



## Der Weg vom elektronischen Morse-Keyer zum Weltkonzern

Wie zwei Schulfreunde aus Minnesota aufbrachen, um die Welt zu erobern. Eine Geschichte über Mut, Idealismus und Vertrauen – sowie eine Portion Glück. **Seite 14**

### Isolation in RS-485-Bussen

RS 485 ist ein Standard zur Datenübertragung in der Automation. Sieben Fragen zur Isolation. **Seite 20**

### Serial Peripheral Interface: Basics

SPI ist eine oft genutzte Schnittstelle. Wie lässt sie sich in der Kommunikation optimal einsetzen? **Seite 26**

### MLCCs steigern den Wirkungsgrad

Keramikkondensatoren ermöglichen kompakte und leistungsfähige Stromversorgungen. **Seite 38**

Über  
9,6 Millionen  
Produkte online  
**DIGIKEY.DE**



# Von der Entwicklung bis zur Produktion

**KOSTENLOSER  
VERSAND**  
BEI BESTELLUNGEN  
AB 50 € ODER  
\$60 USD\*



TELEFON: (+49) 30 915 884 91

**DIGIKEY.DE**



\*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. © 2021 Digi-Key Electronics, 701 Brooks Ave. South, Thief River Falls, MN 56701, USA

# Einladung zum Praxisforum Elektrische Antriebstechnik 2021

Die Geschwindigkeit und Konsequenz, mit der neue Erkenntnisse in marktfähige Produkte umgesetzt werden, tragen zur weiteren Verschärfung des Wettbewerbs bei und verhelfen den Kundenwünschen zu immer mehr Gewicht. Für Hersteller von beispielsweise Leistungshalbleitern bedeutet das auch und gerade die Beachtung von Entwicklungen in anderen Technikdisziplinen. Impulsgeber neben neuen Schaltungstechniken bleiben die Leistungshalbleiter, etwa hinsichtlich Energieeinsparung und Regeldynamik. Geeigneten Lesestoff dazu bietet Ihnen dazu unsere Themenhefte und Sonderteile.

Aber auch das Praxisforum Elektrische Antriebstechnik vermittelt interdisziplinäres Fachwissen – tiefgehend und dennoch leicht verständlich. Die Fort- und Weiterbildung sowie das Branchen-Networking sind einmal mehr Ziele des Praxisforums, das am 23. und 24. Juni 2021 im Maritim Congress Centrum Würzburg stattfindet. Die Themenfelder sind entsprechend weit reichend: etwa Leistungselektronik, Sensorik, Servoantriebe, Regelungsverfahren, Digitalisierung der Antriebe, Netzurückwirkung, Energiespeicher Betriebsverhalten, Forschungs-

*Machen Sie mit. Senden Sie uns Ihren Vorschlag für Ihr Referat über die Web-Seite „[praxisforum-antriebstechnik.de](https://www.praxisforum-antriebstechnik.de)“.*



**Gerd Kucera, Redakteur**  
[gerd.kucera@vogel.de](mailto:gerd.kucera@vogel.de)

ergebnisse und nicht zuletzt Erfahrungsberichte. Geben Sie als Referent der Antriebsbranche neue Impulse und erfahren Sie aus Teilnehmersicht, was Entwickler bewegt. Die zweitägige Veranstaltung wendet sich an Hard- und Software-Entwickler sowie Projektverantwortliche, die sich mit elektrischen Antriebslösungen beispielsweise im Maschinen- und Anlagenbau oder der E-Mobilität beschäftigen.

Reichen Sie den Titel und eine Zusammenfassung Ihres Referats in deutscher Sprache ein. Rufen Sie mich dazu an (0931/418-3084) oder schreiben Sie mir ([gerd.kucera@vogel.de](mailto:gerd.kucera@vogel.de)) oder nutzen Sie das Online-Formular auf der Internet-Seite <https://www.praxisforum-antriebstechnik.de/call-for-papers>. Die Referate vermitteln tiefgehendes und nutzbares Fachwissen. Nutzen Sie Ihre Chance und machen Sie mit.

Herzlichst, Ihr




FAULHABER Motion Control

## Feel the Power

Mit den Motion Controllern der Serie MC 5004/5005/5010 haben Sie die Zukunft der vernetzten Fertigung in Ihrer Hand.

[faulhaber.com/mc/de](https://www.faulhaber.com/mc/de)



## DIE WELT EROBERT

### Vom elektronischen Morse-Keyer zum Weltkonzern

*Kennen Sie Thief River Falls? Es ist ein beschauliches Städtchen im Nordwesten der USA im Bundesstaat Minnesota. Dort steht ein 65.000 Quadratmeter großes Distributionszentrum. Daneben entsteht gerade ein neues Gebäude: 204.000 Quadratmeter. Beide Gebäude sind Zeugnis einer Firmengeschichte, die sich zu einer Erfolgsgeschichte entwickelte. Die Rede ist von Digi-Key, einem der weltgrößten Distributoren für elektronische Komponenten, und den Schulfreunden Dr. Ron Stordahl und Mark Larson.*

# 14



## ELEKTRONIKSPIEGEL

6 **Zahlen, Daten, Fakten**

8 **Aktuelles**

## SCHWERPUNKTE

Bauteilebeschaffung

### TITELTHEMA

14 **Vom elektronischen Morse-Keyer zum Weltkonzern**  
Wie zwei Schulfreunde aus Minnesota aufbrechen, die Welt zu erobern. Der Werdegang des Distributors Digi-Key ist eine Geschichte über Offenheit, Mut, Idealismus und Vertrauen – und eine Portion Glück.

Analogtechnik

20 **Sieben Tipps zur Isolation in RS-485-Anwendungen**  
Die Schnittstelle RS 485 wurde für serielle Hochgeschwindigkeitsbusse für die Datenübertragung über große Entfernungen entwickelt und ist in der Automatisierungstechnik stark verbreitet. In diesem Beitrag finden Sie sieben nützliche Tipps für die Praxis.

Signal- und Datenübertragung

24 **Bluetooth für die Funkübertragung im IoT**  
Der Funkstandard Bluetooth verbindet Milliarden Endgeräte zuverlässig per Funk – und kommt immer häufiger auch im Internet der Dinge zum Einsatz. Doch dafür muss die Technik besonders robuste Übertragungsmechanismen verwenden.

26 **So funktioniert das Serial Peripheral Interface**  
Das Serial Peripheral Interface (SPI) gehört zu den meistverwendeten Schnittstellen für die Kommunikation zwischen Mikrocontrollern und Peripherie-ICs. So lässt es sich optimal einsetzen.

Halbleiter

30 **Übernahmen erschüttern die Halbleiterbranche**  
NVIDIA und Arm, AMD und Xilinx – 2020 haben diverse Übernahmen den Chipmarkt durchgerüttelt. Welche ähnlichen Deals gab es in der Dekade davor? In Teil 1 von 2 betrachten wir die Jahre 2010 bis 2015.

Leistungselektronik

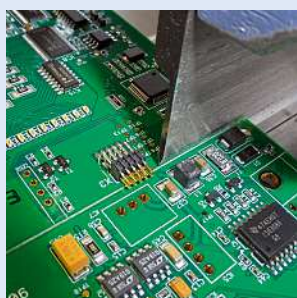
34 **Luft- und Kriechstrecken auf PCBs**  
Um Leitungselektronik sicher zu machen, müssen bei hohen Potentialen die Leiterabstände von z.B. IGBTs oder MOSFETs ausreichend groß sein, um Über- oder Durchschläge zu unterbinden.

Passive Bauelemente

38 **MLCCs steigern Leistungsdichte und Wirkungsgrad**  
Stromversorgungssysteme sollen immer kompakter und leistungsfähiger werden. Mehrschicht-Keramikkondensatoren spielen dabei eine entscheidende Rolle.

Stromversorgungen

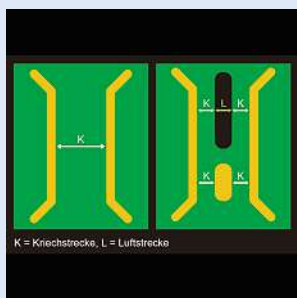
44 **Funktionale Sicherheit bei akkubetriebenen Geräten**  
Akkubetriebene Geräte müssen sicher sein. In diesem Beitrag geht es um die funktionale Sicherheit und wirtschaftliche Aspekte, wenn statt diskreter Bauelemente ein ASIC eingesetzt wird.



**23** Nutzaufbau fertigungsgerecht gestalten



**24** Bluetooth für die Funkübertragung im IoT



**34** Luft- und Kriechstrecken auf Leistungs-PCBs



**44** Funktionale Sicherheit bei Akkugeräten

**47 Wasserstoff: Wunderwaffe gegen den Klimawandel?**  
Kann Wasserstoff Wegbereiter der Energiewende werden?  
Ein Interview mit Dr. Stefan Wagner vom Fraunhofer IZM.

## TIPPS UND SERIEN

- 13 Analogtipp**  
Signalkettenfehler mit Chopper-Verstärkern kompensieren
- 23 Design-Tipp**  
Fertigungsgerechter Nutzaufbau: Ritzen und Fräsen
- 50 Zum Schluss**  
Nur E-Fuels können die Mobilität trotz Klimaschutz sichern

## RUBRIKEN

- 3 Editorial**
- 12 Veranstaltungen**
- 48 Impressum**

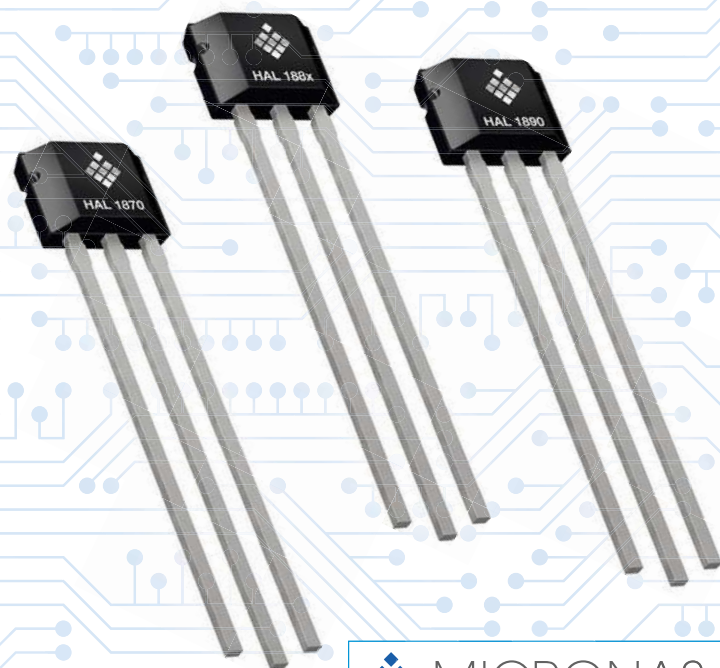
### Unser nächster Event

Anwenderkongress Steckverbinder

05. - 07. Juli 2021, Würzburg

Europas größter bilingualer Fachkongress (deutsch und englisch) zu Einsatz und Design-in von Steckverbindern mit praxisorientierten Lösungen und viel Grundlagenwissen.

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



## HAL 18xy SENSORFAMILIE – LINEAR-HALL-SENSOREN DER EINSTIEGSKLASSE

HAL 1870/HAL 188x/HAL 1890 ist eine universelle, wertoptimierte Hall-Effekt-Sensorfamilie mit ratiometrischem linearem PWM, Analogausgang oder mit SENT-Schnittstelle. Die robusten Sensoren können für Magnetfeldmessungen verwendet werden, wie beispielsweise zur Erfassung einer mechanischen Bewegung oder Strommessungen.



### TECHNISCHE MERKMALE

- AEC-Q100 qualifiziert
- Betrieb im Bereich -40 °C bis zu 170 °C Sperrschichttemperatur
- On-chip-Temperatur-Kompensation
- Versorgungsspannungsbereich von 4.5 V bis 5.5 V (spezifiziert)
- Ratiometrisches analoges Ausgangssignal (HAL 188x)
- PWM Output bis zu 2 kHz (HAL 1870)
- SENT-Ausgang gemäß SAE J2716 Rev. 4 (HAL 1890)
- Durchgehender Messbereich von +-20 mT bis +-160 mT
- Wählbare Klemmung mit optionaler Diagnostik
- Umfassende Diagnostik-Funktionen
- Programmierung über den Ausgangs-Pin oder durch Modulation der Versorgungsspannung
- Überspannungs- und Verpolungsschutz am VSUP-Pin
- Programmierbare Temperaturkennlinien zur Anpassung an alle gängigen magnetischen Materialien
- Aktive Offset-Kompensation
- Betrieb bei statischen und dynamischen Magnetfeldern bis zu 5 kHz
- Kurzschlussgeschützter Ausgang

Informationen zu HAL 18xy:

Tel. +49 (0) 7231 801-1352 | [rutronik@rutronik.com](mailto:rutronik@rutronik.com)

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



AUFGEMERKT



Bild: Columbia Science Review

## 1996: Kasparow gegen „Deep Blue“

Schachautomaten erlangten ab den 1950er Jahren für die KI-Forschung neue Bedeutung: Wann ist eine Maschine in der Lage, selbst die besten menschlichen Gegner in diesem Spiel zu schlagen? 1989 startete IBM ein spezielles Supercomputer-Projekt, das genau dies erreichen sollte. In Anlehnung an IBMs Logo-Farben und Douglas Adams' fiktiven Roman-Computer „Deep Thought“ wurde der Rechner „Deep Blue“ getauft. Er war in der Lage, pro Sekunde etwa 200 Millionen mögliche Schachpositionen zu berech-

nen und daraus eine Strategie abzuleiten. Am 10. Februar 1996 traf der Supercomputer zum ersten Mal auf einen Schach-Großmeister, den damaligen Weltmeister Garri Kasparow. Zwar unterlag der Computer in diesem ersten Aufeinandertreffen mit 4:2, doch war es im Laufe des Matches erstmals einer KI gelungen, einen menschlichen Großmeister in einer Partie zu schlagen. Im Rematch folgte dann die Sensation: Am 11. Mai 1997 besiegte „Deep Blue“ den Schachweltmeister nach sechs Durchgängen mit 3,5 zu 2,5. // SG

# AUFGEDREHT: Mars-Rover Perseverance

Bild: FZ Jülich / Ralf Uwe Limbach



## Solarzellen: neuer Rekord

24,51% Wirkungsgrad erreichen beim Forschungszentrum Jülich entwickelte Solarzellen – ein neuer Rekord! Damit sind sie die effizientesten Silizium-Solarzellen auf industrieller Wafergröße aus Deutschland. Nur zwei Solarzellen des gleichen Typs arbeiten noch etwas effizienter als das Jülicher Produkt. Und auch das könnte sich bald ändern. Denn die Forschenden wollen den Wirkungsgrad weiter erhöhen. Im Bild: die Produktionsstrecke für kristalline Silizium-Solarzellen. // TK

### 23 Kameras

Dazu gehören 9 technische Kameras, 7 Kameras für wissenschaftliche Arbeiten sowie 7 Kameras für das Landemanöver.

### 2 Mikrofone

Die EDL-Mikrofone übertragen die Geräusche von der Landung. Mit einem weiteren Mikrofon soll das Marsgestein untersucht werden.

### 6 Räder

Jedes der sechs Räder ist mit einem eigenen Motor ausgestattet. Dank der Lenkung kann sich der Rover um volle 360° drehen.

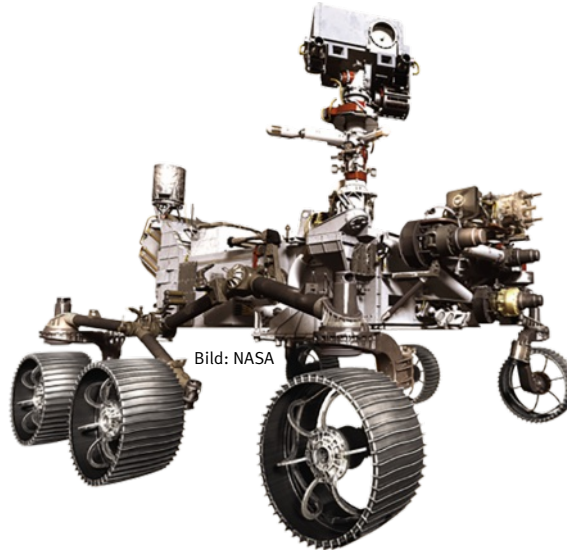


Bild: NASA

### 1 Roboterarm

Hat eine Länge von 1,5 m und funktioniert wie ein menschlicher Arm: Er kann Proben extrahieren und mikroskopische Bilder aufnehmen.

