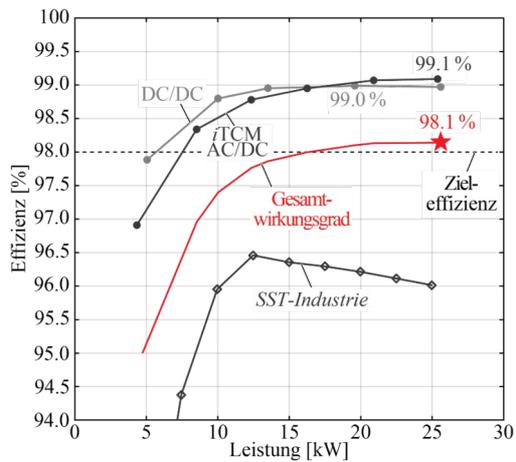
## Kürzere Wege sparen Energie

Bei vielen Arten der elektrischen Energienutzung steht am Anfang die Umwandlung der aus dem Niederspannungsnetz und an der Steckdose verfügbaren Wechselspannung (230 bzw. 400 Volt) in eine vom Endgerät benötigte Gleichspannung. Weil dabei ein geringer Teil der Energie als Wärme verloren geht, wäre es für grössere Anlagen sinnvoll, die Leistung direkt aus dem Mittelspannungsnetz zu beziehen. Das ist die nächsthöhere Netzebene, die für die Grobverteilung der elektrischen Leistung zuständig ist und mit Wechselspannungen von vielen Kilovolt arbeitet. Bei einer direkten Umwandlung der Wechselspannung des Mittelspannungsnetzes in eine an das Endgerät angepasste Gleichspannung könnte ein Umwandelungsschritt übersprungen und der damit verbundene Energieverlust eingespart werden. Forschende der ETH Zürich haben dieses Konzept mit Hilfe einer neuen Halbleitertechnologie umgesetzt – dabei handelt es sich um die in jüngster Zeit entwickelten sogenannten «Solid-State-Transformatoren» (SST) mit leistungselektronischen Umformerstufen auf Siliziumkarbid-Basis, mit denen Spannung und Frequenz beliebig verändert und Schutzfunktionen implementiert werden können.

Die Forschenden orientierten sich am Fall eines Rechenzentrums – ein Typ von Grossverbraucher, der stark im Wachstum begriffen ist. Sie entwickelten einen Solid-State-Transformator, der einen einzelnen Serverschrank mit 25 Kilowatt Leistung versorgen kann und dazu eine Wechselspannung von 3,8 Kilovolt in eine Gleichspannung von 400 Volt umwandelt. Dies geschieht in zwei Stufen, wobei die erste Stufe eine konstante Gleichspannung mit 7 Kilovolt erzeugt, und die zweite Stufe die Spannung mittelfrequenz mittels eines isolierten Schaltkreises auf 400 Volt heruntertransformiert.

## Aufs Maximum reduziert

Das von den ETH-Forschenden entwickelte Gerät stellt Bestehendes gleich mehrfach in den Schatten: Durch seine hohe Taktfrequenz ist es äusserst kompakt und erreicht eine doppelt so hohe Leistungsdichte wie im Rahmen von Forschungsprojekten der Industrie entwickelte Geräte. Ausserdem wird die Effizienz der Spannungsumwandlung durch sogenanntes weiches Schalten der Leistungshalbleiter massiv gesteigert. Durch entsprechende Steuerung wird dabei sichergestellt, dass in den Einschaltzeitpunkten keine Spannung über den Transistoren auftritt und beim Abschalten eines Transistors nur ein relativ langsamer Spannungsaufbau erfolgt. Unter anderem dank dieser effizienten Betriebsweise konnten die Forschenden den Energieverlust gegenüber bestehenden Systemen um die Hälfte senken – wodurch das Gerät einen Gesamtwirkungsgrad von rekordhohen 98,1 Prozent erreicht.



Mit einem Wirkungsgrad der beiden Umwandlungsstufen von je etwa 99 Prozent (obere zwei Kurven) und einem Gesamtwirkungsgrad von gut 98 Prozent (rote Kurve) ist der ETH-Transformator deutlich besser als ein industrielles Vergleichsgerät. Rothmund et al.

## Innovation als Leiter zum Erfolg

Dieser bahnbrechende Erfolg gelang nur dank einer Reihe von weiteren Innovationen bei der Entwicklung des Solid-State-Transformators. Zum Beispiel entwickelten die Forschenden neue Ansteuer- und Schutzkonzepte und eine neue Methode zur Messung der Schaltverluste in den Leistungstransistoren. Erst diese grundlegenden Arbeiten erlaubten es, die Schaltungsstruktur und Konstruktion und schliesslich die Betriebsparameter des Systems wirkungsgradoptimal zu wählen sowie die Effizienz der Schaltung sehr genau zu bestimmen. Eine weitere technische Herausforderung war die Isolation der unter hohen Spannungen stehenden Geräteteile. Da gewöhnliche Materialien eine zu kleine Wärmeleitfähigkeit für diese Anwendung aufwiesen, verwendete das Team ein spezielles Silikon als Isolator und entwickelte ein neues Verfahren zur Berechnung der Mittelfrequenzverluste in Isolierstoffen.



## Kleines Gerät mit grossem Potenzial

Mit seinen hervorragenden Leistungsmerkmalen wird der leistungselektronische Transformator aus der ETH-Schmiede einen deutlich effizienteren Betrieb von Rechenzentren ermöglichen. Aber auch weitere Anlagen mit grossem Verbrauch elektrischer Energie wie die erwähnten Ladestationen für Elektroautos, können von der Forschung profitieren. Vor allem aber zeigt das neue Gerät das Potenzial auf, das in der Technologie der Solid-State-Transformatoren steckt, um die Energieversorgung der Zukunft zu unterstützen.



## Produkte aus diesem Projekt

- Smart transformer for the energy turnaround  
Publikationsdatum: 01.01.18
- Highly Efficient 10kV SiC-Based Solid-State Transformers  
Publikationsdatum: 01.01.18
- Smart All-SiC Solid-State Transformers  
Publikationsdatum: 01.01.18
- Design and Experimental Analysis of a 10 kV SiC MOSFET Based 50 kHz Soft-Switching Single-Phase 3.8 kV AC / 400 V DC Solid-State Transformer  
Publikationsdatum: 01.01.18



## Team & Kontakt

Prof. Dr. Johann W. Kolar

Departement Informationstechnologie und Elektrotechnik, ETH Zürich

ETL H 22

Physikstrasse 3

8092 Zürich

+41 44 632 28 34

[kolar@lem.ee.ethz.ch](mailto:kolar@lem.ee.ethz.ch)



Johann W. Kolar



Daniel Rothmund



Thomas Guillod



Bortis Dominik

Alle Aussagen diesen Seiten bilden den Stand des Wissens per 10.05.2019 ab.