

# Elektronik

09 28. April 2020 8,00 €

## POWER ELECTRONICS & ENERGY MANAGEMENT

### INDUKTIVE ERWÄRMUNG LEICHTGEMACHT

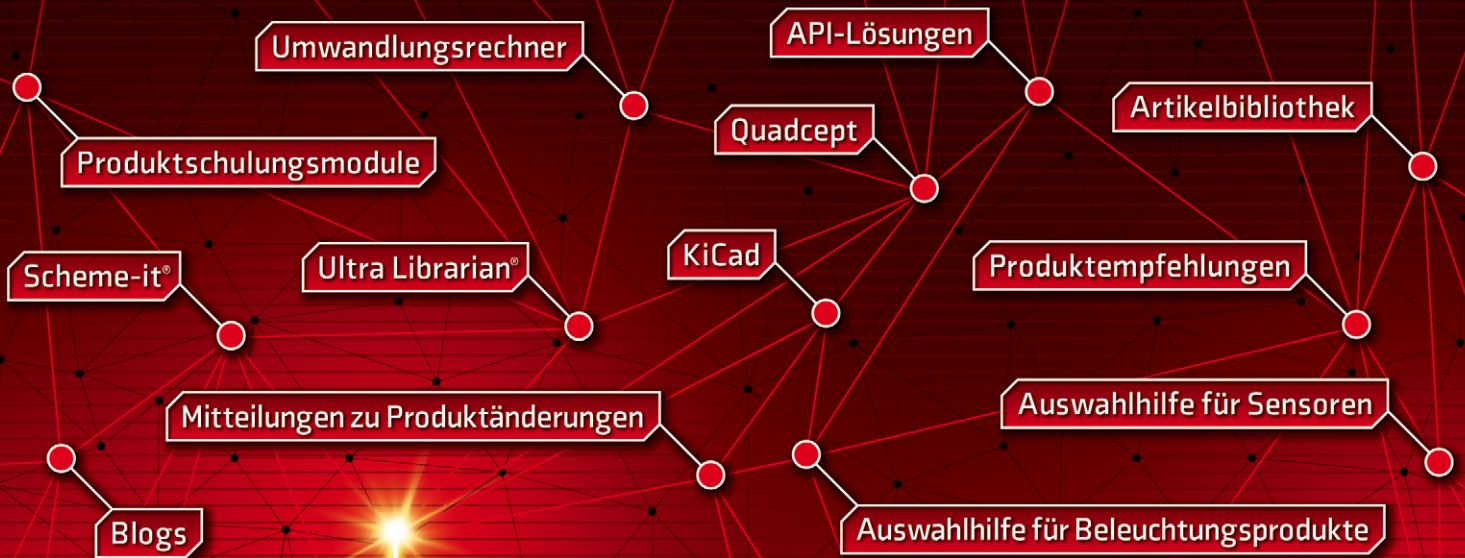


Die Vorteile moderner  
Stromversorgungs-ICs in  
Power-Applikationen

Was gegen Geräusche  
in der Stromversorgung  
schnell und einfach hilft

Über  
9 Millionen  
Produkte online  
**DIGIKEY.DE**





SIE ENTWICKELN. WIR HELFEN. **DIGIKEY.DE**



Die weltweit größte Auswahl an elektronischen Komponenten für den sofortigen Versand™

\*Für alle Bestellungen unter 50,00 € wird eine Versandgebühr von 18,00 € in Rechnung gestellt. Bei Bestellungen unter \$60,00 USD wird eine Versandgebühr von \$22,00 USD berechnet. Alle Bestellungen werden per UPS, Federal Express oder DHL für die Lieferung innerhalb von 1 bis 3 Tagen (abhängig vom endgültigen Bestimmungsort) versendet. Keine Bearbeitungsgebühren. Alle Preise werden in Euro oder US-Dollar angegeben. Digi-Key ist ein autorisierter Distributor für alle Lieferpartner. Neue Produkte werden täglich hinzugefügt. Digi-Key und Digi-Key Electronics sind eingetragene Marken von Digi-Key Electronics in den USA und anderen Ländern. © 2020 Digi-Key Electronics, 701 Brooks Ave. South, Thief River Falls, MN 56701, USA

# KI AUF MINI-HARDWARE

Neuronale Netzwerke gibt es in verschiedenen Größen und sind oft durch die Anzahl der MAC-Operationen oder den benötigten Speicher gekennzeichnet. Größere Netzwerke bewältigen komplexere Arbeitslasten oder liefern genauere Ergebnisse als kleinere. Ein neuronales Netzwerk für die Erkennung von Schlüsselwörtern benötigt z.B. nur 1/1000 der Ressourcen einer Gesichtserkennung.

Die Speicherkapazität kann die Modellgröße einschränken. Eine Möglichkeit ist die Reduzierung der Gewichtspräzision. Ein Modell mit 50.000 Parametern benötigt 50 KB bei Verwendung von 8-Bit-Werten, aber nur 25 KB bei 4-Bit-Werten. Um KI-Anwendungen auf immer kleineren Controllern zu ermöglichen, haben Hersteller und Forscher die TinyML Foundation gegründet. Deren Forscher testen sogar noch kleinere Datentypen, einschließlich binärer 1-Bit-Gewichte. Kleinere Gewichte verringern die Ausgabegenauigkeit des Modells, aber nicht so sehr, wie man denken könnte. Arm-CPU's unterstützen keine MAC-Operationen kleiner als 8 Bit, sodass kleinere Datentypen Speicherplatz, aber keine Energie sparen.

Herkömmliche CPUs sind relativ ineffizient für die großen Matrix-Multiplikationen, die die KI-Schlussfolgerung durchführt. DSPs mit breiten SIMD-Einheiten sind effizienter, und dedizierte Deep-Learning-Beschleuniger (DLAs) können die Leistungsaufnahme noch weiter reduzieren. Einige Lattice-FPGAs können binäre neuronale Netzwerke mit weniger als 10 mW ausführen. NXP und STMicroelectronics entwickeln MCUs, die mit dem Ethos-U55 DLA von Arm ausgestattet sind.

Der enorme Vorteil der Leistungseffizienz wird DLAs zu einer Voraussetzung für batteriebetriebene KI-Systeme machen. Netzbetriebene MCUs können nach Schlüsselwörtern lauschen oder einfache Bildverarbeitungsanwendungen verarbeiten, aber komplexere Aufgaben erfordern zwangsläufig DLAs. MCUs, welche neuronale Netzwerke betreiben, profitieren von einem dedizierten Hardware-Beschleuniger. Alle MCU-Anbieter sollten NXP und ST folgen und DLAs mangels Alternative von Arm einbauen.



FRANK RIEMENSCHNEIDER

Chefredakteur

Twitter: @RiemenschF

friemenschneider@weka-fachmedien.de

PowerClamp



100-600A for Pressfit

PowerClamp



30-150A for Soldering



SMD Contacts  
10-400A

+ SWISS QUALITY +

**BROXING SA**

CH-6982 LUGANO  
SWITZERLAND

Tel. +41 (0)91 922 0370 Fax +41 (0) 922 0371  
info@broxing.com www.broxing.com



EDITORIAL

**3 KI auf Mini-Hardware**

LESER TESTEN

**6 Ergebnisse in der Zusammenfassung:**  
„Experimentierbaukasten TI-PMLK“ unter der Lupe

GMM-NEWS

**10 Fachtagung Elektronische Baugruppen und Leiterplatten EBL 2020:** Technologische Plattform für die digitale Transformation

WIRTSCHAFT

**13 Kemet fertigt für Automotive:** Induktivitäten nach AEC-Standard  
**14 Norbert Hauser, Kontron:** „Die Liefersituation in China hat sich merklich verbessert“

IMPULSE

**15 FhG Heinrich-Hertz-Institut:** App soll Corona in Schach halten und Persönlichkeitsrechte wahren  
**16 Mobilfunkmodul für Microsoft Azure Sphere entwickelt:** Drei Fragen an Felix Adamczyk  
**17 KI in deutschen Unternehmen:** Personalbedarf steigt weiter an

LEISTUNGSELEKTRONIK

**18 IGBTs mit integriertem Gate-Treiber und Schutzfunktionen:** Induktive Erwärmung leichtgemacht  
**24 Flexible und konfigurierbare 20-V-Hochstrom-PMICs:** Digital gesteuerte Power  
**29 Intelligente Leistungshalbleiter für funktionale Sicherheit:** Überstrom sicher begegnen  
**32 Wide-Bandgap-Halbleiter für Elektrofahrzeuge:** GaN im Test gegen Silizium



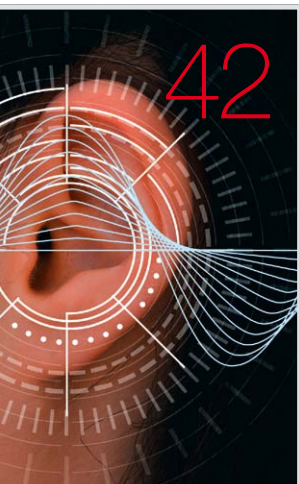
29



**RUTRONIK**  
next generation e-commerce

24

B2B-Shop: [rutronik24.com](http://rutronik24.com)



42



46

## STROMVERSORGUNG

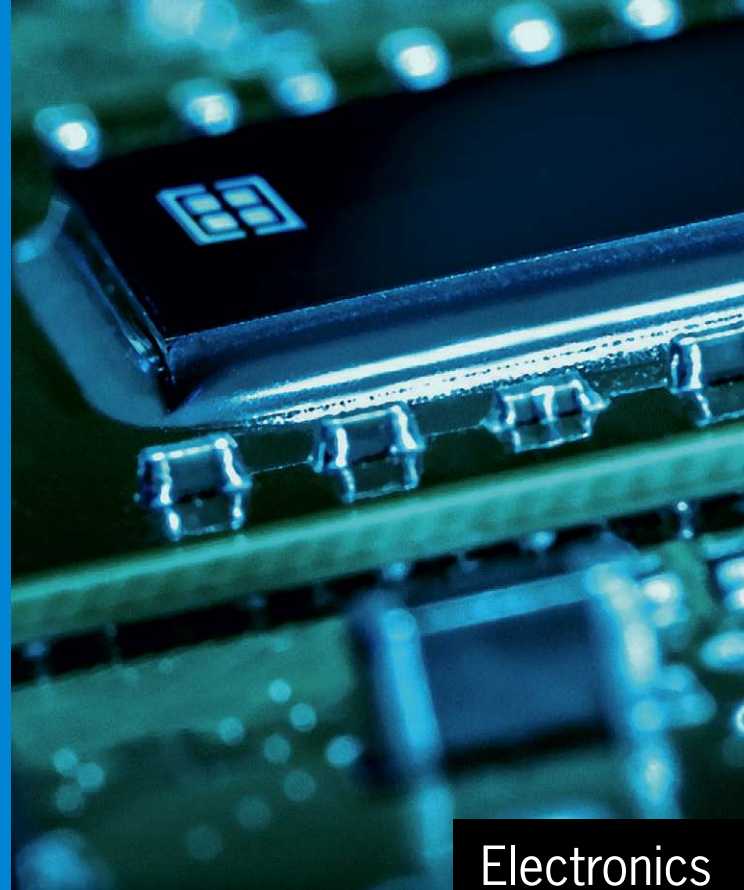
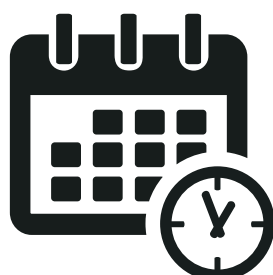
- 38 Kompaktere Stromversorgung für industrielle Ultraschallsensoren:** 87 % weniger Verluste
- 42 Geräusche in elektronisch geschalteten Stromversorgungen vermeiden:** Wenn Strom tönt

## ENERGIESPEICHER

- 46 Batterierecycling:** Aus Alt mach Neu

## VORSCHAU

- 50 Ausblick:**  
Elektronik 10/2020 und Termine
- 37 Impressum**
- 37 Inserenten**



Electronics  
Worldwide

## Hightech-Bauelemente für Ihre Innovationen

Als einer der führenden Distributoren für elektronische Bauelemente bieten wir Ihnen weltweit ein breites Produktportfolio, kompetente technische Unterstützung bei Produktentwicklung und Design-In, individuelle Logistik-Lösungen sowie umfangreiche Serviceleistungen.

- Semiconductors
- Passive Components
- Electromechanical Components
- Displays & Monitors
- Boards & Systems
- Storage Technologies
- Wireless Technologies

Informationen zu RUTRONIK:  
+49 (0) 7231 801-0



ERGEBNISSE IN DER ZUSAMMENFASSUNG

# „EXPERIMENTIERBAU- KASTEN TI-PMLK“ UNTER DER LUPE

Im dritten Praxis-Check musste das „TI Power Management Learning Kit Würth Elektronik Edition“ seine Qualitäten beweisen. Hier sind die Ergebnisse unserer zehn Tester.

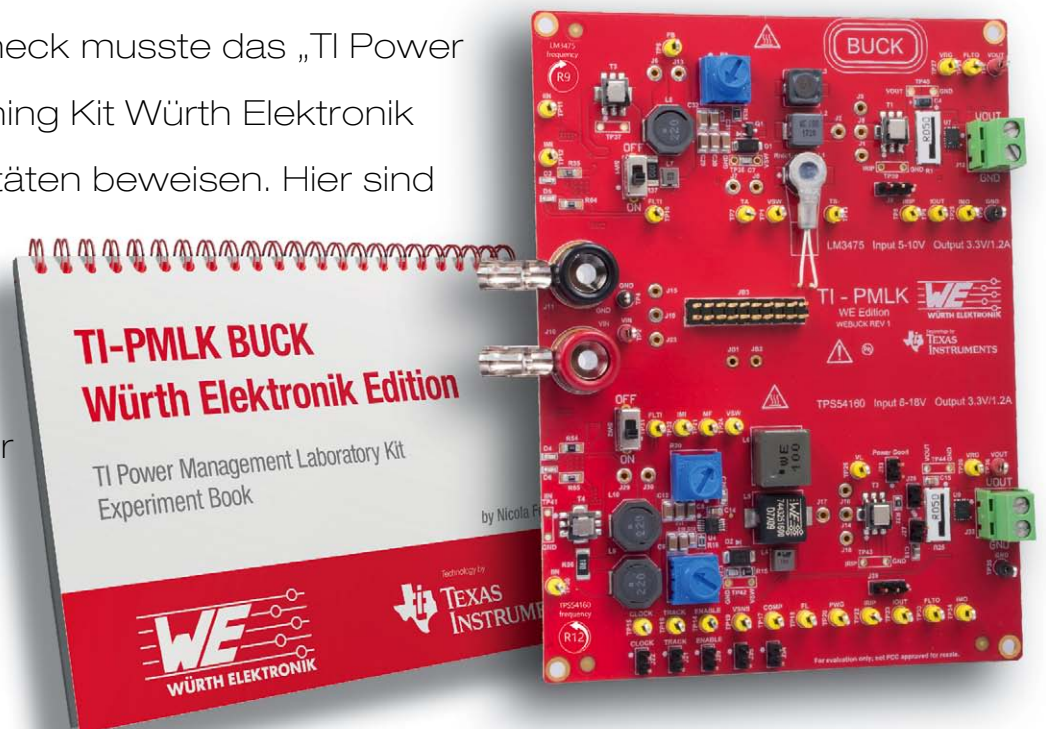
Von Gerhard Stelzer

In der Elektronik-Ausgabe 26/2019 haben wir Sie, liebe Leser, aufgefordert, sich bei uns als Tester für das „TI Power Management Learning Kit“ von Würth Elektronik zu bewerben. Wir haben uns sehr über die zahlreichen Rückmeldungen gefreut. Vielen Dank.

Fast 100 Interessenten wollten das „TI Power Management Learning Kit“ ausprobieren und auf Herz und Nieren testen. Deshalb mussten wir die zehn glücklichen Tester auslosen. An jeden wurde im Anschluss von der Elektronik ein Testbogen zum Ausfüllen und von Würth Elektronik das Testobjekt versandt. Nun liegen die Testergebnisse vor. Zunächst eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Daten des Testobjekts:

## STECKBRIEF ZUM TESTOBJEKT „TI-PMLK WÜRTH ELEKTRONIK EDITION“

An Hochschulen wird der Bereich Power Management oftmals stiefmütterlich behandelt. Insbesondere im Hinblick



auf die Herausforderungen bei der Entwicklung und Optimierung von Leistungselektronik, die ein Schlüsselement jedes elektronischen Systems darstellt, gibt es kaum Lehrangebote. Wir freuen uns, in der dritten Runde „Elektronik-Leser testen“ als Testobjekt den Experimentierbaukasten „TI-PMLK Würth Elektronik Edition“ ins Rennen zu schicken. Die Leiterplatte umfasst zwei unabhängige Abwärtswandler-Schaltungen (Buck) mit sechs verschiedenen Induktivitäten, die einzeln ausgewählt werden können. Mit dem Praxis-Kit lassen sich die Auswirkungen auf die Leistung von Induktivitäten aus unterschiedlichen Kernmaterialien und Größen untersuchen, um deren Einfluss auf die statische und dynamische Leistung von Reglern zu analysieren. Bei jeder Schaltung können die Betriebsbedingungen eingestellt werden,

einschließlich einer flexiblen Schaltfrequenz von 100 bis 700 kHz. Auf diese Weise kann die Wirkung auf Induktivität und Schaltregler mit unterschiedlichen Spulen untersucht werden. Ergänzend zur Hardware hilft ein Buch mit detaillierten Versuchsreihen den Anwendern bei der Untersuchung des Boards. Sechs Experimente können in Eigenregie unter stationären, transienten und dynamischen Bedingungen durchgeführt werden.

## WIE WURDE GETESTET?

Die Tester konnten die Einzeldisziplinen mit Schulnoten von 1 bis 5 bewerten. Für Beurteilungen, die nicht in das Notenraster passen, gab es Kommentarfelder zur freien Beantwortung, die auch gerne genutzt wurden. Hier sind die Testergebnisse im Detail dargestellt.

## 1) VOR DER INBETRIEBNAHME

Vor der Inbetriebnahme geht es um die Kriterien Lieferung und Verpackung, Dokumentation und den Lieferumfang.

### 1.1) TESTMODUL:

- Aufbau (Anordnung der Komponenten, mech. Stabilität etc.) 1,86
  - Zugänglichkeit der Messpunkte und Anschlüsse (Abgriffe, Klemmen, Steckverbinder, etc.) 1,86
  - Handhabung des Moduls 1,43
  - Betriebssicherheit 1,50
  - Lieferumfang 2,14
- Ein Tester merkte an: Messstellen mit BNC-Anschluss wären wünschenswert, eine wertigere Kunststoffverpackung wäre für den Einsatz in der Lehre toll. Ein anderer Tester empfahl: Kurzanleitung mitgeben, gerne vergrößerte Abbildung mit bezeichneten Testpunkten. Für die Jumper (insbesondere J1-J5)

wäre es schön, wenn die Bezeichner auch bei gesteckten Jumpern noch lesbar sind.

### 1.2) DOKUMENTATION:

- Aufbau und Gliederung 1,57
  - Verständlichkeit 2,14
  - Umfang und Inhalt 2,14
- Kommentar der Tester: Eine komplette deutsche Übersetzung wäre gerade für die Grundlagenausbildung im Bachelorstudium empfehlenswert; Doku ist sehr umfangreich, könnte ohne großen Aufwand in zwei Hauptkapitel „Basic“ und „Advanced“ geteilt werden. Im Bereich „Basic“ sollten dann grundlegende Messungen (z.T. mit Vereinfachungen) erfolgen. Insgesamt wurde der Testbereich „Vor der Inbetriebnahme“ mit der Durchschnittsnote 1,83 bewertet.

## 2) INBETRIEBNAHME

Die Inbetriebnahme umfasst Umfang und Aufwand des Zusammenbaus sowie die Passgenauigkeit der Einzelteile.

### 2.1) ZUSAMMENBAU FÜR INBETRIEBNAHME:

- Umfang und Aufbau 1,33
- Komplexität 1,83
- Passgenauigkeit der Elemente 1,17

→ Die Tester kamen überwiegend gut zurecht, wie die Kommentare zeigten: Die Inbetriebnahme ließ sich einwandfrei durchführen; sogar Gummifüße gegen Wegrutschen vorhanden – sehr gut!  
Insgesamt erzielte das Kit bei der Inbetriebnahme mit 1,44 eine sehr gute Beurteilung.

## 3) EXPERIMENTE

Am umfangreichsten ist das Testkapitel Betrieb mit sechs geführten Experimenten. Aufgrund des Umfangs der einzelnen Experimente hatten wir zwei Gruppen an Testern gebildet, die jeweils vier ausgewählte Experimente durchführen sollten. Zusätzlich durften sie die verbleibenden zwei Experimente oder ein eigenes Experiment durchführen und in die Testergebnisse einfließen lassen. Alle Tester sollten

die Experimente 1 und 2 durchführen, sodass dort die statistische Aussagekraft der Noten am höchsten sein sollte. Gruppe 1 führte zusätzlich die Experimente 3 und 4, Gruppe 2 die Experimente 5 und 6 durch. Einzelwertungen siehe **Tabelle**.

### 3.1) EXPERIMENT 1

→ Tester bemerkten: Wir hatten Schwierigkeiten im Zusammenhang mit unserer elektronischen Last, da

## DRITTE AKTION „LESER TESTEN“ EIN VOLLER ERFOLG

Die *Elektronik*-Redaktion bedankt sich bei den zahlreichen Lesern, die durch ihre Bewerbung zum Tester Interesse an unserer Aktion „Leser testen“ gezeigt haben. Ganz besonderer Dank gebührt den glücklichen zehn Testern, die ausgelost wurden. Die zurückgeschickten Testbögen zeugen von hoher Kompetenz und Gewissenhaftigkeit, sodass dabei eine fundierte Bewertung zustande gekommen ist. Als „Zuckerl“ für den Testaufwand, dürfen alle Tester den von Ihnen auf Herz und Nieren geprüften „Experimentierbaukasten TI-PMLK Würth Elektronik Edition“ behalten. Falls Sie diesmal nicht zum Zug gekommen sind, dann drücken wir Ihnen die Daumen für einen der nächsten Testläufe, wenn es wieder heißt „Leser testen“.

## WAS WURDE GESTESTET?

Der Test gliedert sich in vier Teile:

1. Vor der Inbetriebnahme
2. Inbetriebnahme
3. Betrieb
4. Fazit

Die Tester konnten die Einzeldisziplinen mit Schulnoten von 1 bis 5 bewerten. Für Beurteilungen, die nicht in das Notenraster passen, gab es Kommentarfelder zur freien Beantwortung, die auch gerne genutzt wurden.

## DIE TESTERGEBNISSE IM ÜBERBLICK

1. Vor der Inbetriebnahme	1,83
2. Inbetriebnahme	1,44
3. Betrieb/Experimente	1,62
4. Fazit	1,77



das Board hin und wieder den Betrieb aussetzte, sodass immer ein Neustart notwendig war; Messergebnisse stimmen im Rahmen der Toleranzen gut mit den Vergleichswerten überein; Der Link zum „REDEXPERT“ ist auch sehr gut und hilfreich.

**3.2) EXPERIMENT 2**

→ Mehrere Tester beklagten sich über den großen Umfang der Messreihen und den damit verbundenen hohen Zeitaufwand. Ein Tester regte an: Die theoretischen Grundlagen sind sehr ausführlich. Vorschlag: Hier bietet sich eine Aufteilung in „Basic“ und „Advanced“ an. DC/DC-Wandler lassen sich halbwegs genau mit relativ einfachen Formeln beschreiben, wenn einige Idealisierungen vorgenommen werden („Basic“). In der weiteren Messung werden dann die Idealisierungen durch reale Bauteilwerte ersetzt („Advanced“). Interessant bei Experiment 2 ist die Verwendung eines Temperatursensors.

**3.3) EXPERIMENT 3 (GRUPPE 1)**

→ Ohne weitere Kommentare

**3.4) EXPERIMENT 4 (GRUPPE 1)**

→ Ein Tester kommentierte: Vom logischen Aufbau her sollte erst das eine IC abgehandelt werden und erst danach das zweite. Das würde das Einarbeiten in die Lage der Jumper und auch den Anschluss der Last erleichtern. Bei der Gelegenheit: Am Ausgang würden sich ebenfalls 4-mm-Buchsen anbieten.

**3.5) EXPERIMENT 5 (GRUPPE 2)**

→ Ein Tester lobte das Experiment: Dieser Versuch ließ sich sehr gut durchführen und die Ergebnisse ließen sich einwandfrei nachvollziehen.

**3.6) EXPERIMENT 6 (GRUPPE 2)**

→ Ohne weitere Kommentare

**3.7) FREIES EXPERIMENT (OPTIONAL)**

- Konfigurierbarkeit und Eignung für eigene Experimente 1
- Dimensionierung externer Komponenten 1
- Art und Qualität der Ergebnisse 2
- Durchschnittsnote freies Experiment 1,33

→ Ein Tester probierte ein eigenes Experiment und kommentierte: Abwandlungen zu den beschriebenen Messungen mussten durchgeführt werden, da keine elektronische Last zur Verfügung stand. Das funktionierte aber richtig gut.

**4) FAZIT**

Im Fazit steht dann die Bewertung des Preis-/Leistungsverhältnisses, des praktischen Betriebs und des Gesamteindrucks an.

- Preis-/Leistungsverhältnis 2,20
- Lieferumfang/Dokumentation 2,29
- praktische Anwendung 1,86
- Gesamteindruck 1,71
- Anzahl und Art der Experimente 1,29
- Funktion der Experimente 1,43

- Lerneffekt für den Anwender 1,71
- Nutzbarkeit/Erweiterbarkeit für eigene Experimente 2,00
- Umrüstbarkeit von einem Experiment zum Anderen 1,43
- Durchschnittsnote 1,77

→ Abschließend kommentierten die Tester wie folgt:

Keine offizielle Preisangabe für das Kit; Preis zwischen 350 bis 400 € wäre angemessen.

Es ist etwas schade, dass man für alle Experimente eine elektronische Last benötigt, die an Hochschulen nicht immer in großen Mengen vorhanden ist, einige Experimente mit rein ohmschen Lasten (Leistungswiderstände) wären hilfreich.

Wer als Entwickler Buck-Regler-Schaltungen entwickelt hat, kann diese Experimente gut nachvollziehen.

Auch mit wenig Erfahrung, zum Beispiel für Studenten, ist dieses Board gut geeignet, um die Eigenschaften von Buck-Reglern im Zusammenhang mit unterschiedlichen Induktivitäten kennenzulernen.

Hoher Anspruch an den Anwender bezüglich Messgeräten, Vorkenntnissen und Fachwissen.

Insgesamt eröffnet das Kit eine sehr gute Möglichkeit, die Funktionsweise von DC/DC-Wandlern zu verdeutlichen und zu demonstrieren.

Für 2x 45 Minuten Laborzeit sind die Experimente und auch die theoretischen Beschreibungen zu umfangreich. Hier wäre eine verkürzte Version hilfreich. **GS**

Testkriterien	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3	Experiment 4	Experiment 5	Experiment 6
Verständlichkeit der theoretischen Grundlagen	1,71	1,86	2,00	2,00	1,25	1,75
Aufbau und Gliederung	1,57	1,57	1,33	1,50	1,25	1,25
Umfang und Inhalt	1,43	1,86	1,33	1,00	1,25	1,50
Bemerkung	1,43	1,43	1,67	1,50	1,75	1,50
Instruktionen zum Messaufbau und zur Konfiguration	1,57	2,00	2,67	2,00	1,25	1,50
Vorbereitung/Konfiguration des Moduls für das Experiment	1,71	1,86	2,33	1,50	1,25	1,25
Messanleitung	1,43	1,71	2,33	2,00	1,25	1,75
Durchführbarkeit der Messungen	1,57	2,14	2,00	2,00	2,00	2,00
Berechnungen	1,71	2,00	1,67	1,50	1,75	1,50
Fragen zum Experiment (Sinnhaftigkeit, Verständlichkeit)	1,71	1,57	1,67	1,50	2,00	2,00
Übereinstimmung der Messergebnisse, Varianz der Ergebnisse	1,57	1,71	1,33	1,50	1,75	2,25

Tabelle. Die Zusammenfassung der Einzelwertungen im Testkapitel Betrieb, das mit sechs geführten Experimenten und einem optionalen Experiment (Testergebnisse siehe Text) sehr umfangreich ausfällt.



# Bei Verlusten einfach Spitze



Die Drosseln aus der XGL-Familie überzeugen durch den  
branchenweit niedrigsten DC-Widerstand und äußerst geringe  
AC-Verluste für eine breit gefächerte Palette an DC-DC-Wandlern.

Die vergossenen Drosseln aus der Coilcraft-Baureihe XGL4020 sind in 14 Induktivitätswerten von 0,11  $\mu\text{H}$  bis 8,2  $\mu\text{H}$  und in Nennstromstärken bis 29 A erhältlich. Ein um bis zu 45 % niedrigerer DCR-Wert gegenüber Vorgängerprodukten macht diese Bauelemente zu den Drosseln mit dem höchsten Wirkungsgrad, die heute auf dem Markt erhältlich sind!

Dank ihrer äußerst kleinen DC-Widerstände und höheren Effektivnennströme wird die XGL4020 bei wesentlich niedrigeren Temperaturen betrieben

als vergleichbare Bauelemente.

Bei einer Bauteilhöchsttemperatur von 165 °C bei Nennstrom und hoher Beständigkeit gegenüber thermischer Alterung erfüllen die Drosseln aus der XGL4020 Serie die Anforderungen gemäß AEC-Q200 Grade 1, was sie zur idealen Wahl für Anwendungen in automobilen und anderen rauen Umgebungen macht.

Kostenlose Muster und das Datenblatt können Sie wie immer auf [www.coilcraft.com](http://www.coilcraft.com) bestellen bzw. herunterladen.