### Energie

Ein Radioisotopen-Energiesystem erzeugt die Energie. Die Wärme des radioaktiven Zerfalls von Plutonium dient als Brennstoff.

### 3 Antennen

Sie sind sowohl Stimme und Ohr und befinden sich auf der Rückseite. Mit der Erde wird per UHF auf rund 400 MHz kommuniziert.

18. Februar 2021 um 21:56 Uhr MEZ: Der Mars-Rover Perseverance ist auf der Oberfläche des roten Planeten sicher gelandet. Die ersten Bilder einer Kontrollkamera waren noch schwarz-weiß. Mittlerweile sind hochauflösende farbige Bilder

auf der Erde angekommen. Der Roboter in der Größe eines kompakten SUV mit einem Gewicht von mehr als einer Tonne erkundet jetzt die Oberfläche. Neben Kameras, Mikrofonen und einem Laser ist ein Fluggerät mit an Bord. // HEH

AUFGE-SCHNAPPT

„Europa ist eine substrategische Region, deren gesamter Bauteilebedarf dem eines einzigen großen Auftragsfertigers in China entspricht.“

Georg Steinberger (Avnet), FBdi-Vorstandsvorsitzender

## Erfolgsgeschichte Quantentechnologie

Der Vorsitzende der Geschäftsführung von Robert Bosch, Dr. Volkmar Denner, sieht in der Quantentechnologie eine große Chance für Europa, CO<sub>2</sub>-neutrale Antriebe zu bauen und mit hochgenauer Quantensensorik neuronale Krankheiten sehr präzise zu diagnostizieren. Daraus kann eine europäische Erfolgsgeschichte werden. // HEH



Bild: Bosch GmbH

# 145

### MILLIARDEN EURO FÜR AUSBAU DER EUROPÄISCHEN HALBLEITERINDUSTRIE

Europa muss technologisch souveräner und unabhängiger von China und den USA werden – das ist breiter Konsens innerhalb der Gemeinschaft. 19 EU-Mitgliedsstaaten wollen daher bis 2023 bis zu 145 Mrd. Euro in eine neue Mikroelektronik- und IPCEI-Initiative (Important Project of Common European Interest) im Rahmen der Halbleiterfertigung investieren. Ziel sind moderne europäische Chip-Fabriken für Nodes bis 2 nm.

# Deutsches Wasserstofftechnologie-Zentrum in Sachsen geplant

*Das Wasserstofftechnologie-Zentrum des Bundes soll in Sachsen entstehen – das ist das Ziel der Landespolitik und eines Bündnisses sächsischer Unternehmen, Verbände und Forschungseinrichtungen.*

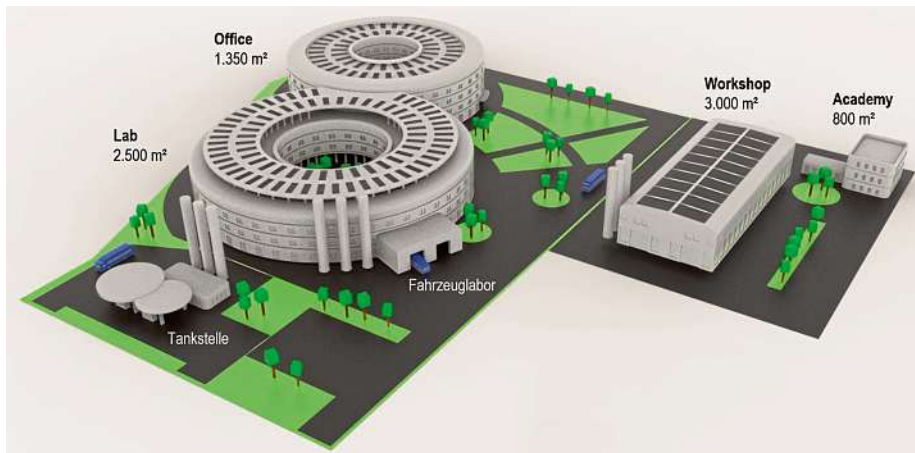


Bild: HZwo

Bewerbung um das nationale Technologie- und Innovationszentrum Wasserstofftechnologie für Mobilitätsanwendungen des BMVI außerordentlich. Das sächsische Wirtschaftsministerium verfolgt eine klare Strategie in Bezug auf den Einsatz von Wasserstoff – als Baustein für nachhaltige Mobilität und für die Defossilisierung der Industrie – sein. Das HIC ist aus meiner Sicht hervorragend dafür geeignet, genau diese Vorhaben mit Leben zu erfüllen. Gleichzeitig ermöglicht es jungen Menschen, sich in zukunftssträchtigen Technologien weiterzubilden sowie daran zu forschen.“

**Das Hydrogen and Mobility Innovation Center:** es umfasst ein großes Fahrzeuglabor, ein umfangreiches Wasserstoff-Zertifizierungszentrum, Prüfstände für Brennstoffzellen sowie ein Fortbildungszentrum und ein Experience Lab.

Die Bündnispartner haben nun ihr gemeinsames Konzept für das „HIC – Hydrogen and Mobility Innovation Center“ in Chemnitz vorgestellt. Das HIC könnte schon in diesem Jahr seine Arbeit aufnehmen, denn bereits jetzt ist der Standort ein Forschungs- und Transferschwerpunkt für Wasserstofftechnologien sowie Brennstoffzellen-Fahrzeugantriebe. Auch ein Technologie-Campus ist schon komplett erschlossen.

Hinter dem HIC stehen u.a. das Innovationscluster HZwo, die Technische Universität Chemnitz und die Technische Universität Dresden, die Fraunhofer-Gesellschaft sowie BMW Leipzig, der Automobilzulieferer Vitesco Technologies sowie viele kleine und mittelständische Unternehmen (KMU), an denen insgesamt rund 10.000 Arbeitsplätze hängen.

## Standortwettbewerb: Vorentscheidung im März

Die Forschung rund um das Thema Wasserstoff verspricht kohlenstoffdioxidfreie Mobilität und einen nachhaltigen industriellen Aufschwung. Um Industrie und Gesellschaft bei der Umstellung auf diesen neuen

Energieträger zu unterstützen, hat die Bundesregierung einen Standortwettbewerb für ein „Technologie- und Innovationszentrum Wasserstofftechnologie für Mobilitätsanwendungen“ ausgerufen. Es soll sich auf die gesamte Wertschöpfungskette der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie im Bereich Mobilität konzentrieren und dafür sorgen, dass Deutschland international Taktgeber dieser Zukunftsindustrie werden kann. Wasserstofftechnologien „Made in Germany“ sollen auf der ganzen Welt konkurrenzfähig sein.

Das HIC muss sich gegen bundesweite Konkurrenz durchsetzen: In der ersten Stufe des Wettbewerbs wählt das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) bis Ende März 2021 aus allen Bewerbungen drei Finalisten aus. Diese werden anschließend im Rahmen von Machbarkeitsstudien auf Herz und Nieren geprüft. Die Entscheidung über den Zuschlag für das beste Konzept fällt im Spätsommer.

Sachsen Wirtschaftsminister Martin Dulig sagt zur HIC-Bewerbung: „Der Freistaat Sachsen verfügt über exzellente Kompetenzen im Bereich der Brennstoffzellentechnologie. Daher begrüßen wir die sächsische

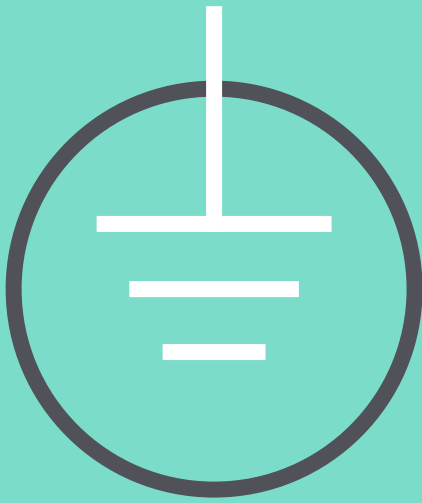
## Bestehende Strukturen nutzen und neue Standards setzen

Schon heute testen und entwickeln Mittelständler, Zulieferer und Fahrzeughersteller ihre Komponenten, Brennstoffzellen und Fahrzeugantriebe in bestehenden Einrichtungen des HIC-Bündnisses. Expertinnen und Experten sind bereits vor Ort, allein schon durch die Nachbarschaft des Technologie-Campus zur TU Chemnitz sowie den Fraunhofer-Instituten für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU und für Elektronische Nanosysteme ENAS. Erst Ende 2020 hat Sachsens Staatsregierung der TU Chemnitz und dem Fraunhofer IWU acht Millionen Euro bewilligt, um ihre Brennstoffzellen- und Wasserstofflabore weiter auszubauen. Zusammen mit den Investitionen von Vitesco Technologies flossen insgesamt rund elf Millionen Euro an den Standort.

Ist die Bewerbung erfolgreich, könnte die schon heute auf internationalem Niveau laufende Arbeit in den Einrichtungen des HIC-Bündnisses für Transfer und Wertschöpfung sofort ausgebaut werden, um viele weitere Innovationen zu testen, zu prüfen und zu zertifizieren sowie gemeinsam neue Normen und Standards zu entwickeln. Das ist besonders für den Erfolg auf den Weltmärkten von entscheidender Bedeutung. //TK

Fraunhofer IWU





# UNSERE PREISE DER BESTE SCHUTZ VOR HOHEN KOSTEN

The best part of your project:  
[www.reichelt.de](http://www.reichelt.de)

## Mit reichelt holen Sie mehr aus Ihrem Budget.

Dank effizienter, selbstentwickelter Logistik und IT und der Bündelung unsere Einkaufspower auf ausgesuchte Qualitätsprodukte, liefern wir Kleinstmengen zu Top-Preisen. Dadurch sind wir bei Entwicklungsprojekten, Instandhaltung und Kleinserien meist die beste Wahl.

### Labornetzgerät mit 300 W Gesamtleistung

0 - 60 V, 0 - 15 A

Zuverlässig und effizient – Dieses Labornetzgerät verfügt über eine fein einstellbare Strom- und Spannungseinstellung sowie große und getrennte Anzeigen für Ausgangsstrom und -spannung.

- Konstantspannungs- und Konstantstrombetrieb
- mit USB, LAN und RS-232
- LabView kompatibel
- geringe Restwelligkeit
- front- und rückseitiger Anschluss
- 5 programmierbare Speicherplätze



Bestell-Nr.:  
KWR103

# 298,00



## KORAD



Präzise Messtechnik für ambitionierte Projekte –  
viele weitere Produkte finden Sie online



Gleich entdecken ► [www.reichelt.de/messtechnik](http://www.reichelt.de/messtechnik)

■ Top Preis-Leistungs-Verhältnis

■ über 110.000 ausgesuchte Produkte

■ zuverlässige Lieferung – aus Deutschland in alle Welt

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

Bestellhotline: +49 (0)4422 955-333

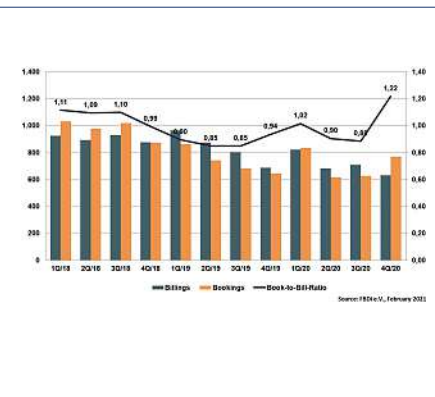
 **reichelt**  
elektronik – The best part of your project

Es gelten die gesetzlichen Widerrufsregelungen. Alle angegebenen Preise in € inklusive der gesetzlichen MwSt., zzgl. Versandkosten für den gesamten Warenkorb. Es gelten ausschließlich unsere AGB (unter [www.reichelt.de/agb](http://www.reichelt.de/agb), im Katalog oder auf Anforderung). Abbildungen ähnlich. Druckfehler, Irrtümer und Preisänderungen vorbehalten. reichelt elektronik GmbH & Co. KG, Elektronikring 1, 26452 Sande, Tel.: +49 (0)4422 955-333

TAGESPREISE! Preisstand: 15. 2. 2021

FBDi-QUARTALSBERICHT 4Q2020

## Auftragseingang der Bauelemente-Distribution wächst stark



**Bauelemente-Distribution:** Hohe Auftragseingänge in 4Q2020 katapultieren die Book-to-Bill-Rate auf 1,22.

Während andere Regionen der Welt trotz Covid-19 in 2020 teils deutlich wuchsen, lahmt Europa und speziell der deutsche Elektronikbauteilemarkt. Der Umsatz der im Fachverband Bauelemente-Distribution (FBDi) organisierten Distributionsunternehmen fiel um 14,6% auf 2,85 Mrd. Euro und damit deutlich unter den einstigen Höchststand von 3,6 Mrd. Euro im Jahr 2018. Zum Jahresende wurde das schlechte Gesamtbild etwas freundlicher, das vierte Quartal endete mit einem Minus

von 8,1% und 632 Mio. Euro. Da gegen wuchs der Auftragseingang überproportional, mit 23% auf 769 Mio., was einer Book-to-Bill-Rate von 1,22 entspricht. Die Book-to-Bill-Rate gibt das Verhältnis von Auftragseingängen (book) zu Umsätzen (bill) an. Positiv ist eine Book-to-Bill-Rate von 1 oder höher, dann überwiegen die Auftragseingänge.

Auf Produktebene wurden die passiven Bauelemente mit -21% übers gesamte Jahr am stärksten gebeutelt. Mit einem Minus von 3,4% und 77,5 Mio. Euro lagen sie

hinter den elektromechanischen Bauteilen, die zwar um 9,5% auf 87 Mio. Euro sanken, aber im Gesamtjahresvergleich deutlich stabiler waren (-5,3%). Die Halbleiter lagen um 15,6% unter dem Vorjahresumsatz und brachten es in Q4 auf rund 414 Mio. Euro Verkaufserlöse. Der Anteil am Gesamtmarkt blieb stabil bei 68%. Besser hielten sich kleinere Produktbereiche wie Sensorik (-8,9%) Stromversorgungen (-8,2%) und Displays. // MK

FBDi

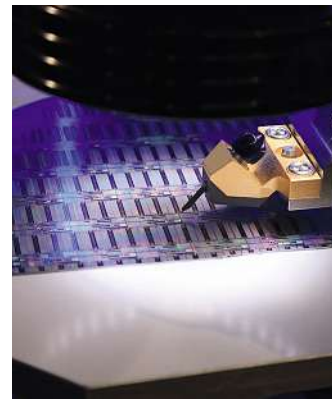
SAMSUNG, TSMC, MICRON, SK HYNIX, KIOXIA

## Über 50% aller Wafer weltweit werden von fünf Firmen verarbeitet

Die kombinierte Fertigungsleistung der fünf führenden Unternehmen – Samsung, TSMC, Micron, SK Hynix und Kioxia – wandte im Dezember 2020 54% der gesamten globalen Waferkapazität auf. Zu diesem Ergebnis kommt der Report „Global Wafer Capacity 2021-2025“ von IC Insights, der Analysen und Prognosen für die Wafer-Produktionskapazitäten der weltweiten Halbleiterindustrie anstellt. 2009 war es noch die gesamte Top 10 der Wafer-Kapazitätsführer, die einen Anteil von 54% an

der gesamten globalen Kapazität abdeckten.

Spitzenreiter im Waferaufwand ist Samsung mit 3,1 Mio. 200-mm-Äquivalenten Wafern pro Monat bzw. 14,7% der weltweiten Gesamtkapazität. Auftragsfertiger TSMC belegt im Ranking Platz 2, mit einer Kapazität von rund 2,7 Mio. Wafern pro Monat (13,1% der Gesamtkapazität). Die Speicherhersteller Micron, SK Hynix und Kioxia liegen im Ranking deutlich näher beisammen, mit einer benötigten Kapazität von je mindes-



**Global Wafer Capacity Report:** Samsung und TSMC verarbeiten fast 30% aller Wafer weltweit.

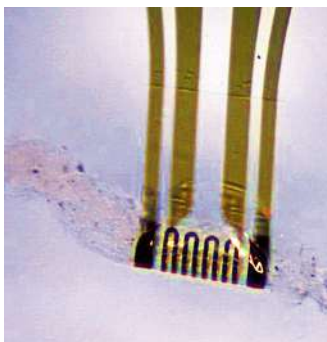
tens 1,5 Mio. Wafer-Starts pro Monat.

Die fünf größten Pure-Play-Foundries der Branche - TSMC, UMC, GlobalFoundries, SMIC und Powerchip (einschließlich Nexchip) - sind allesamt in den Top 12 anzutreffen. Insgesamt verfügten diese fünf Auftragsfertiger im Dezember 2020 über eine kombinierte Kapazität von etwa 5,1 Mio. Wafern pro Monat, was etwa 24% der weltweiten Kapazität entspricht. // SG

IC Insights

NEUROMEDIZIN

## Adaptive Mikroelektronik kann sich selbstständig verformen



**Adaptive Mikroelektronik:** Dank Sensoren und künstlicher Muskeln im Mikrobereich kann künftige Mikroelektronik komplexe Formen annehmen.

Mit einer flexiblen und adaptiven Mikroelektronik lassen sich neue biomedizinische Anwendungen umsetzen. Grundlage für die Anwendungen bildet eine 0,5 mm breite und 0,35 mm lange Polymerfolie als Träger für die mikroelektronischen Komponenten. Ein Team der TU Chemnitz und des Leibniz-Instituts IFW in Dresden hat eine adaptive Mikroelektronik entwickelt, die sich mit mikroskopisch kleiner künstlicher Muskeln verformt und dank Sensoren an dynamische Umgebungen anpasst. Sensorsig-

nale werden durch elektrische Verbindungen an einen Mikrocontroller geleitet, ausgewertet und die Steuersignale für die künstlichen Muskeln erzeugt. Wesentlich dafür ist die Integration von Form- oder Positionssensoren in Kombination mit Mikro-Aktuatoren. Dazu wird die adaptive Mikroelektronik in einem sogenannten monolithischen Wafer-Scale-Prozess hergestellt. Das sind flache Unterlagen, die aus Silizium oder Glas bestehen können. Durch die monolithische Fertigung können

viele Bauteile gleichzeitig auf einer Unterlage parallel hergestellt werden. Das ermöglicht eine schnelle und zugleich kostengünstigere Fertigung.

Die Bewegung und Verformung der adaptiven Mikroelektronik erfolgt mit künstlichen Muskeln, den sogenannten Aktuatoren. Sie erzeugen durch den Ausstoß oder die Absorption von Ionen eine Bewegung und können so beispielsweise die Polymer-Folie verformen. // HEH

TU Chemnitz

## LEITPROJEKT 6G

## Terahertz-Kompetenz entwickeln



Bild: Fraunhofer IIS/Karoline Glasow

**Projektleiter Bernhard Niemann:**  
„Autonomes oder automatisiertes erfordert sehr hohe Datenraten.“

Zu Jahresbeginn 2021 startete die Fraunhofer-Gesellschaft das Projekt 6G SENTINEL. Mit dem Leitprojekt wollen die Forscher Schlüsseltechnologien für den kommenden Mobilfunkstandard 6G entwickeln. In das Projekt involviert sind fünf Institute, die unter Leitung des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS ihre Kompetenzen bündeln. Dabei im Fokus die Terahertz-Technologien und daraus abgeleitete Anwendungen für

flexible Netze. 6G soll eine höhere Leistungsfähigkeit in puncto Spitzendurchsatz und Anwenderdatenrate, Zuverlässigkeit und Latenz sowie Energieeffizienz und Lokalisierungs Genauigkeit bieten.

Mit den Terahertz-Frequenzen ab 100 GHz sind hohe Datendurchsätze möglich. Dazu sind Funkkanalmodelle und Link-Level-Simulatoren für Frequenzen zwischen 100 und 300 GHz notwendig. Neben Hardware ist es Software, mit der die Netze entsprechend der Anwendung und aktuellen Betriebsituation flexibler werden soll. Grundlage ist ein modulares und softwarebasiertes Kernnet für sichere und vertrauenswürdige Komponenten, die Integration neuartiger Zugangs- und Backhaulnetze und eine KI-basierte Netzautomatisierung. // HEH

Fraunhofer-Gesellschaft

## GLOBALFOUNDRIES INVESTIERT IN DRESDEN

## Doppelte Waferproduktion

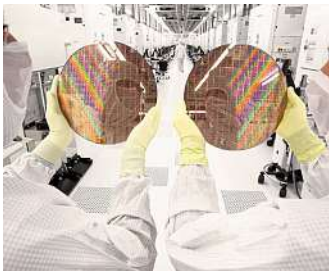


Bild: Globalfoundries

**Milliardeninvestition:** Bis 2025 will Globalfoundries die jährliche Produktion in Dresden mehr als verdoppeln.

Globalfoundries plant, die Waferproduktion in Dresden bis 2025 von 400.000 bis 2025 auf eine Million pro Jahr zu steigern. Branchenbeobachter schätzen, dass hierfür eine Investition von mehr als 1 Mrd. Milliarde Euro nötig sein dürfte.

Bei diesen Plänen spekuliert das Unternehmen auch auf staatliche Zuwendungen. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie hat bereits die wei-

tere Vorbereitung eines „Important Project of Common European Interest“ (IPCEI) im Bereich von Mikroelektronik und Kommunikationstechnologien angekündigt. Damit sollen Pläne befördert werden, in Europa allermodernste Fertigungsstätten für Halbleiter entstehen zu lassen. Medienberichten zufolge habe Globalfoundries nach Gesprächen mit der Bundesregierung bereits aus dem IPCEI-Mikroelektronik-2.0-Programm einen dreistelligen Millionenbetrag erhalten und damit die Fabrik in Dresden aufgerüstet.

Die Coronakrise hat vor allem den Chipbedarf an Halbleitern für Consumerprodukte, Rechenzentren und Telekommunikation hochschnellen lassen. Hinzu kommen Trendmärkte wie 5G und künstliche Intelligenz.// SG

Globalfoundries

**JETZT ANMELDEN!**

**PRAXIS FORUM** Elektrische Antriebstechnik

23.–24. Juni 2021

13734

## Neue Impulse für Ihre Anwendung

Renommierte Referenten aus Wissenschaft und Industrie vermitteln komplexes Wissen und aktuelle Erkenntnisse.

[www.praxisforum-antriebstechnik.de](http://www.praxisforum-antriebstechnik.de)

Eine Veranstaltung von **ELEKTRONIK PRAXIS**

einer Marke der **VOGEL COMMUNICATIONS GROUP**

## TECH-WEBINARE

[www.elektronikpraxis.de/webinare](http://www.elektronikpraxis.de/webinare)

### Industrielle Netzwerke: robust und intelligent aufbauen

Immer mehr Funktionen, eine geringere Latenzzeit und ein robuster EMV-Schutz für eine lange Haltbarkeit auch in rauen Betriebsumgebungen: Dies alles sind Anforderungen, die moderne industrielle Kommunikationsnetzwerke stellen.

Im kostenlosen On-Demand-Webinar

- erfahren Sie mehr über die Grundlagen von industriellen Netzwerken,
- bekommen Sie Tipps für den Aufbau robuster und sicherer Netzwerke, welche die Herausforderungen der Protokollübertragung meistern,
- lernen Sie aktuelle, digital isolierte Transceiver-Lösungen kennen und
- Sie erfahren, welche Verbesserungen bei der Isolierung und der Leistung die neuesten isolierten RS-485- und CAN-Transceiver aufweisen.

**Durch das Seminar führt Sie:** Joachim Baumm, Semitron

## WHITEPAPER

[www.elektronikpraxis.de/whitepaper-elektronik](http://www.elektronikpraxis.de/whitepaper-elektronik)

### Lösungen für Isolation und Stromversorgung

[www.elektronikpraxis.de/wp-43935/](http://www.elektronikpraxis.de/wp-43935/)

### Custom-SoCs schaffen Mehrwert für IoT und Industrie 4.0

[www.elektronikpraxis.de/wp-43581/](http://www.elektronikpraxis.de/wp-43581/)

### Host-Memory-Buffer für SSDs implementieren

[www.elektronikpraxis.de/wp-43875/](http://www.elektronikpraxis.de/wp-43875/)

### Wie Luftfeuchte vor Elektrostatik und Viren schützt

[www.elektronikpraxis.de/wp-43413/](http://www.elektronikpraxis.de/wp-43413/)

### Moderne Rechenzentren effizient und sicher betreiben

[www.elektronikpraxis.de/wp-43812/](http://www.elektronikpraxis.de/wp-43812/)

## VERANSTALTUNGEN

[www.elektronikpraxis.de/event](http://www.elektronikpraxis.de/event)

### Technologietag Leiterplatte

08. - 09. Juni 2021, Würzburg

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

### 19. EMS-Tag

10. Juni 2021, Würzburg

[www.ems-tag.de](http://www.ems-tag.de)

### Praxisforum Elektrische Antriebstechnik

23. - 24. Juni 2021, Würzburg

[www.praxisforum-antriebstechnik.de](http://www.praxisforum-antriebstechnik.de)

### Anwenderkongress Steckverbinder

05. - 07. Juli 2021, Würzburg

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

### FPGA-Conference Europe

06. - 08. Juli 2021, München

[www.fpga-conference.eu](http://www.fpga-conference.eu)

### Batterie Praxis

13. - 14. Juli 2021, Würzburg

[www.batterie-praxis.de](http://www.batterie-praxis.de)

## SEMINARE

[www.b2bseminare.de](http://www.b2bseminare.de)

### Embedded Machine Learning

19. März 2021, digital

[www.b2bseminare.de/1112](http://www.b2bseminare.de/1112)

### Steckverbinder, das Rückgrat der Elektronik

22. - 23. März 2021, digital

[www.b2bseminare.de/1105](http://www.b2bseminare.de/1105)

### C++11 und C++14

14. - 16. April 2021, Leipzig

[www.b2bseminare.de/115](http://www.b2bseminare.de/115)

### Embedded Linux Woche

14. - 18. Juni 2021, Würzburg

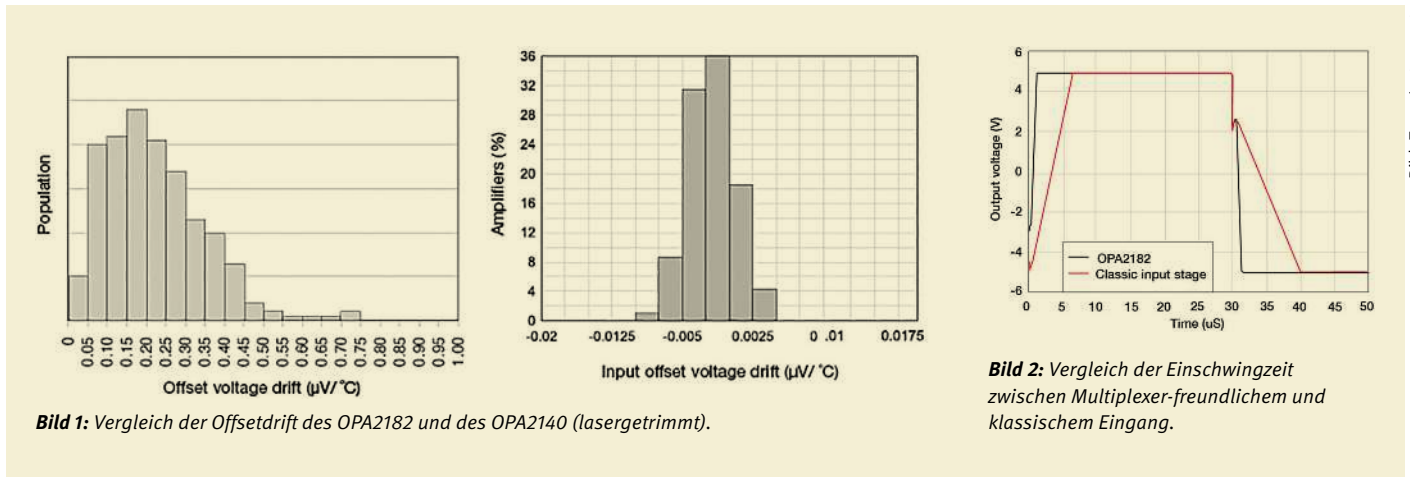
[www.b2bseminare.de/160](http://www.b2bseminare.de/160)

### Partner und Veranstalter:



# Wie Sie Signalkettenfehler mit Chopper-Verstärkern kompensieren

EVAN SAWYER \*



**Bild 1:** Vergleich der Offsetdrift des OPA2182 und des OPA2140 (lasergetrimmt).

**Bild 2:** Vergleich der Einschwingzeit zwischen Multiplexer-freundlichem und klassischem Eingang.

Bild: Texas Instruments

Als Chopper-Verstärker bezeichnet man eine bestimmte Art von Zero-Drift-Operationsverstärkern, die dank ihres inneren Aufbaus eine sehr niedrige Offsetspannung aufweisen. Nullpunktfehler, Drift, Gleichtaktunterdrückung (CMMR), Netzstörunterdrückung (PSRR) und Leerlaufspannungsverstärkung (Aol) sind deshalb sehr gering.

Ein weiterer Vorteil der Topologie mit Chopper-Verstärkern ist das flach verlaufende  $1/f$ -Rauschen und Flicker-Rauschen. Chopper-Verstärker eignen sich folglich hervorragend für Anwendungen, die von DC bis in den zweistelligen Kilohertz-Bereich nach hoher Genauigkeit verlangen.

Eine Herausforderung beim Design präziser Signalketten ist das Minimieren der vom ADC-Treiber und vom Referenz-Puffer hervorgerufenen Offsetfehler. Das Kalibrieren der Offsetspannungs-Drift bei der Produktion ist jedoch schwierig und teuer, da hierfür entweder die Systemtemperatur variiert oder eine Kalibrierschleife hinzugefügt werden muss, was den Platzbedarf und den Bauteileaufwand erhöht.



\* Evan Sawyer  
... arbeitet als Product Marketing Engineer SAR ADC bei Texas Instruments in Tucson / USA.

Sparen kann man sich diesen Aufwand durch einen Chopper-Verstärker, dessen Offsetdrift prinzipbedingt gering ist.

## Chopper-Verstärker und Seebeck-Effekt

Leider steht der neuen Generation von Chopper-Verstärkern der Seebeck-Effekt im Weg, der sie daran hindert, bei der Offsetdrift noch bessere Werte zu erreichen. Unter dem Seebeck-Effekt versteht man die Entstehung eines elektrischen Potentials durch ein Temperaturgefälle in einer elektrischen Schaltung. In einem Verstärker, der sich während des Betriebs erwärmt, kommt es naturgemäß zu einem solchen Gefälle zur Umgebungstemperatur. Dieser Effekt wird noch verstärkt, wenn entlang des Signalpfads von den externen Pins bis zum Verstärkern unterschiedliche Metalle eingesetzt werden.

In Anbetracht dieser Einschränkungen hat TI umfangreiche Experimente mit verschiedenen Werkstoffen durchgeführt und fand eine Materialkombination, die in den Baustein OPA2182 eingeflossen ist, der über den vollen Temperaturbereich von  $-40$  bis  $125$  °C eine maximale Offsetdrift von  $12$  nV/°C aufweist. In Bild 1 ist die Offsetdrift des OPA2182 der des OPA2140 (ohne Chopper-Architektur) gegenübergestellt.

Eine weitere Herausforderung beim Design von Präzisions-Signalketten besteht darin,

für ein schnelles und präzises Einschwingen des Signals am Eingang des ADC zu sorgen. Besonders schwierig ist dies, wenn sich zur Platz- und Kostenersparnis ein Multiplexer am Beginn der Signalkette befindet. Hier kann sich das Eingangssignal des ADC-Treibers sprunghaft ändern, wenn von einem Kanal zum anderen umgeschaltet wird. Bei vielen Verstärkern befinden sich zu Schutzzwecken antiparallele Dioden zwischen den Eingängen, weshalb bei einem sprunghaftem Eingangssignal ein Strom von einem Eingang zum anderen fließen kann. Dieser Strom fließt durch den Multiplexer und die Signalquelle und bewirkt ein verzögertes Einschwingverhalten.