**Coilcraft**<sup>®</sup>

[WWW.COILCRAFT.DE](http://WWW.COILCRAFT.DE)

FACHTAGUNG ELEKTRONISCHE BAUGRUPPEN UND LEITERPLATTEN EBL 2020

# TECHNOLOGISCHE PLATTFORM FÜR DIE DIGITALE TRANSFORMATION

Unter dem Motto „Technologische Plattform für die digitale Transformation“ fand am 18. und 19. Februar 2020 die 10. GMM/DVS-Fachtagung EBL 2020 in Fellbach statt. In den Fokus spielten sich die Nachwuchsforscher.



Bild 1. Von links: Dr. Ronald Schnabel (VDE/VDI-GMM), Johann Weber (Zollner Elektronik), Prof. Wolfgang Ertel (Hochschule Ravensburg-Weingarten) sowie Prof. Mathias Nowotnick (Universität Rostock), Prof. Oliver Ambacher (Fraunhofer IAF) und Prof. Klaus-Dieter Lang (Fraunhofer IZM). (Bild: R. Schnabel)

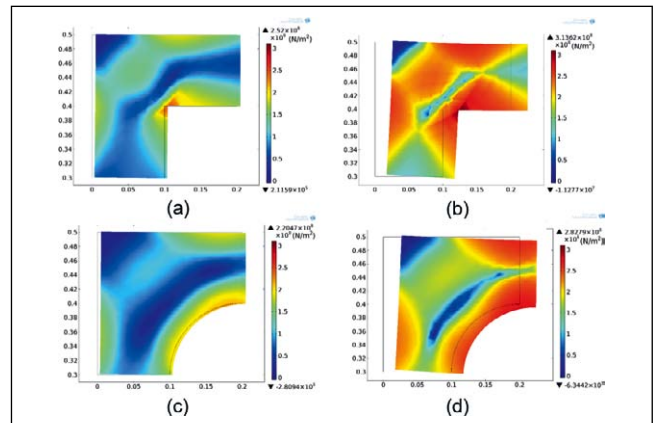


Bild 3. FEM-Simulation der mechanischen Spannung einer eckigen Leiterbahn-Geometrie bei einer Dehnung von (a) 1 % und (b) 5 %. Die optimierten Geometrien sind in (c) und (d) gezeigt. (Bild: Würth Elektronik F&E).



Bild 2. Flexibler und dehnbare Schaltungsträger mit Kupferleiterbahnen. (Bild: Würth Elektronik F&E)



Bild 4. Oben: Funksensor mit eingesetzter Batterie im Größenvergleich mit einer Centmünze. Unten: Eine CT-Aufnahme des Demonstrators. (Bild: D. Schütze)

Eröffnet wurde die Fachtagung mit zwei Keynote-Vorträgen: Oliver Ambacher (**Bild 1**, 5.v.l.), Professor für Mikrosysteme und Verbindungshalbleiter an der Universität Freiburg und Leiter des Fraunhofer IAF, sprach über 5G Mobilfunk. Wolfgang Ertel (**Bild 1**, 3.v.l.), Professor an der Hochschule Ravensburg-Weingarten, behandelte das Thema künstliche Intelligenz. Beide lenkten den Blick nicht allein auf die technischen Aspekte, sondern auch auf gesellschaftliche Fragen und stellten provokante Thesen vor, die anschließend vom Fachpublikum angeregt diskutiert wurden.

Der zweite Konferenztag begann mit zwei weiteren Keynote-Vorträgen. Dr. Jan Benzler von Robert Bosch in Stuttgart zeigte die Anforderungen auf, die Systeme zur Automobilkommunikation und zum autonomen Fahren für zukünftige Fahrzeuggenerationen erfüllen müssen. Eine Technologie-Roadmap entwarf Bernd Enser vom Leistungselektronikerhersteller Semikron International aus Nürnberg. Danach

konnten sich die über 180 Teilnehmer in verschiedenen Sessions zu aktuellen Entwicklungen in den Schwerpunkten Funktions- und Schaltungsträger, Modul- und Baugruppenfertigung, Aufbau- und Verbindungstechnik, Systemkonzepte, Designtools, Simulation, Prozess-Sicherheit und Produktprüfung sowie Zuverlässigkeit informieren und mit den Referenten und Ausstellern diskutieren. Die nächste EBL Fachtagung wird am 22. und 23. Februar 2022 stattfinden.

## NACHWUCHS IM FOKUS

Junge Nachwuchswissenschaftler stellten ihre Forschungsergebnisse in einer eigenen Session vor. Im Anschluss überreichte der wissenschaftliche Tagungsleiter, Professor Mathias Nowotnick, den EBL-Preis für Nachwuchsforscher an Nadine Philippin für ihre Präsentation zu dehnbaren Foliensystemen für interaktive Mikroimplantate. Der Best-

Paper-Award wurde bemerkenswerter Weise ebenfalls an einen Nachwuchswissenschaftler verliehen: David Schütze entwickelte zusammen mit seinen Kollegen der TU Berlin und des Fraunhofer IZM eine Methode, um durch Komponenteneinbettung hochminiaturisierte Funksensorknoten in eine Leiterplatte zu integrieren. Beide Arbeiten werden im Folgenden näher vorgestellt.

## FLEXIBLE UND FREIFORMBARE SCHALTUNGSTRÄGER

Die Arbeit von Nadine Philipin entstand im Rahmen ihrer Masterarbeit an der Hochschule München in Zusammenarbeit mit Würth Elektronik und leistet einen wichtigen Beitrag zur Miniaturisierung und Freiformbarkeit elektronischer Schaltungsträger. Würth Elektronik ist Teil des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) initiierten Innovationsclusters INTAKT und beteiligt sich an der Entwicklung und Charakterisierung dehnbare sowie freiformbare Schaltungsträger (Conformable Electronics). Die Schaltungsträger sollen zur passgenauen Integration in Mikroimplantaten dienen, die perspektivisch zur Behandlung von Tinnitus, gestörter Darmperistaltik oder gelähmten Extremitäten angedacht sind. Konventionelle starre Leiterplatten-Substrate genügen den Ansprüchen derartiger Zwecke nur unzureichend. Thermoplastisches Polyurethan (TPU) zeigt hyperelastisches Materialverhalten und hat damit ein hohes Potenzial als Basismaterial flexibler Schaltungsträger zur Entwicklung einer Implantat-Elektronik. Bei der damit verbundenen Einbettung von Leiterbahnstrukturen auf Cu-Basis, wie etwa im Falle von TWINflex-Stretch-Leiterplatten (**Bild 2**), ist zu beachten, dass die beiden Materialien einer antagonistischen

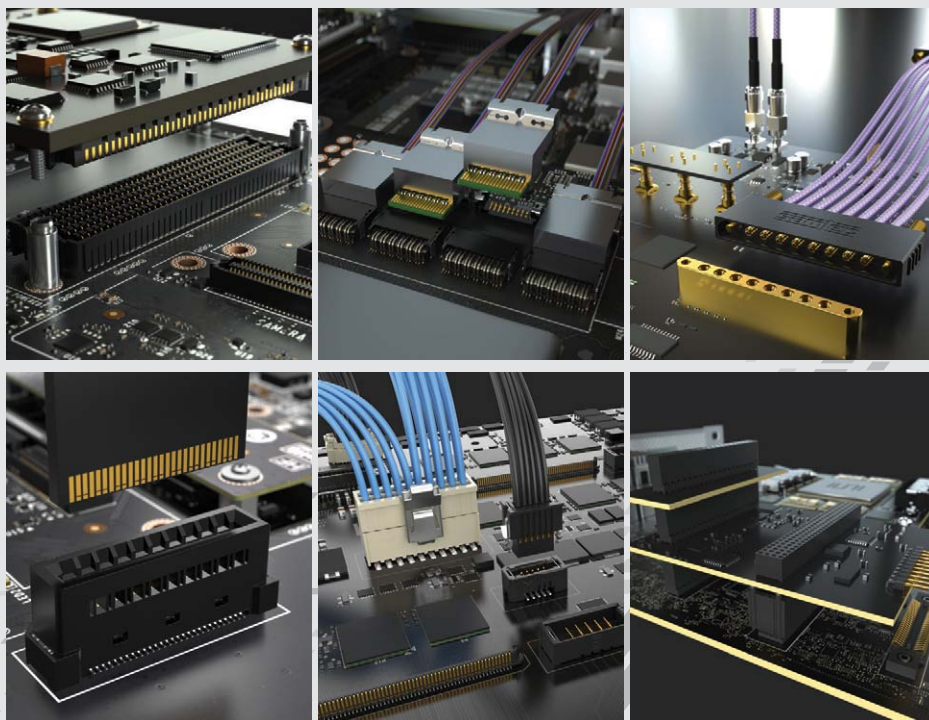
Spannungs-Dehnungs-Charakteristik unterliegen, was bei ausgeprägter Zugbeanspruchung oder hohen Verformungsgraden zum Materialversagen führen kann.

## OPTIMIERUNGSPOTENZIALE VON LEITERBAHN-GEOMETRIEN

Aufgrund dessen wurden unterschiedliche Leiterbahn-Geometrien auf Basis analytischer sowie numerischer Modelle untersucht. Dem Referenzmodell der konventionellen, geradlinigen Leiterbahn wurden bspw. 270°-Mäander („Horseshoe“) und eckige Strukturen gegenübergestellt.

# ADVANCED INTERCONNECT SOLUTIONS

Samtec ist ein weltweit führender Anbieter von hochwertigen Verbindungslösungen, einschließlich zweiteiliger Board-to-Board-, Micro-Rugged-, RF- und innovativer Hochleistungssysteme für 112-Gbit PAM4, mit technischer Unterstützung auf jeder Ebene.



**samtec**

SAMTEC EUROPE GmbH

0800-SAMTEC9 (0800 / 72 68 329) nur in Deutschland  
Tel: +49 (0) 89 / 89460-0 • Fax: +49 (0) 89 / 89460-299  
E-mail: germany@samtec.com • www.samtec.com

Sowohl im Hinblick auf das resultierende Widerstandverhalten bei Zugbeanspruchung als auch bei den korrespondierenden Spannungsverläufen konnten bei eckigen Strukturen die besten Ergebnisse zur positiven Beeinflussung der Spannungs-Dehnungs-Charakteristik erzielt werden. Von Interesse sind bei der Gegenüberstellung spezifischer Parameter die beiden Werte der initialen Fließspannung sowie der Fließspannung, die den Übergangsbereich im Spannungs-Dehnungs-Diagramm zwischen elastischer und plastischer Verformung abbilden. Elastische Verformung kann mit dem Hooke'schen Gesetz beschrieben werden.

Im Gegensatz dazu resultiert plastische Verformung bei Erreichen eines Spannungsgrenzwertes in einem Funktionsverlust der Leiterbahnen bzw. deren Durchtrennung. Um diesem Umstand zu begegnen, wurden in die Ecksegmente der eckigen Leiterbahnstrukturen entsprechende Radien in den Größenordnungen zwischen 60  $\mu\text{m}$  und 200  $\mu\text{m}$  implementiert, um auftretende Spannungsspitzen zu reduzieren. FEM-Simulationen zeigen bereits bei Dehnungen von 1 % und 5 % eine signifikante Reduzierung der Spannungs-Maxima in den Cu-Strukturen.

### ÜBERFÜHRUNG IN DIE 3. DIMENSION

Anhand dieser Ergebnisse konnten entsprechende Empfehlungen zur Auslegung von Leiterbahngeometrien für den Einsatz in dehnbaren bzw. freiformbaren Schaltungsträgern abgeleitet werden. Dies erlaubt im Folgeschritt die Überführung der Schaltungsträger in die 3. Dimension durch den Prozess des Thermoformings, was mit ausgeprägten Verformungsgraden einhergeht. Als Alternative zu konventionellen Cu-Strukturen wurde deshalb die Applikation funktionaler Schichten mittels dehnbare Silbertinten berücksichtigt, was perspektivisch gesehen die Bandbreite an Anwendungen insbesondere in der Medizintechnik deutlich erweitern soll.

### BEST PAPER: FUNKSENSORKNOTEN IN LEITERPLATTE

Das Projekt entstand im Rahmen des BMBF-Projektes „PCB4.0“ mit dem Ziel, IoT-Konzepte in der Leiterplattenfertigung zu implementieren. Ein Ansatz dazu ist ein in die Leiterplatte integrierter Funksensorknoten. Er registriert während der Herstellung der Leiterplatte Prozessparameter und sendet sie an eine Daten-Cloud zur Analyse. Die Daten können z.B. zur Prozessoptimierung, zur Produktnachverfolgung oder zur statistischen Prozesskontrolle verwendet werden.

Der integrierbare Sensorknoten wurde mittels (Leiterplatten-) Embedding-Technologie aufgebaut. Gefordert waren dabei Abmessungen von 10 mm  $\times$  11 mm  $\times$  1,6 mm, eine integrierte und austauschbare Batterie, ein Sensor mit Medienöffnung und eine Bluetooth-Antenne (2,4 GHz). Der Sensor ist in **Bild 3** im Größenvergleich und in der CT-Aufnahme gezeigt.

### ANTENNE, BATTERIE UND SENSOREN

Im Modulaufbau wurde eine Helixantenne (-3.2 dBi Gain) realisiert, die über ein Anpassnetzwerk an den Transceiver angeschlossen ist. Im Gegensatz zum typischen Aufbau von Helixantennen liegt hier die Achse nicht parallel zur Flächennormalen, sondern in der Ebene des Moduls. Für die geforderte Betriebsdauer des Moduls reicht eine Knopfzelle ( $\geq 1$  mAh) aus. Für sie wird eine Kavität in die Leiterplattenoberfläche eingebracht. Die Tiefenfräsung auf die Kupferkontaktfläche der Innenlage der Leiterplatte muss sehr präzise erfolgen, damit die Batterie einen stabilen Halt und Kontakt hat. Eine Durchgangsbohrung zur Rückseite ermöglichte das mechanische Herausschieben aus der Vertiefung. Der Pluspol der Batterieaufnahme ist die metallisierte Zylinderwandung, Minuspol ist die Basis des gefrästen Zylinders. Die Batterieanschlüsse in der Vertiefung werden nach der galvanischen Verkupferung der Ausfräsung mittels UV-Laser elektrisch voneinander getrennt, indem ein Kreis in den Boden der Vertiefung geschnitten wird.

Die Integration von Sensoren, die einen Medienzugang zu Umweltparametern (Luftdruck, Luftfeuchte) benötigen, erfolgte ebenfalls in eine offene Vertiefung. Im Fall der Sensoren allerdings mit Kontaktflächen zum Anlöten des Sensors auf der Basisfläche der Vertiefung.

### KOMPONENTEN-EMBEDDING

Bei der Einbettung werden montierte Komponenten in die Aufbauanlage der Leiterplatte laminiert und dabei in der Glasfaser-Epoxid-Matrix des Aufbaus verkapselt. Wichtig dabei ist ein ausreichender Harzgehalt und das Fließverhalten des Epoxids während des Laminierprozesses, sowie die Haftung zwischen Harz und Komponentenoberflächen. Hierzu wurden umfangreiche Studien durchgeführt und Prozessregeln für das Embedding erarbeitet. Zu letzteren zählt u.a. die vollständige Entfernung von Flussmittelresten sowie die Aufräuhung und Reinigung von metallischen Komponentengehäusen.

### AUFBAU DES FUNKSENSORKNOTENS

Zunächst wird eine 4-lagige HDI-Leiterplatte als Substrat hergestellt (100  $\mu\text{m}$  FR4 und 80  $\mu\text{m}$  Aufbauanlagen). Die Kupferlagen dieses Kerns sind über Mikrovias (Durchmesser 80  $\mu\text{m}$ ) miteinander verbunden. Die Embedded-Bauteile werden konventionell auf dieses Substrat gelötet. Nach dem Laminieren werden Sacklöcher und Durchbohrungen eingebracht sowie die Batteriekavität gefräst und der Aufbau galvanisch verkupfert. Die Außenlagen werden fotolithografisch strukturiert und die Batteriekontakte getrennt. Anschließend wird die Vertiefung gefräst und dabei Kontaktflächen für den Sensor freigelegt. Nach dem Aufbringen und Strukturieren von Lötstopplack werden die offenen Kupferflächen mit einem Nickel-Gold Finish versehen, die Sensoren montiert und das Modul schließlich aus dem Nutzen gefräst.

MHA

Von Prof. Mathias Nowotnick

KEMET FERTIGT FÜR AUTOMOTIVE

## INDUKTIVITÄTEN NACH AEC-STANDARD

Die Bauelemente werden durch Metallverbund permeabel. Damit sind die Anforderungen für den Einsatz in Autos erfüllt.

Im Automotive-Markt fordert die Nachfrage nach elektronischen Systemen einen hohen Wirkungsgrad, eine geringe Eigenerwärmung und geringe Leistungsverluste. Kemet, Hersteller elektronischer Bauelemente, stellt eine neue Serie von Metallverbund-Leistungsinduktivitäten vor, die diese Bedingungen erfüllen sollen. Die MPXV-Serie erweitert Kemets METCOM-Angebot und ist für den Einsatz im Automotive-Bereich nach dem Standard AEC-Q200 des Automotive Engineering Council qualifiziert.

„Unsere Erfahrung und unser Know-how in der Entwicklung und Fertigung hochpermeabler Induktivitäten ermöglicht es uns, Bausteine mit höchster Leistungsfähigkeit einzuführen, um den Anforderungen neuester Anwendungen im Auto-

otive-Bereich gerecht zu werden“, so Dr. Philip Lessner, Senior Vice President und CTO bei Kemet. Die neuen Leistungsinduktivitäten sollen für eine effiziente Leistungswandlung sorgen und elektromagnetische Störungen (EMI) minimieren.

Die Induktivitäten sind in verschiedenen Standard-SMD-Gehäusen erhältlich und können bei Temperaturen von bis zu 155 °C betrieben werden. Sie zeichnen sich laut Pressemitteilung durch ein geringes elektrisches Rauschen aus, sodass sie in allen Bereichen des Fahrzeugs zum Einsatz kommen können – auch in anspruchsvollen

Betriebsumgebungen wie unter der Motorhaube und im Antriebsstrang. Das Metallverbundmaterial ist um den Spulenkern herum geformt und schirmt daher benachbarte Elektronik vor dem Magnetfluss ab, der sonst Störungen in empfindlichen Systemen verursachen könnte. JL



TEXAS  
INSTRUMENTS



mouser.com

Mouser hat das umfangreichste  
Portfolio von TI auf Lager

Mehr als 45.000 Produkte von TI  
Mehr als 4.000 Dev Tools von TI

Mouser Electronics - Ihr autorisierter Distributor von TI mit mehr Produkten auf Lager für Ihre nächsten Designs. [mouser.de/ti](http://mouser.de/ti)



NORBERT HAUSER, KONTRON

## „DIE LIEFER-SITUATION IN CHINA HAT SICH MERKLICH VERBESSERT“

Norbert Hauser ist Vice President Marketing bei Kontron. (Bild: Kontron)



Vor Kurzem präsentierte S&T AG die Geschäftszahlen für 2019 und das neunte Rekordjahr in Folge. Für 2020 ist jedoch mit einem Einfluß des SARS-CoV-2-Virus zu rechnen, welchem sich kurzfristig auch S&T nicht entziehen können wird. Was das für Kontron bedeutet, erklärt Norbert Hauser.

Die Corona-Krise hat die Wirtschaft fest im Griff, auch die Embedded-Branche ist betroffen. Die S&T AG, zu der auch Kontron gehört, hat das neunte Rekordjahr in Folge verkündet – wie es 2020 angesichts der Corona-Krise aussehen wird, ist noch nicht abzusehen. Immerhin hat sich laut Norbert Hauser, Vice President Marketing bei Kontron, die Lage in China etwas entspannt.

„Bei unseren Lieferanten und Auftragsfertigern in China hat sich die Liefersituation merklich verbessert. Rückständige Lieferungen werden planmäßig in den nächsten zwei Wochen abgearbeitet und an uns geliefert. Allerdings ist derzeit mit um fünf bis zehn Tage verlängerten Transportzeiten zu rechnen. Unsere Lieferanten und Auftragsfertiger in den anderen asiatischen Regionen sowie Europa sind inzwischen von den kürzlich von den Regierungen beschlossenen Maßnahmen betroffen, sodass es hier zu Lieferverzögerungen kommen kann. Unsere Produkte kommen ebenfalls in kritischen Infrastrukturen und in Geräten für die Medizintechnik zum Einsatz, weswegen wir bestrebt sind, den Geschäftsbetrieb soweit und solange wie möglich uneingeschränkt fortzuführen, um unseren Kunden auch in dieser Phase ein verlässlicher Partner zu sein. Für alle Kontron-Standorte wurde deshalb ein umfangreiches Maßnahmenpaket zur Aufrechterhaltung unserer Geschäftstätigkeit beschlossen und um-

gesetzt. Alle Bereiche und insbesondere die Produktionen in Deutschland, Österreich und Ungarn laufen derzeit auf annähernd normalem Niveau. Eine Vielzahl von Mitarbeitern arbeitet inzwischen im Homeoffice, Vertrieb, Support und Projektmanagement sind weiterhin uneingeschränkt erreichbar und unsere Entwicklungsteams arbeiten weiterhin an neuen Produkten“.

### NEUNTES REKORDJAHR IN FOLGE

Die S&T AG hat derweil die Zahlen für das Geschäftsjahr 2019 bekanntgegeben – der Umsatz überschritt erstmals die Milliardengrenze. Er stieg um 13 Prozent von 990,9 Mio. Euro auf 1.122,9 Mio. Euro. Um sogar 23 Prozent auf 111,7 Mio. (Vorjahr: 90,5 Mio.) stieg das operative Ergebnis vor Abschreibungen (EBITDA) an. Somit wurden die ursprünglichen EBITDA-Vorgaben erneut übertroffen und das Ziel für 2023 gar auf 220 Mio. Euro erhöht. Ebenso verbessert zeigten sich das Working Capital sowie der operative Cashflow – ein Anstieg liquider Mittel inkludiert. Ebenso erreichten Auftragsbestand und Projekt-Pipeline mit Steigerungen von über 30 Prozent neue Bestmarken. Die finanzielle Situation erlaubt es S&T trotz der aktuellen „Corona-Krise“ ihre jährlich ansteigende Dividendenpolitik fortzusetzen: Der Vorstand wird der Hauptversammlung daher eine

Dividende von 19 Cent (Vorjahr: 16 Cent) für das abgelaufene Geschäftsjahr vorschlagen.

S&T wird das bisherige Jahresziel überdenken müssen und adaptieren, sobald sich die Auswirkungen der Pandemie transparenter darstellen. Das Unternehmen sieht in der aktuellen Krise jedoch ebenso zahlreiche Chancen, sei es über die erhöhte Nachfrage im Bereich der Medizintechnik, bei Heimarbeitsplätzen oder gesunkenen Unternehmensbewertungen, welche die M&A-Strategie der S&T Gruppe unterstützen. S&T ist krisenfest aufgestellt und mit über EUR 300 Mio. Euro Barbeständen gut gerüstet für sich bietende Akquisitionschancen.

Norbert Hauser kommentiert das so: „Laut S&T lässt sich die weitere Entwicklung des Geschäftsverlaufes der S&T Gruppe für das laufende Geschäftsjahr derzeit nicht hinreichend genau prognostizieren. Daher kann die S&T AG, die am 22. Januar 2020 veröffentlichte Umsatz- und EBITDA-Guidance im Moment nicht aufrechterhalten. Das Unternehmen plant, nach dem Vorliegen der Zahlen für das erste Quartal 2020, welches bisher gemäß dem ursprünglichen Plan verlaufen ist, und nach der Neuevaluierung der aktuellen Situation, eine neue Guidance zu veröffentlichen. S&T hält nach wie vor an den Zielen für 2023 von 2 Mrd. Euro Umsatz bei 220 Mio. Euro EBITDA fest“.

TS

FHG HEINRICH-HERTZ-INSTITUT

# APP SOLL CORONA IN SCHACH HALTEN UND PERSÖNLICHKEITSRECHTE WAHREN

Das Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut ist als Mitglied der „Pan-European Privacy-Preserving Proximity Tracing“-Initiative an der Entwicklung einer Smartphone-App beteiligt, die vor Corona schützen soll, ohne persönliche Daten preiszugeben. Von Gerhard Stelzer



(Bild: Shutterstock)

Das Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut (HHI) in Berlin ist Teil der „Pan-European Privacy-Preserving Proximity Tracing“-Initiative (PEPP-PT) und hat im Rahmen dessen eine Smartphone-App mitentwickelt, die den Nutzer vor Infektionen mit dem Corona-Virus warnen und Infektionsketten verfolgen kann. Neben dem HHI sind auch die Fraunhofer-Institute AISEC in Garching bei München und IIS in Erlangen bei Nürnberg beteiligt.

Das PEPP-PT-System ([pepp-pt.org](http://pepp-pt.org)) wird derzeit von einem multinationalen europäischen Team entwickelt. Es ist ein anonymer und die Privatsphäre schützender digitaler Ansatz zur Kontaktverfolgung, der mit der DSGVO übereinstimmt und auch bei Reisen zwischen Ländern über einen anonymen, länderübergreifenden Austauschmechanismus nutzen kann. Es werden keine persönlichen Daten, kein Standort, keine MAC-Adresse der Nutzerin oder des Nutzers gespeichert oder übertragen. PEPP-PT ist so konzipiert, dass es als Kontaktverfolgungsfunktion in nationale Corona-Handy-Apps eingebunden werden kann und die Integration in die Prozesse der nationalen Gesundheitsdienste ermöglicht. Es wird angeboten, die Lösung offen mit jedem Land zu teilen, da man sich verpflichtet hat, Interoperabilität zu erreichen, sodass der anonyme Mehrländer-Austauschmechanismus funktionsfähig bleibt.

Das internationale Team von PEPP-PT besteht aus mehr als 130 Mitgliedern, die in mehr als sieben europäischen Ländern arbeiten und Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Technikerinnen und Techniker sowie Expertinnen und Experten aus

bekanntem Forschungseinrichtungen und Unternehmen umfassen. Das Arbeitsergebnis des Teams wird einer gemeinnützigen Organisation gehören, sodass die Technologie und die Standards für alle zugänglich sind. Die Prioritäten seien das Wohlergehen der Weltbürgerinnen und -bürger von heute und die Entwicklung von Instrumenten zur Begrenzung der Auswirkungen künftiger Pandemien – alles unter Einhaltung der europäischen Normen und Standards.

## VERFAHREN GEBRAUCHSFERTIG, GETESTET, INTEROPERABEL

PEPP-PT wurde entwickelt, um nationale Initiativen zu unterstützen, indem es gebrauchsfertige, gut getestete und ordnungsgemäß bewertete Mechanismen und Standards sowie Unterstützung für Interoperabilität, Reichweite und Betrieb bei Bedarf bereitstellt. Laut Angaben des Entwicklerkonsortiums sollen die PEPP-PT-Mechanismen folgende Eigenschaften aufweisen:

- Gut getestete und etablierte Verfahren zur Abstandsmessung auf gängigen mobilen Betriebssystemen und Geräten.
- Durchsetzung von Datenschutz, Anonymisierung, GDPR-Compliance und Sicherheit.
- Internationale Interoperabilität zur Unterstützung der Rückverfolgung lokaler Infektionsketten, selbst wenn sich eine Kette über mehrere PEPP-PT-Teilnehmerländer erstreckt.
- Skalierbare Backend-Architektur und -Technologie, die in lokale IT-Infrastrukturen integriert werden kann.
- Zusätzlich soll ein Zertifizierungsdienst aufgesetzt werden, der sicherstellt, dass lokale Implementierungen die PEPP-PT-Mechanismen bestimmungsgemäß und interoperabel nutzen.
- Eine Referenzimplementierung ist unter der Mozilla-Lizenzvereinbarung verfügbar.

GS



Die „Pan-European Privacy-Preserving Proximity Tracing“-Initiative (PEPP-PT) hat das Ziel, vor Infektionen mit dem Corona-Virus zu warnen und Infektionsketten zu verfolgen.

Link zur „Pan-European Privacy-Preserving Proximity Tracing“-Initiative.

FELIX ADAMCZYK

ist der Gründer und CEO von qiio. Er verantwortet die Festlegung der Strategie sowohl im geschäftlichen als auch im technischen Bereich. Adamczyk gründete seine erste Firma 2012, während er an der ETH Zürich studierte. Mit seinem tiefen technischen Hintergrund sah er die Chance, eine umsetzbare Anwendung im IoT-Bereich anzubieten und gründete 2014 die Smart Home Technology, die sich später zu dem weiterentwickelte, was heute qiio ist.



MOBILFUNKMODUL FÜR MICROSOFT AZURE SPHERE ENTWICKELT

## FRAGEN AN FELIX ADAMCZYK

Er ist Gründer, Entwickler und Firmeninhaber: Felix Adamczyk hat mit seiner Firma qiio das weltweit erste Mobilfunkmodul auf Basis von Microsoft Azure Sphere herausgebracht. Im Interview verrät er, was qiio so erfolgreich macht.

Von Tobias Schlichtmeier



### Herr Adamczyk, warum bekommt ihr Modul am Markt soviel Aufmerksamkeit?

Felix Adamczyk: Die Resonanz ist in der Tat sehr groß. Wir konnten Anfang des Jahres mit unserer Mobilfunkanwendung q200 Guardian Module auf Basis von Microsoft Azure Sphere das weltweit erste und sichere IoT-Mobilfunkprodukt auf den Markt bringen – und das zwei Jahre früher als vom Markt erwartet. Unser q200-Modul ist ein reines Edge-to-Cloud-Produkt, unsere Partnerschaft mit Microsoft eine Win-Win-

Situation für uns und unsere Kunden: Microsoft bietet leistungsstarke IoT-Sicherheitstechnik und Cloud-Computing-Ressourcen auf Carrier-Grade-Niveau. Qiio liefert dazu eine sichere End-to-End IoT-Anwendung, die von der globalen Mobilfunkabdeckung profitiert.

### Sie haben schon mehrere Unternehmen gegründet. Haben Sie Tipps für andere Gründer?

Adamczyk: Grundsätzlich reicht es nicht aus, „nur“ eine gute Idee zu haben. Start-ups müssen in erster Linie an das

Business denken, den Markt frühzeitig evaluieren und die Erfolgchancen abwägen. Es macht keinen Sinn, ein Produkt zu bauen und erst hinterher eine Verwendung dafür zu suchen. Genauso wichtig ist es, prägnant und zielgruppengerecht zu kommunizieren.