Um diesem Effekt entgegenzuwirken, wurden Bausteine wie der OPA2182 mit multiplexerfreundlichen Eingängen versehen. Man verzichtet hier auf antiparallele Dioden, sodass keine unerwünschten Ströme zwischen Signalquelle und Multiplexer fließen. Bild 2 vergleicht die Einschwingzeit der MUX-freundlichen Eingänge mit der einer klassischen Eingangsstufe.

Mit ihren verbesserten Offsetdrift-Eigenschaften und ihren multiplexerfreundlichen Eingängen können Chopper-Verstärker wie der OPA2182 das Design präziser Signalketten deutlich vereinfachen. // KR

Texas Instruments



*Mitten im 8000-Seelen-Städtchen Thief River Falls entsteht aktuell das neue Distributionszentrum von Digi-Key: Auf 204.000 Quadratmetern werden ab Mitte 2021 über 100.000 Komponenten zum Versand bereitstehen. Die maximalen Lagerkapazitäten sind weit größer.*

# Vom elektronischen Morse-Keyer zum Weltkonzern

*Wie zwei Schulfreunde aus Minnesota aufbrechen, die Welt zu erobern.  
Eine Geschichte über Offenheit, Mut, Idealismus und Vertrauen –  
und eine Portion Glück.*



Bild: Digi-Key

Rede ist von Digi-Key, einem der weltgrößten Distributoren für elektronische Komponenten, und den Schulfreunde Dr. Ron Stordahl und Mark Larson.

*„Being in the distribution center, you can feel the pulse of the company. You can sense the productivity. It's just like a well-oiled machine, that's serving our customers. And it's just a strong feeling, that you're a part of something that's much bigger than any one person and it's a very, very, very cool feeling.“*  
(Originalstatement Mark Larson)

Google, Apple, Microsoft - von der Garage zur Weltfirma ist das viel beschworene Narrativ der Firmengründungen. Diese Geschichte von Digi-Key ist anders. Es ist keine Erfolgsgeschichte im klassischen Sinne, sondern ein Weg mit Etappensiegen, verbunden mit manch' glücklichem Zufall. Die ersten unternehmerischen Schritte des Elektroingenieurs Ron und des Betriebswirtschaftlers Mark waren eher planlos zu nennen. Wahrscheinlich hätte jeder Start-Up-Coach die Hände über dem Kopf zusammenschlagen: Wo ist der Business Plan? Ziele, Meilensteine, Visionen? Fehlanzeige. Wie also konnte sich das 1972 gegründete Unternehmen erfolgreich einen Platz im heiß umkämpften Weltmarkt der Distributoren sichern? Wie gelang es, sich zwischen (damals) rund 400 Konkurrenten zu behaupten?

## Rückkehr mit einem Digi-Keyer im Gepäck

Thief River Falls, 1972: Ron Stordahl kehrt nach seiner Doktorarbeit in den Ort seiner Jugend zurück. Zuhause wartet die LKW-Spedition seiner Eltern. Dort sollte er eigentlich tätig werden. Ron aber ist durch und durch Ingenieur. Im Gepäck hat er Digi-Keyer, elektronische Morse-Keyer-Kits. Keine bahnbrechende Erfindung, aber eine Geschäftsidee aus der Studentenzeit und ein Stück Hoffnung auf finanzielle Unabhängigkeit. Um das Kit, das vielleicht aus 20 Elektronikkomponenten besteht, möglichst preisgünstig an Amateurfunker zu verkaufen, hatte Ron von jedem einzelnen Bauteil große Mengen abgenommen. Aber der Abverkauf der Keyer-Kits läuft trotz einer gewissen Popularität nicht wie gedacht. Weder während des Studiums noch in Thief River Falls. Ron bleibt auf einem Großteil sitzen. Was nun? Ron erkennt, dass der Bedarf nach den elektronischen Komponenten größer ist als nach dem fertigen Digi-Keyer-Kit. Also beschließt er, stattdessen die elektronischen Bauteile zu verkaufen. Typisch Ron – aufgeben gibt es nicht. Nur: Wohin mit den Teilen und wie an den Kunden bringen? Ohne Mit-

arbeiter oder Lagermöglichkeiten? Zufälligerweise gibt es in Thief River Falls eine Firma namens „Marcraft“. Das Ein-Mann-Unternehmen, gegründet von Mark Larson, ist ausgerichtet auf den Vertrieb von Sprechanlagen und Sicherheitssystemen. Mark und Ron kennen sich aus der Schule. Gibt es vielleicht einen freien Lagerplatz? Zufällig ist eine Ecke frei. Ron mietet den Raum – und gewinnt nicht nur einen Platz, sondern einen Freund und Mitstreiter. Mark, ein Denker und Stratege, hilft Ron mit Rat und Tat beim Aufbau seiner Firma. Die beiden ergänzen sich. Nach vier Jahren liegt der Umsatz bei rund 800.000 Dollar und 14 Angestellte arbeiten für die junge Firma. Ein Unternehmen ist geboren. Digi-Key. Wir schreiben das Jahr 1976. Mark wird zum Geschäftsführer. Das war der Anfang – aber das war noch nicht Digi-Key, wie wir es heute kennen. Vom Digi-Keyer wird nur der Name bleiben.

## Ein Pionier im Bauelemente-Kataloggeschäft

Thief River Falls 1973: Der kleine Ort und seine Bewohner können zusehen, wie das junge Unternehmen Schritt für Schritt wächst. Noch ist kein Businessplan vorhanden. Der sollte erst einige Jahre später abgesegnet werden. Noch segelt die junge Crew, das Ruder in der Hand, getrieben von Strömungen und dem festen Willen, nicht unterzugehen, durch das Wellental der Gründungszeit. Zwei Kapitäne, ein Boot – meist sind sich die beiden jungen Männer in ihrem Handeln einig.

Zu diesem Zeitpunkt steht vor allem die strategische Ausrichtung des Unternehmens im Mittelpunkt der Überlegungen: Sollten sie weiterhin eher Kunden im Hobbybereich ansprechen oder sich doch mehr auf Ingenieure und professionelle Produktentwickler fokussieren?

Das junge Unternehmen geht das Risiko ein und trifft die Entscheidung, auch Ingenieure und ein breiteres Verbraucherpublikum anzusprechen. Mark und Ron schalten die ersten Anzeigen in Elektronik-Fachmagazinen – und erreichen damit eine neue Kundschaft. Größere Stückzahlen, eine größere Bandbreite an Produkten, ein höheres Wachstumspotential – ohne es geplant zu haben, wird Digi-Key zum Pionier im Direktmailing-Kataloggeschäft.

Nach der strategischen Ausrichtung steht nun das nächste Problem vor der Tür. Mark versucht fieberhaft, Hersteller davon zu überzeugen, Digi-Key als Distributoren zu nutzen. Noch bis zu seinem Ruhestand 2015 wird CEO Mark Larson rund 50 Prozent seiner

**K**ennen Sie Thief River Falls? Wahrscheinlich nicht. Es ist ein winziger Punkt auf dem Globus, ein Ort ganz im Nordwesten der USA im Bundestaat Minnesota. Die kanadische Grenze ist gerade einmal 110 Kilometer entfernt. Viele Wiesen, Felder, weites, flaches Farmland und zwei Flüsse, die sich kreuzen. 8000 Einwohner. Im Winter liegt unendlich viel Schnee, Tiefsttemperaturen bis zu -30 Grad. Die Koordinaten: 48° 7' N, 96° 11' W.

In diesem beschaulichen Städtchen steht ein 65.000 Quadratmeter großes Distributionszentrum. Daneben entsteht gerade ein neues Gebäude: 204.000 Quadratmeter. Fertigstellung Mitte 2021. Beide Gebäude sind Zeugnis einer Firmengeschichte, die in den 1970er Jahren ihren Anfang nahm und sich zu einer der großen Erfolgsgeschichten der Elektronikbranche entwickelte. Eine Geschichte, getragen von Offenheit, Neugier, Mut, Idealismus und gegenseitigem Vertrauen zweier Männer aus Thief River Falls. Die



Bild: Digi-Key

**Sie hatten gute Schulnoten, ein tadelloses Benehmen und engagierten sich in gemeinnützigen Projekten:** Die Schüler Mark Larson (li.) und Ron Stordahl (re.) waren 1961 Mitglieder in der National Honor Society (NHS).



**Thief River Falls liegt 110 Kilometer entfernt von der kanadischen Grenze im Nordwesten des Bundesstaats Minnesota:** Seinen Namen hat der Ort durch den Zusammenfluss des Thief River (links von der Brücke) und des Red Lake River. Digi-Key ist DER Hauptarbeitgeber für die Menschen des Ortes und der Region.

Bild: Digi-Key

Zeit mit dem Aufspüren von Herstellern und dem Aushandeln von Verträgen verbringen. Heute liefern mehr als 1200 Hersteller ihre Waren an den Distributor. Aber wer wollte damals schon mit diesen Newcomern zusammenarbeiten? Zu klein, zu unbekannt, zu wenig erfahren. Die einen hatten kein Vertrauen. Die anderen, größere Distributoren, wollten sich den Markt nicht weiter teilen und versuchen, Digi-Key von Anfang an aus dem Spiel zu halten.

## Mit Panasonic-Kondensatoren in die Zukunft

Und wieder kommt der Zufall ins Spiel. Diesmal in Person eines Kunden, der sich eigentlich für Marks Produkte interessiert. Mark arbeitet nach wie vor für sein eigenes Unternehmen Marcraft. Er führt den Kunden schließlich in den Bereich der Halle, wo Ron Räume angemietet hat. Gerade stellen zehn Mitarbeiter Bestellungen fertig. Wenn Ron

**1960**



Bild: Digi-Key

**Ron Stordahl:** Er ist Präsident des ‚Radio Club at Lincoln High School‘. (im Kreis)

**1968**



Bild: Digi-Key

**Der Digi-Keyer:** Kein Verkaufsschlager, aber die Grundlage der Firmengründung.

**1972**



Bild: Digi-Key

**Hier fängt alles an:** Ron mietet einen Raum bei Mark Larsons Firma „Marcraft“.



einverstanden sei, meint der Kunde, könne er einen Kontakt zu Panasonic herstellen. Here we go! Noch am Abend bestellt Ron Elektrolytkondensatoren. Der Deal zwischen Panasonic und Digi-Key ist besiegelt. Es wird eine Win-Win-Situation für beide. Panasonic hat zu diesem Zeitpunkt kaum Kunden in den USA. Das sollte sich mit Digi-Key ändern. Und Digi-Key wird innerhalb von zehn Jahren der weltweit größte Distributor für elektronische Komponenten von Panasonic. Damit ist die strategische Ausrichtung klar. Jetzt haben auch andere Hersteller keinen Zweifel mehr an Digi-Key als potenten Distributor.

Bild: Digi-Key



**Mark Larson inmitten vieler Digi-Key-Versandpakete:** Der Firmengründer war von 1976 bis 2015 Geschäftsführer von Digi-Key. Anfangs stand er dem Gründer Dr. Ron Stordahl als Berater zur Seite. Mit seiner neuen Rolle als CEO war er maßgeblich für die strategische Ausrichtung des Unternehmens verantwortlich.

## Flugzeuge über den Dächern von Thief River Falls

Thief River Falls in den 1990ern: Der kleine Ort unweit der kanadischen Grenze wird immer mehr zur internationalen Drehscheibe eines prosperierenden Unternehmens. Durch seine Expansion steht inzwischen die ganze Welt vor den Toren des Städtchens. Zunächst beliefert Digi-Key Canada. Es folgten Japan, Anfang des neuen Millenniums dann erst England und schließlich ganz Europa, weiter Asien. Lange Lieferwege, Lieferungen in wenigen Stunden, schneller als die Konkurrenz zu sein – das war eine der großen Herausforderung, die Ron und Mark schon in den frühen Jahren zu bewältigen hatten. Bereits in den 1980ern kooperiert der Distributor mit den Giganten der Lieferlogistik, die das gleiche Ziel haben: schnell und zuverlässig sein. Die meisten Distributoren verschiffen zu jener Zeit die weltweit bestellten Waren. Digi-Key geht andere Wege.

Thief River Falls hat bereits einen Flughafen. Diesen nützt Digi-Key als Knotenpunkt für die Auslieferung von Paketen durch UPS, DHL und FedEx. Riesige Transportmaschinen starten und landen mit dröhnenden

Motoren täglich in Thief River Falls, dem 8000-Seelen-Ort! Mit dem Flughafen ist Digi-Key seiner Konkurrenz mindestens eine Nasenlänge voraus.

## Von analog zu digital – der Weg zum Olymp

Während Ron bereits in den frühen 80er Jahren überwiegend im Tagesgeschäft involviert ist, erweist sich Mark in seiner Funktion als Geschäftsführer als kluger Strategie. Über die Jahre beweist er frühzeitig ein sicheres

Gespür für Veränderungen, reagiert zum richtigen Zeitpunkt und schafft so mit der Firma den radikalen Wandel von analog zu digital. Immer in Absprache und mit Zustimmung seines Kompagnons. Früher versendete das Unternehmen bis zu 3000-seitige Bestellkataloge, die mehr als 30.000 Produkte präsentierten.

Was damals Post und Telefon waren, sind heute E-Mail und Internet. Aktuell gehen mehr als 3,7 Millionen Internetbestellungen pro Jahr bei Digi-Key ein. Schon 1996 starte-

**1988**



Bild: Digi-Key

**Order Picking:** Die Anfänge des Kommissionier- und Fullfillment-Systems von Digi-Key.

**90er**



Bild: Digi-Key

**Legendär:** Die 3000-Seiten-Kataloge gehörten viele Jahre zur Grundausstattung im Elektroniklabor.

**1996**



Bild: Digi-Key

**Diese Seite ging 1996 online:** Die Webseite für den deutschsprachigen Raum startete 2003.



Bild: Digi-Key

**Seit 2015 leitet Dave Doherty die Geschicke des Weltkonzerns:** Er ist seit 2008 bei Digi-Key und kennt die Herausforderungen sowie die Kultur des Unternehmens bestens. Er lebt ganz und gar für die Maxime des Unternehmens – Enabling the World's Ideas!



Bild: Digi-Key

**Gretchen Trosen arbeitet als „Picker“ (Kommissioniererin) bei Digi-Key:** Sie sucht die Bestellungen aus dem Lager und macht sie versandfertig. 99,9 Prozent der Bestellungen verlassen noch am Tag des Bestelleingangs die Distributionshalle von Digi-Key.

te die Firma mit der ersten Website. Heute sind es 44 nationale Webseiten, die in 16 Sprachen übersetzt werden und 26 verschiedene Währungen akzeptieren. Das ist heute. Tatsächlich aber stand der erste Computer schon kurz nach der Gründung auf einem Schreibtisch. Per Zufall eigentlich. Aber das ist eine andere Geschichte...

„Over the years, as the company has grown from a very small to a nice sized company today, change sometimes came very fast, very dramatic. But this is a company culture, that has embraced change“ (Originalstatement Marc Larson)

## Die Mission: Enabling the World's Ideas

Blicken wir zurück auf den Anfang der Geschichte: 150 unterschiedliche Komponenten waren die Grundlage für einen Welterfolg. Heute hat Digi-Key etwa 2,2 Millionen Elektronikkomponenten von über 1500 Lieferanten aus dem Sortiment, die innerhalb weniger Stunden vor der Tür des Kunden liegen. Während Konkurrenten oft mit dezentralen Distributionsstrategien arbeiten, setzt Digi-Key von Beginn an mehr als jeder andere auf zentrale Lagerhaltung für ein möglichst breites Produktportfolio.

Digi-Key, das Führungsteam und die Mitarbeiter bleiben über die Jahre am Puls der Branche, reagieren auf wechselnde Bedürfnisse und machen so ein überaus breites Spektrum an Elektronikkomponenten verfügbar. Digi-Key offeriert heute dreimal mehr Komponenten als durchschnittliche Distributoren. Die Bedürfnisse, Projekte und Innovationen der Kunden standen und stehen bis heute im Mittelpunkt des Unternehmens. Digi-Key will der Welt helfen, ihre Ideen zu verwirklichen. Dabei spielt auch die Stückzahl der bestellten Ware keine Rolle. Wenn nur ein Stück benötigt wird, dann wird eben

**2008**



**So sah 2008 der Deutsche Katalog aus:** Der letzte deutschsprachige Katalog wurde 2011 ausgeliefert.

**2016**



**Stephen Anderson:** Einer der heute mehr als 4000 Mitarbeiter im Logistikzentrum.

**2017**



**Grundsteinlegung:** Spatenstich für eine massive Erweiterung des Produktvertriebszentrums.

nur ein Stück versendet. Bestellvolumina, auf die sich die Konkurrenz oft gar nicht einlässt. Enabling the World's Ideas!