Übersichtliche und genaue Dokumentationen (beispielsweise Produkt- und Firmenpräsentationen) unterstützen uns in allen Bereichen, von der Investorensuche bis hin zur Presse.

Zuletzt muss man sich mit den „richtigen“ Mitarbeitern und Partnern umgeben. Bei qiio arbeiten alle gemeinsam für den persönlichen Erfolg, als auch den Erfolg des Unternehmens, denn das eine geschieht nicht ohne das andere.

### Nach welchen Kriterien suchen Sie ihre Mitarbeiter aus?

Adamczyk: Die ersten Mitarbeiter eines Start-ups bestimmen und prägen die Werte und die Kultur der Firma. Wir suchen deshalb nach motivierten und intelligenten Leuten, die vielleicht nicht einmal alle nötigen technischen Kenntnisse mitbringen, dafür aber die sogenannten „Big 4“. Sie sind meines Erachtens die wichtigsten Eigenschaften, die es braucht, um sich in dieser besonderen Umgebung entfalten und halten zu können, nämlich: Flexibilität, Teamwork, Passion und Risikobereitschaft.



Bild. Felix Adamczyk zeigt Elektronik-Redakteur Tobias Schlichtmeier, was das q200-Modul so besonders macht. (Bild: qiio)



KI IN DEUTSCHEN UNTERNEHMEN

## PERSONALBEDARF STEIGT WEITER AN

Rund 139.000 Personen beschäftigten sich im vergangenen Jahr in deutschen Unternehmen mit Tätigkeiten in Zusammenhang mit künstlicher Intelligenz (KI). Jedoch wurde fast jede zweite offene KI-Stelle unzureichend oder gar nicht besetzt. Zu dem Ergebnis kommt eine Studie des Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Sie gibt einen Überblick über den Einsatz von KI in deutschen Unternehmen und basiert auf Daten aus dem Jahr 2019 sowie aus einer Zusatzbefragung von November 2019 bis Januar 2020. KI kam demnach bei knapp sechs Prozent der untersuchten Unternehmen zum Einsatz, das entspricht etwa 17.500 Unternehmen. Die Unternehmen stammen hauptsächlich aus den Bereichen produzierendes Gewerbe sowie unternehmensnahe Dienstleistungen.

### KI-EINSATZ STEIGT

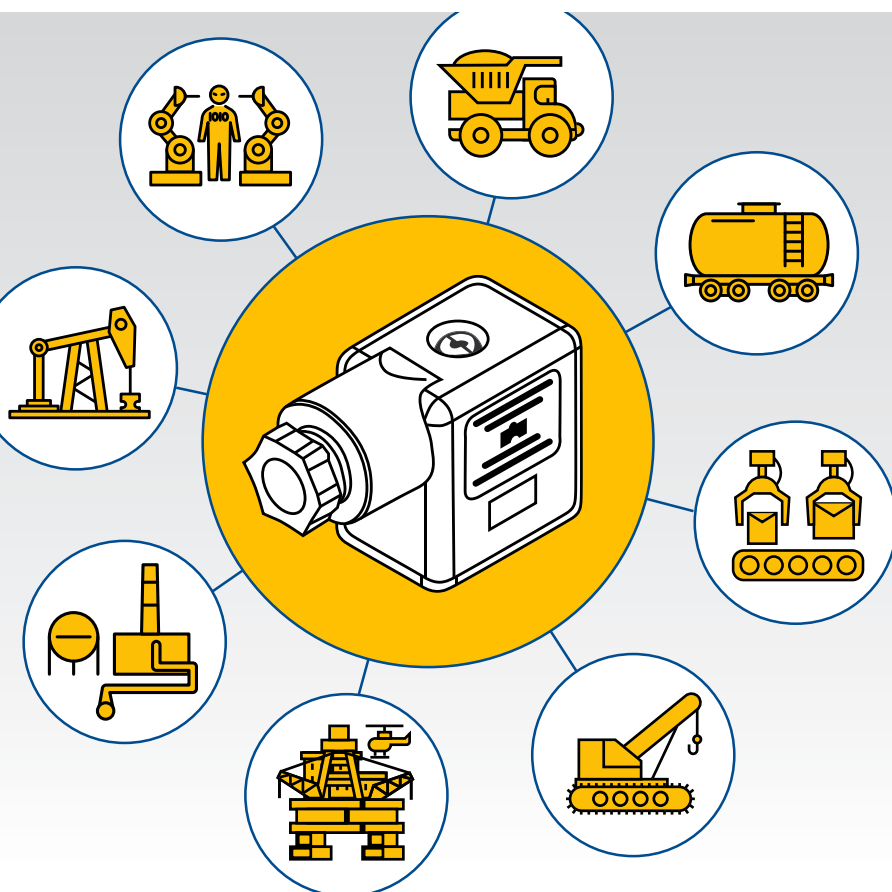
Die Ausgaben der Unternehmen für den Einsatz von KI-Verfahren beliefen sich im Jahr 2019 auf rund 4,8 Mrd. Euro. Den größten Posten bilden dabei die Personalkosten: Drei Viertel der KI-Ausgaben sind interne laufende Aufwendungen, insbesondere für die im Bereich KI tätigen Beschäftigten. „Im vergangenen Jahr arbeiteten in den KI nutzenden Unternehmen

rund 139.000 Personen hauptsächlich oder teilweise in der Entwicklung, Einführung und Pflege von KI-Verfahren. Von diesen waren in den KI einsetzenden Unternehmen rund 50.000 Personen hauptsächlich zu KI tätig. Weitere 89.000 Personen befassten sich in ihrer Arbeitszeit teilweise mit KI-Tätigkeiten“, erklärt Dr. Christian Rammer, Co-Autor der Studie.

Der Personalbedarf ist jedoch bei Weitem nicht gedeckt, laut Studie gab es 22.500 offene KI-Stellen. Lediglich knapp die Hälfte der Stellen konnten die Unternehmen besetzen, weitere elf Prozent nicht mit dem gewünschten Personal, der Rest blieb unbesetzt. Jedoch ist das richtige Personal entscheidend für das Gelingen von KI-Projekten. Ohne entsprechendes Wissen bleiben viele Projekte bereits im Anfangsstadium stecken. Grundvoraussetzung für das Besetzen von KI-Stellen sind laut befragten Unternehmen Kenntnisse im Programmieren von Software. Zusätzlich waren für drei Viertel der Unternehmen Kenntnisse im Datenbankmanagement oder in Mathematik entscheidend.

Derweil wird die Bedeutung von KI für die Geschäftstätigkeit von den meisten Unternehmen als wichtig eingestuft: KI macht ihre Geschäftsprozesse schneller, genauer, flexibler, zuverlässiger, kostengünstiger oder erhöht die Kapazitäten. Für zwölf Prozent der Unternehmen ist der Einsatz von KI sogar essenziell für ihre Geschäftstätigkeit.

TS



[www.buerklin.com](http://www.buerklin.com)

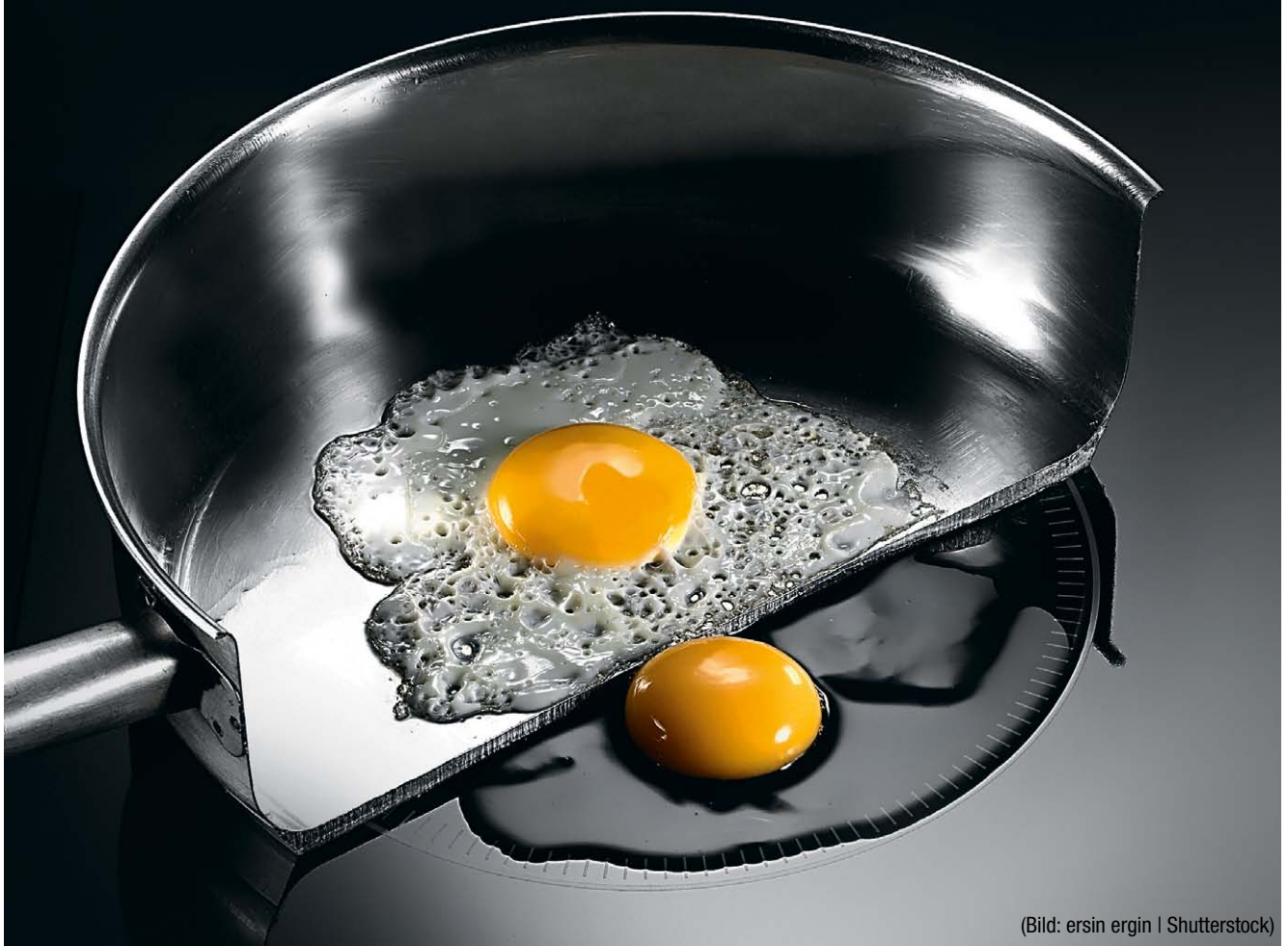
# BREITESTES VENTILSTECKER- SORTIMENT EUROPAS

Heute bestellt, morgen geliefert!  
Ab Lager München / Deutschland.



IGBTs MIT INTEGRIERTEM GATE-TREIBER UND SCHUTZFUNKTIONEN

# INDUKTIVE ERWÄRMUNG LEICHTGEMACHT



Das Design für induktive Heizelemente in modernen Küchengeräten kann einfach sein. IGBT-Lösungen mit integriertem Treiber sind ein gutes Rezept für hohe Effizienz und kleine Kosten und Abmessungen. Für zuverlässigen Betrieb – auch in der „heißesten“ Küche – sorgen umfassende Schutzmechanismen und weitreichende Betriebsdaten.

Von Giuseppe de Falco und Alfred Hesener

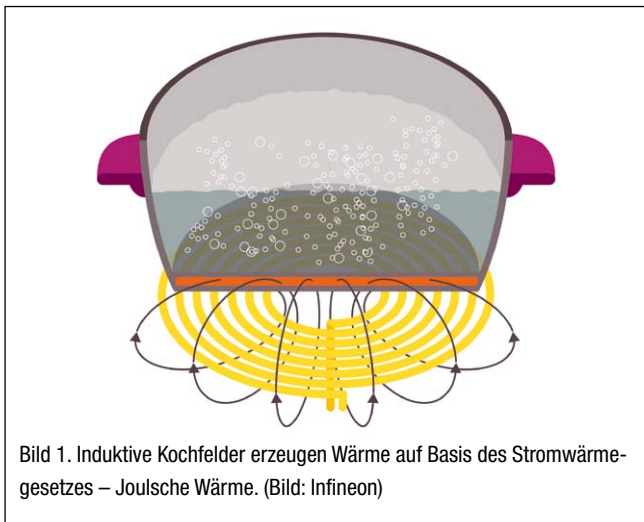


Bild 1. Induktive Kochfelder erzeugen Wärme auf Basis des Stromwärmegesetzes – Joulische Wärme. (Bild: Infineon)

Das Kochen zu Hause ist wieder Trend – die sozialen Medien inspirieren zu gesunden und interessanten Gerichten, auch der Umweltgedanke spielt eine immer größere Rolle. Smarte Küchengeräte mit neuester digital-elektronischer Technik bringen viele neue Funktionen und mehr Sicherheit, sind leichter zu reinigen und verbrauchen weniger Energie. Induktive Wärme ist ein wesentlicher Bestandteil digitaler Technologie in der Küche, etwa für Kochfelder, Reiskocher, Friteusen oder Milchaufschäumer. Gegenüber konventionellen elektrischen Heizelementen profitieren die Geräte und Kunden von einer präzisen und gesteuerten Erwärmung, schneller Rückmeldung mit weniger Verbrennungsrisiko sowie hoher Energieeffizienz. Allein der Markt für induktive Kochfelder soll jährlich rund sechs Prozent wachsen, auf ein Marktvolumen von bis zu 13,5 Milliarden US-Dollar in 2022 [1].

### STARTER-SCHALTER FÜR INDUKTIVES KOCHEN

Das Design von Induktionsgeräten beginnt üblicherweise mit einem Transformator, wie man ihn von vielen Produkten kennt, bei denen eine Netz-Wechselspannung auf eine geringere Spannung umgesetzt wird. Allerdings wird hier auf die

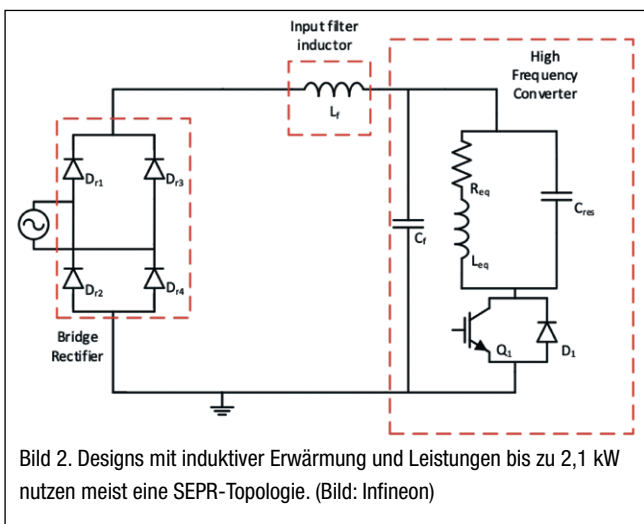


Bild 2. Designs mit induktiver Erwärmung und Leistungen bis zu 2,1 kW nutzen meist eine SEPR-Topologie. (Bild: Infineon)

# FOR DEMANDING APPLICATIONS



## 6-10W • DC-DC Converters

- ⚡ The Package of Chassis and DIN-Rail Mounting
- ⚡ Ultra-wide 4:1 Input Voltage Range
- ⚡ I/O Isolation 3000 VDC
- ⚡ Operating Ambient Temp. Range -40°C to +92.5°C

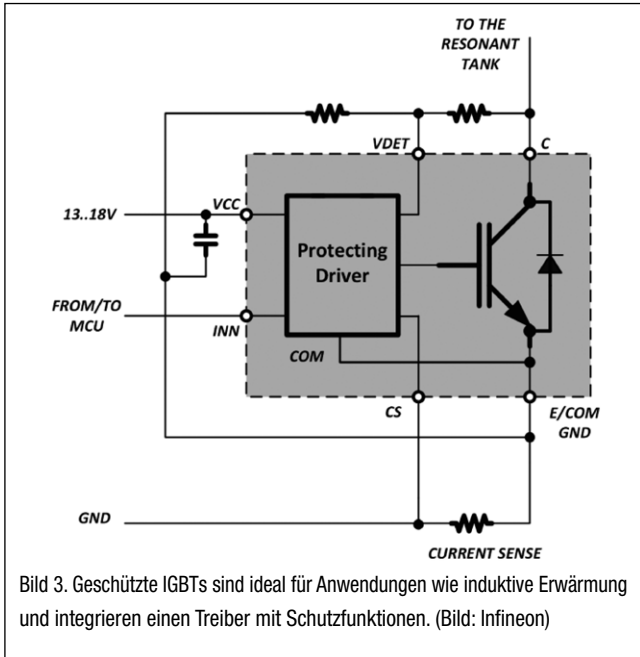


A FORTEC GROUP MEMBER

Emtron electronic GmbH  
 info@emtron.de +49 6158-8285-0  
 www.netzteile-kaufen.de



FORTEC Elektronik AG  
 info@fortecag.de +49 8191-91172-0  
 www.fortecag.de



sekundäre Spule verzichtet und stattdessen ein Metall nahe an die primäre Spule gebracht. Wenn die primäre Spule mit Energie versorgt wird, dann kommt es durch das Metall auf der Sekundärseite zu einem Kurzschluss, der einen Wirbelstrom erzeugt. Verfügt das Metall über einen definierten Widerstand, dann können die  $I^2R$ -Verluste zur Erwärmung genutzt werden. Ist das Metall zum Beispiel der Boden einer Pfanne oder der Belag eines Tischkochers, dann wirkt das Prinzip eines Induktionskochers (**Bild 1**).

**EIGNUNG VERSCHIEDENER METALLE**

Nicht jedes Metall verhält sich jedoch gleich. Kupfer und Aluminium weisen nur einen geringen Widerstand auf und erwärmen sich daher nicht so stark, selbst wenn die Wechselspannungsfrequenz hoch ist. Außerdem kommt es bei diesen Metallen zu einem Skin-Effekt, der dazu führt, dass der Strom auf der Oberfläche und nicht im Metallkörper fließt. Das begrenzt die elektrische Leitfähigkeit, den Widerstand und damit den Heizeffekt.

Für induktive Erwärmung muss das Metall, wie Eisen oder Stahl, über eine magnetische Permeabilität verfügen, bei der die ferromagnetische kristalline Struktur aus mikroskopisch kleinen magnetischen Bereichen besteht. Diese Bereiche werden durch das angelegte magnetische Feld der Primärspule in alternierende Orientierungen gezwungen. Bei der Rotation der magnetischen Bereiche entsteht eine Art Reibung, die wiederum Wärme erzeugt. Dieser Prozess wird als Joulesche Wärme bezeichnet und liefert in diesem Fall den Temperaturanstieg für induktives Kochen.

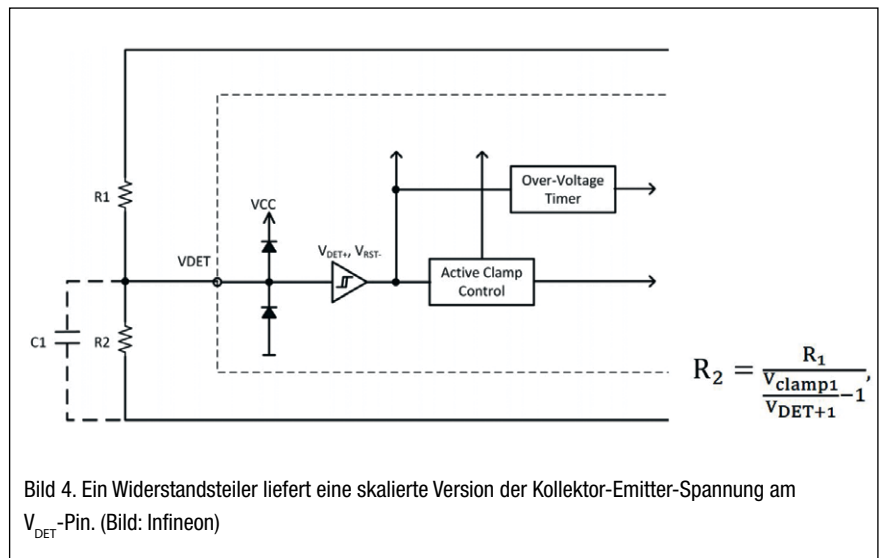
Grundlage ist also das Stromwärmegesetz, das besagt, dass ein elektrischer Strom in einem elektrischen Leiter Wärmeenergie erzeugt, durch fortwährende Umformung von elektrischer Energie, die dem Leiter entnommen wird.

**DIE BESTE ZUTAT: EIN RESONANZWANDLER**

Der Transformator könnte auf der Primärseite mit der Standard-Netzspannung von 50 oder 60 Hz versorgt werden. Das würde aber zu sehr großen Produktmaßen und einem sehr kleinen Skin-Effekt führen. Daher werden höhere Frequenzen im Bereich von 25 bis 75 kHz verwendet, was sehr kompakte Abmessungen ermöglicht. In diesem Fall verfügt die Primärseite des Transformators (Induktionsspule) über weniger Wicklungen bei höherer Frequenz. Das bedeutet zwar geringere resistive Verluste, aber auch immer noch einen Skin-Effekt. Eine typische Spule nutzt Wicklungen mit Litzendraht, also sehr dünne, parallele und isolierte Drähte – jeder mit einem geringeren Durchmesser als die Tiefe des Skin-Effektes, um die entsprechenden Verluste zu reduzieren.

Zur Erzeugung der hochfrequenten Wechselspannung für die Induktionsspule stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. Dabei stellt ein SEPR (Single-Ended Parallel Resonance)-Umsetzer für kompakte Haushaltsgeräte bis etwa 2,1 kW das beste Verhältnis von Kosten zu hoher Energieeffizienz dar (**Bild 2**).

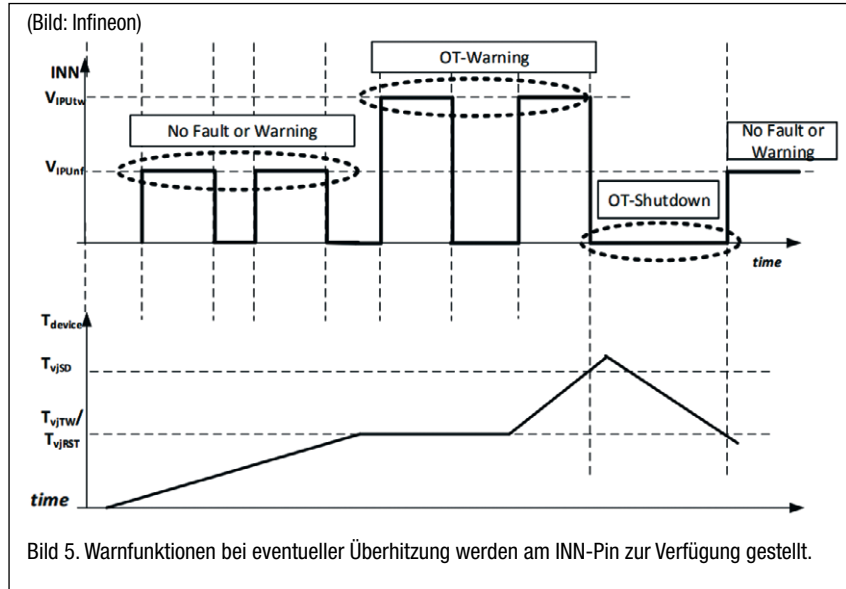
Der Baustein  $Q_1$  ist ein IGBT, der von einem Controller mit variabler Frequenz geschaltet wird, beispielweise mit nur 20 kHz bei voller Last.  $L_{eq}$  ist die Induktionsspule. Im eingeschwungenen Zustand (Steady-State) schaltet der IGBT  $Q_1$  mit null Volt an seinem Kollektor und Strom fließt durch die gleichgerichteten Leitungen durch  $L_{eq}$ . Dabei steigt der Strom linear an. Bei einem vorgegebenen Stromlevel schaltet  $Q_1$  ab und der Strom zirkuliert durch  $C_{res}$  – wobei die Kollektorspannung zuerst ihren Spitzenwert erreicht und dann auf die Resonanzfrequenz von  $L_{eq}$  und  $C_{res}$  fällt: der benötigten Wechselspannung für die Induktionsspule. Wenn die Span-



nung unter null fällt, dann leitet  $D_1$  und Strom zirkuliert durch  $C_r$ . An diesem Punkt wird der IGBT  $Q_1$  wieder geschaltet und der Zyklus wiederholt sich.

Die Leistung wird geregelt, indem man den Abschaltstrom für den IGBT  $I_{pk}$  einstellt. So wird die in  $L_{eq}$  verfügbare Energie ( $0,5 L_{eq} I_{pk}^2$ ) definiert. Die Schaltung ist mit Zero-Voltage-Switching beim Einschalten effizient, aber der IGBT weist eine Spannung bis zur doppelten Spitzenspannung der Leitungen auf. Auch die Abschaltverluste sind gering, da der Anstieg der Oszillatorspannung langsam erfolgt, begrenzt durch den Resonanzkondensator. Hier ist kein Bulk- oder Reservoir-Kondensator erforderlich, da  $C_r$  sehr klein ist. Letztlich bedeutet das einen guten Leistungsfaktor. Es müssen keine Korrekturen vorgenommen werden, um EMC-Standards zu erfüllen. Allerdings sollte ein HF-Leitungsfilter eingesetzt werden, damit gesetzliche Interferenzlimits eingehalten werden. Die beschriebene Schaltung ist relativ einfach, bringt aber einige Beschränkungen mit sich: So ist der Spannungsstress für  $Q_1$  hoch. Es gibt keinen Bulk-Kondensator, der Spannungsanstiege an den Leitungen abschwächt, um den Stress

zu reduzieren. Transienten beim Einschalten oder beispielsweise das simple Entfernen der Pfanne vom Induktionsherd können so zu Stromspitzen führen oder dazu, dass kein spannungsloses Schalten (ZVS) mehr möglich ist. Der  $Q_1$ -IGBT könnte zerstört werden. Daher muss der IGBT für die jeweilige Applikation genau spezifiziert und mit Schutzmechanismen ausgestattet sein.



**Test&Measurement**

**YOKOGAWA** ◆

**Test Product of the Year**  
Elektra Awards 2019

**Power Product of the Year**  
Electronics Industry Awards 2019

**Rohdaten-Streaming**  
mit bis zu 2 MS/s direkt in Ihre Prüfstandssoftware

Entdecken Sie diese und weitere neue Funktionen des Präzisions-Leistungsanalysators WT5000.

**Precision Making**

tmi.yokogawa.com/de



# Leistungshalbleiter

ANWENDERFORUM

28.-29. Oktober 2020  
Novotel München Messe

## CALL FOR PAPERS

Leistungshalbleiter sind Kernkomponenten jedes Netzteils, DC/DC-Wandlers oder Umrichters. Doch der Markt für MOSFET, IGBT & Co. ist sehr breit; es gibt eine Menge von Herstellern, die solche Komponenten in einer nicht zu überblickenden Vielfalt anbieten. Hinzu kommen noch die neuen Wide-Bandgap-Halbleiter wie Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN). Wie soll sich der Anwender in diesem »Dschungel« zurechtfinden und den für seine Anwendung passenden **Leistungshalbleiter** identifizieren? Wo liegen die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Leistungshalbleiter-Lösungen?

Hilfestellung sollen Entwickler auf dem »Anwenderforum Leistungshalbleiter« erhalten, das die Markt&Technik sowie DESIGN&ELEKTRONIK vom 28.-29. Oktober 2020 in München veranstalten.

Bis zum **15. Mai 2020** haben Sie die Möglichkeit, das Programm inhaltlich mitzugestalten. Bitte reichen Sie ausschließlich technisch tiefgehende Vorträge ein; produkt- und werbelastige Einreichungen können nicht berücksichtigt werden.

### Folgende Themen seien als Anregung genannt:

- Typen von Leistungshalbleitern (MOSFET, IGBT, Module, SiC, GaN)
- Vor- und Nachteile verschiedener Typen
- Aufbau- und Verbindungstechnik bei Leistungshalbleitern und Power-Modulen
- Gehäusebauformen sowie ihre jeweiligen Vor- und Nachteile
- Aufbau- und Verbindungstechnik
- Ausfallmechanismen, Zuverlässigkeit und Alterung
- Wärmemanagement (im Bauteil selbst und vom Bauteil selbst)
- Beschaltung (z. B. Gate-Ansteuerung, Schutzbeschaltung)
- Elektromagnetische Verträglichkeit
- Wandler- und Umrichter-Topologien sowie ihre jeweiligen Vor- und Nachteile
- Anwendungsbeispiele (Elektromobilität, regenerative Energien, Weiße/Braune Ware etc.)
- Zusammenspiel mit anderen Komponenten (z. B. Passive, Zwischenkreis, Bus-Bar etc.)
- Kostenanalysen
- Normen

Powered by

**DESIGN & ELEKTRONIK**  
KNOW-HOW FÜR ENTWICKLER

**Markt & Technik**  
DIE UNABHÄNGIGE WOCHENZEITUNG FÜR ELEKTRONIK

## DER IGBT UND SEINE ANSTEUERUNG

Die Spannungsklasse sollte für den IGBT beim induktiven Erwärmen hoch sein, mindestens 1200 V, um ein Einschwingen mit hohen resonanten Spitzen sowie Transienten bei hohen Wechselfspannungen zu erlauben. Die Spezifikation für den Strom sollte über eine entsprechende Marge verfügen, um auch transiente Bedingungen abfedern zu können. Außerdem sollte die Sättigungsspannung  $V_{CE(ON)}$  so gering wie möglich sein, um die Leitverluste zu minimieren. Die Abschaltverluste sind gering aufgrund des langsamen  $dV/dt$ -Anstiegs der Kollektorspannung. Unter transienten Bedingungen sollten im Idealfall Strom, Spannung und Temperatur des IGBT überwacht und limitiert werden. Ein Beispiel für einen solchen IGBT unter den genannten Anforderungen ist der RC-H5-IGBT der Trenchstop-F-Serie von Infineon (**Bild 3**). Er zeigt, wie ein IGBT für optimale Leistung in induktiven Anwendungen aufgebaut sein kann.