„If you can't find a particular component at Digi-Key then the part doesn't exist, or it's not worth designing in.“ (Originalstatement Dave Doherty)

## Digi-Key: Großfamilie mit mehr als 4000 Mitarbeitern

Thief River Falls ist Digi-Key. Digi-Key ist Thief River Falls. Heute arbeitet ein Großteil der Einwohner täglich bei Digi-Key. Im Laufe der Jahre entstand eine Verbundenheit und Identifikation, wie sie kaum ein anderes Unternehmen dieser Größe vorzuweisen hat. Der Ort erlebte die Geburtsstunde der Firma, ihren Aufstieg – Stepp by Stepp: Der erste Digi-Keyer-Bausatz. Der erste Lagerraum in einer Garage. Ein Versandhauskatalog. Das digitale Zeitalter mit dem Internet. 2015 der Wechsel von Mark Larson zu Dave Doherty. Die einzige Konstante in dieser wechselvollen Geschichte sind die Menschen und die einzigartige Kultur in Thief River Falls, Minnesota. Begriffe wie „Ehrlichkeit“, „Fairness“, „Liebe zur Qualität“, „Engagement für den Kunden“, „Verantwortung“ skizzieren diese Kultur. Sie stehen nirgendwo geschrieben, an keiner Wand, nicht im Eingangsbereich oder sonst wo. Diese Werte und die Wertschätzung waren von Anfang an da – einfach da. Thief River Falls war und ist ein kleiner Ort geblieben, familiär, vertraut. Wer heute die Türen des Konzerns öffnet, spürt diesen Geist. Jedes Kind kennt das Logo.

„At Digi-Key, people truly are a differentiator. Every day, we show up for one another, for our customers and in our community. There is a real compassion for others and a shared commitment to enabling others to succeed.“ (Originalstatement Dave Doherty)

Bild: Digi-Key



**Stolz halten Dr. Ron Stordahl (li.) und Mark Larson eine Auszeichnung der Universität von Minnesota in den Händen:** Das Institute for Diversity, Equity and Advocacy (IDEA) zeichnet ehem. Absolventen der Universität für ihr Lebenswerk aus.

Von Kindheit und Jugend an waren Ron und Mark tief verwurzelt und glaubten mit großer Leidenschaft an die Stadt und ihre Menschen. Aus ihren bescheidenen Anfängen heraus haben sie ein sicheres Gespür für die Bedürfnisse der Kunden bewiesen. All das hat sich ausgezahlt – für sie und die Firma. Mehr als 4000 Mitarbeiter und ein für 2021 erwarteter Jahresumsatz von 3,4 Milliarden US-Dollar (eine Verdoppelung seit 2015) lassen keinen Zweifel aufkommen.

Von Rons ursprünglicher Idee bis zur schrittweisen Entwicklung, die von Mark geleitet wurde, waren die beiden wie junge

Entdecker auf einer Reise zum Erfolg und zu grenzenlosen Möglichkeiten. Das Unternehmen ist der kleinen Stadt kurz vor der kanadischen Grenze immer treu geblieben.

Heute lenken Präsident Dave Doherty und sein Führungsteam die Geschicke des Konzerns mit Blick über die weite Prärie und die Dächer einer Stadt, in der sich zwei Flüsse kreuzen. Digi-Key hat die Welt erobert und dabei nie die Erdung verloren. 2022 wird das Unternehmen 50 Jahre alt. Thief River Falls und die Welt werden es feiern. //JW

Digi-Key

**2019**



**Blick in die Logistikhalle:** Mehr als 3 Mrd. USD Umsatz und mehr als 5,3 Millionen Aufträge pro Jahr.

Bild: Digi-Key

**2020**



**Winter in Thief River Falls:** Schneemobile sind Standardausrüstung, Temperaturen fallen bis -30 °C.

Bild: Digi-Key

**2021**



**Distributionshalle:** Mitte 2021 empfängt eine neue Halle Mitarbeiter und Kunden von Digi-Key.

Bild: Digi-Key



Bild: ©phomamaipphoto - stock.adobe.com

**RS 485 kurz erklärt:** Die Schnittstelle RS 485 ist in der Automatisierungstechnik immer noch sehr stark verbreitet. Wir beantworten häufig gestellte Fragen.

# Sieben Tipps zur Isolation in RS-485-Anwendungen

*Die Schnittstelle RS 485 wurde für serielle Hochgeschwindigkeitsbusse für die Datenübertragung über große Entfernungen entwickelt und ist in der Automatisierungstechnik stark verbreitet. Tipps für die Praxis.*

ANTHONY VIVIANO UND VIKAS THAWANI \*



\* Anthony Viviano  
... ist Product Marketing Engineer Isolation bei Texas Instruments in Dallas / USA.



\* Vikas Thawani  
... ist System Engineer Isolation bei Texas Instruments in Bangalore / Indien.

In diesem Beitrag beantworten wir häufig gestellte Fragen im Zusammenhang mit RS-485-Transceivern. Die Antworten geben sieben wertvolle Tipps zur Isolation von Signal- und Stromversorgungs-Leitungen in RS-485-Anwendungen.

**1. Wann muss ich einen RS-485-Bus isolieren?** Die Isolation unterbindet unerwünschte Gleich- und Wechselströme zwi-

schenden verschiedenen Systemkomponenten, während Signale und die Stromversorgung gleichzeitig durchgelassen werden. In der Regel dient die Isolation dazu, Personen oder Bauelemente vor gefährlichen Spannungen und Stromstößen zu schützen.

Sie unterbindet aber auch Masseschleifen, zu denen es bei der Kommunikation zwischen weit entfernten Knoten häufig kommt.

Durch die Isolation ist auch die Kommunikation zwischen Knoten möglich, deren Massepotenziale deutlich weiter differieren als vom RS-485-Standard empfohlen.

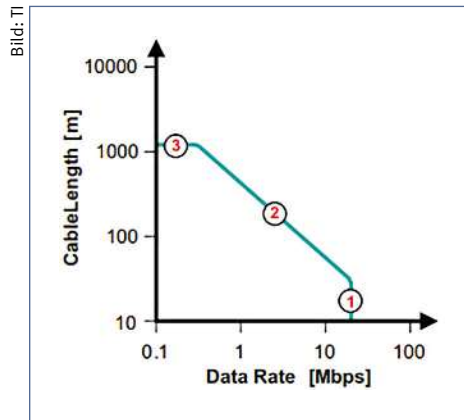
**2. Wie viele Knoten lassen sich mit einem RS-485-Bus verbinden?** Um die maximale Anzahl an Buslasten zu berechnen, spezifiziert der RS-485-Standard den hypothetischen Begriff der Einheitslast (Unit Load, UL), die für eine Impedanz von ca. 12 kΩ steht. Gemäß dem Standard können an einen RS-485-Bus maximal 32 ULs angeschlossen werden.

Wie vielen UL ein Knoten entspricht, wird als ungünstigstes Verhältnis zwischen Eingangsspannung und Leckstrom berechnet:  $UL = (U_{in} / I_{Leck})_{max}$ . Daraus lässt sich die maximal mögliche Zahl der Knoten ableiten: Knotenzahl = 32 / UL.

Die meisten isolierten Bus-Transceiver entsprechen einer Einheitslast von einem Achteil, sodass maximal 256 Knoten an einem RS-485-Bus zulässig sind.

**3. Wie hängen Übertragungsrate und Länge bei einem isolierten RS-485-Bus zusammen?** Übertragungsrate und Übertragungsdistanz stehen in umgekehrtem Verhältnis zueinander, wobei die genaue Beziehung vom Widerstand und der Induktivität der Leitung abhängt. Für die zuverlässige Kommunikation über die gewünschte Entfernung ist die Leitung daher ebenso entscheidend wie die Transceiver.

In Bild 1 ist Region 3 derjenige Bereich, in dem die maximale Distanz erreicht wird, während in Region 2 die erwähnte inverse Beziehung zwischen Datenrate und Distanz gilt. In Region 1 schließlich sind die Übertragungsverluste vernachlässigbar und die maximale Datenrate wird durch die Anstiegs- und Abfallzeiten des Treibers bestimmt. Auch wenn der RS-485-Standard maximal



**Bild 1:** Zusammenhang zwischen Übertragungsrate und Kabellänge.

10 MBit/s empfiehlt, sind mit der heutigen Technik bis zu 50 MBit/s möglich.

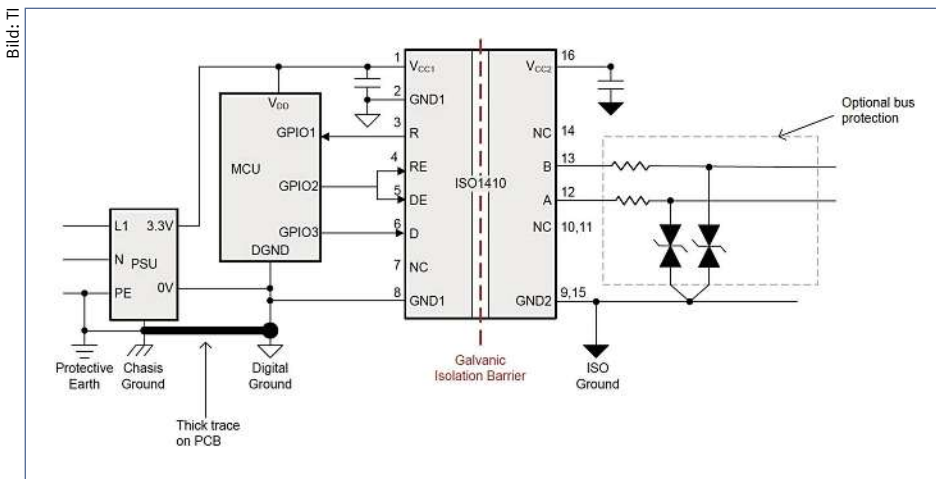
**4. Was versteht man unter „Fail-Safe Biasing“?** Der Empfängerausgang muss laut RS-485-Standard bei einer differentiellen Eingangsspannung ( $U_{ID}$ ) von mehr als 200 mV einen High-Status haben, während bei weniger als -200 mV der Low-Status vorliegen muss.

**Fail-Safe Biasing: Wann entstehen ungültige Zustände?**

In drei Fällen kann ein ungültiger Ausgangszustand entstehen:

- Unterbrochene Verbindung zum Bus
- Kurzschluss auf dem Bus
- Kein aktives Treibersignal auf dem Bus (Idle)

$U_{ID}$  wäre in allen Fällen 0 V, und ein nicht „fail-safe“, also nicht ausfallsicher ausgelegter Empfänger hätte ein nicht definiertes Ausgangssignal. Durch Fail-Safe Biasing (mithilfe eines Widerstandsnetzwerks) wird eine differentielle Spannung auf den nicht



**Bild 2:** Isolierte RS-485-Halbduplex-Transceiver mit optionalen Bauelementen zum Schutz des Busses.



VOLLER EINSATZ,  
RUNDUM  
GESCHÜTZT

Produkte aller Sicherheitsbereiche aus einer Hand, schnell und zuverlässig geliefert.

- PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG
- MASCHINENSICHERHEIT
- BETRIEBSSICHERHEIT
- ELEKTRISCHE SICHERHEIT



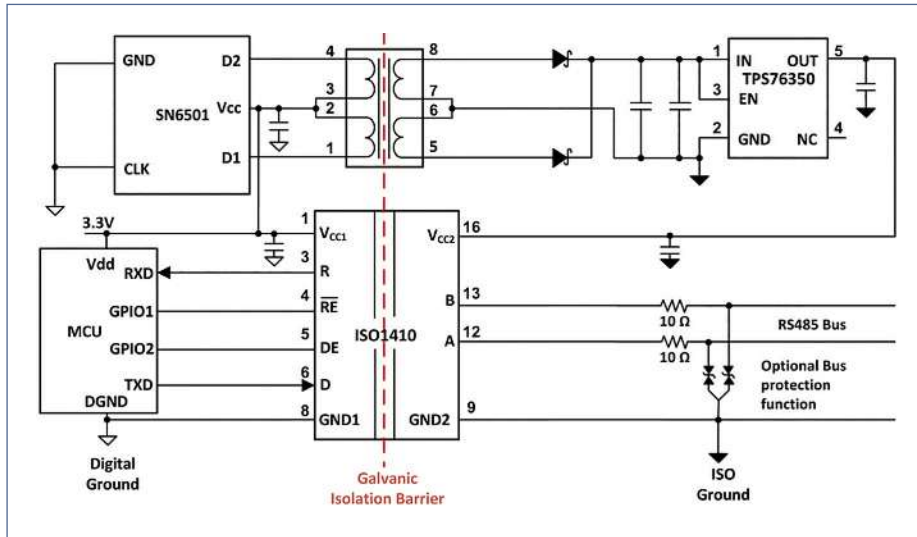


Bild 3: Isolierte Stromversorgung für den ISO1410 mit dem SN6501.

aktiv angesteuerten Bus gelegt, damit die Empfänger einen High-Status haben.

Ohne Fail-Safe Biasing könnten die Abschlusswiderstände die Busspannung auf 0 V absenken, was einen inkorrekten Ausgang oder ein oszillierendes Signal zur Folge haben kann. Implementieren lässt sich das Fail-Safe Biasing, indem man einen RS-485-Transceiver durch ein Widerstandsnetzwerk ergänzt.

Bei vielen isolierten RS-485-Transceivern ist das Fail-Safe Biasing bereits integriert, um die drei eben angeführten Situationen abzudecken. Diese Funktion muss daher bei diesen Bausteinen nicht mit externen Schaltungen implementiert werden.

**5. Wann ist ein Abschluss für den RS-485-Bus erforderlich, und welche Vor- und Nachteile hat er für das System?** In den meisten RS-485-Anwendungen werden Abschlusswiderstände, die dem Wellenwiderstand des Kabels entsprechen, verwendet, um Signalreflexionen zu vermeiden. Abschlusswider-

stände sollten Sie an jedem Ende einer RS-485-Leitung anordnen, selbst wenn das Netzwerk bei sehr kurzen Kabeln auch ohne Abschlusswiderstände einwandfrei funktionieren würde.

Obwohl die in den Widerständen entstehenden Gleichstromverluste nachteilig sind, überwiegen in den meisten Anwendungen die Vorteile.

**6. Welche Art von Schutz vor Störgrößen ist bei isolierten RS-485-Bauelementen erforderlich? Welcher Schutz bei einem isolierten RS-485-Bauelement benötigt wird, hängt von der Art der Störungen ab, die im System zu erwarten sind, und welcher Schutz erforderlich ist. Handelt es sich um elektrostatische Entladungen (ESD), elektrisch schnelle Transienten (EFT) oder um Stoßspannungen? Viele isolierte RS-485-Transceiver haben an den Bus-Anschlüssen der Transceiver eingebaute Schutzvorkehrungen gegen Störgrößen gegen das isolierte gleitende Massepotential.**

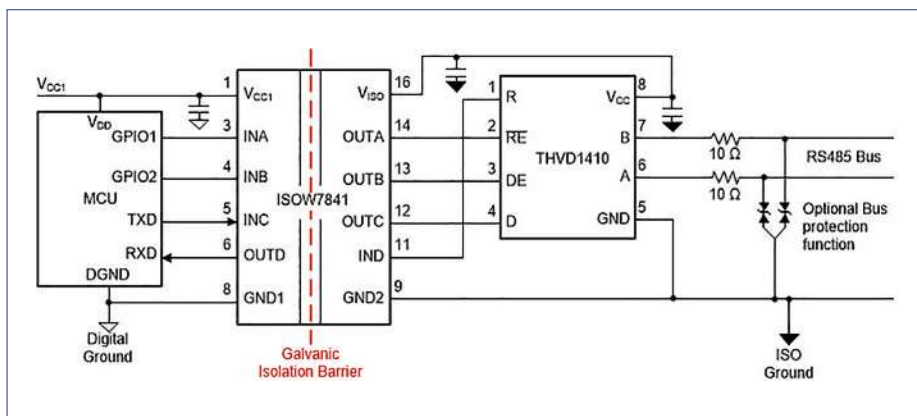


Bild 4: RS-485-Lösung mit Signal- und Stromversorgungs-Isolation auf Basis des ISOW7841.

Abgesehen davon kann bei ordnungsgemäßem System-Design die Isolationsbarriere genutzt werden, um diesen Störgrößen eine hohe Impedanz entgegenzustellen.

### Schutz vor Störungen: ESD, EFT und Stoßspannung

Sind bei einem System keine differenziellen Störgrößen zu erwarten und werden alle Störungen gegen Masse des Endgeräts getestet, lässt sich durch Verbinden des Schutzleiters (PE) mit der Logikseite des isolierten Transceivers dafür sorgen, dass alle mit hoher Spannung einhergehenden Störgrößen an der Isolationsbarriere entstehen. Mit dieser Maßnahme können Sie auf externe Bauelemente wie etwa TVS-Dioden oder impulsfeste Widerstände verzichten.

Bild 2 illustriert diese Techniken für einen verbesserten Schutz vor Störgrößen am Beispiel des ISO1410.

**7. Wie lässt sich eine isolierte Stromversorgung für einen isolierten RS-485-Knoten bereitstellen? Welches die beste Möglichkeit ist, eine isolierte Stromversorgung für einen isolierten RS-485-Knoten zu implementieren, hängt von der jeweiligen Anwendung ab.**

Eine Variante besteht darin, einen Transformator treiber wie den SN6501 zu verwenden, der im Push-Pull-Betrieb mit einem Übertrager und einem optionalen, gleichrichtenden LDO auf der Sekundärseite arbeitet (Bild 3).

Dieser Transformator treiber liefert eine isolierte Leistung bis zu 1,5 W. Dank seiner Flexibilität eignet er sich für nahezu beliebige Anwendungen, bei denen der Übertrager und das Windungsverhältnis gemäß den Isolationsanforderungen und der Ausgangsspannung für die Stromversorgung gewählt werden können.

Für Leistungen bis 5 W lässt sich anstelle des SN6501 der SN6505 einsetzen. Der SN6505 bietet zusätzlich Schutzfunktionen wie Überlastungs- und Kurzschlusschutz, Übertemperatur-Abschaltung, Softstart und eine Anstiegsraten-Steuerung mit, sodass sich eine robuste Lösung realisieren lässt.

Als weitere Möglichkeit für Anwendungen mit beengten Platzverhältnissen eignet sich die Bauelementfamilie ISOW78xx, die im SOIC-16-Gehäuse mit Signal- und Stromversorgungs-Isolation aufwartet (Bild 4). Dieser Transformator treiber lässt sich mit einem nicht-isolierten RS-485-Transceiver kombinieren. Diese Kombination ist kompakt gestaltet, kommt ohne Übertrager aus und schafft die Voraussetzungen für eine einfache Zertifizierung.

Texas Instruments

# Nutzenaufbau fertigungsgerecht gestalten: Ritzen und Fräsen

DR. CHRISTOPH BUDELMANN \*

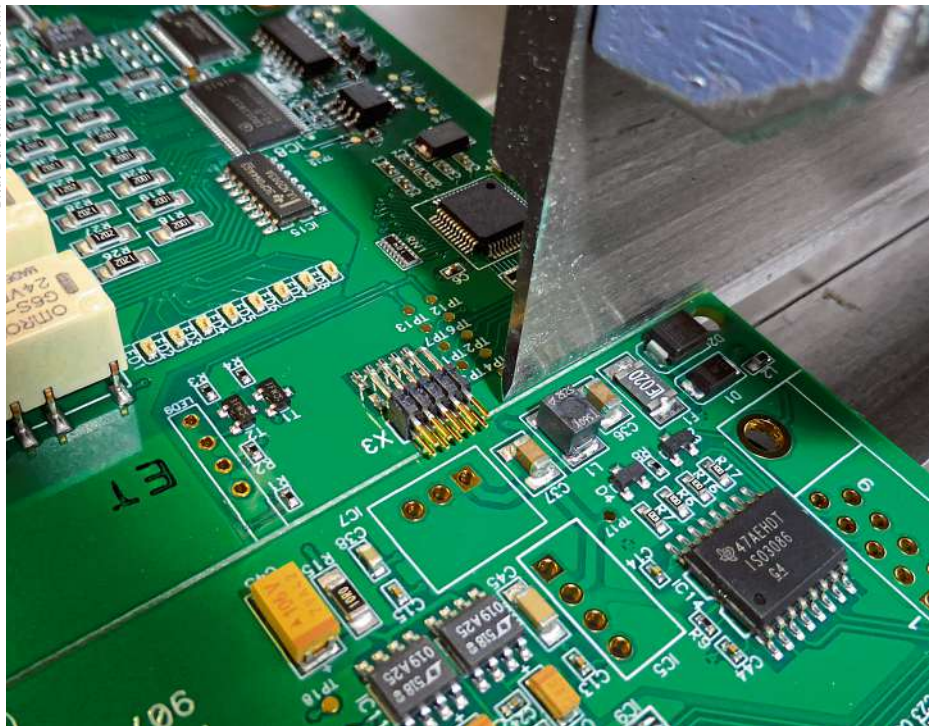
**A**uch wenn Entwicklung immer das Potential von Fehlern beinhaltet – so mancher Konflikt zwischen Fertigungs- und Entwicklungsabteilung wäre vermeidbar. Den Klassiker kennen Sie wahrscheinlich: Das Platinen-Design ist endlich fertig, der Kunde (oder das Produktmanagement) macht Druck. Jetzt heißt es, noch schnell den Nutzen zusammenbauen und alles schnellstmöglich in die Leiterplattenfertigung geben. Nach einigen Wochen kommt der Anruf aus der Fertigung: Wie man sich das denn gedacht hätte von wegen Nutzentrennung. Die ganze Charge sei fertig und die Nutzen nur mit großem Aufwand zu trennen, weil THT-Bauteile im Randbereich überstehen und das Messer des Nutzentrenners nicht durchkommt. Der Zeitplan ist dahin und die geplanten Kosten können auch nicht eingehalten werden.

Drei kleine Kniffe beim Leiterplatten-Design können dieses und ähnlich gelagerte Probleme vermeiden und so die Qualität der fertigen Baugruppe erhöhen:

**1. Minimierung der mechanischen Beanspruchung einzelner Bauteile:** Insbesondere beim Ritzen (V-Scoring) wirken mechanische Beanspruchungen auf die Leiterplatte ein, selbst wenn professionelle Nutzentrenner zum Einsatz kommen. Besonders gefährdet sind keramische Kondensatoren, deren Beschädigung zudem nur sehr schwer zu erkennen ist. Der oft empfohlene Abstand von mindestens 5 mm zur Leiterplatten-Außenkante ist gerade bei miniaturisierten Baugruppen häufig nur schwer zu realisieren. Um die Biegebeanspruchung zu minimieren, sollten Sie die Bauelemente parallel zur Außenkante ausrichten. Kleinere Bauformen sind weniger stark von den Biegebelastungen betroffen als größere.

**2. Die passende Methode zur Baugruppentrennung wählen:** Bei kleinen Leiterplatten ist das Ritzen nicht nur wegen der Bruch-

Bild: Budelmann Elektronik



**Leiterplatten-Design:** Vielfältige Beschädigungen von Bauelementen und Leiterplatten können beim Ritzen und Fräsen der Nutzen auftreten, wenn man beim Platinen-Design nicht aufpasst.

gefahr von Kondensatoren und potentieller Haarrisse in Lötstellen kritisch, auch die Toleranzen sind beim Ritzen relativ groß (typisch 0,2 bis 0,3 mm). Deshalb passen sehr kleine Leiterplatten nicht unbedingt mehr in sehr eng tolerierte Gehäuse. In solchen Fällen sollten Sie auf eine fräsende Bearbeitung setzen, für die aber unter Umständen eine kostenintensive Halterung notwendig ist.

**3. Dicke der Leiterplatte passend wählen:** 1,5 mm starke Leiterplatten mit Ritzungen und/oder Ausfräsungen bereiten in Schablonendruckern und Bestückungsautomaten meist keine Probleme, sofern ausreichend Support-Pins gesetzt werden. Bei dünneren Leiterplatten mit Ritzungen oder Ausfräsungen leidet die Stabilität aber merkbar. Dies kann sowohl beim Pastendruck als auch bei der Bestückung zu Problemen führen: Diese rangieren vom Zerbrechen des Nutzens bis hin zu schlecht gesetzten Bauteilen, weil der Bestückungsautomat von einer planen Flä-

che und nicht von durchhängenden Leiterplatten ausgeht und Bauteile praktisch zu früh abbläst.

Beim Wellenlöten können aber auch bereits 1,5 mm dicke Leiterplatten mit schweren Bauteilen und (vielen) Ritzungen längs zur Durchlaufrichtung zu Problemen führen, da das Epoxydharzgefüge des häufig eingesetzten FR4 TG130 Leiterplattenmaterials ab Erreichen des  $T_g$ -Wertes weich und elastisch wird. Entsprechend besteht die Gefahr, dass der Nutzen durchhängt, was durch einen Mittentransport oder zusätzliche Hochhalter beim Wellenlöten aufwendig (und damit teuer) kompensiert werden muss.

**Fazit:** Fertigungsprozesse müssen Sie bereits in der Entwicklungsphase bis zum Ende mitdenken. Das vermeidet kostenintensive Arbeitsschritte und macht die Produktionsplanung effizienter. // KR



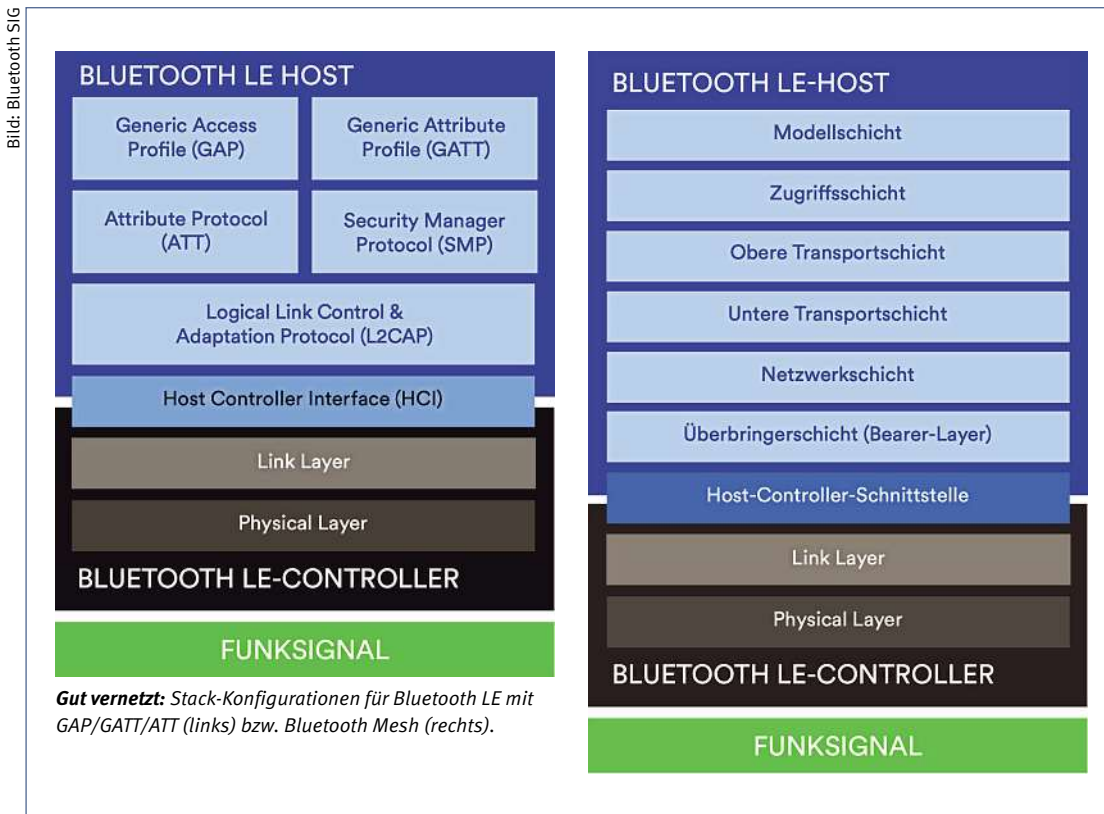
\* Dr. Christoph Budelmann  
... ist Geschäftsführer von Budelmann Elektronik in Münster und Lehrbeauftragter für industrielle Elektronikfertigung an der Hochschule Rhein-Waal.

Budelmann Elektronik

# Bluetooth für die Funkübertragung von IoT-Anwendungen nutzen

*Bluetooth verbindet Milliarden Endgeräte zuverlässig per Funk – und kommt immer häufiger auch in IoT-Anwendungen zum Einsatz. Dafür muss die Technik robuste Übertragungsmechanismen verwenden.*

MARTIN WOOLLEY \*



einen Empfänger daher mehrmals aus unterschiedlichen Richtungen erreichen. Kopien eines Signals, die einen anderen Weg genommen haben, kommen dann zu leicht unterschiedlichen Zeiten beim Empfänger an. Diese Laufzeitdispersion verursacht unter Umständen eine Intersymbolinterferenz (ISI).

## Signalstärke und Frequenzspektrum

Drittens: Die Signalstärke. Sie kann nicht nur zu schwach ausfallen, sondern auch zu stark. Dann übersättigt das Signal einen Funkempfänger. Die Folge: Fehler beim Versuch, das empfangene Signal zu dekodieren. Je schwächer ein Signal ist, desto näher kommt sein Pegel an das Hintergrundrauschen heran. Dann kann die im übertragenen Signal enthaltene

**S**chnell, sicher, ohne Informationsverluste: Die Anforderungen an Datenübertragungen sind klar. Auf den ersten Blick erfüllen analoge Funksignale sie nicht so gut. Trotzdem funktioniert Bluetooth auf dieser Basis – auch in industriellen Einsatzbereichen. Der Grund dafür ist eine intelligent abgestimmte Kaskade von Technologien. Sie gewährleisten eine hohe Zuverlässigkeit bei geringem Installations- und Energieaufwand. Damit Funkkommunikati-

on zuverlässig funktioniert, müssen vier Probleme gelöst werden. Erstens: Es können Kollisionen auftreten, wenn zwei zeitlich und örtlich überschneidende Übertragungen aufeinander treffen und sich gegenseitig stören. Die digitalen Datenbits werden für die Übertragung in analoge Symbole umgewandelt und nacheinander auf dem ausgewählten Funkkanal gesendet. Die Symbolrate bestimmt, wie kurz die Umschaltzeit von einem Symbol zum nächsten ist. Mit der Dauer der Übertragung steigt die Wahrscheinlichkeit einer Kollision.

Zweitens: Funksignale können wie Licht von Oberflächen reflektiert oder beim Durchgang durch Objekte gebrochen werden. In Kommunikationssystemen kann ein Signal

Information nicht mehr fehlerfrei dekodiert werden. Viertens: Verschiedene Funktechniken nutzen den gleichen Teil des Frequenzspektrums. So verwenden beispielsweise Bluetooth, WLAN oder Technologien mit dem IEEE 802.15.4-Standard alle das 2,4-GHz-ISM-Band. Dann kann schnell ein Koexistenz-Problem entstehen: Ohne geeignete Abhilfemaßnahmen stört eine Technik die andere. Wenn dagegen ein einziges Gerät zwei oder mehr Funktechniken unterstützt, spricht man von Kollokation. Hier können sich die Frequenzen gegenseitig überlagern.

Die Bluetooth-Kommunikation funktioniert trotz dieser potenziellen Schwierigkeiten sehr gut. Das liegt am Design des Bluetooth-Kommunikationssystems und daran,



\* Martin Woolley  
... ist Senior Developer Relations  
Manager der Bluetooth Special  
Interest Group.



wie es Funksignale und Protokolle verwendet. Entscheidend für die Zuverlässigkeit ist, wie genau sich Funksignale als Träger für digitale Daten nutzen lassen. Im Bluetooth-Stack ist hierfür der Physical Layer (PHY) zuständig.