Der exemplarische IGBT ist mit 1350 V und 20 A spezifiziert, speziell ausgelegt für SEPR-Anwendungen und induktive Erwärmung bis zu 2,2 kW Leistung. Wichtig für das Bauteil sind in diesen Anwendungen sehr geringe Schaltverluste und, dass für den erforderlichen Abfall der Vorwärtsspannung eine parallele Diode integriert ist. Darüber hinaus braucht der IGBT zahlreiche Schutzfunktionen, etwa eine Strombegrenzung für jeden Schaltzyklus, die auch die maximale LC-Resonanzenergie und die Spitzenspannung begrenzt. Dieser Status wird über den VDET-Anschluss mit drei Schwellwerten überwacht. Dazu wird eine skalierbare Reproduktion der Kollektor-Emitter-Spannung über einen Spannungsteiler, der aus zwei Widerständen besteht, genutzt. Initial wird der IGBT für 5  $\mu$ s eingeschaltet, um Überspannung zu begrenzen. Nach dieser Zeitspanne schaltet der IGBT ab, während die Energie in der Spule immer noch vorhanden ist. Die Spannung steigt deshalb weiter bis zum nächsten Schwellwert. An diesem Punkt schaltet der IGBT wieder ein und bleibt in diesem Status, bis  $V_{DET}$  unter den ersten Schwellwert fällt. Mit diesem Zweischritt-Prozess ist die Verlustleistung deutlich geringer als bei einer kontinuierlichen Klemmung mit transienten Überspannungen. Der dritte und geringste Schwellwert hat den gegenteiligen Effekt, indem er das normale Einschalten des IGBT verhindert, wenn die Spannung zu hoch ist. Die erforderlichen Widerstandswerte für den Spannungsteiler können – wie in **Bild 4** dargestellt – ermittelt werden. Ein Abblock-Kondensator sollte zudem in Betracht gezogen werden, da eine stabile Spannung für einen zuverlässigen Betrieb erforderlich ist.

## SCHUTZ DER INDUKTION

Das Einschalten des Gatetreiber-Stroms erfolgt in zwei Schritten. Zuerst wird ein geringerer Wert erreicht, um  $dV/dt$  und  $dI/dt$  zu reduzieren. Damit wird die Spitze des Kollektorstromes aufgrund der Ladung des Resonanzkondensators reduziert. Danach wird eine höherer Gate-Strom eingestellt,

Details zum Call for Papers finden Sie unter:  
[www.leistungshalbleiter-anwenderforum.de](http://www.leistungshalbleiter-anwenderforum.de)

um die volle IGBT-Sättigung bei geringsten Leitverlusten zu sichern.

Auch die Temperatur wird überwacht. Über den multifunktionalen INN-Anschluss wird ein Warnsignal ausgegeben, wenn die Temperatur des Bausteins 75° Celsius überschreitet. Bei mehr als 150° Celsius wird abgeschaltet. Im aktiven Betrieb ist der INN-Pin auf Low, um den IGBT zu treiben. Im ausgeschalteten Zustand wird die externe Schaltung hoch impedant und die IGBT-Signale steuern dann den Pin mit verschiedenen Spannungsleveln. Dabei werden normaler Betrieb oder Übertemperatur angezeigt (**Bild 5**).

Die Entwicklung digital-elektronischer Küchengeräten hängt insbesondere von den passenden IGBTs ab. Bausteine mit integrierten Treibern und den richtigen Schutzfunktionen sorgen nicht nur für ein unkompliziertes Design auf wenig Bauraum, sie sorgen auch für Freude und Sicherheit beim induktiven Kochen und Erwärmen. UH

#### Literatur

[1] Verma, Preksha: Household Induction Cooktops Market - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast 2014-2022, Allied Market Research, 2017, <https://www.alliedmarketresearch.com/household-induction-cooktops-market>



#### DR. GIUSEPPE DE FALCO

ist im Technischen Marketing für diskrete IGBTs im Bereich induktives Heizen zuständig. Er trat der Infineon Technologies Austria 2016 bei und arbeitet dort für die Industrial Power Control Division. De Falco hat an der Universität von Neapel Elektrotechnik studiert, dort 2011 mit einem Master abgeschlossen und 2015 auch seinen Dokortitel erworben.



#### ALFRED HESENER

ist Leiter des Technischen Marketing für Intelligente Leistungsmodule bei Infineon Technologies. Er verfügt über 30 Jahre Erfahrung im Bereich Leistungselektronik und arbeitet nach verschiedenen Stationen in anderen Halbleiterunternehmen seit sieben Jahren wieder bei Infineon. Hesener hat an der TU Darmstadt Elektrotechnik mit Vertiefung Halbleiter-Elektronik studiert.

# TRACO POWER

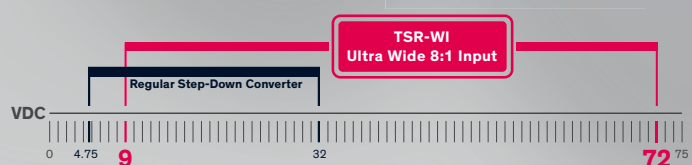
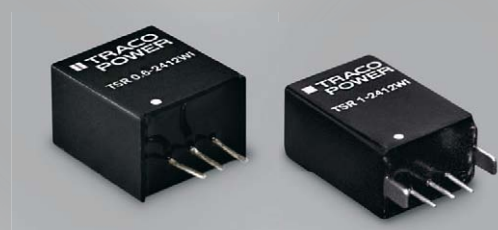
Reliable. Available. Now.

[www.tracopower.com](http://www.tracopower.com)

## TSR-WI-Serie – Neue 0,6- und 1 A-POL-Wandler

**POL-Wandler mit besonders breitem 8:1-Eingangsspannungsbereich decken viele Standard Bus- und Batteriespannungen ab**

- Besonders breiter 8:1-Eingangsspannungsbereich: 9–72 V<sub>DC</sub>
- Deckt die Mehrzahl der Standard Bus- und Batteriespannungen ab
- Hoher Wirkungsgrad bis zu 94 % – kein Kühlkörper erforderlich
- Pin mit LMxx-Linearreglern (SIL-3) kompatibel
- Arbeitstemperaturbereich –40 bis +85 °C
- Niedriger Ruhestrom
- Ausgezeichnete Linear-/Lastregelung
- Kurzschluss-, Überspannungs- und Überhitzungsschutz
- 3 Jahre Produktgarantie





(Bild: Zapp2Photo | Shutterstock)

FLEXIBLE UND KONFIGURIERBARE 20-V-HOCHSTROM-PMICs

# DIGITAL GESTEUERTE POWER

Digitale Geräte und Anwendungen brauchen insbesondere eines, Strom. Die Anforderungen an die Stromversorgung und –steuerung steigen mit der Vielzahl an Funktionen und komplexen Elektronikbauteilen. Moderne PMICs liefern unterschiedliche Spannungspegel bei hoher Leistungsdichte, und reagieren schnell auf Lastspitzen. Geringes Rauschen, ein weiter Temperaturbereich und digitale Steuerung vereinfachen die Entwicklung und Integration.

Von Steve Knoth

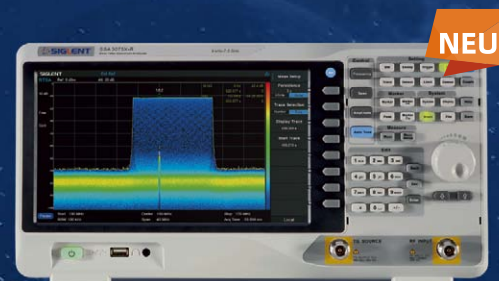
Moderne elektronische Geräte sind mit viel mehr Funktionen als noch vor 20 Jahren ausgestattet und dennoch meist kleiner geworden. Telefone sind mobile Computer mit Touchscreens, Kameras, Blitzlicht, Internet- sowie GPS und

Bluetooth-Verbindungen. Industriecomputer enthalten Barcode-Leseinheiten, große Bildschirme, Speicherlaufwerke und beleuchtete Tastaturen. Elektronische Medizingeräte haben unzählige Sensoren, Leuchten und Anzeigen.

All dies braucht Strom und damit eine hervorragende Stromversorgung. Portable und stationäre Elektroniksysteme haben hohe Anforderungen an die Stromversorgung – insbesondere, wenn fortschrittliche digitale ICs wie



# BRIDGE THE GAP TO YOUR SOLUTION



## Real-Time Spektrum Analysator SSA3000X-R

- 9 kHz — 5 GHz / 7,5 GHz
- 100% POI 7,2µs
- 40 MHz Echtzeitanalyse (opt.)
- Speicher für 50.000 Erfassungen
- Vektor-Signalanalyse (opt)
- EMV-Testfunktion (opt)



## Spektrum & Vektor Netzwerkanalysator SVA1000X

- 9 kHz - 7,5 GHz Frequenzbereich Analyser
- 100 kHz - 7,5 GHz Frequenzbereich VNA
- S11/S21-Messung
- Antennenmessung und DTF-Kabelmessung
- Touch Screen und integrierter Webserver

[www.siglenteu.com](http://www.siglenteu.com)

Siglent Technologies Germany GmbH  
Liebigstr. 2-20, 22113 Hamburg  
Info-eu@siglent.com +49 (0) 40 819 95946

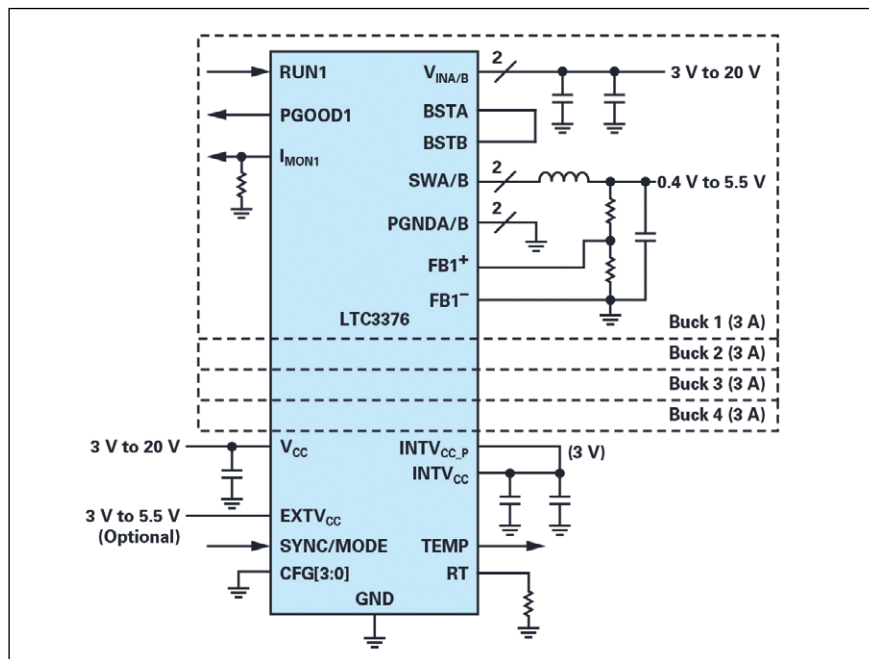


Bild 1. Vereinfachte Blockschaltung des LTC3376. (Bild: Analog Devices)

Grafikprozessoren (GPUs), Feldprogrammierbare Gate-Arrays (FPGAs), Mikrocontroller und Mikroprozessoren, programmierbare Logikbausteine (PLDs), digitale Signalprozessoren (DSPs) oder auch applikationsspezifische integrierte Schaltungen (ASICs) eingesetzt werden. Die komplexen digitalen Bausteine benötigen unterschiedliche Spannungspegel und eine hohe Leistungsdichte, die niedrige Spannungen und hohe Ströme liefert und schnell auf Lastspitzen reagiert. Dazu müssen Entwickler auf geringes Rauschen, limitierte Betriebstemperaturen und die digitale Steuerung achten.

## HERAUSFORDERUNGEN BEIM STROMVERSORGUNGSDESIGN

Die hohe Integrationsdichte auf immer kleineren Leiterplatten braucht effiziente Leistungskomponenten, die die Temperaturen im Zaum halten. Der Temperaturüberwachung der Systeme und deren Power-Management-Komponenten kommt daher eine große Bedeutung zu. Ein System-Controller kann eine Übertemperaturwarnung (OT) mit Empfehlungen für Gegenmaßnahmen ausgeben, um eine Überhitzung des Systems zu verhindern. Dazu kann er weniger wichtige Funktionen abschal-

ten oder die Leistung eines Prozessors, Displays und die Netzwerkkommunikation drosseln.

Das Beispiel Auto zeigt: Aus Sicht der Stromversorgung erfordern selbst einfache Infotainment-Konsolen in Armaturenbrettern mehrere Versorgungspegel mit geringen Spannungen (Ausgangspegel) mit einigen Ampere an Gesamtstrom; eine moderne Connected-Car-Konsole benötigt weit mehr. Traditionell wurden niedrige Spannungspegel mit einer Reihe von winzigen diskreten POL-Leistungsregler-ICs (Point of Load) oder großen hoch integrierten Power-Management-ICs (PMICs) generiert. Diese PMICs verfügen häufig über mehr Spannungspegel als nötig, das kostet Bauraum. Zudem können einige dieser Spannungspegel unterversorgt sein, was weitere Integrationen verhindert.

Auch zu viele Funktionen können bei der Auswahl von ICs und zugehörigen diskreten Komponenten Schwierigkeiten verursachen, oder wenn sich bei Produktiterationen die Ein- und Ausgangsspannung oder die Ausgangsströme ändern. Wenn nach dem Leiterplatten-Layout noch eine Systemspezifikation geändert wird, kann im besten Fall noch eine Spannung durch Austausch einiger Widerstände an einem einstellbaren Konverter

optimiert werden. Im schlimmsten Fall, wenn die aktualisierten Strompegel den spezifizierten Schaltstrom des eingesetzten Wandlers übersteigen, müssen mehrere ICs durch nicht Pin-kompatible Bausteine ersetzt werden. ICs, Baugruppen oder Systeme müssen eventuell neu qualifiziert werden – das erhöht die Kosten und verzögert die Zeitschiene. Die Lösung ist ein Leistungs-IC, das mehr Ausgänge bietet als diskret aufgebaute Komponenten oder ICs mit nur einem oder zwei Ausgängen. Dieser „dazwischen liegende Regler“ braucht mit einer konfigurierbaren Anzahl an Pegeln mit moderater Versorgung nur sehr wenig Bauraum. Ein solcher IC sollte über Konfigurationen eine große

Vielfalt an Spannungen und Strömen generieren können, um auf im Entwicklungsprozess auftretende Anforderungsänderungen der Stromversorgung reagieren zu können – ohne eine erneute Qualifizierung und verlängerte Markteinführung. Darüber hinaus sollte der IC mit hohem Wirkungsgrad bei Eingangsspannungen über 5 V arbeiten können und so unterschiedlichste Anwendungen bedienen, wie etwa 12-V- bis 18-V-Netzteile. Moderne Power-Applikationen brauchen zudem integrierte Sicherheits- und Überwachungsfunktionen, eine weite Betriebstemperatur sowie ein Gehäuse mit hervorragendem thermischem Verhalten.

**FLEXIBEL, KONFIGURIERBAR UND MIT MEHREREN AUSGÄNGEN**

Ein Beispiel für solche einen Power-Management-IC und Systeme, die mehrere Niederspannungspegel benötigen, ist der Baustein LTC3376 von Analog Devices. Diese Art ICs kann so konfiguriert werden, dass sie zwischen einem und bis zu vier unabhängig geregelten Ausgängen aus einem Eingang von bis zu 20 V bereitstellen und bis zu 15 Ausgangsstromkonfigurationen mit einem Gesamtstrom bis zu 12 A ermöglichen. Mehrkanal-Applikationen in der Telekommunikation, Industrie- und Automobilelektronik sowie

in Kommunikationssystemen benötigen diese Flexibilität.

Vier unabhängige abwärts wandelnde Regler und acht konfigurierbare 1,5-A-Leistungsstufen mit flexibler Sequenzierung und Fehlerüberwachung generieren in Kombination einen verfügbaren Ausgangsstrom von insgesamt 12 A. Der IC verfügt über einen Wirkungsgrad der Abwärts wandlung von bis zu 96 Prozent mit einem Fehler der Ausgangsspannung von  $\pm 1\%$  an allen Kanälen. Jeder Kanal kann mit einer unabhängigen Eingangsstromversorgung zwischen 3 V und 20 V betrieben werden und der Ausgangsspannungsbereich reicht bis zu 0,4 V herunter. Für eine vereinfachte Schaltung lassen sich benachbarte Kanäle über eine einzige gemeinsame Spule parallel zusammen-

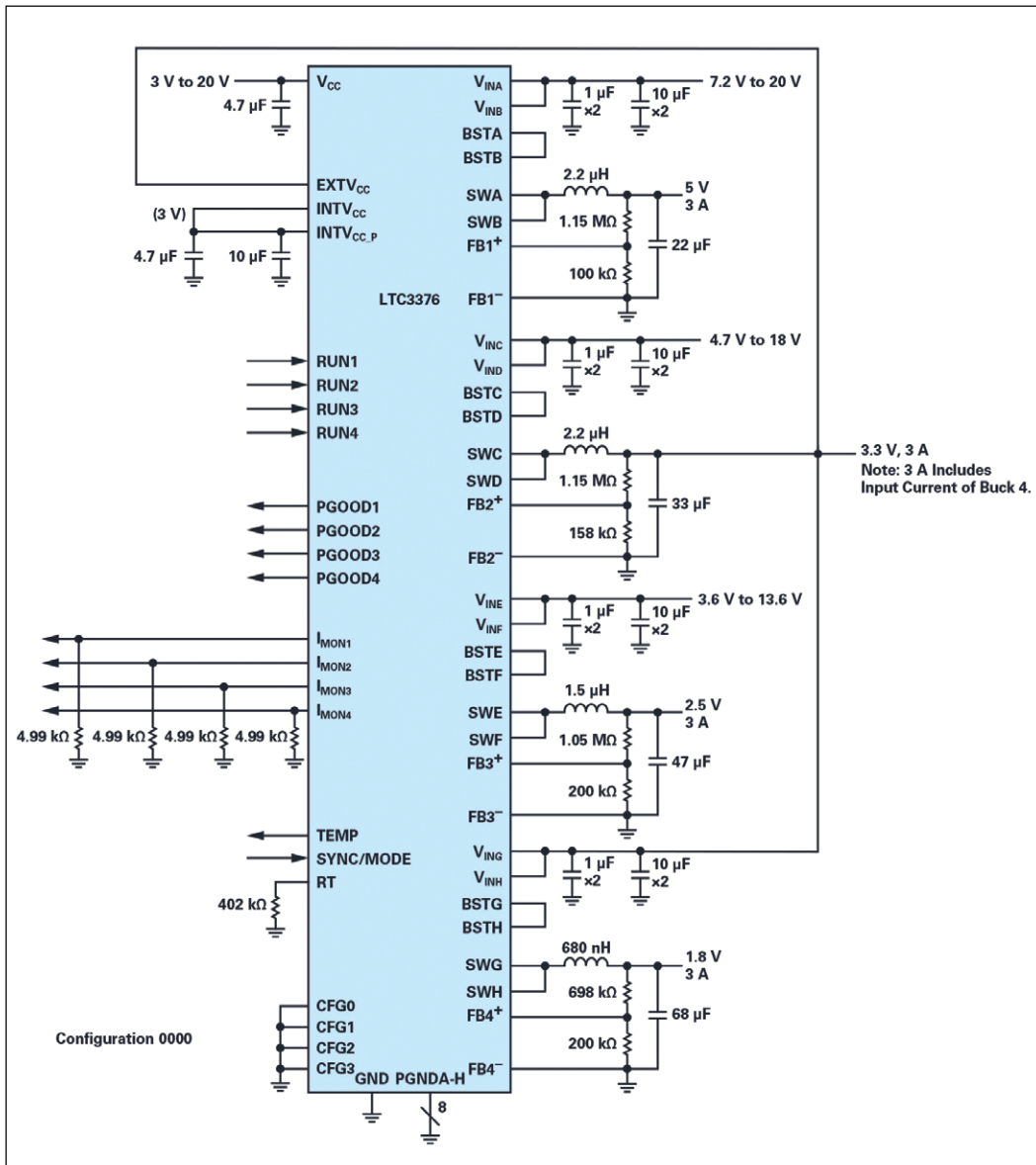


Bild 2. Typische Schaltung für eine Anwendung mit vier Ausgängen. (Bild: Analog Devices)

schalten. Die DC/DC-Wandler sind einer der 15 Versorgungskonfigurationen über die strapazierfähigen Pins CFG0 bis CFG3 zugeordnet. Externe BST-Kondensatoren sind bereits im Gehäuse integriert.

Power-Entwickler können diese PMICs in zwei Betriebsarten nutzen: Im Burst-Mode-Betrieb (Standard-Einschalt-Modus) für einen höheren Wirkungsgrad bei kleineren Lasten und im kontinuierlichen PWM-Modus (Pulse Width Modulation) für weniger Rauschen bei kleinen Lasten. Die Schaltregler sind intern kompensiert und benötigen nur externe Rückkoppelwiderstände, um die Ausgangsspannung einzustellen. Die Abwärtswandler können den Eingangsstrom über einen Soft-Start begrenzen, die Ausgänge differenziell überwachen und sind gegen Kurzschlüsse geschützt. Geringer Ruhestrom ist wichtig, in dem Beispiel liefern alle vier Wandler gemeinsam 42  $\mu$ A. Der Baustein besitzt einen programmierbaren und synchronisierbaren 1-MHz- bis 3-MHz-Oszillator mit einer Standardschaltfrequenz von 2 MHz.

## ÜBERWACHUNG DES LAUFENDEN BETRIEBS

Um die zu versorgenden Systeme gleichzeitig zu überwachen und zu schützen, benötigen PMICs zusätzliche Sicherheitsfunktionen. Vier Power-Good-Pins zeigen an, wenn ein aktivierter DC/DC-Wandler innerhalb eines bestimmten Prozentbereichs seiner Zielausgangsspezifikation liegt. Diese zeigen auch Stromausfälle an. Jeder abwärts wandelnde Regler besitzt zudem einen Strommonitor, der einen Strom am  $I_{MON}$ -Pin generiert, der proportional zum durchschnittlichen Laststrom des Abwärtswandlers ist und jede Last der einzelnen Wandler extern überwacht. Der gezeigte IC verfügt außerdem über präzise Schaltschwellen des RUN-Pins zur Einschaltsequenzierung und einen Temperaturüberwachungsausgang auf dem Chip.

Die Chip-Temperatur kann durch Abtasten der analogen Spannung am TEMP-Pin ausgelesen werden. Die von

Topologie	Ausgangsstromkombinationen
5 Vierfach-Abwärtswandler	3 A, 3 A, 3 A, 3 A,
	4,5 A, 3 A, 3 A, 1,5 A
	4,5 A, 4,5 A, 1,5 A, 1,5 A
	6 A, 1,5 A, 3 A, 1,5 A
	7,5 A, 1,5 A, 1,5 A, 1,5 A
5 Dreifach-Abwärtswandler	3 A, 4,5 A, 4,5 A
	6 A, 3 A, 3 A
	4,5 A, 6 A, 1,5 A
	7,5 A, 3 A, 1,5 A
	9 A, 1,5 A, 1,5 A
4 Zweifach-Abwärtswandler	6 A, 6 A
	7,5 A, 4,5 A
	9 A, 3 A
	10,5 A, 1,5 A
1 Einfach-Abwärtswandler	12 A

Tabelle 1. 15 Ausgangskonfigurationen mit insgesamt 12 A sind möglich. (Quelle: Analog Devices)

der Spannung des TEMP-Pins angezeigte Temperatur ergibt sich aus folgender Formel:

$$T = \frac{V_{TEMP}}{10 \text{ mV}} \times 1^\circ\text{C}$$

wobei  $V_{TEMP}$  die Spannung am TEMP-Pin ist.

Für den Schutz des Chips und seiner Komponenten werden die Abwärtswandler bei hohen Temperaturen im Falle einer Überlast deaktiviert. Wenn die Chip-Temperatur 165 °C erreicht, schalten alle aktivierten abwärts wandelnden Schaltregler ab und bleiben in diesem Zustand, bis die Temperatur wieder unter 155 °C fällt.

Der im **Bild 1** beispielhaft gezeigte LTC3376 wird in einem kompakten 7 mm x 7 mm großen Flip-Chip-BGA-Gehäuse mit 64 Anschlüssen geliefert, er ist für einen Betriebstemperaturbereich von - 40 °C bis + 125 °C spezifiziert.

## AUSGANGSKONFIGURATIONEN FLEXIBEL EINSTELLBAR

Für hohe Flexibilität sollte der Baustein unterschiedliche Ausgangskonfigurationen bieten, im Beispiel sind es 15 mögliche Einstellungen. Eine, zwei, drei oder vier Abwärtswandler-Spulen können mit ihren jeweiligen Ampere-Werten auf 12 A summiert werden, **Tabelle 1** zeigt die möglichen Kombinationen.

# MASCHINE STOP!

## ENERGIE RAUS.



FRIZLEN Bremswiderstände nehmen bei Maschinenstop zuverlässig höchste Energiemengen auf, auch bei Netzausfall.

- Leistungen von 10 W bis 500 kW
- Bis IP67, mit UL / CE

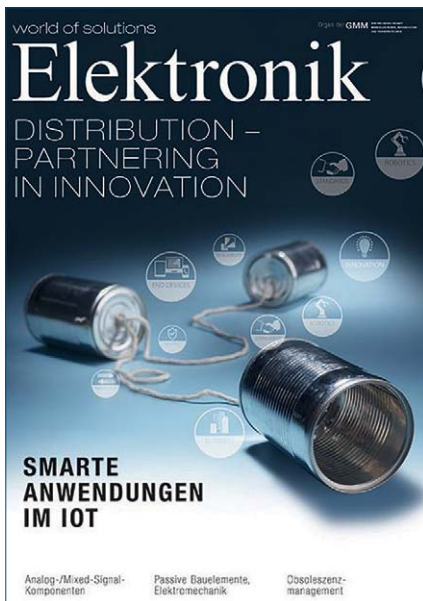
## FRIZLEN Leistungswiderstände

- Belastbar
- Zuverlässig
- Made in Germany

**100** JAHRE **DYNAMIK DURCH WIDERSTAND**



WERDEN SIE  
MIT IHRER  
LÖSUNG TEIL  
DER WORLD  
OF SOLUTIONS



Bildhinweis: fotolia: #190897096 | ra2 studio

## AUF ALLEN RELEVANTEN KANÄLEN

PRINT	ONLINE
EVENTS	SOCIAL MEDIA

## JETZT BUCHEN!

Sonja Winkler  
swinkler@weka-fachmedien.de  
+49 (89) 255 56-1383

elektronik.de | elektronik-automotive.de

## LEISTUNGSELEKTRONIK

Für Entwickler heißt das: Sollten sich die Anforderungen an die Stromversorgung während des Entwicklungsprozesses ändern (**Bild 2**) muss kein neuer IC qualifiziert werden, der Designprozess wird nicht verzögert.

### WENIG WÄRME AUF KLEINEM BAURAUM

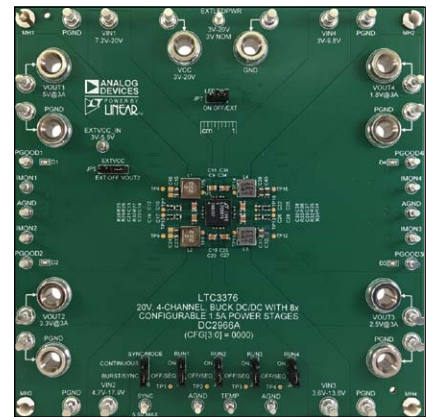
PMICs für Hochstrom-Anwendungen müssen zu einem klein sein und dazu noch eine hohe thermische Effizienz aufweisen, also wenig Hitze entwickeln. Neuartige Gehäusetechniken schaffen das schon bei 7 mm x 7 mm großen Flip-Chip-Ball-Grid-Array-Gehäusen mit 64 Anschlüssen. Intern werden Kupferzapfen statt Bonddrähte verwendet. Das EMV-Verhalten kann durch Boost-Kondensatoren und eine auf dem Substrat integrierte Massefläche verbessert werden. So werden auch das Design vereinfacht und Funktionsrisiken gemindert. Eine spezielle Anordnung der Leistungsbausteine auf dem Chip optimiert zudem das thermische Verhalten und verteilt die Verlustleistung gleichmäßig.

**Bild 3** zeigt am Beispiel des LTC3376 eine vollständige PMIC-Lösung in einem 4 x 3-A-Vierfach-Abwärtsrichter. Die aktive Fläche beträgt nur rund 1,5 cm x 2,9 cm und ergibt etwa 4,4 cm<sup>2</sup>.

### OHNE MODERNE PMICS KEIN FORTSCHRITT

Traditionell wurden Spannungs- und Strompegel von einer Vielzahl an diskreten Leistungsregler-ICs oder großen überintegrierten Power-Management-Schaltungen (PMICs) generiert. Keine dieser Lösungen bietet jedoch sowohl die hohe Flexibilität als auch die notwendige Miniaturisierung, wie sie moderne elektronische Anwendungen für ihre digital gesteuerte Stromversorgung benötigen.