### Hohe Zahl von Funkkanälen im eingesetzten Spektrum

Die Datenkommunikation über Bluetooth Low Energy (LE) verwendet nicht einen Funkkanal, sondern 40. Das macht die Bluetooth-Kommunikation auch in stark frequentierten Funkumgebungen zuverlässig, in denen Kollisionen und Interferenzen wahrscheinlich sind. Das von Bluetooth verwendete 2,4-GHz-ISM-Übertragungsband umfasst den Frequenzbereich zwischen 2400 MHz und 2483,5 MHz. Für Bluetooth LE ist dieser Frequenzbereich in diese 40 Kanäle unterteilt, die jeweils 2 MHz breit sind. Bei Bluetooth BR/EDR wird er in 80 Kanäle mit 1 MHz Breite aufgeteilt. Jeder Kanal ist nummeriert, beginnend bei Kanal Null. Er hat eine Mittenfrequenz von 2402 MHz. Zwischen der untersten Frequenz, die den Kanal Null begrenzt, und dem Beginn des 2,4-GHz-ISM-Bands bleibt so eine Lücke von 1 MHz. Kanal 39 hat eine Mittenfrequenz von 2480 MHz und lässt damit eine Lücke von 2,5 MHz bis zum Ende des 2,4-GHz-ISM-Bands.

### Spezielle Techniken verringern Kollisionsgefahr

Bluetooth mindert das Risiko von Kollisionen mithilfe von Spreizspektrumtechniken. Wenn zwei Geräte miteinander verbunden sind, wird eine spezielle Technik namens „Adaptive Frequency Hopping“ (AFH) verwendet. Ein Algorithmus wählt einen Funkkanal aus der Menge der verfügbaren Kanäle aus. Jedes Gerät in der Verbindung wechselt dann auf den ausgewählten Kanal. Im Laufe der Zeit findet die Kommunikation über einen häufig wechselnden Satz verschiedener Kanäle statt, die über das 2,4-GHz-Band verteilt sind. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit von Kollisionen deutlich reduziert.

In bestimmten Umgebungen funktionieren einige Bluetooth-Funkkanäle möglicherweise etwa aufgrund von Interferenzen schlechter als andere Kanäle. Die Liste der zuverlässigen und unzuverlässigen Kanäle kann sich dabei mit der Zeit verändern, wenn andere drahtlose Kommunikationsgeräte hinzukommen oder verschwinden. Das primäre Gerät in einer Verbindung besitzt eine Kanalkarte, die jeden gut funktionierenden Kanal als genutzt oder ungenutzt klassifiziert. Diese Kanalkarte wird mit dem zweiten Gerät unter Verwendung eines Link-Layer-Verfahrens

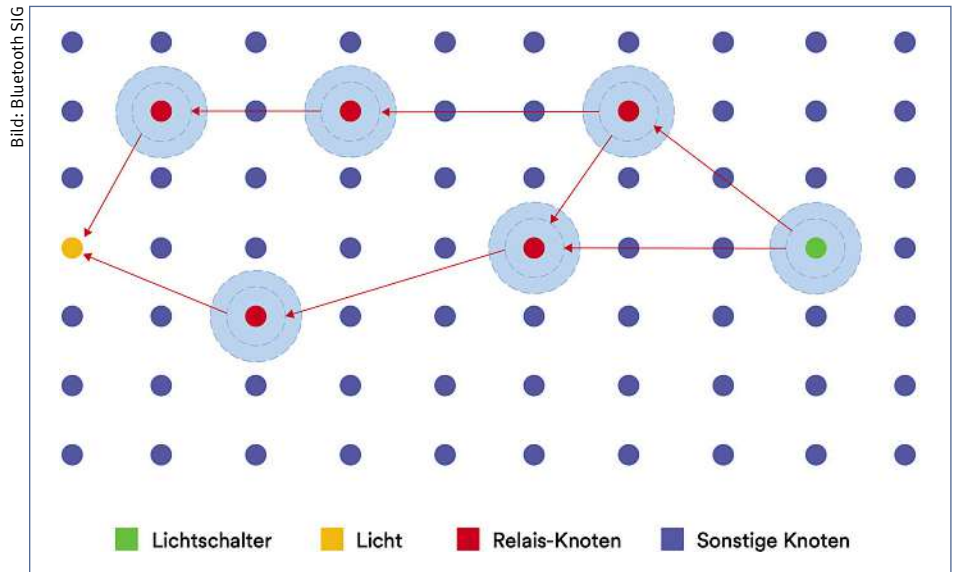


Bild 1: Mehrpfad-Zustellung mit Hilfe von Relais.

ausgetauscht. Dann verfügen beide über die gleichen Informationen.

Wenn ein Gerät erkennt, dass sich die Zuverlässigkeit positiv oder negativ verändert hat, aktualisiert es die Kanalkarte. Durch das Teilen dieser Aktualisierungen mit dem zweiten Gerät stellt Bluetooth sicher, dass immer die optimalen Kanäle zum Einsatz kommen.

### Routinierte Prüfung auf Übertragungsfehler

Alle Bluetooth-Pakete enthalten zudem am oder kurz vor ihrem Ende ein Feld für die zyklische Redundanzprüfung (Cyclic Redundancy Check, CRC). Das ist ein gängiges Verfahren, um unbeabsichtigte Übertragungsfehler, etwa aufgrund von Kollisionen, zu erkennen. Wenn ein neues Paket zusammengestellt wird, wird im Link Layer ein CRC-Wert errechnet und ihm hinzugefügt. Der Link Layer im Empfängergerät berechnet den CRC-Wert ebenfalls und vergleicht das Ergebnis mit dem im Paket enthaltenen Wert. Liegt keine Übereinstimmung vor, wird das Paket verworfen.

Für die Nutzung der Funksignale bietet Bluetooth LE drei Alternativen, die Teil des Physical Layers sind: LE 1M (Symbolrate 1 Msym/s), LE 2M (Symbolrate 2 Msym/s) und LE Coded (Symbolrate 1 Msym/s mit Vorwärtsfehlerkorrektur). Der LE Coded PHY erhöht die Empfindlichkeit des Empfängers. Damit wird eine Bitfehlerrate von 0,1 % erst dann erreicht, wenn sich der Empfänger in einem größeren Abstand zum Sender befindet, als dies beim LE 1M PHY der Fall wäre. LE Coded PHY kommt mit einem Parameter namens S zum Einsatz, der entweder auf 2 oder 8 eingestellt ist. Bei S=2 verdoppelt LE

Coded in etwa den Bereich, über den die Kommunikation zuverlässig verläuft. Bei S=8 erhöht sich die Reichweite ungefähr um das Vierfache. LE Coded PHY erreicht zuverlässige Kommunikation bei größeren Entfernungen nicht durch eine höhere Übertragungsleistung, sondern die Aufnahme zusätzlicher Daten in jedes Paket. So lassen sich Fehler erkennen und mit Hilfe der Vorwärtsfehlerkorrektur beseitigen. Die erhöhte Reichweite ist jedoch mit einer Verringerung der Datenrate verbunden, wobei S=2 noch 500 Kb/s und S=8 noch 125 Kb/s bereitstellt.

### Zuverlässigkeit in industriellen Mesh-Netzwerken

Bluetooth LE bietet die schnellste Funkverbindung der drahtlosen Low-Power-Kommunikationstechnologien mit einer Bluetooth-Mesh-Symbolrate von 1 Msym/s. Bluetooth-Pakete sind damit typischerweise halb so groß und viermal schneller als bei anderen drahtlosen Low-Power-Mesh-Netzwerktechnologien. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit von Kollisionen deutlich reduziert. Ein TTL-Feld ermöglicht es außerdem, die Anzahl der Weiterleitung einer Nachricht zu steuern, so dass die Frequenznutzung auf relevante Teile des Netzwerks beschränkt wird. Mit Bluetooth ist eine äußerst zuverlässige Kommunikation auch unter schwierigen Bedingungen möglich. Denn das System wurde entwickelt, um Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Darüber hinaus haben Designer und Entwickler zahlreiche Optionen, die Zuverlässigkeit ihrer Produkte und Anwendungen weiter zu optimieren. // ME

Bluetooth SIG

# So funktioniert das Serial Peripheral Interface

Das Serial Peripheral Interface (SPI) gehört zu den meistverwendeten Schnittstellen für die Kommunikation zwischen Mikrocontrollern und Peripherie-ICs. So lässt es sich optimal einsetzen.

PIYU DHAKER \*

Das Serial Peripheral Interface (SPI) gehört zu den meistverwendeten Schnittstellen für die Kommunikation zwischen Mikrocontrollern und Peripherie-ICs wie etwa Sensoren, ADCs, DACs, Schieberegistern, SRAMs usw. Der vorliegende Artikel gibt zunächst eine kurze Beschreibung der SPI-Schnittstelle und stellt anschließend die SPI-fähigen Schalter- und Multiplexer-Produkte von Analog Devices vor, bevor es abschließend darum geht, wie diese Bausteine dazu beitragen können, beim Design von System-Leiterplatten mit weniger digitalen GPIO-Leitungen (General Purpose Input Output) auszukommen.

SPI ist eine synchrone, vollduplexfähige Schnittstelle auf Basis des Master-Slave-Prinzips. Die vom Master bzw. Slave kommenden Daten werden zur steigenden oder fallenden Taktflanke synchronisiert. Master

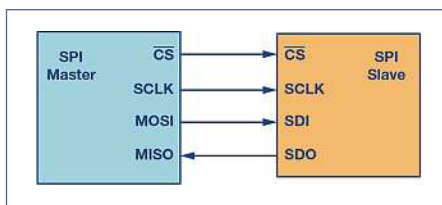


Bild 1: SPI-Konfiguration mit Master und Slave.

und Slave können gleichzeitig Daten senden. Obwohl die SPI-Schnittstelle drei- oder vieradrig implementiert werden kann, konzentriert sich dieser Artikel auf die populäre vieradrige Variante.

Bauelemente mit vieradrigem SPI-Interface verwenden die vier Signale Takt (Clock) (SPI CLK, SCLK), Chip Select (CS), Master Out, Slave In (MOSI) und Master In, Slave Out (MISO). Als Master fungiert derjenige Bau-

stein, der das Taktsignal erzeugt. Die zwischen Master und Slave übertragenen Daten werden zu dem vom Master generierten Takt synchronisiert. SPI-Bausteine unterstützen deutlich höhere Taktfrequenzen als I<sup>2</sup>C-Schnittstellen. Die Taktfrequenz-Spezifikation der SPI-Schnittstelle kann dem Datenblatt des jeweiligen Produkts entnommen werden.

Während es bei der SPI-Schnittstelle stets nur einen Master gibt, können einer oder mehrere Slaves vorhanden sein. Die SPI-Verbindungen zwischen Master und Slave sind in Bild 1 dargestellt. Das vom Master generierte Chip-Select-Signal dient der Auswahl des gewünschten Slave-Bausteins. Das Signal hat normalerweise Aktiv-Low-Status und wird auf High-Status gezogen, um den Slave vom SPI-Bus zu trennen. Sind mehrere Slaves vorhanden, muss vom Master für jeden Slave-Baustein ein eigenes Chip-Select-Signal erzeugt werden. In diesem Artikel hat das Chip-Select-Signal immer Aktiv-Low-Charakteristik. MOSI und MISO sind die Datenleitungen. Die MOSI-Leitung dient zur Übertragung von Daten vom Master zum Slave, die MISO-Leitung dagegen für Übertragungen vom Slave zum Master.

**Datenübertragung:** Zum Einleiten der SPI-Kommunikation muss der Master das Taktsignal senden und durch Freigabe des CS-Signals den gewünschten Slave auswählen. Da das Chip-Select-Signal in der Regel Aktiv-Low-Charakteristik hat, muss der Master dieses Signal auf logisch 0 setzen, um den Slave auszuwählen. Da es sich bei SPI um eine Vollduplex-Schnittstelle handelt, können Master und Slave gleichzeitig, nämlich über die MOSI- bzw. MISO-Leitung, Daten senden. Bei der SPI-Kommunikation werden

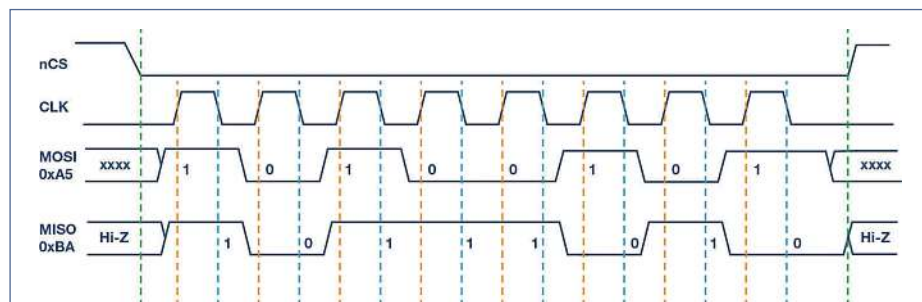


Bild 2: SPI-Modus 0, CPOL = 0, CPHA = 0: Idle-Status des Takts = Low, Daten werden bei der steigenden Flanke abgetastet und bei der fallenden Flanke ausgegeben.

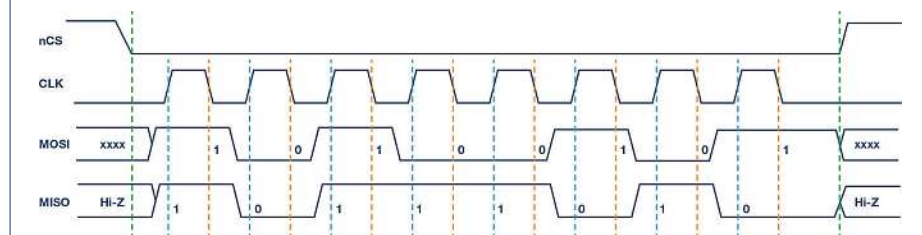


Bild 3: SPI-Modus 1, CPOL = 0, CPHA = 1: Idle-Status des Takts = Low, Daten werden bei der fallenden Flanke abgetastet und bei der steigenden Flanke ausgegeben.

Bild: Analog Devices



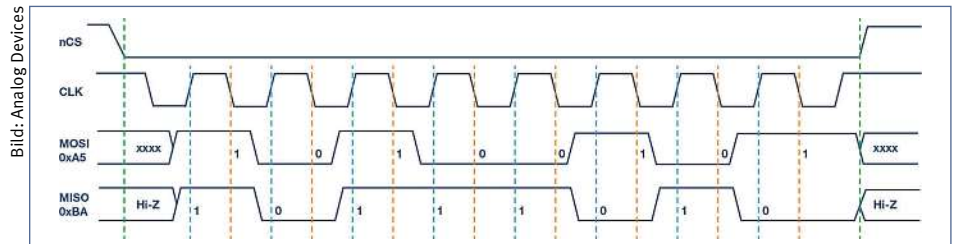
\* Piyu Dhaker  
... ist Applications Engineer in der North America Central Applications Group von Analog Devices.

die Daten gleichzeitig gesendet (d. h. seriell auf den MOSI/SDO-Bus ausgegeben) und empfangen (d. h. die Daten auf dem Bus – MISO/SDI – werden abgetastet bzw. eingelesen). Dabei synchronisieren die seriellen Taktflanken das Ausgeben und Abtasten der Daten. Bei der SPI-Schnittstelle bleibt es dem Anwender überlassen, ob die steigenden oder die fallenden Taktflanken zum Synchronisieren des Abtastens und/oder Ausgebens der Daten verwendet werden sollen. Das Datenblatt des jeweiligen Bausteins gibt Auskunft darüber, wie viele Datenbits mit der SPI-Schnittstelle gesendet werden.

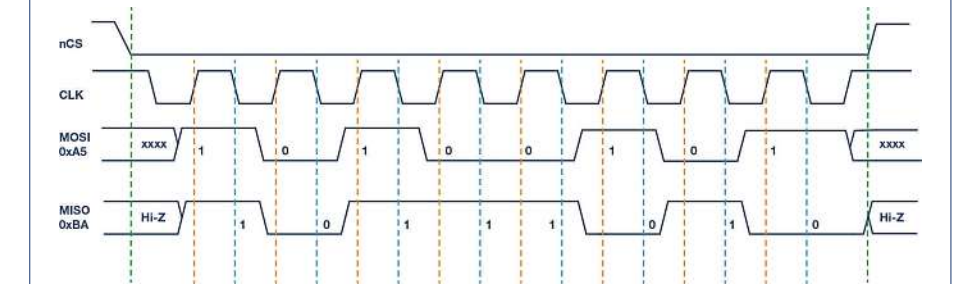
**Takt polarität und Taktphase:** Bei der SPI-Schnittstelle kann der Master Polarität und Phase des Takts bestimmen. Das CPOL-Bit legt die Polarität des Taktsignals im Idle-Zustand fest. Dieser ist als diejenige Zeitspanne definiert, wenn CS High-Status hat um am Beginn der Übertragung auf Low-Status wechselt bzw. wenn CS Low-Status hat und am Ende der Übertragung auf High-Status wechselt. Die Phase des Takts wird vom CPHA-Bit festgelegt. Je nach dem Status dieses Bits dient die steigende oder die fallende Taktflanke zum Abtasten und/oder Ausgeben der Daten. Der Master muss die Polarität und die Phase des Takts gemäß den Anforderungen des Slaves wählen. Je nach dem Status der Bits CPOL und CPHA stehen die vier in Tabelle 1 gezeigten SPI-Modi zur Auswahl.