Der Funktionsumfang für Automobil-Infotainmentsysteme, portable Elektronikgeräte, industrielle Ausrüstungen und medizintechnische Geräte ist so hoch wie nie zuvor, ein Trend der sich fortführen wird. Diese Systeme besitzen oft Eingangsspannungen über 5 V und werden von fortschrittlichen digitalen



**Bild 3.** Demo-Baugruppe in einer 4 x 3-A-Abwärtsrichter-Schaltung mit 5-V-, 3,3-V-, 2,5-V- und 1,8-V-Ausgängen. (Bild: Analog Devices)

Hochstrom-ICs mit niedrigen Spannungen versorgt, die wiederum ihre eigenen besonderen Ansprüche an die Stromversorgung stellen. Das Ersetzen dieser Lösungen mit einem Stromversorgungs-IC mit Einfach-, Vierfach- oder sogar Achtfach-Ausgängen ist eine kluge Wahl. Diese neue Generation an Stromversorgungs-ICs punktet mit hoher Performance – zudem können Systementwickler deren Flexibilität nutzen, um mit unvermeidlichen Änderungen umzugehen und Funktionsüberfrachtung abzumildern. Teure und langwierige Neuqualifizierungen von Baugruppen oder Systemen können damit eliminiert werden, was die Markteinführungszeit für das Produkt verkürzt, Entwicklungskosten einspart sowie Zeitaufwand und Kosten reduziert. UH



**STEVE KNOTH**

ist Senior Product Marketing

Manager in der Power-Group von Analog Devices. Er hält einen Bachelor in Electrical Engineering und einen Master in Physik (1995) der Universität San Jose sowie einen M.B.A. in Technologiemanagement der University of Phoenix. Sein Fokus liegt auf integrierten Power-Management-Schaltungen (PMICs), Low-Dropout-Reglern (LDOs), Batterieladeschaltungen, Ladungspumpen-basierten LED-Treibern, Superkondensator-Ladebausteinen, monolithischen Niederspannungs-Schaltreglern und idealen Dioden.

INTELLIGENTE LEISTUNGSHALBLEITER FÜR FUNKTIONALE SICHERHEIT

# ÜBERSTROM SICHER BEGEGNEN

(Bild: vs148 | Shutterstock)

Sicherheit im Auto bedeutet nicht nur, ob der Fahrer angeschnallt ist. Auch die vielseitige und weiter wachsende automobiler Elektronik muss gut geschützt sein. Neuartige High-Side-Schalter schützen vor Überströmen und gewährleisten hohe Systemzuverlässigkeit.

Von Youngku An

Die fortschreitende Elektrifizierung sowie technologische Innovationen im Automobilbereich wie Elektrofahrzeuge und autonomes Fahren erfordern ein Konzept der funktionalen Sicherheit, das im Notfall das Risiko und die Schwere von Unfällen verringern kann. Die funktionale Sicherheit umfasst Sicherheitsmaßnahmen, die das Risiko durch zusätzliche Funktionen wie Überwachung und Schutzvorrichtungen minimieren. Für Automobilanwendungen bedeutet das, das Risiko auf ein vertretbares Maß zu senken, damit bei einer Fehlfunktion aufgrund des Ausfalls eines elektronischen Systems niemand verletzt wird.

Um die funktionale Sicherheit in Fahrzeugsystemen zu gewährleisten, werden Kfz-Steuergeräte mithilfe von Sicherungen vor Überströmen bei Systemausfall geschützt. Mögliche Probleme bei der Instandhaltung nach dem Schmelzen einer Sicherung und alterungsbedingte Beein-

trächtigungen erfordern jedoch den verstärkten Einsatz von Halbleitersicherungselementen wie „Intelligent Power Devices“, IPDs.

IPDs können als Halbleitersicherungen elektronische Schaltkreise vor Ausfall, also vor Überstrom bei Anomalien, schützen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Sicherungen müssen IPDs nach einem Fall von Überstrom nicht ausgetauscht oder ersetzt werden. Sie ermöglichen damit den Aufbau von wartungsfreien Systemen, insbesondere für Steuergeräte in Motor- und Getriebesteuerungen von Fahrzeugen.

## SCHUTZ VOR ÜBERSTROM

Als Referenz für solche IPDs wird im Folgenden die BV2Hx045EFU-C-Serie von ROHM verwendet. Die Serie bietet zweikanalige High-Side-IPDs, die Systeme mit einer Spannungsfestigkeit von 41 V vor Überstrom schützen. Der

Hersteller gilt als sehr erfahren, etwa durch die Integration fortschrittlicher Technologien einschließlich spezieller IPD-Prozesse, Schutzschaltungen, Gehäuse für Automobilanwendungen und auch verbesserte Die-Bond-Materialien.

Im wettbewerbsintensiven Automobilumfeld ist es wichtig, einen Schritt voraus zu sein. Eine integrierte Überstromschutzfunktion ist die wichtigste Funktion von IPDs, sie bietet einen eigenständigen Schutz gegen erhöhte Einschalt- und Dauerströme und ermöglicht den Aufbau sehr zuverlässiger Systeme.

Standardmäßige High-Side-IPDs schützen nur gegen den Einschaltstromstoß beim Start. Für den Überstromschutz bei Dauerströmen werden MCUs und Überstromerkennungs-ICs benötigt. Sobald beim Dauerstrom eine Überstromlast erkannt wird, steuert die MCU über ein Freigabesignal den IPD-Ausgang (On/Off). Je nach

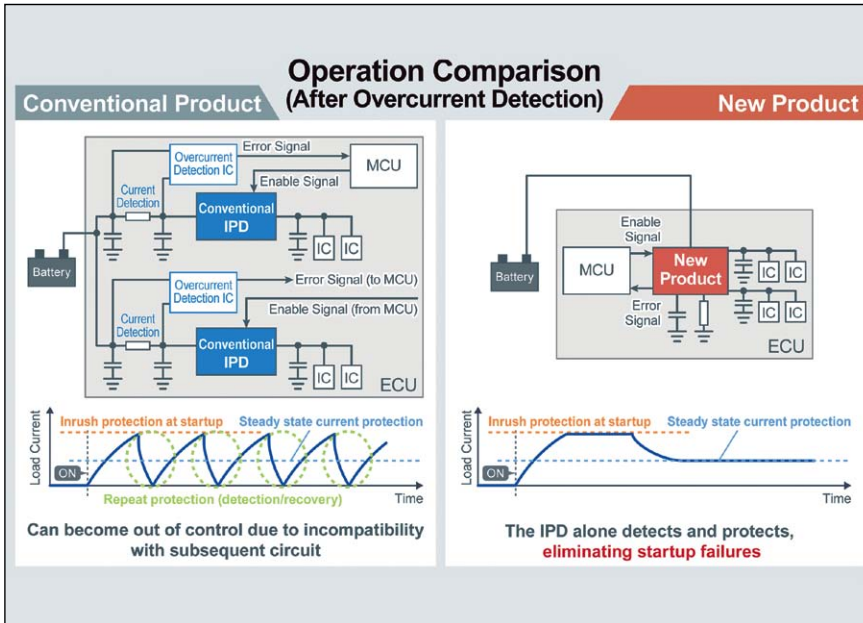


Bild 1. Vergleich verschiedener Überstromerkennungen. (Bild: Rohm Semiconductor)

Kapazitätswert des an den IPD-Ausgang angeschlossenen Folgekreises kann der Einschaltstromstoß dazu führen, dass der Überstromschutz wiederholt erkannt und zurückgesetzt wird, was eine Oszillation zur Folge hätte.

Für neue automobile Entwicklungsprojekte sollten IPSs eine proprietäre Funktion besitzen, die einen eigenständigen Schutz sowohl vor Einschalt- als auch vor Dauerüberstrom bietet und darüber hinaus beim Erkennen einer Anomalie, also eines Überstroms, ein Fehlersignal an die MCU sendet. Beide Funktionen gewährleisten einen stabilen Betrieb und verbessern die Zuverlässigkeit des gesamten Systems.

### SCHÜTZT ECUs IN UNTERSCHIEDLICHEN SYSTEMEN

Bei diesen fortschrittlichen IPDs lassen sich die Zeit zum Schutz des Einschaltstromstoßes und die anomale Stromschwelle des Dauerstroms beim Überstromschutz frei einstellen. Um Steuergeräte in einer Vielzahl von Systemen vor hohen Strömen zu schützen, sind Einschaltstrom und Dauerstrom wichtige Parameter. Hierbei handelt es sich meist um Anwendungen mit Sicherungen. Als Last dienen Elektro-

lytkondensator und Treiberschaltung. Wenn der Kondensator leer oder entladen ist, entsteht bei Einschalten des Systems ein hoher Einschaltstrom. Das System lässt sich schützen, indem man den Einschaltstrom für eine gewisse Zeitspanne begrenzt. Sobald der Einschaltstrom nicht mehr fließt, wird der Schutzmodus abgeschaltet und das System geht in den normalen Dauermodus über (Bild 2).

Für den Einschaltstromstoß ist der Überstromerkennungswert auf 30 A (typisch) festgelegt. Die Schutzzeit wird mit einem externen Kondensator eingestellt. Je höher die Kapazität des externen Kondensators ist, desto länger ist die Schutzzeit für den Einschaltstrom.

**Bild 1** zeigt auf der linken Seite wie der Laststrom, wenn er die von konventionellen IPDs festgelegte obere Grenze erreicht, aufgrund der Inkompatibilität mit der nachfolgenden Schaltung leicht außer Kontrolle geraten kann. Dies führt zu Instabilität und kann sich ungünstig auf das System auswirken. Wenn

jedoch der Schutzmodus gegen einen Einschaltstrom beim Start aktiviert ist, werden Startfehler vermieden, die oberen Werte des zulässigen Stromwerts begrenzt und die Stabilität des Systems verbessert.

Bild 1 zeigt auf der rechten Seite, dass der Laststrom während des Einschaltstroms durch eine Stromschutzzeit nach oben begrenzt wird und reibungslos in den Schutz des Dauerstroms übergeht. Für den Dauerstrom lässt sich der anomale Stromwert mit einem externen Widerstand zwischen 1 A und 10 A einstellen. Dies gewährleistet Kompatibilität mit einer Vielzahl von Systemen.

### OPTIMIERTE BOM

Integriert aufgebaute IPDs der beschriebenen neuen Generation reduzieren die Anzahl der benötigten externen Bauelemente und somit auch die Montagefläche. Wie bereits erwähnt, erfordern herkömmliche Lösungen zum Schutz des Dauerstroms zusätzlich zum IPD ein Überstromerkennungs-IC und weitere Komponenten. Bei Verwendung moderner IPDs kann die Anzahl der Bauteile von zehn auf nur drei reduziert werden – Widerstand, Kondensator und IPD. Dadurch lässt sich die Montagefläche um 70% reduzieren. Der Grund dafür sind die zwei Arten von Überstromschutz: Einschaltstrom und Dauerstrom. Herkömmliche IPDs schützen nur den Einschaltstrom, sie erfordern

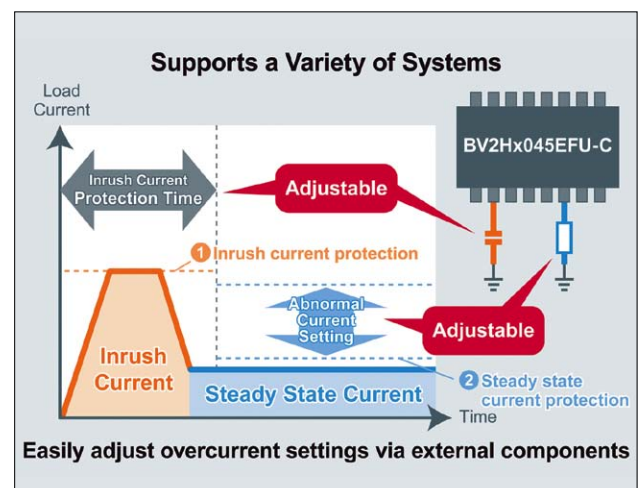


Bild 2. Externe Beschaltung von IPDs. (Bild: Rohm Semiconductor)

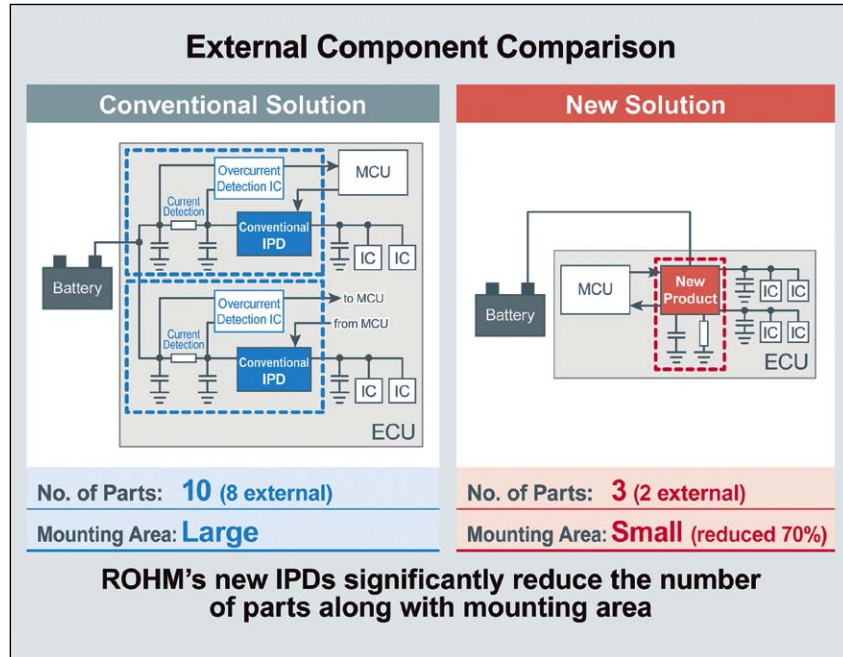


Bild 3. Die Anzahl der externen Komponenten im Vergleich – neuartige IPDs versus konventionelle Produkte. (Bild: Rohm Semiconductor)

zusätzliche Schaltkreise für den Schutz gegen Dauerstrom. Dank zweier Schutzmodi und der Möglichkeit, die Einschaltstromzeit und die anormale Stromeinstellung für den Dauerstrom zu definieren, ermöglichen die neuartigen IPDs eine einfache Konfiguration (**Bild 3**). Bei der herkömmlichen Stromlösung befindet sich der Überstromerkennungs-IC gesondert im nahen IPD. Die Shunt-Widerstände zur Erkennung des Überstroms befinden sich ebenfalls zwischen IPD und Überstromerkennungs-IC. Außerdem werden Paare von Bypass-/Phasenkontroll-Kondensatoren benötigt. Diese komplexen Systeme verursachen hohe Designkosten sowie eine unnötige Systemgröße.

### SCHUTZ UND SICHERHEIT IM AUTO

Hochzuverlässige High-Side-IPDs bieten die Integration von Überstrom- und Anlaufstromschutz mit nur zwei externen Bauteilen und sehr geringem Platzbedarf auf der Leiterplatte, sie können zu weiter minimalisierten Systemen beitragen. Zusätzliche Funktionalitäten wie etwa mehrere Kanäle oder ein

niedriger Einschaltwiderstand für Energieeinsparung sind weitere Vorteile zum zweifachen Überstromschutz. Die neuartige IPD-Generation kann damit zu mehr Sicherheit und Schutz im Auto beitragen und gleichzeitig die Umweltbelastung im Automobil- und Industriebereich minimieren. UH



**YOUNGKU AN**

ist Application Engineer im Application and Technical Solution Center von Rohm Semiconductor, wo er AC/DC-ICs, Standard-ICs und Motorsteuerungen betreut. An verfügt über einen Bachelor in Elektrotechnik der Universität von Seoul in Südkorea. Seine berufliche Laufbahn startete er bei Panasonic Semiconductor als FAE für AC/DC-Anwendungen, im Anschluss arbeitete er bei Shindengen mit diskreten MOSFETs und Leistungsmodulen sowie mit Hochleistungs-DC/DC-Wandlern und OBCs für Automobilanwendungen.



## Leistungsinduktivitäten in Ferrit- und Metallverbundtechnik

- ⚡ NPIS\_L Standard
- ⚡ NPIS\_LA AEC-Q200
- ⚡ NPIS\_LS erweiterte Größen
- ⚡ NPIS\_LP erhöhte Leistung
- ⚡ NPIM\_L Metallverbund
- ⚡ NPIM\_LP erhöhte Leistung

### Konstruktionsvorteile

- ⚡ Reduzierte Baugrößen verfügbar
- ⚡ Höhere Leistung
- ⚡ Weniger Verluste
- ⚡ Schutz vor Vibrationen
- ⚡ Temperaturbereich -40 bis +125° C



**GUDECO**  
ELEKTRONIK



**Wir liefern elektronische und elektromechanische Bauelemente führender Hersteller - sofort ab Lager**

**WWW.GUDECO.DE**

GUDECO Elektronik Handelsgesellschaft mbH  
Daimlerstraße 10 | D-61267 Neu-Anspach | +49 6081 4040

✉ info@gudeco.de

WIDE-BANDGAP-HALBLEITER FÜR ELEKTROFAHRZEUGE

# GaN IM TEST GEGEN SILIZIUM

(Bild: Gorodenkoff | Shutterstock)



Die fortschreitende Elektrisierung des Autos braucht Leistung. Galliumnitrid-Transistoren bedienen die steigenden Anforderungen. Für Mild-Hybrid-Antriebsstränge eignen sich insbesondere Niederspannungs-HEMTs (High-Electron-Mobility Transistors) auf GaN-Basis. Mit kurzen Schaltzeiten und hoher Zuverlässigkeit ermöglichen sie neue Konzepte für Leistungswandler. Von Filippo Scrimizzi, Filadelfo Fusillo und Giusy Gambino



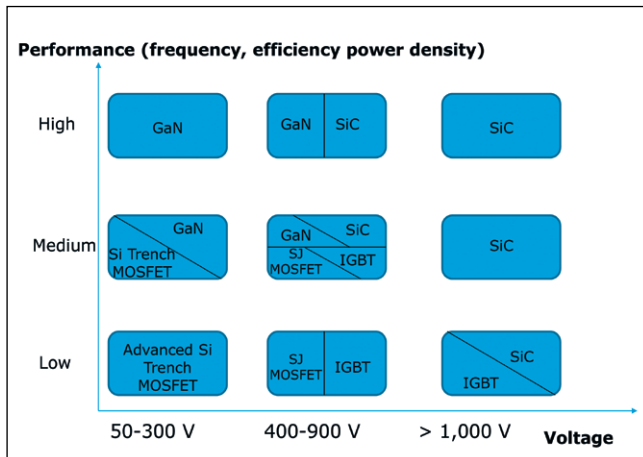


Bild 1. Übersicht über die Einsatzbereiche der verschiedenen Leistungselektroniktechnologien, angeordnet nach Performance (Frequenz, Effizienz sowie Leistungsdichte) und Spannung. (Bild: STMicroelectronics)

2020 wird das Galliumnitrid (GaN)-Jahr, lautet die Essenz der aktuellen Leistungselektronik-Marktstudie von Yole Développement. Gleichzeitig steigt der Anteil der Elektronik im Auto und soll laut Roland Berger 2025 schon bei 35 % liegen. Eine sich ergänzende Entwicklung: GaN-Transistoren erfüllen die Frequenz-, Wirkungsgrad- und Leistungsdichte-Anforderungen neuer Applikationen der Automobilindustrie und stellen somit insbesondere bei niedrigen Spannungen eine Konkurrenz für konventionelle Silizium-Leistungstransistoren dar (**Bild 1**).

### VORTEILE IN HART SCHALTENDEN WANDLERN

Eine besonders hohe Leistungsfähigkeit erreichen die GaN-Transistoren in hart schaltenden Anwendungen mit hohen Schaltfrequenzen. Im automotiven Nieder- und Hochspannungsbereich gehören dazu etwa Bordladegeräte, 48-V-Mild-

hybrid-Architekturen, Ladestationen, LiDAR-Systeme, die kontaktlose Energieübertragung zum Laden des Akkus und auch Audioverstärker der Klasse D.

Mildhybrid-Antriebe setzen für eine hohe Leistung fast ausnahmslos auf 48 V. Ein Bestandteil der 48-V-Mildhybrid-Architektur ist ein bidirektionaler Leistungswandler mit einer Leistung von 3,3 kW, der für den Energietransfer zwischen dem Haupt-Bordnetz mit 48 V und dem 12-V-Bordnetz genutzt wird (**Bild 2**).

### VIER BAUSTEINE IM VERGLEICH

STMicroelectronics hat Prototypen von 100-V-GaN-Transistoren in einem 48-V-Abwärtswandler mit Synchrongleichrichter für Elektrofahrzeuge getestet. Um die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Halbleiter zu vergleichen, wurden zwei eigene GaN-HEMT-Prototypen und ein Silizium-Leistungs-MOSFET sowie ein vergleichbarer Silizium-Leistungs-MOSFET eines Mitbewerbers gegenübergestellt.

Der Test erfolgte unter den folgenden Bedingungen:

- Eingangsspannung  $U_E = 48 \text{ V}$
- Ausgangsspannung  $U_A = 12 \text{ V}$
- Ausgangsstrom  $I_A = 20 \text{ A}$

Die wichtigsten Kenndaten der ausgewählten Leistungstransistoren sind in Tabelle 1 gegenübergestellt.

Im Test wurden beide 100-V-Silizium-Leistungs-MOSFETs oben (High Side) und unten (Low Side) eingesetzt (**Bild 3**), die GaN-HEMTs dagegen wurden wie folgt verwendet:

- Transistor 1 oben (High Side)  
und Transistor 2 unten (Low Side)
- Transistor 2 oben und unten

Die Leistungsfähigkeit des Gleichspannungswandlers wurde in den vier Bestückungsversionen gemessen.

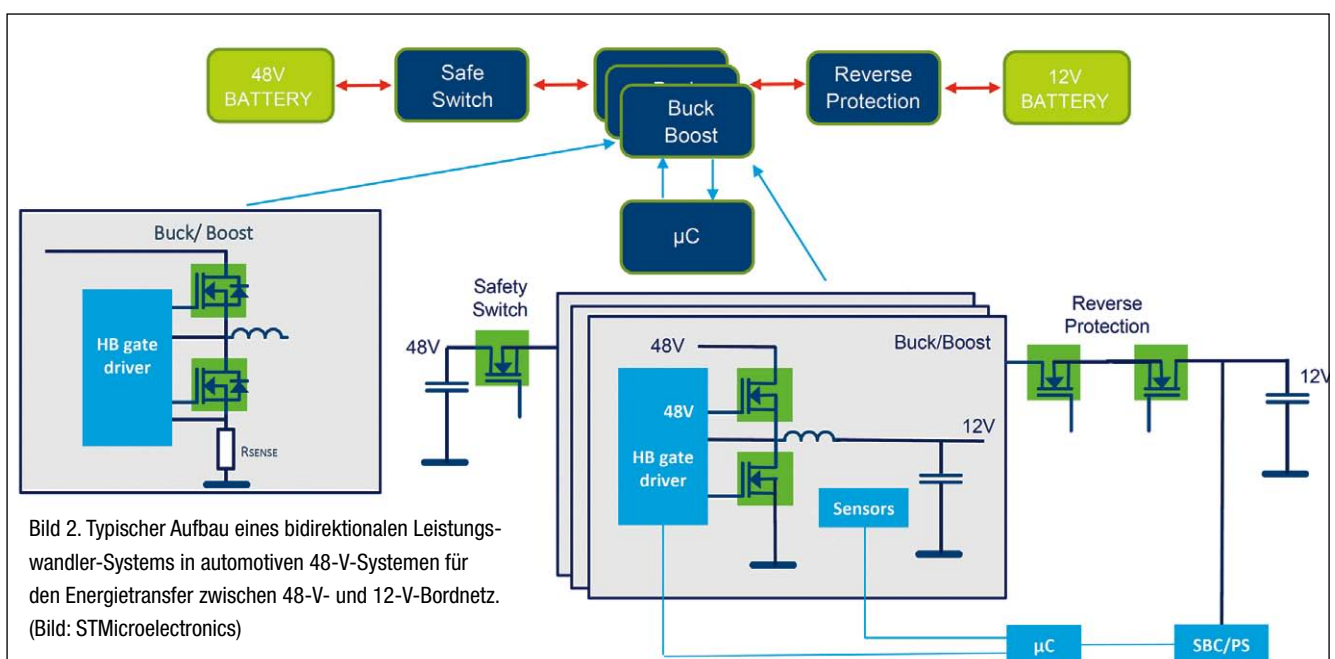


Bild 2. Typischer Aufbau eines bidirektionalen Leistungswandler-Systems in automotiven 48-V-Systemen für den Energietransfer zwischen 48-V- und 12-V-Bordnetz. (Bild: STMicroelectronics)

	Drain-Source-Durchbruchspannung $BU_{dss}$ bei 250 $\mu$ A [V]	Schwellenspannung $U_{th}$ bei 250 $\mu$ A [V]	Durchlasswiderstand $R_{DSon}$ typ [m $\Omega$ ]	Gate-Widerstand $R_g$ [ $\Omega$ ]	Kleinsignal-Eingangskapazität $C_{iss}$ bei 48 V [pF]	Kleinsignal-Ausgangskapazität $C_{oss}$ bei 48 V [pF]	Kleinsignal-Rückwirkungskapazität $C_{rss}$ bei 48 V [pF]
GaN-HEMT von STMicroelectronics	100	1,3	15,0 bei $V_{GS} = 6$ V, $I_D = 12$ A	0,9	335	130	5
GaN-HEMT von STMicroelectronics	100	1,3	7,0 bei $V_{GS} = 6$ V, $I_D = 25$ A	0,6	595	260	10
Si-Leistungs-MOSFET vom STMicroelectronics	119	1,5	7,2 bei $V_{GS} = 6$ V, $I_D = 15$ A	1,1	2700	726	70
Si-Leistungs-MOSFET des besten Mitbewerbers	108	3,2	10,2 bei $V_{GS} = 6$ V, $I_D = 15$ A	1,2	1700	285	11

Tabelle 1. Die wichtigsten elektrischen Kenndaten der ausgewählten Bauelemente. (Bild: STMicroelectronics)

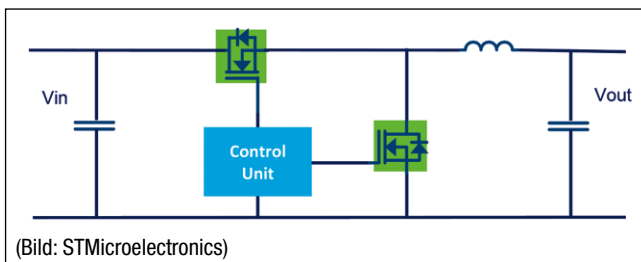


Bild 3. Prinzipschaltbild des verwendeten synchronen Abwärtswandlers.

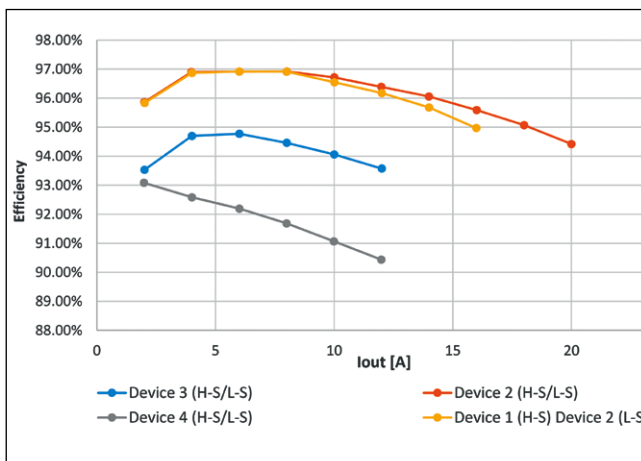


Bild 4. Gemessener Wirkungsgrad des Gleichspannungswandlers als Funktion des Ausgangsstroms bei 300 kHz Schaltfrequenz. (Bild: STMicroelectronics)

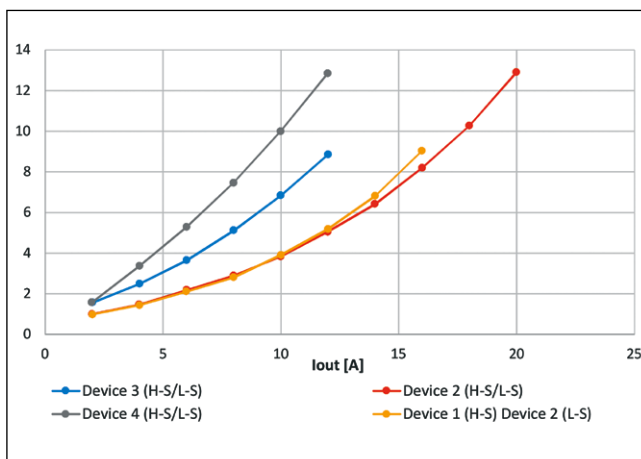


Bild 5. Gemessene Verluste des Gleichspannungswandlers als Funktion des Ausgangsstroms bei 300 kHz Schaltfrequenz. (Bild: STMicroelectronics)

- 1: Transistor 1 oben kombiniert mit Transistor 2 unten (rote Kurven in Bild 4 und 5)
  - 2: zwei Transistoren 2 (orange Kurven in Bild 4 und 5)
  - 3: zwei Transistoren 3 (blaue Kurven in Bild 4 und 5)
  - 4: zwei Transistoren 4 (graue Kurven in Bild 4 und 5)
- Wirkungsgrad und Verluste bei 300 kHz Schaltfrequenz gehen aus den **Bildern 4 und 5** hervor.

Die vorteilhaften Wirkungsgradresultate der GaN-Transistoren spiegeln sich auch in den Temperaturmessungen am oberen Schalttransistor wider, die hauptsächlich von den Schaltverlusten beeinflusst werden (**Bild 6**). Die gemessenen Daten lassen erkennen, dass der GaN-Transistor eine deutlich niedrigere Gehäusetemperatur erreicht.

Mit den Wandlern, bestückt mit GaN-HEMTs wurden zusätzliche Messungen bei Schaltfrequenzen bis zu 1 MHz vorgenommen, um deren schnelle Schalteigenschaften zu verifizieren (**Bild 7**) [1].

Die violetten und die gelbe Kurve in Bild 7 zeigen, dass neben einem schnellen Schaltverhalten auch das Leiterplatten-Lay-out und die Art des Transistorgehäuses mit geringen Streuinduktivitäten für ein Schaltverhalten mit wenigen Oszillationen der Drain-Source- und der Gate-Source-Spannung sorgen.

Der Wirkungsgrad und die Verluste bei 1 MHz sind auf den **Bildern 8 und 9** zu sehen.

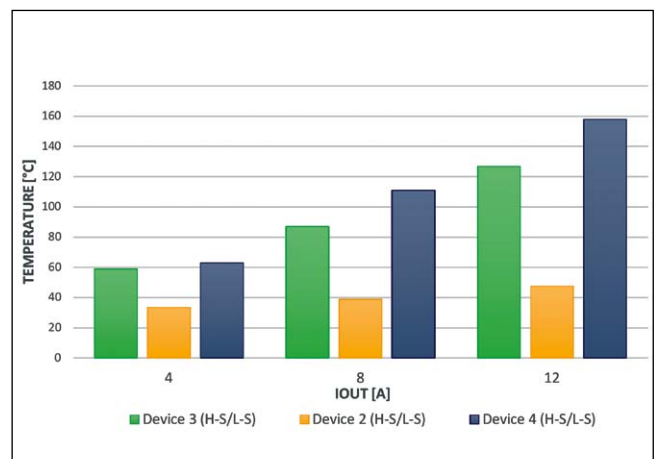


Bild 6. Ergebnisse der Temperaturmessungen am High-Side-Schalter. (Bild: STMicroelectronics)

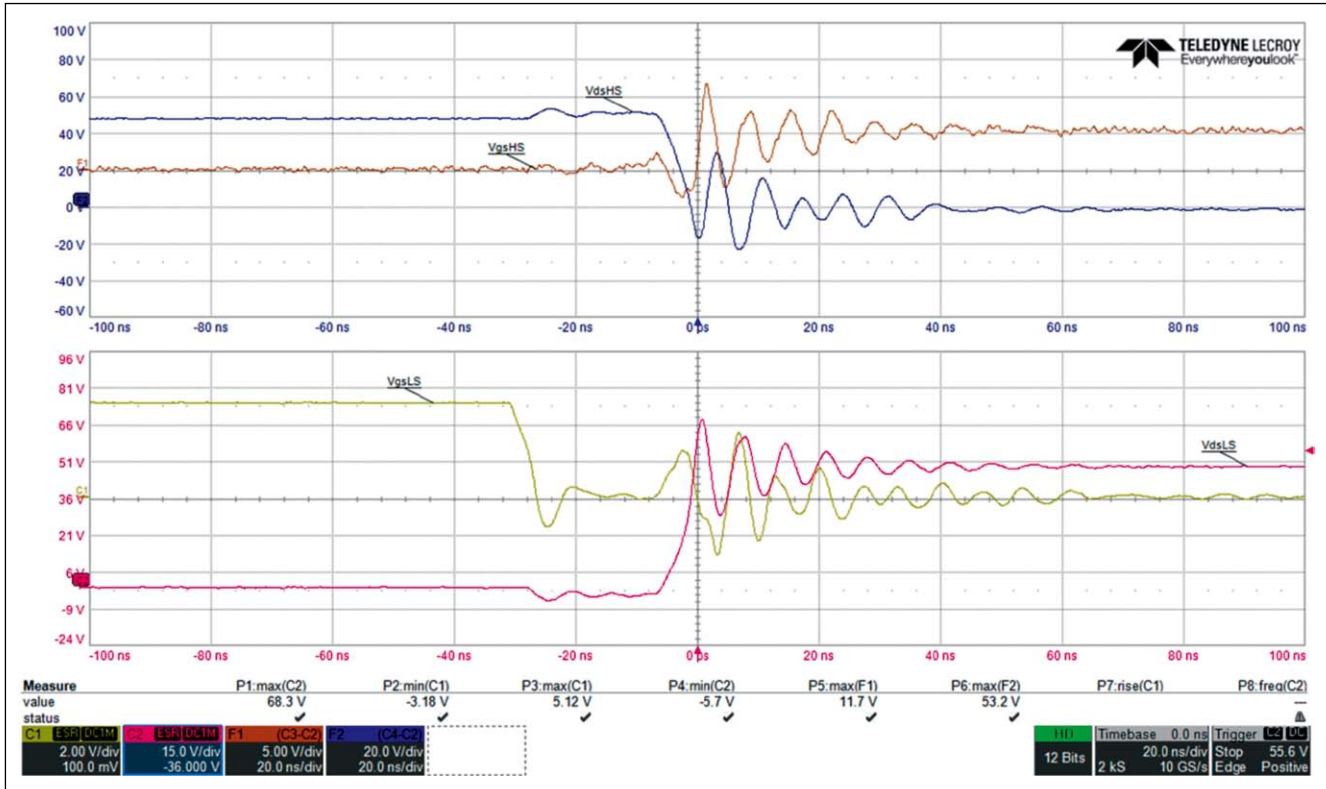


Bild 7. Gemessene Kurvenverläufe für das Abschaltverhalten der GaN-HEMTs bei 1 MHz. (Bild: STMicroelectronics)



Das mittlerweile fünfte Anwenderforum »**Passive Bauelemente – Passive für Profis**« der Redaktionen Markt&Technik und DESIGN&ELEKTRONIK findet am 1. und 2. Juli 2020 in München statt. Hier werden hochkarätige Experten Schaltungsentwicklern und technischen Einkäufern die wichtigsten Grundlagen zu passiven Bauelementen vermitteln, sodass diese im Umgang mit Kondensator & Co. wieder sicherer und vertrauter werden.

### Themensessions:

- Kondensatoren
- Induktivitäten
- Widerstände



Keynote am 01.07.2020:

### Outlook – Next Generation Passives

Referent: Prof. Dr. Thomas Ebel,  
University of Southern Denmark

Gold Sponsoren



Silber Sponsoren



Powered by:



**JETZT ANMELDEN!**

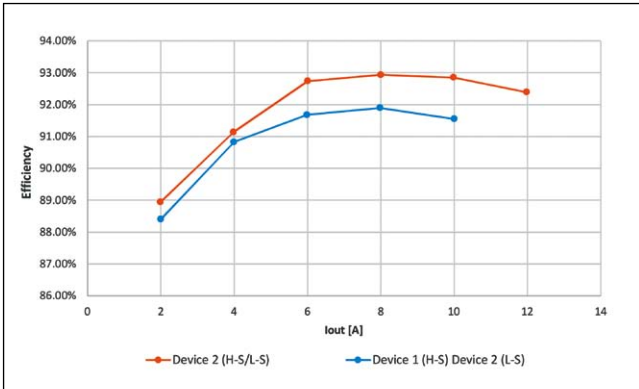


Bild 8. Gemessener Wirkungsgrad des Gleichspannungswandlers als Funktion des Ausgangsstroms bei 1 MHz Schaltfrequenz. (Bild: STMicroelectronics)

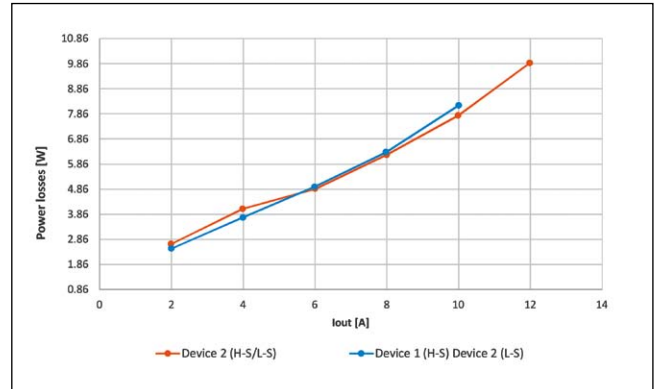


Bild 9. Gemessene Verluste des Gleichspannungswandlers als Funktion des Ausgangsstroms bei 1 MHz Schaltfrequenz. (Bild: STMicroelectronics)

Aus den Messungen und Ergebnissen wird ersichtlich, dass die GaN-Transistoren selbst bei dieser hohen Schaltfrequenz auf einen maximalen Wirkungsgrad von 93 % brachten. Die künftig benötigten hohen Frequenzen und die gleichzeitig hohe Leistungsdichte, begleitet von immer kleineren Abmessungen und geringem Gesamtgewicht, dürfte dazu führen, dass sich GaN-Halbleiter im Automobilbereich schnell verbreiten. Denn gerade die Leistungswandler im Auto sind durch harte Schaltbedingungen gekennzeichnet. Oberstes Ziel sind minimale Schaltverluste – und GaN-HEMTs bieten hier Vorteile gegenüber Si-MOSFETs. UH

Literatur

- [1] Lidow, A.; Strydom, J.; Rooij, M. und Ma, Y: GaN Transistors for Efficient Power Conversion. Power Conversion Publications, 2012, 1. Auflage, ISBN: 978-0-615-56925-3.
- [2] Frisina, F.; Dispositivi di Potenza a semiconduttore, Edizione DEL FARO, Prima Edizione, Juni 2013.
- [3] Mohan, N.; Undeland, T. M. und Robbins, W. P.: Power Electronics Converters, Applications and Design, J. Wiley & Sons NY, 1995, 2. Auflage.
- [4] Murari, F. Berrotti und Vignola, G. A.: Smart Power ICs: Technologies and Applications, 2. Auflage.

**Snubber-Kondensatoren**

- Sehr hohe Impulsbelastbarkeit
- Hohe Spannungs-/ Überspannungsfestigkeit
- Verfügbar in verschiedensten Anschlußkonfigurationen
- Besonders sichere Kontaktierung der Laschenausführung
- Hervorragendes Regenerieverhalten
- Konform RoHS 2011/65/EU

[www.wima.de](http://www.wima.de)



**FILIPPO SCRIMIZZI**

Filippo Scrimizzi ist Niederspannungs-MOSFET und STI2GAN Application Manager und arbeitet seit über 20 Jahren für STMicroelectronics. Er hat einen Abschluss der Universität Messina, Italien, in Elektrotechnik.



**FILADELFO FUSILLO**

Filadelfo Fusillo ist Senior Application Engineer in der Makro-Division für Leistungstransistoren, mit Fokus auf GaN-Niederspannungstransistoren. Er hat einen Abschluss in Elektrotechnik der Universität Catania, Sizilien.



**GIUSY GAMBINO**

Giusy Gambino ist für das technische Marketing für Niederspannungs-Leistungs-MOSFETs in der Automotive Discrete Group / Low Voltage Solutions Division verantwortlich. Ihr Hauptaugenmerk liegt auf dem Automobilmarkt in der EMEA-Region.

## IMPRESSUM

### REDAKTION

**Anschrift:** Redaktion Elektronik,  
Richard-Reitzner-Allee 2, 85540 Haar

**Assistenz:** Andrea Seidel, Silvia Langford  
**Telefon:** 089 25556-1332; Telefax: -1670  
**Internet:** www.elektronik.de  
**E-Mail:** redaktion@elektronik.de

### Chefredakteur:

Dipl.-Ing. Frank Riemenschneider (fr/-1714)  
**Editor-at-Large, stv. Chefredakteur:**  
Dipl.-Ing. Gerhard Stelzer (gs/-1337)  
**Chef vom Dienst:**  
Dipl.-Ing. (FH) Markus Kien (mk/-1333)

### Redaktion:

**Christina Deinhardt** (cd/-1150):  
GMM, Leistungselektronik  
**Selina Douhal** (sd/-1609):  
GMM, Elektronik neo  
**Stefanie Eckardt** (eck/-1342):  
Kfz-Elektronik, Automotive  
**Ute Häußler** (uh/-1369):  
Leistungselektronik, Stromversorgung, Automotive  
**Dipl.-Phys. Markus Haller** (mha/-1371):  
Displays, Sensorik, Messen+Testen,  
Konsumelektronik/Multimedia, Organische  
Elektronik  
**Dipl.-Phys. Irina Hübner** (ih/-1339):  
Kfz-Elektronik, Automotive  
**Julia Lammi** (jl/-1366):  
Elektromechanik, Passive Bauelemente  
Distribution, Medizinelektronik  
**B. Eng. Tobias Schlichtmeier** (ts/-1368):  
Computertechnik, Software-/Entwicklung,  
Embedded, Security  
**Dipl.-Ing. Harry Schubert** (hs/-1338):  
Halbleiter, Mikrocontroller/-prozessoren,  
Wireless (HF-Technik)/RFID, Kommunikation,  
Elektronikfertigung, Leiterplatten  
**Dipl.-Ing. Gerhard Stelzer** (gs/-1337):  
Mikroelektronik, Kfz-Elektronik, Automotive

**Layout, Grafik:** Andreas Geyh, Anja Schumann  
**Titel:** Andreas Geyh  
**Bilderdienst:** Shutterstock

**Sonderdrucke:** Alle in dieser Ausgabe  
erschienenen Beiträge können für Werbezwecke  
in Form von Sonderdrucken hergestellt werden.  
Anfragen an Marion Stephan,  
Tel. 089 25556-1442,  
mstephan@weka-fachmedien.de

**Technik:** JournalMedia GmbH,  
Richard-Reitzner-Allee 4, 85540 Haar  
**Druck:** L. N. Schaffrath, Marktweg 42-50,  
47608 Geldern

**Organschaft:**  
Die Elektronik ist Organ der VDE/VDI-Gesell-  
schaft Mikroelektronik, Mikrosystem- und  
Feinwerktechnik (GMM).

**Urheberrechte:** Die in der Zeitschrift  
veröffentlichten Beiträge sind urheberrechtlich  
geschützt. Alle Rechte, insbesondere das der  
Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.  
Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche  
Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form –  
durch Fotokopie, Mikrofilm oder andere Verfahren  
– reproduziert oder in eine von Maschinen,  
insbesondere von Datenverarbeitungsanlagen,  
verwendbare Sprache übertragen werden. Auch  
die Rechte der Wiedergabe durch Vortrag, Funk-  
oder Fernsehsendung, im Magnettonverfahren  
oder ähnlichem Wege bleiben vorbehalten. Foto-  
kopien für den persönlichen und sonstigen eigenen  
Gebrauch dürfen nur von einzelnen Beiträgen oder  
Teilen daraus als Einzelkopien hergestellt werden.

**Für unverlangt eingesandte Manuskripte,  
Fotos, Grafiken und Datenträger wird keine  
Haftung übernommen, Rücksendung erfolgt  
nicht.**

### MEDIABERATUNG (Anschrift wie Verlag)

**E-Mail:** media@elektronik.de,  
**Internet:** www.weka-fachmedien.de/media.html

**Sales Director:** Sonja Winkler  
(-1383, swinkler@weka-fachmedien.de)

**International Account Manager:**  
Konrad Nadler (+49 89 25556-1382,  
knadler@weka-fachmedien.de)

**Mediaberatung: Nicole Müller**  
(-1384, nmuller@weka-fachmedien.de),  
**Konrad Nadler**

(-1382, knadler@weka-fachmedien.de),  
**Bernhard Reinisch**

(-1381, breinisch@weka-fachmedien.de),  
**Telefax-Anzeigen:** 089 25556-1670

**Anzeigen Karriere-Markt:**  
089 25556-1383, stellenanzeigen@elektronik.de

**Disposition:** Jeanette Blaukat  
(-1014, jblaukat@weka-fachmedien.de)

Nadine Ziegler  
(-1473, nziegler@weka-fachmedien.de)

**Anzeigenpreise nach Preisliste 55,  
gültig ab 1. 1. 2020**

**Media-Information auf Anforderung**

### ANZEIGENVERTRETUNG AUSLAND

**USA West:** Huson International Media,  
Ralph Lockwood, 16615 Lark Avenue, Suite 100,  
Los Gatos, CA 95032, Tel. 001 408 879 6666,  
Fax 001 408 879 6669,  
ralph.lockwood@husonmedia.com

**USA East:** Huson International Media,  
Kristen Riley, 1239 Broadway, Suite 1508,  
New York, NY 10001, Tel. 001 212 268 3344,  
Fax 001 212 268 3355,  
kristen.riley@husonmedia.com

### VERLAG

**Anschrift:** WEKA FACHMEDIEN GmbH  
Richard-Reitzner-Allee 2, 85540 Haar  
Telefon: 089 25556-1000; Telefax: -1396  
www.weka-fachmedien.de

**Vertriebsleitung:** Marc Schneider  
(-1509, mschneider@weka-fachmedien.de)

**Herstellungleitung:** Marion Stephan (-1442)

**Verlagsleitung:** Matthäus Hose  
**Geschäftsführung:** Kurt Skupin

### Bestell- und Abonnement-Service:

WEKA FACHMEDIEN GmbH c/o Zenit  
Pressevertrieb GmbH, Postfach 810640,  
70523 Stuttgart, Tel. +49 (0)711 7252-210,  
Fax +49 (0)711 7252-333,  
abo@weka-fachmedien.de

**Heftbestellung online:**  
https://shop.weka-fachmedien.de

**Bestellungen Schweiz:** Thali AG, Industriest.  
14, CH-6285 Hitzkirch, Tel. 041 9196611,  
Fax 041 9196677 abo@thali.ch, www.thali.ch

### Abonnementpreise:

Inland 26 Ausgaben	€ 179,-
Studentenpreis Inland 26 Ausgaben	€ 154,-
Ausland 26 Ausgaben	€ 186,-
Studentenpreis Ausland 26 Ausgaben	€ 161,-

**Einzelheftbestellung:** € 8,- zzgl. € 3 Versand  
Die Mitglieder der VDE/VDI-Gesellschaft  
Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik  
(GMM) erhalten die Elektronik im Rahmen ihrer  
Mitgliedschaft.

**Bankverbindung:** HypoVereinsbank  
**IBAN:** DE37 7002 0270 0035 7049 81  
**BIC:** HYVEDEM33XXX

Printed in Germany.  
Imprimé en Allemagne.  
© 2020 für alle Beiträge bei  
WEKA FACHMEDIEN GmbH



69. Jahrgang,  
ISSN 0013-5658,  
Vertriebskennzeichen  
B 2594

**LA ELFA**  
LESERANALYSE ELEKTRONIK-FACHMEDIEN

## INSERENTENVERZEICHNIS

Becker & Müller Schaltungs- druck GmbH	www.becker-mueller.de.....	49
BROXING SA	www.broxing.com .....	3
Bürklin GmbH & Co. KG	www.buerklin.com.....	17
Coilcraft, Inc.	www.coilcraft.com.....	9
Digi-Key Electronics	www.digikey.de .....	1, 2
Feryster Sp. z.o.o. Sp.k.	www.feryster.pl .....	50
FRIZLEN GmbH u. Co. KG	www.frizlen.com.....	27
GUDECO-Elektronik Handels- gesellschaft mbH	www.gudeco.de .....	31
INFINEON Technologies AG	www.infineon.com .....	1
MINMAX Technology Co., Ltd.	www.minmax.com.tw.....	19
MOUSER Electronics Inc.	www.mouser.de .....	13
RENATA AG	www.renata.com .....	47
Rutronik Elektronische Bauele- mente GmbH	www.rutronik.com .....	5
Samtec Inc.	www.samtec.com .....	11
Schulz-Electronic GmbH	www.schulz-electronic.de.....	45
SIGLENT TECHNOLOGIES GERMANY GmbH	www.siglenteu.com .....	25
Software2Business GmbH	www.software2business.de .....	50
Traco Electronic AG	www.tracopower.com .....	23
WEKA FACHMEDIEN GmbH	www.weka-fachmedien.de.....	22, 28, 35, 37, 51
WIMA Spezialvertrieb elektro- nischer Bauelemente	www.wima.de .....	36
Würth Elektronik	www.we-online.de .....	52
eiSos GmbH & Co. KG	www.tmi.yokogawa.com/de .....	21

Dieser Ausgabe liegt teilweise eine Beilage der Firma VDE e.V. Gesellschaft  
Mikroelektronik bei.  
Wir bitten um freundliche Beachtung!

**Jetzt  
Wissensvorsprung  
sichern!**

**Elektronik  
neo**

**LERNEN SIE DAS  
JUNGE MAGAZIN  
DER Elektronik  
KENNEN**



**SCHNELL  
KOSTENFREIEN  
BEZUG SICHERN!**  
weka-fachmedien.de/shop

© Shutterstock - san4ez

KOMPAKTERE STROMVERSORGUNG FÜR INDUSTRIELLE ULTRASCHALLSENSOREN

# 87 % WENIGER VERLUSTE



Ultraschallsensoren arbeiten mit mehreren Spannungsleveln. Sie werden meist über Linearregler bereitgestellt. Effizienter und platzsparender jedoch ist eine Stromversorgung mit DC-DC-Wandler und integriertem MOSFET.

Von Suhel Dhanani und Anthony Huynh

Ultraschallsensoren gibt es schon lange, aber jetzt ist das Interesse an der Technik für industrielle Anwendungen neu erwacht. Der Markt für Industriesensoren ist riesig und wird dominiert von Temperatur-, Druck- und Füllstandssensoren (Niveausensoren). Allein der Markt für Füllstandsmesser wurde 2018 auf über vier Milliarden US-Dollar geschätzt; nach einem

Bericht von Research and Markets wurden rund 248 Millionen Einheiten ausgeliefert [1]. Die gängige Technik für Füllstandssensoren ist Ultraschall. 2016 wurde Schätzungen zufolge knapp 140 Mio. US-Dollar mit Ultraschall-Füllstandssensoren umgesetzt. Bis Ende 2025 sollen es rund 298 Millionen US-Dollar sein [2]. Als wesentlichen Wachstumstreiber nennen die Analys-

ten eine starke Nachfrage von Abwasser-, Öl- und Gasunternehmen. Ein weiteres Anwendungsgebiet für die berührungslose Ultraschallmessung ist die Durchflussmessung verschiedener Flüssigkeiten und Gase. Die Ultraschall-Durchflussmessung wird von der Öl- und Gasindustrie vorangetrieben, vor allem in Nordamerika, aber auch in Schwellenländern wie China

und Indien. Immer strengere Vorschriften zur Kontrolle der Emissionen von toxischen Gasen – etwa aus Kraftwerken oder auf Bohrinselfen – sind weitere Wachstumstreiber im Bereich der Ultraschall-Durchflusssensoren. Je nach Anwendungsanforderung müssen Ultraschallsensoren immer kleiner und robuster werden. Eine direkte Folge ist ein erhöhter Bedarf an geeigneten Stromversorgungs-lösungen für diese Sensoren-systeme. Dieser Beitrag beschreibt die Herausforderungen und Lösungen zur Erfüllung der einzigartigen Leistungsanforderungen von Ultraschallsensoren.

### FUNKTIONSWEISE VON ULTRASCHALLSENSOREN

Ultraschallsensoren senden hochfrequente Schallwellen zwischen 30 kHz und einigen MHz aus. Diese Systeme können einen oder zwei Aufnehmer beinhalten. Die Füllstandsmessung kann mit einem einzigen Messwert-aufnehmer erfolgen. Für Durchfluss-messungen wird die Laufzeit (Time of Flight, ToF) einer Ultraschallwelle und deren Variation in Abhängigkeit von der Durchflussmenge des Mediums ermittelt. Dafür sind in der Regel zwei Messwert-aufnehmer nötig. Für eine Füllstands- oder Entfernungsmessanwendung ist das Prinzip einfach: Der Wandler sendet ein Ultraschall-signal aus und misst die Zeit, bis das Signal von der Oberfläche der Flüssig-

keit reflektiert wird. Die Laufzeit des Ultraschallsignals kann kalibriert werden, um den Füllstand eines Tanks, den Abstand zu einer Maschine oder die Zusammensetzung einer Flüssigkeit zu bestimmen. **Bild 1** zeigt eine Konzeptzeichnung eines Ultraschall-Füllstands-sensors, der zur Messung eines Flüssigkeitsfüllstands verwendet wird.

Für die Messung einer Durchflussmenge sind zwei Messwert-aufnehmer an zwei Punkten erforderlich – einer stromabwärts gerichtet und einer stromaufwärts gerichtet. Mit dem Delta der „Time of Flight“ kann die Durchfluss-geschwindigkeit ermittelt werden und mit dem Querschnitt entsprechend die Durchflussmenge. Einen typischen Ultraschall-ToF-Wasserdurchfluss-messer zeigt der obere Teil von **Bild 2**.

Dabei handelt es sich um einen reflektierenden Durchflussmesser, bei dem die Reflektorfläche in die am Strömungsrohr befestigte Messeinheit eingebaut werden muss. Die Anordnung der Reflektorflächen innerhalb des Durchflussmessers ist bei jedem Mess-geräthehersteller individuell. Dabei basiert das Ultraschall-ToF-Prinzip auf der Laufzeit eines akustischen Signals im Wasser. Die stromaufwärtige ToF ist länger als die stromabwärtige ToF. Diese Differenz in der Laufzeit bestimmt die Geschwindigkeit des fließenden Wassers.

Dies ist nur eine der Möglichkeiten, den Durchfluss zu messen. Man kann

auch eine diagonale oder nicht-invasive Anordnung verwenden, wie unten in Bild 2 dargestellt.

Die Wahl der verwendeten Ultraschall-sensoren hängt vom Medium ab, in dem gemessen wird. Um den Durchfluss von Gasen zu messen, ist ein Ultraschallwandler mit kleiner Frequenz erforderlich. Für die Messung eines Flüssigkeitsdurchflusses sind höhere Frequenzen (> 1 MHz) nötig. Das Strömungsrohr, in dem die Wandler und die Reflektoren untergebracht sind, erfordert eine sorgfältige mechanische Konstruktion. Der Vorteil der Ultraschall-ToF-Messung besteht darin, dass diese Sensoren sehr langlebig sind, weil sie keine beweglichen Teile haben, und eine sehr hohe Genauigkeit (Abweichungen von weniger als 1 %) über ihre Lebensdauer aufweisen.

### SYSTEMAUFBAU

Ultraschallsensoren sind komplex. Das liegt vor allem am analogen Frontend, das Sende-, Empfangs- und Steuerung-schaltungen mit passender MCU oder MPU beinhaltet. In einigen Fällen kann auch ein separater Time-to-Digital-Wandler-Chip verwendet werden. Auch Ultraschallsensoren sind dem Trend zur Miniaturisierung unterworfen, damit sie in bestehende Montage-linien und kleine Öffnungen passen. **Bild 3** zeigt einen kompakten Ultraschallsensor vom Hersteller Baumer.

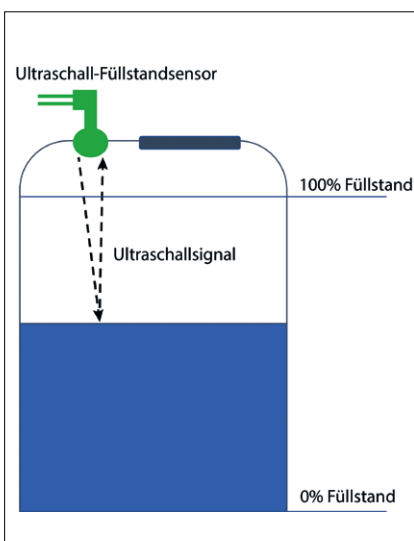


Bild 1. Das Konzept eines Ultraschall-Füllstands-messers. (Bild: Maxim)

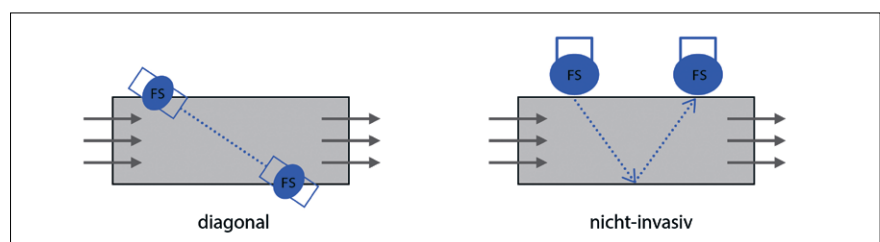
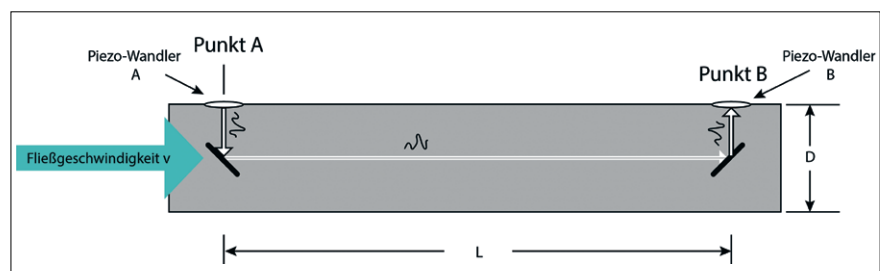


Bild 2: Ein typischer Ultraschall-ToF-Wasserdurchflussmesser (oben). Verschiedene Anordnungen von Sensoren zur Durchflussmessung (unten); FS = Flussensor. (Bild: Maxim)



Bild 3: Kompakter Ultraschallsensor von Baumer. (Bild: Baumer)

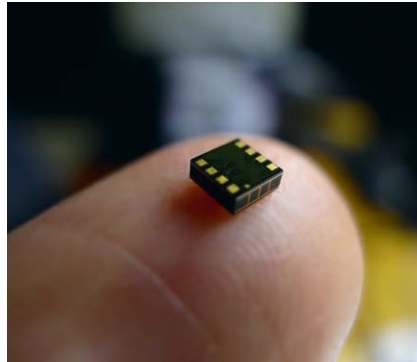


Bild 4: Kompakter Ultraschall-ToF-Sensor von Chirp Microsystems. (Bild: Chirp Microsystems)

Chirp Microsystems wirbt mit dem nach eigenen Angaben weltweit kleinsten Ultraschall-ToF-Sensor (**Bild 4**). Der Chirp CH-101 und CH-201 sind die ersten kommerziell erhältlichen MEMS-basierten Ultraschall-ToF-Sensoren. Mit einer Größe von 3,5 mm × 3,5 mm kombinieren diese Miniaturbauelemente einen MEMS-Ultraschallwandler mit einem kundenspezifischen CMOS-SoC mit geringer Leistungsaufnahme, der alle Aufgaben der Ultraschall-Signalverarbeitung übernimmt. Da die komplexen Industriesysteme immer kleiner werden, benötigen sie geregelte Stromversorgungslösungen.

Diese müssen winzig klein und robust sein und dabei eine möglichst geringe Verlustleistung aufweisen, um in kleine, lüfterlose Ultraschallsensoren implementiert werden zu können, die rund um die Uhr in einer industriellen Umgebung arbeiten können.

#### ANFORDERUNGEN AN DIE STROMVERSORGUNG

Im Allgemeinen werden diese Systeme mit einer Gleichspannung im Bereich von 10 V bis 30 V versorgt, die weniger als ein paar hundert mA des gesamten Systemlaststroms liefert. Das Sys-

tem muss vor Verpolung sowie vor Überspannungen (bis 42 V oder 60 V) geschützt werden.

Da die Betriebstemperaturbedingungen des Systems in der Regel zwischen 60 °C und 70 °C liegen, müssen die im Sensorsystem integrierten ICs für Temperaturen von bis zu 125 °C ausgelegt sein. Die Schaltleistungsverluste müssen auf ein Minimum reduziert werden, da diese in direktem Zusammenhang mit der vom System abgegebenen Wärme stehen. Je nach Anwendungsfall kann eine strenge EMV-Prüfung des Systems notwendig sein, daher ist es wichtig, dass die Schaltregler nach CISPR-Standards EMV-geprüft sind und nicht zum Rauschen im System beitragen.

#### VERLUSTLEISTUNG MIT LINEARREGLER

Als Beispiel dient ein Miniatur-Ultraschall-Entfernungsmesssensor, der mit einem 15-V- bis 30-V-Netzteil betrieben wird. Das Gerät muss einer Eingangsspannung von bis zu 60 V standhalten, verschiedene Lastspannungen liefern und bis zu 50 mA Gesamtstrom aufnehmen. Drei typische Lastspannungen sind 5 V bei 5 mA, 3,3 V bei 35 mA und 2,5 V bei 10 mA zur Versorgung des Mikroprozessors, des Ultraschall-Burstgenerators, des Echoempfangspfades (lokales Verbindungsnetz, LIN), des Sigma-Delta-ADC, des SAR-ADC, der Bandlückenspannungsreferenz, des Time-to-Digital-Wandlers usw.

Die Verwendung eines Linearreglers (LDO) zur Erzeugung dieser Lastspannungen ist nicht effizient und erzeugt viel Wärme. In diesem Beispiel stellen sich die Leistungsverluste in den LDOs wie folgt dar:

$$P_{LDO} = (U_{INmax} - U_{LAST}) \times I_{LAST}$$

wobei  $U_{INmax}$  die maximale Eingangsspannung ist – hier 30 V.

Die Verlustleistungen betragen

→ für das 5-V-LDO:

$$(30 \text{ V} - 5 \text{ V}) \times 5 \text{ mA} = 125 \text{ mW},$$

→ für das 3,3-V-LDO:

$$(30 \text{ V} - 3,3 \text{ V}) \times 35 \text{ mA} = 935 \text{ mW},$$

→ für das 2,5-V-LDO:

$$(30 \text{ V} - 2,5 \text{ V}) \times 10 \text{ mA} = 275 \text{ mW}.$$

→ Lastleistung =  $(5 \text{ V} \times 5 \text{ mA}) + (3,3 \text{ V} \times 35 \text{ mA}) + (2,5 \text{ V} \times 10 \text{ mA}) = 166 \text{ mW}.$

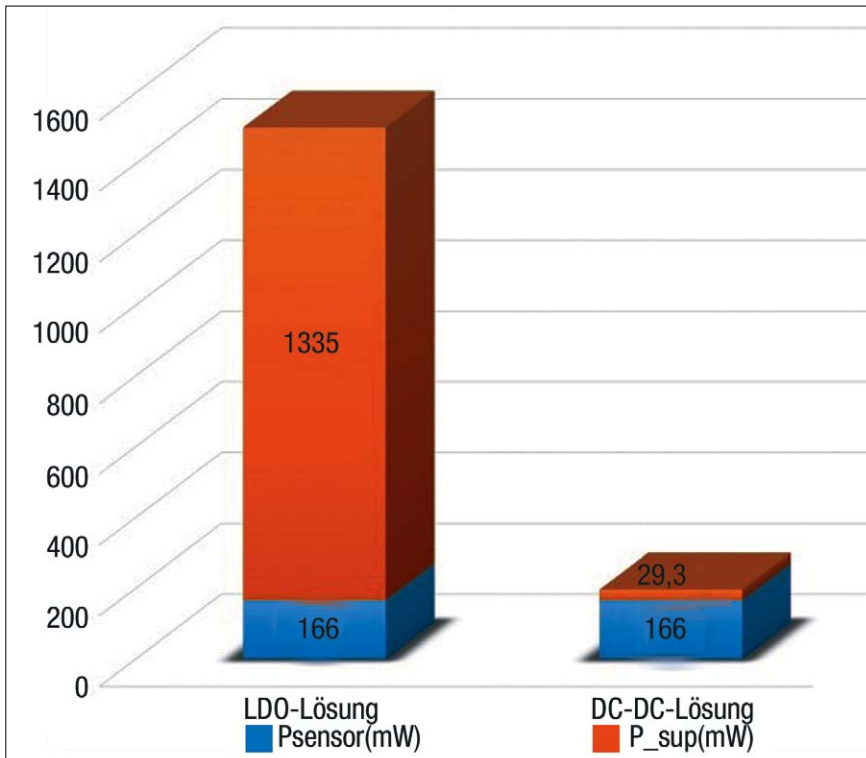


Bild 5. Verlustleistungsdifferenz zwischen einer Stromversorgung mit Linearregler- und einer Stromversorgung mit DC-DC-Schaltregler. (Bild: Maxim)



Die Summe aus Verlust und Lastleistung beträgt 1.501 mW, was eine große Wärmeabstrahlung für den Sensor bedeutet. Zu beachten ist, dass die tatsächliche Nutzleistung für den Betrieb der Sensorschaltung nur 166 mW beträgt, während 1.335 mW wegen der Ineffizienz des Linearreglers verschwendet werden.

## 87 % WENIGER VERLUSTE MIT SCHALTREGLER

DC-DC-Schaltregler sind effizienter und können die Gesamtverlustleistung erheblich verringern. Im vorliegenden Beispiel gibt ein DC-DC-Regler mit 85 Prozent Wirkungsgrad nur  $(1/0,85 - 1) \times 166 \text{ mW} = 29,3 \text{ mW}$  ab. Das ergibt eine Gesamtverlustleistung von nur 195 mW, was einer Reduzierung um 87 Prozent gegenüber der Stromversorgung mit Linearregler entspricht.

**Bild 5** veranschaulicht die Differenz der Verlustleistung  $P_{\text{sup}}$  zwischen beiden Varianten und zeigt das Verhältnis der vom Sensor benötigten Lastleistung  $P_{\text{sensor}}$  und Verlustleistung. Die DC-DC-Lösung bietet ganz offensichtlich eine erheblich geringere Verlustleistung als die Linearregler-Lösung. Die nächste Herausforderung ist die Integration dieser Stromversorgungslösung auf engstem Raum. Im vorliegenden Beispiel betragen die Außenabmessungen des kubischen Abstandssensors  $24,5 \text{ mm} \times 55 \text{ mm}$ . Wenn man den Platz für die LED, den Stecker und andere Mechaniken zuweist, bleibt noch eine Platinenfläche von etwa  $600 \text{ mm}^2$  ( $15 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ ) für die gesamte Elektronik. Ein Standard-DC-DC-Wandler, der eine externe Spule verwendet, würde etwa  $10 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$  ( $150 \text{ mm}^2$ ) pro Ausgangsspannung beanspruchen. Bei drei Spannungen würde dementsprechend  $450 \text{ mm}^2$  oder 75 Prozent der verfügbaren Platinenfläche benötigt. Damit bleibt zu wenig Platz für andere Elektronik.

## KOMPAKTES LEISTUNGSMODUL

Effektiver ist ein integriertes Leistungsmodul wie beispielsweise das Himalaya

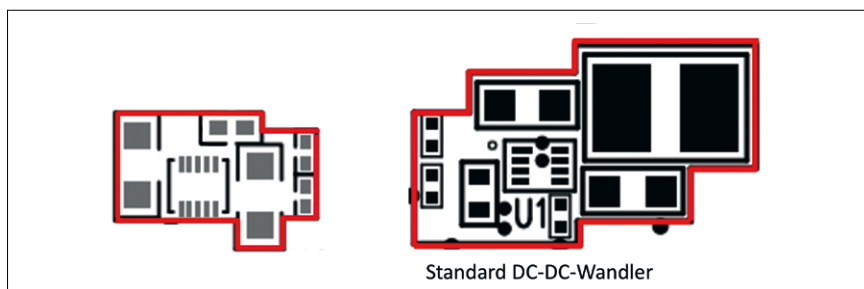


Bild 6: Größenvergleich von MAXM17552 uSLIC mit einem Standard-DC-DC-Wandler mit externer Spule. (Bild: Maxim)

uSLIC MAXM17552 von Maxim. Durch die Integration der Induktivität und der meisten externen Komponenten benötigt das Leistungsmodul nur eine Fläche von  $6 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$  ( $60 \text{ mm}^2$ ) pro Ausgangsspannung. Bei drei Spannungen sind das  $180 \text{ mm}^2$ , also nur rund 30 Prozent der Platinenfläche. Das MAXM17552 arbeitet in einem weiten Eingangsspannungsbereich von 4,5 V bis 60 V und liefert 100 mA Ausgangsstrom. Die Ausgangsspannung ist programmierbar von 0,9 V bis 5,5 V.

Alternativ sind Leistungsmodul aus der uSLIC-Familie mit Ausgangsströmen von bis zu 2 A erhältlich. **Bild 6** zeigt die Größe des MAXM17552 Evaluation Kit. Im Vergleich zu einem DC-DC-Wandler mit externer Spule ist eine Stromversorgung, die auf dem MAXM17552 basiert, um den Faktor 2,5 kleiner.

## ZUSAMMENFASSUNG

Für die Stromversorgung von Ultraschallsensoren wurden bisher standardmäßig diskrete Bauteile eingesetzt. Der geringe Wirkungsgrad der Leistungswandlung ist schon ein Problem an sich und bringt weitere Schwierigkeiten bei der Wärmeabfuhr mit sich. Synchroner DC-DC-Wandler mit integrierten MOSFETs erreichen inzwischen einen Wirkungsgrad von mehr als 90 Prozent, was zu einer deutlich geringeren Wärmeabfuhr führt. Die Weiterentwicklung der Gehäusetechnik ermöglicht die Integration von diskreten Komponenten wie Induktivitäten in ein und dasselbe Gehäuse und führt zu einem deutlich kleineren Formfaktor für ein hocheffizient geregeltes Stromversorgungs-Subsystem. MHA

### Referenzen

- [1] Non-Contact Level Measurement to Boost Level Sensors Market. <https://www.flowcontrolnetwork.com/non-contact-level-measurement-to-boost-level-sensors-market/>, 7.1.2020
- [2] Ultrasonic Level Sensors Market A Rising Force. <http://trends.directindustry.com/project-196369.html>, 7.1.2020
- [3] <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/6104>



ANTHONY T. HUYNH

ist Principal Member of Technical Staff und Applikationsingenieur bei Maxim Integrated. Er hat mehr als 100 Produkte für das Powermanagement entwickelt, darunter DC/DC-Wandler und diverse Schutzschaltungs-ICs. Er hält sieben US-Patente auf Leistungselektronik, hat für Maxim mehrere Praxisschulungen ausgearbeitet und lehrte an der Portland State University, an der er mit dem Master of Science in Elektrotechnik abschloss mit Schwerpunkt Leistungselektronik

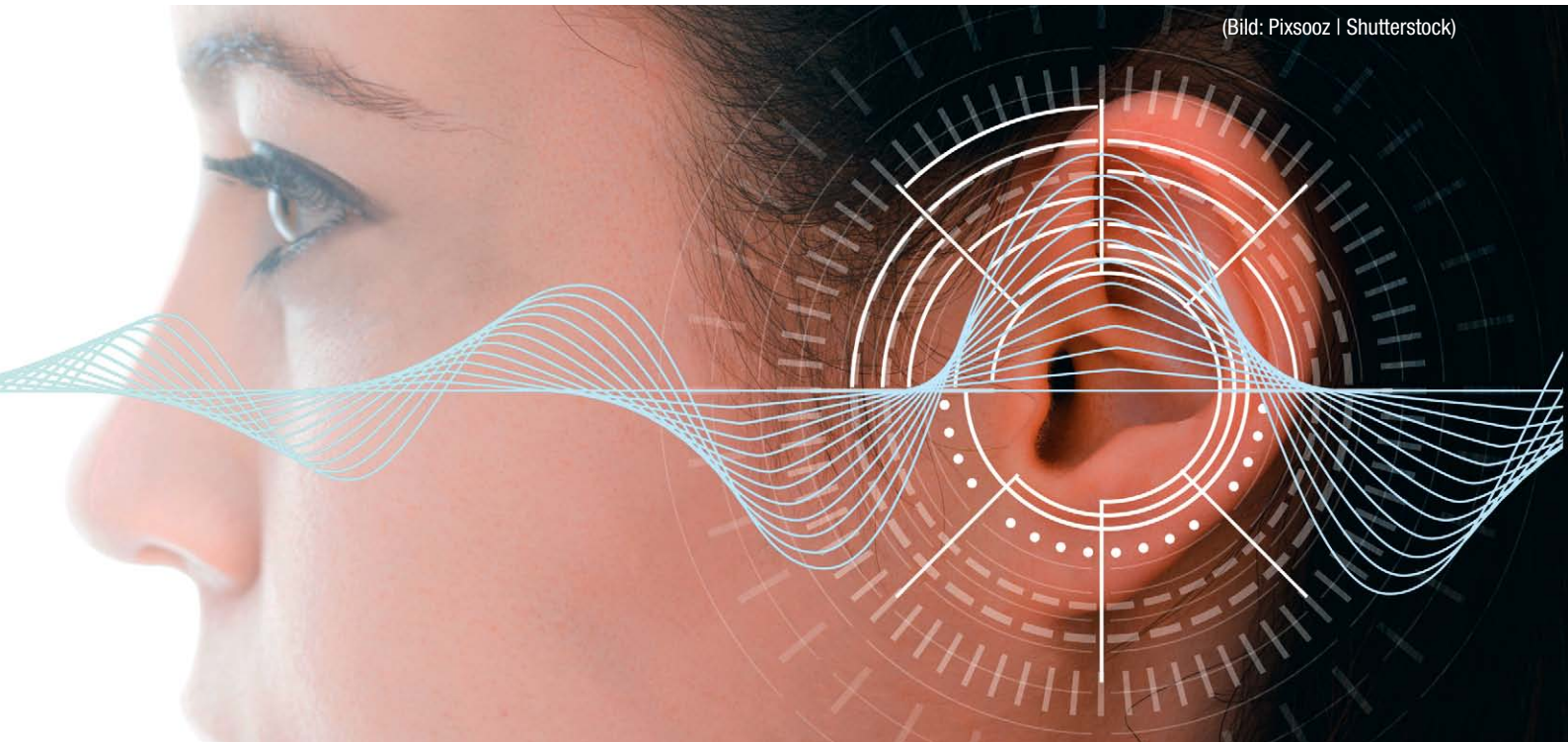


SUHEL DHANANI

ist Director of Business Development der Industrial & Healthcare Business Unit bei Maxim Integrated. Davor war er im Produkt- und Segmentmarketing verschiedener Silicon Valley Unternehmen wie Xilinx, Altera und Tabula tätig. Er ist Verfasser mehrerer Fachartikel und Autor des Buches „Digital Video Processing for Engineers“. Dhanani schloss an der Arizona State University mit dem MSEE und MBA ab.

GERÄUSCHE IN ELEKTRONISCH GESCHALTETEN STROMVERSORGUNGEN VERMEIDEN

# WENN STROM TÖNT



Hörbare Geräusche in Stromversorgungen können lästig sein oder unberechtigterweise als Mangel an Qualität oder Sicherheit gelten. Es gibt simple Methoden, die Quellen von Störgeräuschen zu bestimmen und damit unerwünschte Klänge zu minimieren oder ganz zu beseitigen.

Von Axel Schütz, Mark Schoppel, Florian Haas

Im Auto ist das Motorgeräusch (noch) normal, manche Hersteller haben ganze Forschungsabteilungen für wohlklingende Sound-Erlebnisse. Elektronisch geschaltete Stromversorgungen (Switched-Mode Power Supplies, SMPS) dagegen sollen bestenfalls geräuschlos sein. Brumm- oder Pfeifgeräusche gelten eher als Warnsignal oder Störung. Das am häufigsten als Störung empfundene Geräusch typischer AC-Stromversorgungen ist ein niederfrequentes Brummen mit 100 oder 120 Hz. Da die Stromversorgungen sich in ihrer Kom-

plexität und Struktur stetig weiterentwickeln, verändert sich auch der Bereich der von ihnen emittierten Schallwellen. Allerdings sollten die meisten akustisch wahrnehmbaren Geräusche kein Anlass zur Besorgnis sein.

## WAHRNEHMUNG UND WIRKUNG VON SCHALLWELLEN

Menschen können Schallwellen im Frequenzbereich 16 Hz bis zu etwa 20 kHz wahrnehmen (**Bild 1**). Doch ob ein Schallereignis als Störung oder Irrita-

tion empfunden wird, hängt von der Wahrnehmung dieses Schalls im Kontext der akustischen Umgebung ab, in dem er auftritt.

Eine industrielle Stromversorgungseinheit, die ein hörbares Geräusch erzeugt, stellt wahrscheinlich kein spezifisches Problem für Menschen dar. Denn für die meisten in der Nähe befindlichen Menschen gehört es im Kontext anderer Hintergrundgeräusche zur normalen Wahrnehmung ihrer Arbeitsumgebung. Zudem überdecken meist weitere Umgebungsgeräusche mit ähnlicher

Frequenz und Lautstärke, wie die von einer Stromversorgung generierten Frequenzen. Dieser Effekt der Maskierung wurde in der Psychoakustik gründlich untersucht und wird unter anderem bei der Audio-Kompression in MP3-Geräten eingesetzt. Industrielle Stromversorgungen werden außerdem meist in Steuerpanels mit geschlossenen Türen eingebaut, was zur Dämpfung eventuell auftretender und wahrnehmbarer Geräusche beiträgt.

In anderen Arbeitsumgebungen, etwa in Büros, können die Reaktionen auf die Störgeräusche einer Stromversorgung wesentlich stärker ausfallen. Pfeif- oder Brummgeräusche aus einem elektrischen Gerät werden dort eher als unangenehm empfunden und können Sicherheitsbedenken auslösen.

## WIE ENTSTEHEN DIE GERÄUSCHE?

### MAGNETISCHE FELDER

Wenn sich ein stromführender Leiter innerhalb eines magnetischen Feldes befindet, ist er generell einer auf ihn wirkenden Kraft ausgesetzt. Diese Kräfteinwirkung ist am größten, wenn der Strom und das Magnetfeld unter einem Winkel von 90° verlaufen. In diesem Fall agiert die einwirkende Kraft vertikal zum Stromfluss und der Richtung des magnetischen Feldes. Dabei gilt die Fleming'sche Dreifinger-Regel der rechten Hand zur Bestimmung der Richtung dieser Kräfteinwirkung (**Bild 2**).

Bei Transformatoren und manchen Induktoren kann deren Eisenkern auch einem als Magnetostraktion bekannten Effekt unterliegen. Er wurde 1842 erstmals von James Joule beobachtet. Die Magnetostraktion bewirkt, dass ferromagnetische Materialien ihre Form

oder Abmessung ändern, wenn sie durch einen Stromfluss im Leiterpfad einer Komponente magnetisiert werden. Neben dem Effekt einer geringfügigen, durch die Reibung bedingten Aufheizung, erzeugen diese Änderungen im Volumen des Materials auch wahrnehmbare Geräusche.

Transformatoren bestehen oft aus Siliziumstahl (Fe-Si-Stahl). Mit einem unterschiedlichem Gehalt an Silizium kann der spezifische Widerstand des Eisens erhöht werden. Ein Stahl mit einem Siliziumgehalt von 6 % bietet die optimale Zusammensetzung zur Reduktion der Magnetostraktion. Dieser Stahl erzeugt also am wenigsten Geräusche, allerdings wird er auch eher spröde.

### DER PIEZO-EFFEKT

Ein weiterer Auslöser von Störgeräuschen ist der Piezo-Effekt. ‚Piezo‘ leitet sich aus dem griechischen Wort für Druck ab. Um 1880 entdeckten Jacques und Pierre Curie, dass bei der Druckbelastung von Kristallen, etwa von Quarz, eine elektrische Ladung entsteht. Sie nannten dieses Phänomen ‚Piezo-Effekt‘. Später bemerkten sie, dass elektrische Felder piezoelektrische Materialien verformen können. Diese Erscheinung ist als ‚umgekehrter Piezo-Effekt‘ bekannt (**Bild 3**).

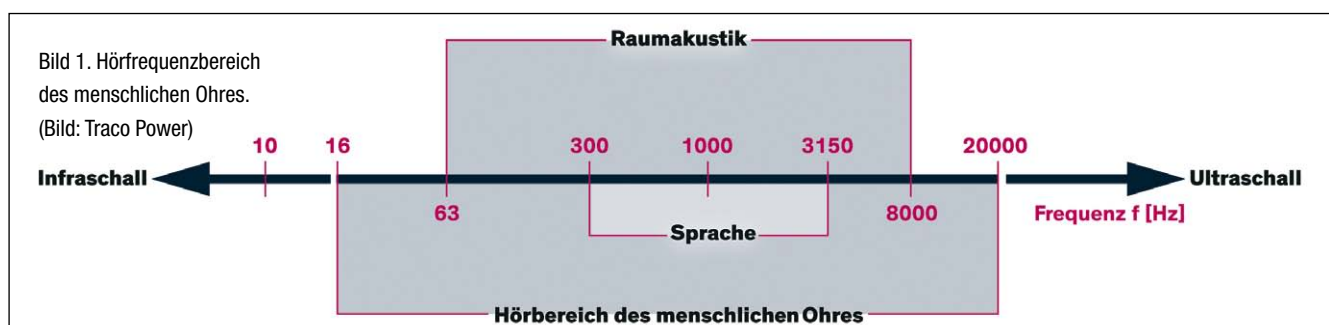
Der umgekehrte piezoelektrische Effekt bewirkt eine Längenänderung in diesen Materialien, wenn eine elektrische Spannung anliegt. Diese Aktuator-Wirkung wandelt elektrische Energie in mechanische Energie um. Spannungsänderungen verändern außerdem auch die geometrische Masse keramischer Kondensatoren, wobei sie als winzige Lautsprecher agieren, die Druckwellen an ihre Umgebung abgeben.

## TOPOLOGIE VON SCHALTNETZTEILEN UND FEEDBACK

Das Aufkommen immer effizienterer Leistungswandler bedeutet, dass geschaltete Topologien heute sogar in die einfachsten Stromversorgungsprodukte integriert werden. Die primäre Schaltfrequenz in solchen Designs wird meist oberhalb der Grenze des menschlichen Hörvermögens (>20 kHz) angesetzt. Allerdings kann in Lösungen für Schaltnetzteile, die auf der Änderung ihrer Schaltfrequenz beruhen, um sie an variable Lasten und Eingangsspannungen anzupassen, dieser Frequenzbereich auch bis in den hörbaren Bereich hinein abfallen, um optimale Wandler-effizienzen zu gewährleisten. In Lösungen mit fester Frequenz können funktionale Eigenschaften wie das Überspringen von Zyklen oder Burst-Mode-Betrieb in einem Schaltverhalten resultieren, das in den hörbaren Bereich hineinreicht, obwohl die Schaltfrequenz selbst oberhalb 20 kHz liegt. Falls die betreffende Lösung reguläre Schaltimpulse aufweist, die durch irreguläre Perioden mit zwei oder mehr übersprungenen Impulsen unterbrochen werden, kann dies auf Probleme in deren Feedback-Schleife hindeuten (**Bild 4**). Hier ist es angebracht, die Komponenten der Feedbackschaltung, sowie den korrekten Arbeitsbereich eventuell eingesetzter Optokoppler zu untersuchen und zu verifizieren.

## ERKENNUNG UND BESEITIGUNG VON STÖRGERÄUSCHEN

Da geschaltete Stromversorgungen (SMPS) beim Übergang zu immer höheren Leistungsdichten ständig



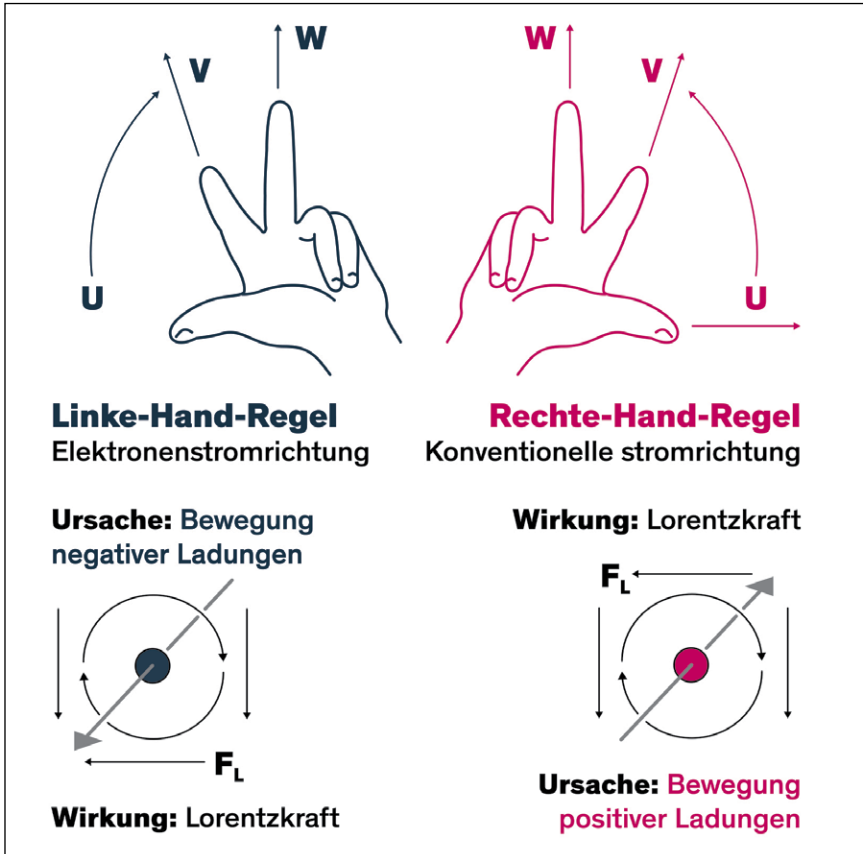


Bild 2: Dreifinger-Regel der rechten/linken Hand. (Bild: Traco Power)

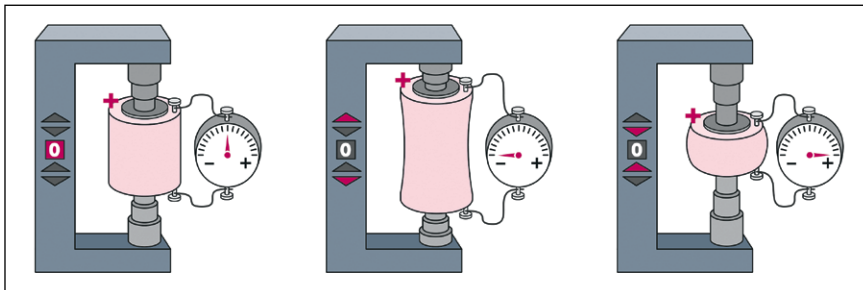


Bild 3: Piezo-Effekt am Beispiel von Materialien wie Quarz. (Bild: Traco Power)

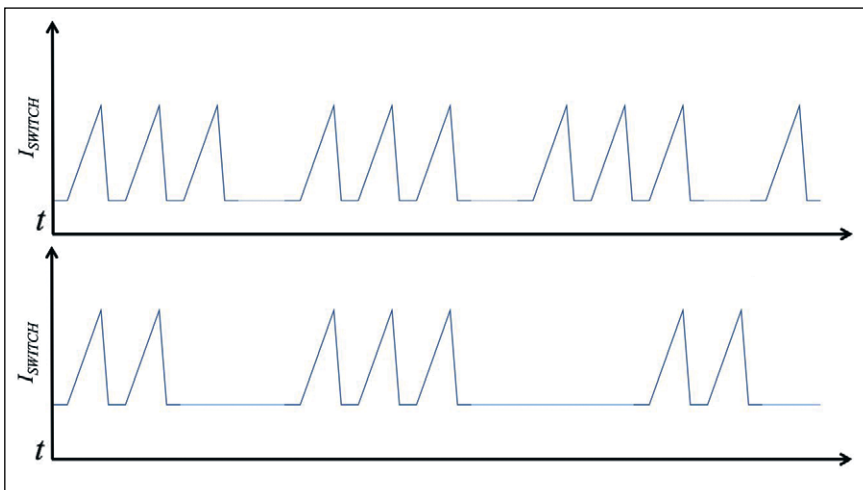


Bild 4: Probleme in der Feedback-Schaltung können in Designs mit fester Schaltfrequenz irreguläre Perioden ohne Schaltimpulse bewirken (untere Kurve). (Bild: Traco Power)

kompakter werden, kann es schwierig zu bestimmen sein, welche Komponente die Quelle einer akustischen Störung ist. Unter der Annahme, dass das Design aus elektrischer Sicht einwandfrei arbeitet, besteht eine gut geeignete Vorgehensweise darin, im laufenden Betrieb mit einem nicht leitenden Gegenstand leichten Druck auf die einzelnen Komponenten der Leiterplatte auszuüben, etwa einem feinen Holzstab. Eine Veränderung oder Verringerung des Störgeräusches, speziell beim Abtasten von Komponenten, kann ein guter Startpunkt der Untersuchung sein. Primäre Kandidaten sind etwa keramische oder magnetische Bauelemente.

Für den Fall, dass kein sicherer nichtleitender Gegenstand zur Hand ist, ist es eine gute Alternative, ein provisorisches Hörrohr aus einem Blatt Papier zu formen. Zu einem Konus zusammengerollt kann dessen Ende mit der kleinen Öffnung auf die verdächtigen Komponenten ausgerichtet werden, um die Quelle des Störgeräusches zu ermitteln. Keramische Kondensatoren, die einem großen  $dv/dt$ -Hub ausgesetzt sind, erweisen sich oft als akustisch aktive Störquellen. Sie sind meist in Klemm- und Snubber-Schaltungen zu finden, und daneben auch in den Ausgangsstufen. Um sie als Störquelle zu identifizieren oder auszuschließen, können versuchsweise Kondensatoren mit alternativem Dielektrikum, wie Metallfilm-Ausführungen, getestet werden. Ebenfalls möglich ist eine Erhöhung des Serienwiderstandes (Bild 5). Sollte sich dabei das hörbare Geräusch verringern, kann man eine permanente Änderung der Komponente in Betracht ziehen. Weiter kann sich die Änderung von Klemmschaltungen mit Einsatz von Zenerdioden als hilfreich erweisen. Problematische Kondensatoren in den Ausgangsstufen können gegen solche mit unterschiedlichem Dielektrikum ausgetauscht werden oder durch parallele keramische Kondensatoren mit äquivalentem Wert ersetzt werden, falls die Platzbedingungen dies erlauben.

Wenn magnetische Komponenten die Quelle des Störgeräusches sind, sollte

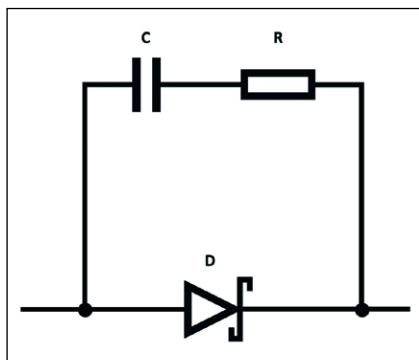


Bild 5. Der Kondensator in der Snubber-Schaltung lässt sich gegen eine Metallfilm-Ausführung austauschen. Oder man erwägt den Einsatz eines größeren Widerstandes. (Bild: Traco Power)

zunächst sichergestellt sein, dass die Eingangsspannung und die anliegende Last stets innerhalb des spezifizierten Bereichs liegen. Die Erhöhung der Kapazität auf der Eingangsseite kann helfen, wenn die Eingangsspannung zuweilen zu stark abfällt. Tauchgrundierung von Transformatoren, sowie tauchlackierte und vergossene Induktoren sind eine gute Methode zur Reduzierung von Störgeräuschen. Auch tendieren Transformatoren mit langen Kernen häufiger zu hörbaren Resonanzen als solche mit kurzen Kernen. Wenn möglich, sollte der Einsatz eines alternativen kürzeren Kerns erwogen werden, der noch die geforderte Anzahl an Windungen aufnehmen kann.

Falls es keine praktikablen Alternativen gibt, kann es notwendig werden, den Zusatz von Klebstoffen, Epoxid oder gummierten Adhäsiven zu den vibrierenden Komponenten in Betracht zu ziehen. Oder, falls möglich, das gesamte Design in eine Vergussmasse einzubetten. Die beschriebenen möglichen Vorgehensweisen machen allerdings auch eine erneute Design-Verifizierung und wiederholte Produktionstests sehr wahrscheinlich.

## KEINE SORGE UM SICHERHEIT ODER FUNKTION

Sowohl die Krafteinwirkung auf stromführende Leiter in magnetischen Feldern, als auch der umgekehrte Piezo-Effekt in Kondensatoren sind primäre Auslöser für die Emission hörbarer Störgeräusche in Stromversorgungs-

einheiten. Und trotz aller Fortschritte bei den Simulationsverfahren tritt das hörbare Störgeräusch meist erst dann in Erscheinung, nachdem ein Design physisch erstellt wurde - manchmal sogar erst dann, wenn eine Charge von Stromversorgungen für die Vorproduktion vorbereitet wird.

Obwohl das Auftreten akustischer Störgeräusche in Stromversorgungen meist kein Anlass zur Besorgnis in Bezug auf mangelnde Sicherheit oder Funktionalität ist, kann es doch lästig sein und von Anwendern sogar als Qualitätsproblem eingestuft werden. Wenn man einige der hier unterbreiteten simplen Tipps beherzigt, lassen sich die als Störquellen agierenden Komponenten schnell bestimmen und mit den vorgeschlagenen Methoden ersetzen, fixieren oder abändern, um die auftretenden Störgeräusche zu minimieren oder ganz zu beseitigen. UH



### AXEL SCHÜTZ

arbeitet seit über 20 Jahren bei Traco Electronics in

München als Sales Engineer für den Bereich DC-DC-Wandler, Stromversorgungen und Sensoren. Er hat einen Abschluss als Elektroingenieur für Energiemanagement der Universität Paderborn.



### MARK SCHOPPEL

ist Spezialist für kundenspezifische Stromversorgungen

bei der Traco Power Group. Er hat über zehn Jahre Berufserfahrung in der Leistungselektronik und Netzgeräteentwicklung. Seinen Abschluss als Diplom-Ingenieur (FH) erlangte er an der HTW Dresden.



### FLORIAN HAAS

ist Marketingleiter der Traco Power Group. Seit

über zehn Jahren hilft er, die Anforderungen von Ingenieuren und Produktentwicklern zu kommunizieren. Haas besitzt zwei Abschlüsse der Schweizer Universität Luzern – einen in BWL und einen in IT.



## PERSÖNLICH.

Wir suchen die Nähe zu Ihnen und bieten jederzeit ein offenes Ohr, eine helfende Hand und gute Ideen.

## BIDIREKTIONALE HOCHLEISTUNGSTROMVERSORGUNG.

Delta Elektronika SM-Serie 15 kW



- ▶ Bidirektionale Leistungsstufe mit Netzurückspeisefunktion
- ▶ Ausgangsspannung bis 1.500 V
- ▶ Wirkungsgrad bis 96 %
- ▶ Großer Eingangsspannungsbereich

## SPEISE- UND RÜCKSPEISE-SYSTEM.

Regatron TC.GSS



- ▶ Ausgangsspannung bis 1.500 V
- ▶ Modular einfach erweiterbar
- ▶ 20 oder 32 kW pro Modul

## Schulz-Electronic GmbH

Dr.-Rudolf-Eberle-Straße 2 · D-76534 Baden-Baden  
 Tel.: +49 7223 96 36 0  
 E-Mail: [vertrieb@schulz-electronic.de](mailto:vertrieb@schulz-electronic.de)  
 Web: [www.schulz-electronic.de](http://www.schulz-electronic.de)

# AUS ALT MACH NEU

(Bild: Immersion Imagery | Shutterstock)

Lithium-Ionen-Akkumulatoren benötigen Rohstoffe, die nur begrenzt verfügbar sind und deren Preisentwicklung schwer vorhersagbar ist.

Somit ist nach dem Ende ihrer Lebensdauer ein Recycling dringend geboten. Die Technologien dafür machen schnelle Fortschritte.

Von Helmuth Lemme

Wenn im Zuge der Elektrifizierung des Straßenverkehrs die Zahlen produzierter Lithium-Ionen-Batterien in den nächsten Jahren sehr stark zunehmen, dann steigt auch entsprechend – mit einiger Verzögerung – die Menge der ausgedienten. Die darin enthaltenen Materialien sind zu wertvoll für den Müll. Ziel ist, ein Maximum davon wiederzuverwenden, um weniger abhängig von Rohstoffimporten zu werden und die Umweltbilanz von E-Fahrzeugen deutlich zu verbessern. In erster Linie geht es um die besonders knappen Metalle Kobalt und Nickel. Auch wenn deren Preise nach langem Anstieg jüngst wieder gesunken sind [1], so sind hier Prognosen für die nächsten Jahre hochgradig unsicher. Weniger kritisch ist der

Engpass bei Lithium, Mangan, Kupfer (Anodenblech), Aluminium (Kathodenblech) und Graphit (Anode).

Nun ist das Recycling mittlerweile längst angelaufen – zuerst für Blei-, NiCd- und NiMH-Akkus, in den letzten Jahren auch für Lithium. Die *Elektronik* hatte vor einem Jahr darüber berichtet [2]. In pyrometallurgischen Verfahren werden die Zellen geschreddert und dann erhitzt, wobei die verschiedenen Metalle der Reihe nach verdampfen und sich so trennen lassen. Nachteilig ist der hohe Energieaufwand. Sparsamer arbeiten hydrometallurgische Verfahren, wo die Bestandteile in Säuren aufgelöst und schließend chemisch separiert werden. Eine Alternative zum groben Schreddern ist die elektrohydraulische

Zerkleinerung, die ein Aufbrechen an den Materialgrenzen auslöst, wonach sich eine physikalische oder chemische Trennung wesentlich vereinfacht. Das läuft aber bisher nur im Labormaßstab und braucht auch wieder viel Energie. In allen Fällen wird die Mikrostruktur der in den Akkus enthaltenen Funktionsmaterialien zerstört. Die Verarbeitung zu wiederverwendbarem Material erfordert daher hohen Aufwand.

Im Prinzip sind das alles schon einmal brauchbare Ansätze, aber letztlich noch zu klein, zu langsam und mit zu großem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck. Für die in Zukunft stark steigenden Mengen ist eine hohe Automatisierung bei gleichzeitiger Energieeinsparung unumgänglich. Der Weg dahin ist eine überaus komplexe

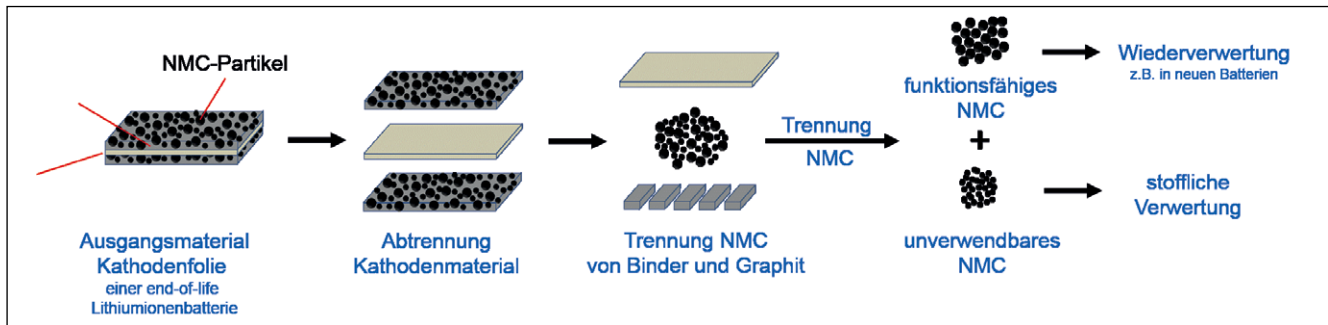


Bild 1. Schonende Ablösung des Kathodenmaterials von der Aluminiumfolie erlaubt eine Wiederverwertung ohne hohen Verarbeitungsaufwand.

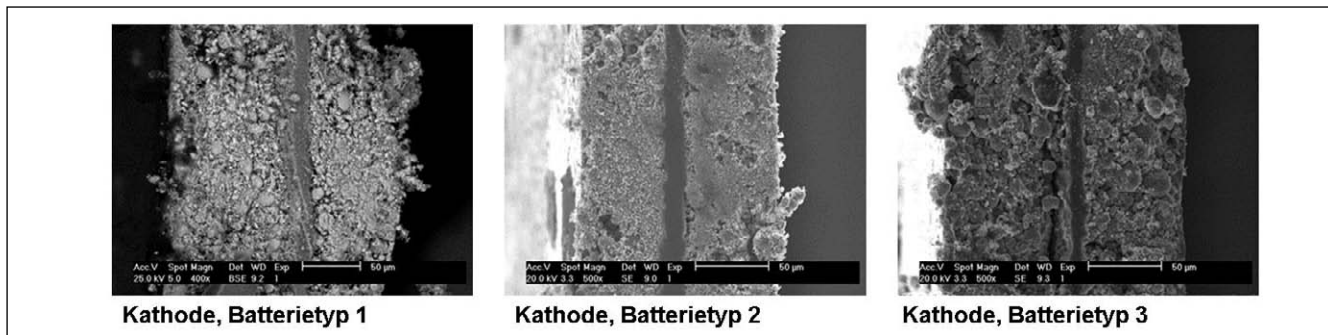


Bild 2. Im Raster-Elektronenmikroskop lassen sich Fehler und Alterungsmechanismen in den aktiven Schichten erkennen. (Bilder: Erlös)

Aufgabe, die einzelne Firmen an ihre Grenzen bringen kann. Deshalb geht der Trend immer weiter zu Verbundprojekten aus mehreren sich ergänzenden Partnern. Die Anforderungen an die Prozesse: keine manuellen Arbeiten mehr, minimaler Energieeinsatz (d. h. keine hohen Temperaturen), hohe Wiedergewinnungsrate, hohe Reinheit der gewonnenen Stoffe, keine Emissio-

nen nach draußen, skalierbare, an die wachsenden Mengen anpassbare Anlagengrößen. Und das alles zu minimalen Kosten.

Auf der anderen Seite müssen auch die Batterien dafür vorbereitet sein. Irgendwann werden Vorschriften über die Bauweise notwendig, damit die Verarbeitung möglichst einfach wird (beispielsweise Gehäuse verschraubt

statt verschweißt oder verklebt). Doch Derartiges existiert heute noch nicht einmal ansatzweise. Bisher macht noch jeder Hersteller was er will, um die Kosten niedrig zu halten; keiner denkt ans Recycling. Das kann nicht so bleiben. Hier ist eine weitgehende Standardisierung nötig. Auch die Zellen selbst sind sehr unterschiedlich, bei jedem Hersteller anders, oft jedes Jahr verändert.

# We develop batteries for smart, industrial and medical needs.

We are a worldwide leading Swiss manufacturer and supplier of primary and secondary batteries. We advice, develop and produce customized solutions. For more information contact us:

[www.renata.com](http://www.renata.com) | [sales@renata.com](mailto:sales@renata.com) | +41 619 75 75 75



Lithium primary thin film cells for smart city devices and logistic tracking



Lithium-ion pouch and coin cells for energy harvesting and portable devices



High performance silver oxide coin cells for medical sensors and fitness devices



Primary coin cells for watch movements and real time clocks

**renata**  
batteries

Es kommen immer wieder neue Zellen auf, ohne dass die älteren gleich verschwinden. Die Recyclinganlage muss alle verarbeiten können; sie muss dazu leicht erkennen können, um welchen Zelltyp es sich handelt.

Vor dem eigentlichen Recyclingprozess sind die Batterien zunächst einmal zu sammeln und zu einer zentralen Stelle zu transportieren. Das ist auch schon problematisch, da nach dem Lebensende immer noch viel Energie darin gespeichert ist – mit entsprechender Brandgefahr. Sie sind ein Gefahrgut spezieller Art, für das strenge Vorschriften gelten und eine aufwendige Dokumentation gefordert ist. Die noch brauchbaren Zellen darf man nicht tiefentladen, damit sie in einem „Second Life“ weitergenutzt werden können.

Insgesamt steht die Entwicklung nicht still. Vor Kurzem sind hierzulande mehrere neue Projekte angelaufen, drei von diesen werden hier näher vorgestellt.

### BREIT ANGELEGT: DEMOBAT

Der Name steht für „Industrielle Demontage von Batteriemodulen und E-Motoren zur Sicherung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe für die E-Mobilität“. Das Projekt entstand im Rahmen des „Strategiedialogs Automobilwirtschaft

Baden-Württemberg“ (SDA) und wird vom Landesumweltministerium mit 13 Mio. Euro gefördert. In einem Konsortium kooperieren 13 Projektpartner aus Industrie, Wirtschaft und Wissenschaft. Koordinator ist Prof. Dr. Alexander Sauer (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, IPA, Stuttgart). Der Schwerpunkt liegt auf der Automatisierung der Vorgänge, d. h. Einsatz von Robotern statt Menschen – schneller, billiger, sicherer. Starttermin war der 1. 12. 2019, Endtermin ist der 30.11.2022. In der geplanten Demontagefabrik sollen nicht nur die Batterien zerlegt werden, sondern auch das gesamte Antriebssystem von Elektroautos – Motor und Leistungselektronik. Hierin stecken in den Permanentmagneten teure Seltene Erden wie Neodym und Dysprosium.

Teilprojekt 1 bildet den thematischen Überbau und bündelt die Demontage in den Kontext einer Kreislaufwirtschaft einschließlich bestehender und zukünftiger Marktstrukturen ein. Die Teilprojekte 2 und 3 behandeln die Demontage von Batterien und E-Antriebsaggregaten – die Baugruppen von Elektroautos mit den größten Einzelwerten. Die Entscheidung für die industrielle Umsetzung soll Mitte 2021 fallen.

### INTELLIGENTES ZERLEGEN: REALBATT

Nachdem sich die genannten zerstörenden Verfahren zwar als geeignet, aber noch nicht sehr effizient erwiesen hatten, ging die Suche nach verbesserten unvermindert weiter. Ein wichtiger neuer Schritt besteht darin, die Zellen nicht mehr zu schreddern, sondern zu öffnen und den Elektrodenwickel wieder abzuwickeln. In einem schonenden Verfahren lassen sich so die aktiven Materialien von den Trägerfolien abtrennen (**Bild 1**). Die wesentlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten dazu sind an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg (BTU) im Fachgebiet Physikalische Chemie gelaufen (Leitung: Prof. Dr. Jörg Acker) [3].

Im Verbundvorhaben ReALBatt – vom BMBF seit Januar 2019 gefördert – wird dieses Verfahren jetzt in die industrielle Praxis umgesetzt. Die weiteren Partner sind das Logistik-Unternehmen Erlös (Zwickau) [4], Hoppecke Advanced Battery Technology (Zwickau), ein Spezialist für Industriebatteriesysteme, und Netzsch Trockenmahltechnik (Hanau). Erlös transportiert ausgediente Lithium-Ionen-Batterien zu seiner Recyclinganlage und zerlegt

### DIE TEILNEHMER AM PROJEKT DEMOBAT

- acp systems
- BTU Cottbus – Fachgebiet Physikalische Chemie [3]
- CTC battery technology
- CUTECL Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum
- ERLÖS [4]
- Fraunhofer IPA
- Greening
- Hochschule Esslingen, Institut für Nachhaltige Energietechnik und Mobilität [5]
- KIT – Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion (IIP) [6]
- KIT – wbk Institut für Produktionstechnik
- Mercedes Benz
- Siemens
- Silberland Sondermaschinenbau



Bild 3. Automatisierte Recyclinganlage für Lithium-Ionen-Zellen. (Bild: Erlös)



sie in die Einzelkomponenten. Anode, Separator und Kathode lassen sich so voneinander trennen, dass sämtliches Material rückgewinnbar ist, insbesondere das teure, auf Aluminiumfolien sitzende Kathodenmaterial, heute meist Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid (NMC). Der wesentliche Vorteil dabei: Die Mikrostruktur wird nicht zerstört wie bei den älteren Verfahren, sondern die Körner (Größe etwa 10 bis 50 µm) bleiben so erhalten wie sie sind, sodass sie direkt wiederverwertet werden können. Die dienen zunächst zum Bau von Testbatterien verschiedener Größe, das ist bei Hoppecke intensiv in Untersuchung.

Das Lithium wird automatisch mit zurückgewonnen. Bei der Entladung der Zellen vor der Verarbeitung wandern die Ionen ins Kathodenmaterial und verbleiben auch nach dem Ablösen darin bis zur Beschichtung in den neuen Zellen. In diesen verschieben sie sich beim ersten Aufladen wieder in das Graphit. Wirtschaftlich interessant ist das Verfahren für Zellen mit hohen Kobalt- und Nickelanteilen. Man könnte im Prinzip auch Lithium-Eisenphosphat-Zellen verarbeiten, aber das lohnt nicht; Eisen gibt es genug. Auf der Anodenseite ist eine Rückgewinnung des Graphits und des Elektrolyts nicht wirtschaftlich, nur die der Kupferfolie. Im Moment laufen einige Schritte noch manuell, was den Vorteil bietet, dass man Fehler in den Schichten leicht analysieren kann (**Bild 2**). Im Zuge der ständig steigenden Mengen wird der Automatisierungsgrad kontinuierlich steigen. **Bild 3** zeigt eine Verarbeitungsanlage bei Erlös.

## INTERNATIONAL: RELIEVE

Dieses Projekt – der Name bedeutet „Recycling of Li-Ion Batteries for Electric Vehicles“ – arbeitet grenzüberschreitend mit einem deutschen und zwei französischen Partnern: dem Chemie-Giganten BASF [7], Eramet, einem weltweit tätigen Bergbau- und Metallurgie-Unternehmen (Paris) [8], und Suez, einem führenden Anbieter für intelligentes und nachhaltiges Ressourcenmanagement (Paris) [9]. Das Volumen liegt bei 4,7 Mio. Euro, getragen

von den drei genannten Mitgliedern sowie von EIT Raw Materials, einem von der EU initiierten und geförderten Konsortium, seinerseits getragen vom EIT (European Institute of Innovation and Technology), einer Einrichtung der Europäischen Union. Der Start war im Januar 2020, die Laufzeit ist zwei Jahre. Die Arbeiten reichen von der Sammlung alter Batterien bis zur Herstellung neuer Elektrodenmaterialien [10].

Laut einer Prognose von Suez sollen bis 2027 in Europa rund 50.000 Tonnen Batterien recycelt werden, bis 2035 könnte die Menge beinahe das 10-fache betragen. Suez wird die Altbatterien sammeln und demontieren, Eramet das Recyclingverfahren entwickeln und realisieren, BASF wird die Kathodenmaterialien herstellen. Die genauen Details sind im Moment noch unter Verschluss.

Alles in allem: Die Abhängigkeit von knappen importierten Rohstoffen wird in Zukunft zwar nicht ganz enden, aber zumindest deutlich abnehmen. FR

### Referenzen:

- [1] <http://www.finanzen.net/rohstoffe>
- [2] Lemme, H.: Das zweite Leben des Akkus. Elektronik 2019, Nr. 5, S. 38.
- [3] <https://www.b-tu.de/fg-physikalische-chemie/technologietransfer/ressourcen-und-recycling>
- [4] <https://www.weckpluspoller.de/erlos-recycling>
- [5] <https://www.hs-esslingen.de/personen/ralf-woerner/>
- [6] [https://www.iip.kit.edu/1064\\_4894.php](https://www.iip.kit.edu/1064_4894.php)
- [7] <https://www.basf.com/global/de/media/news-releases/2019/09/p-19-325.html>
- [8] <http://www.eramet.com/en/activities/innovate-design/relieve-project>
- [9] <https://www.suez.com/en/news/press-releases/eramet-basf-and-suez-partner-to-develop-an-innovative-closed-loop-process>
- [10] <https://www.elektroniknet.de/design-elektronik/power/lithium-ionen-akkus-recycleIn-170133.html>
- [11] <https://idw-online.de/de/news731168>
- [12] <https://batterie-2020.de/projekte/forschungsfelder/second-use-und-recycling>
- [13] <https://db.batterieforum-deutschland.de/>



# PCB SPECIALS

## Plangengenau Punktgenau Innovativ

### → Exklusivität

Kompetenz  
in exotischen Materialien

### → Leistungsstärke

Leiterplatten und Kupfer-  
schichten in extremen Stärken

### → Präzision

Minimalste  
mechanische Toleranzen

## Spezialisten für bahnbrechende Leiterplatten



**Becker & Müller**  
Schaltungsdruck GmbH

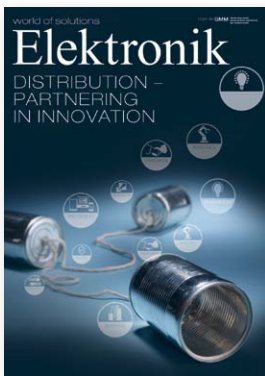
Tel.: +49 (0)7832 9180-0

[www.becker-mueller.de](http://www.becker-mueller.de)



## ELEKTRONIK 10/2020 ERSCHEINT AM 12. MAI

Im Internet der Dinge werden schon in wenigen Jahren Milliarden von smarten Geräten vernetzt sein, was Hackern ganz neue Möglichkeiten eröffnet und die Datensicherheit auf den Prüfstand stellt. Die Embedded-Branche reagiert auf diese Herausforderungen mit neuen Komponenten, Entwicklungssystemen und Systemlösungen. Die Elektronik zeigt entlang der Wertschöpfungskette Möglichkeiten auf, smarte und sichere Embedded-Systeme zu designen. Außerdem gibt es die Sieger der Leserwahl 2020.



### WEITERE AUSGABE IN KÜRZE

26. Mai

Alle Ausgaben zum  
Nachbestellen im Shop:  
<https://shop.weka-fachmedien.de>



### AKTUELLE INFORMATIONEN IM NEWSLETTER

Hier geht es zur Anmeldung:  
<https://newsletter.elektroniknet.de>

Änderungen aus aktuellem Anlass möglich.

**FERYSTER**  
www.feryster.de

**Kostenlose Projektberatung und Muster für Ihre Firma!!!**

**HERSTELLER INDUKTIVER BAUTEILE**

# App

Entwicklung  
individuell - schnell - ganzheitlich

- iOS - Android - Windows
- ⚙ Beratung - Entwicklung - Store
- 📶 Wlan, Bluetooth, NFC
- ☁ Cloud
- 🤖 Künstliche Intelligenz
- ✖ langfristige Betreuung der App

**SOFTWARE2BUSINESS**  
software & consulting

Walther-Rathenau-Straße 18B, 53842 Troisdorf  
Tel. 02241 - 395359  
[www.software2business.de](http://www.software2business.de)



world of solutions Open by GMM

# Elektronik

EMBEDDED TECHNOLOGY  
SMART AND SECURE

**ENTWICKLUNGS- UND MAKER-BOARDS ZUM KLEINEN PREIS**

MCU, MPU und SOC  
Safety & Security  
Maschinelles Lernen und KI

# 2020

## BRINGEN WIR DIE ZUKUNFT

world of solutions Open by GMM

# Elektronik

SYSTEMDESIGN & SOFTWARE ENGINEERING

**RTOS & EMBEDDED SOFTWARE**

Steuerungs- und Regelsysteme    Bildverarbeitung und maschinelles Sehen    Entwicklungs-umgebungen

**THEMENUMFASSENDE INFORMATIONSQLLE**  
Der Inhalt der neuen Technologie- und Businesshefte orientiert sich nachvollziehbar entlang der Wertschöpfungskette des Elektronikmarktes. Keine isolierten Themenblöcke mehr, stattdessen werden kontextgebundene Lösungen abgebildet.

**REVOLUTIONÄRES DESIGN**  
Das neue Look-and-Feel der Elektronik 2.0 transportiert in einer ansprechenden Weise hochkarätige Informationen für den Entwickler. Auch technischer Content darf Spaß machen!

world of solutions Open by GMM

# Elektronik

DISTRIBUTION – PARTNERING IN INNOVATION

**SMARTE ANWENDUNGEN IM IOT**

Analog/Mixed-Signal-Komponenten    Passive Bauelemente, Elektromechanik    Obsoleszenzmanagement

world of solutions Open by GMM

# Elektronik

ANALOG & POWER

Power-Management – Kraftikur für Batterien und Akkus  
Analog/Mixed-Signal-Schaltungen flexibel gestalten  
Passive Bauelemente und 2-Mechanik in der Leistungselektronik

**LEISTUNGSELEKTRIK AUF DIE SPITZE GETRIEBEN**

world of solutions Open by GMM

# Elektronik

INTERNATIONAL

**CLOUD COMPUTING APPLIED TO SMART IOT APPLICATIONS**

Safety & Security by design  
Power supply for mobile applications  
Sensors in analog/mixed signal systems

world of solutions Open by GMM

# Elektronik

DIGITALISIERUNG

**MIT MIKROELEKTRONIK ZU NEUEN GESCHÄFTSMODELLEN**

KI, ML und VB für die Industrie 4.0    Rapid Prototyping auf neuen Wegen    Big Data sicher beherrschen

world of solutions Open by GMM

# Elektronik

INDUSTRIAL & EMBEDDED VISION

**KOPFSACHE: INTERNET OF THINGS**

Embedded Hard- und Software    Neuronale Netzwerke und KI    Cloud Services/ Cloud Computing

**MARKTANALOGES WERBEUMFELD**  
Wording und inhaltlicher Aufbau der neuen Elektronik orientieren sich am Markenauftritt der professionellen Elektronikindustrie. Das perfekt abgestimmte Werbeumfeld für Distributoren und Hersteller!

world of solutions Open by GMM

# Elektronik

TRENDS & EXPERTEN

**2020**

**DAS BEWEGT DIE ENTWICKLER-SZENE IM NEUEN JAHR!**

world of solutions Open by GMM

# Elektronik

THE ENTIRE WORLD OF ELECTRONICS

Leistungs-elektronik  
Analog- und Mixed-Signal  
Wärme- und Kühlmanagement

**SPECIAL ZU DEN MESSE-HIGHLIGHTS**

offizieller Medienpartner **electronica 2020**

**DIE NEUE Elektronik**

Ab 2020 auf allen relevanten Kommunikationskanälen:

**PRINT  
ONLINE  
EVENTS  
SOCIAL MEDIA**

# Elektronik 2.0

world of solutions

**AB SOFORT BUCHEN!**  
Sonja Winkler  
swinkler@weka-fachmedien.de  
+49 (89) 255 56-1383

# Happy with MLCC Downsizing?

Check our menu.



© elCap

**#YOURCAPYOURSIZE**

*WE speed up  
the future*

## MLCC

Würth Elektronik bietet ein großes Portfolio an MLCC-Größen bis 2220. Während das Downsizing für einige Applikationen die richtige Wahl sein kann, erfordern andere Anwendungen größere MLCCs, um die Anforderungen an die elektrische Performance, volumetrische Kapazität und das DC-Bias Verhalten zu erfüllen. Hochwertige und kostenlose Muster machen Würth Elektronik zu einem zuverlässigen Langzeitpartner für Ihre MLCC-Anforderungen.

Weitere Informationen finden Sie unter: [www.we-online.de/mlcc](http://www.we-online.de/mlcc)

- Großes Portfolio von 0402 bis 2220
- Langfristige Verfügbarkeit
- Detaillierte Datenblätter mit allen relevanten Messungen und Produktdaten
- Präzise Simulationen auf der Online-Plattform **REDEXPERT** verfügbar