In den Bildern 2 bis 5 sind Beispiele für die Kommunikation in den vier SPI-Modi dargestellt, wobei jeweils die Daten auf der MOSI- und der MISO-Leitung wiedergegeben sind. Beginn und Ende der Übertragung werden durch die gestrichelte grüne Linie gekennzeichnet, während die Abtastflanke orange und die Ausgabe-Flanke in blau dargestellt sind. Zu beachten ist, dass diese Abbildungen nur illustrierenden Charakter haben. Um eine erfolgreiche SPI-Kommunikation zu gewährleisten, sollte man als Anwender stets das jeweilige Datenblatt konsultieren und sich davon überzeugen, dass die Timing-Spezifikationen des verwendeten Bauelements eingehalten werden.

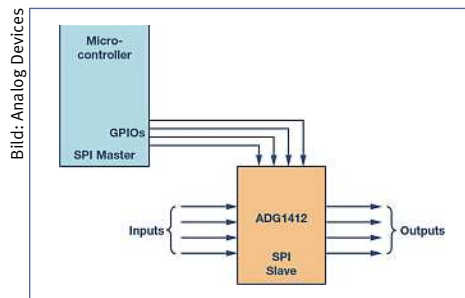
Bild 3 zeigt das Timing-Diagramm für den SPI-Modus 1. In dieser Betriebsart ist die Takt polarität 0, womit angezeigt wird, dass der Idle-Status des Taktsignals Low ist. Die Taktphase in diesem Modus ist 1, was bedeutet, dass die Daten bei der fallenden Flanke des Taktsignals abgetastet werden (markiert durch die gestrichelte orange Linie) und bei der steigenden Flanke ausgegeben werden (kenntlich gemacht durch die gestrichelte blaue Linie). In Bild 4 ist das Timing-Diagramm für den SPI-Modus 2 zu sehen. In



**Bild 4:** SPI-Modus 2, CPOL = 1, CPHA = 1: Idle-Status des Takts = High, Daten werden bei der fallenden Flanke abgetastet und bei der steigenden Flanke ausgegeben.



**Bild 5:** SPI-Modus 3, CPOL = 1, CPHA = 0: Idle-Status des Takts = High, Daten werden bei der steigenden Flanke abgetastet und bei der fallenden Flanke ausgegeben.



**Bild 6:** GPIO-Signale des Mikrocontrollers dienen als Steuersignale für den Schalter.

diesem Modus ist die Takt polarität 1, sodass der Idle-Status des Taktsignals High ist. Die Taktphase ist 1, sodass die Daten bei der fallenden Flanke des Taktsignals abgetastet werden (markiert durch die gestrichelte orange Linie) bei der steigenden Flanke ausgegeben werden (sichtbar an der gestrichelten blauen Linie). Das Timing-Diagramm für den SPI-Modus 3 ist in Bild 5 dargestellt. Auch in diesem Modus ist die Takt polarität 1, weshalb der Idle-Status des Taktsignals High ist. Die Taktphase in diesem Modus ist dagegen 0, was dazu führt, dass die Daten bei der steigenden Flanke des Taktsignals abgetastet werden (erkennbar an der gestrichelten orangen Linie) und bei der fallenden Flanke des Taktsignals ausgegeben werden (markiert durch die gestrichelte blaue Linie).

Es ist zulässig, mehrere Slaves mit einem SPI-Master zu verbinden. Der Anschluss der Slaves kann auf reguläre Weise oder auch im sogenannten Daisy-Chain-Modus erfolgen.

**Regulärer SPI-Modus:** Im regulären Modus muss eine eigene Chip-Select-Leitung von jedem Slave zum Master führen. Sobald das Chip-Select-Signal vom Master aktiviert (d. h. auf Low gezogen) wird, sind der Takt und die Daten auf den MOSI/MISO-Leitungen für den ausgewählten Slave verfügbar. Wären mehrere Chip-Select-Signale aktiviert, würden die Daten auf der MISO-Leitung verfälscht, denn der Master hat dann keine Möglichkeit festzustellen, von welchem Slave die Daten stammen. Mit der Zahl der Slaves nimmt auch die Zahl der vom Master ausgehenden Chip-Select-Leitungen zu. Dies kann die Zahl der am Master benötigten Ein- und Ausgänge stark erhöhen. Die Folge: Es lässt sich nur eine begrenzte Anzahl an Slaves nutzen. Im regulären Modus lässt sich die Zahl der Slaves mit verschiedenen Methoden erhöhen – etwa, indem man einen Multiplexer zum Erzeugen eines Chip-Select-Signals verwendet.

**Daisy-Chain-Methode:** Im Daisy-Chain-Modus werden die Slaves so konfiguriert, dass die Chip-Select-Signale aller Slaves miteinander verbunden und gemeinsam an den Master angeschlossen werden. Die Daten werden dabei von einem Slave zum nächsten weitergeleitet. In dieser Konfiguration empfangen alle Slaves gleichzeitig dasselbe SPI-Taktsignal. Die Daten werden vom Master direkt an den ersten Slave gegeben, der sie dann an den nächsten Slave weitergibt, usw. Dadurch ist die Zahl der erforderlichen Taktzyklen proportional zur Position des jeweiligen Slave in der Kette. In einem 8-Bit-System

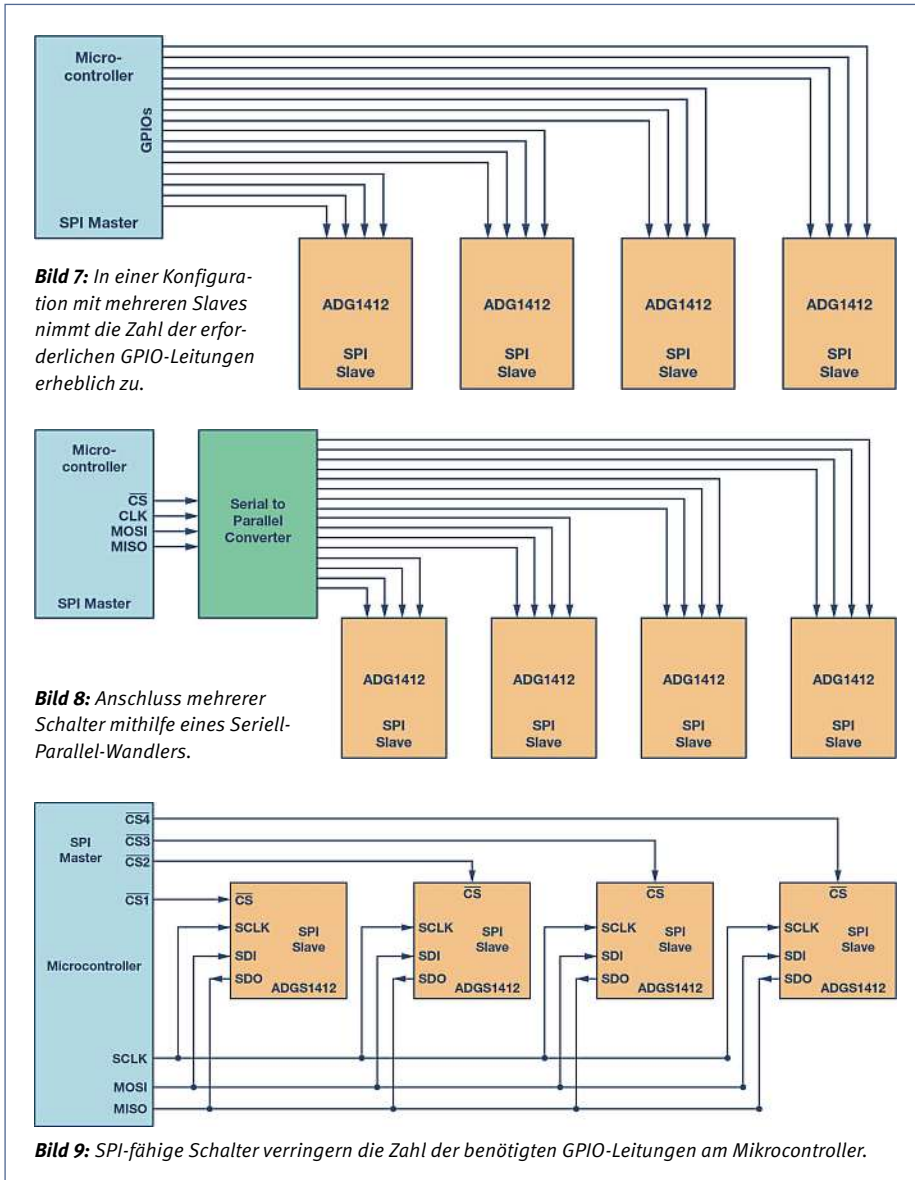


Bild: Analog Devices

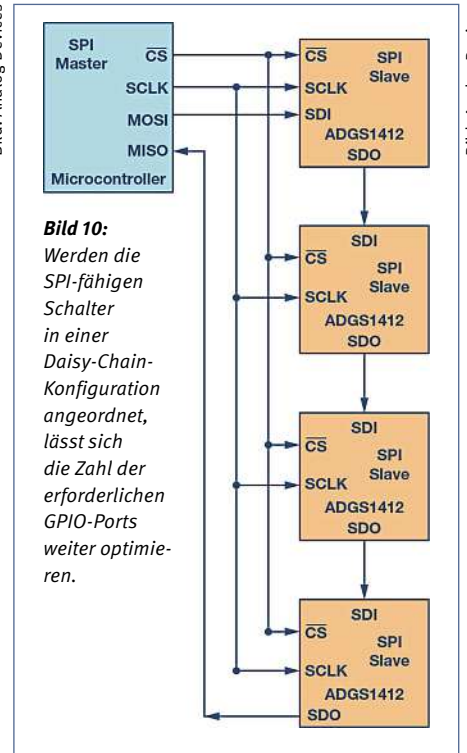


Bild: Analog Devices

sind zum Beispiel 24 Taktzyklen erforderlich, um die Daten am dritten Slave verfügbar zu machen. Im regulären SPI-Modus wären es nur 8 Taktzyklen. Nicht alle SPI-fähigen Komponenten unterstützen Daisy-Chaining.

Die neueste Generation SPI-fähiger Schalter bietet eine deutliche Platzersparnis, ohne dass diese mit Abstrichen an der präzisen Schalter-Performance erkauft werden muss. Das folgende Beispiel zeigt, wie SPI-fähige Schalter oder Multiplexer das Systemdesign entscheidend vereinfachen und die Zahl der benötigten GPIO-Leitungen verringern können. Der ADG1412 ist ein vierfacher Ein-/Ausschalter (Single-Pole, Single-Throw, SPST), der für die Steuereingänge der einzelnen Schalter vier GPIO-Leitungen benötigt. Die Verbindungen zwischen einem Mikrocontroller und einem ADG1412 sind in Bild 6 zu sehen. Wenn die Zahl der Schalter auf der

Leiterplatte steigt, nimmt die Zahl der benötigten GPIO-Leitungen steil zu. Ein Beispiel ist das Design eines Prüfsystems, in dem eine große Zahl von Schaltern verwendet wird, um die Kanalzahl des Systems zu erhöhen. In einer Konfiguration als 4x4-Kopffeld kommen vier ADG1412 zum Einsatz. Ein solches System würde 16 GPIOs erfordern, womit die Zahl der GPIO-Ports an einem herkömmlichen Mikrocontroller bereits weitgehend ausgeschöpft wäre. Bild 7 zeigt den Anschluss von vier ADG1412 an die 16 GPIOs des Mikrocontrollers.

Ein Seriell-Parallel-Wandler (Bild 8) kann die Zahl der GPIO-Leitungen reduzieren. Er gibt parallele Signale aus, die an die Steuereingänge der einzelnen Schalter geführt werden können. Das Konfigurieren des Baustein erfolgt über das SPI-Interface. Nachteilig ist, dass ein zusätzlicher Baustein benötigt wird.

Eine Alternative sind SPI-gesteuerte Schalter. Dadurch sind weniger GPIOs und kein Seriell-Parallel-Wandler. Anstelle von 16 sind nur noch 7 GPIO-Leitungen des Mikrocontrollers nötig, um die SPI-Signale an die vier ADGS1412 zu richten.

Eine zusätzliche Daisy-Chain-Konfiguration kann die Anzahl an GPIO-Schnittstellen weiter verringern. Hierbei werden unabhängig davon, wie viele Schalter das System enthält, nur vier GPIO-Ports am Master (Mikrocontroller) benötigt. Bild 10 dient hier zu Illustrationszwecken. Das Datenblatt des ADGS1412 empfiehlt einen Pull-up-Widerstand am SDO-Anschluss. Weitere Einzelheiten über den Daisy-Chain-Modus enthält das Datenblatt zum ADGS1412. Aus Gründen der Einfachheit wurden in dem Beispiel vier Schalter verwendet. Je größer die Zahl der Schalter in einem System wird, umso mehr kommen die Einfachheits- und Platzersparnis-Vorteile dieses Ansatzes zur Geltung. Die SPI-fähigen Schalter von ADI bei einer 4x8-Kopffeld-Konfiguration mit acht Vierfach-SPST-Schaltern ergeben auf einer sechslagigen Leiterplatte eine Reduzierung der Leiterplattenfläche um insgesamt 20%. Analog Devices zeigt in seinem Whitepaper „Precision SPI Switch Configuration Increases Channel Density“ detailliert, wie sich mit der Konfiguration präziser SPI-Schalter die Kanaldichte erhöhen lässt. // ME

Analog Devices

HF-BAUSTEINE FÜR 5G-MAKRO-BASISSTATIONEN

## Vierkanal-TX-Verstärker mit variablem Gain

Renesas Electronics hat sein HF-Portfolio für herkömmliche Makro-Basisstationen (BTS) um vier neue Bausteine erweitert. Damit deckt der Hersteller nach eigenen Angaben die komplette Signalkette für Makro-BTS ab. Zu den Komponenten zählt der laut Renesas branchenweit erste vierkanalige TX-Verstärker F4482/1 mit variabler Verstärkung (VGA) und die F011x-Familie zweikanaliger, rauscharmer Erststufenverstärker (LNA). Ebenfalls neu ist der HF-Treiberverstärker F1471 – laut Hersteller der erste Hoch-



Bild: Renesas Electronics

leistungs-Pre-Driver mit 11dB von über 1/2 W – und der HF-Schalter F2934 mit verbesserter Isolation in einem kleineren Gehäuse für den Rückkopplungspfad der digitalen Vorverzerrung (DPD). Die neuen HF-Bausteine integrieren die Smart-Silicon-Technik von Renesas, mit der sich die ausgesuchte Funktionen auf kleinerer Grundfläche realisieren lässt – ein Vorteil, wenn viele Antennenpfade in einem System erforderlich sind.

Renesas Electronics

KONTAKTLOSE KURZSTRECKENKOMMUNIKATION MIT MANIPULATIONSSCHUTZ

## NFC-Typ-5-Tag mit Augmented NDEF

Die ISO/IEC-15693-konformen NFC-Typ-5-Tags von STMicroelectronics reagieren sowohl auf Smartphones als auch auf 13,56-MHz-RFID-Lesegeräte mit großer Reichweite und lassen einen nativen Austausch von NDEF-Nachrichten ohne Mobil-App zu. Augmented NDEF bietet zudem die Möglichkeit, dynamisch aktualisierte Informationen wie den Manipulations-Status oder eine personalisierte URL an die NDEF-Nachrichten anzuhängen. Bis zu sechs verschiedene Attribute lassen sich für das

Anfügen an eine Nachricht konfigurieren, etwa ein Unique Tap Code (UTC), der Nachrichten mit jedem Zugriff auf den Tag eindeutig und dynamisch macht. Zu den integrierten Schutzfunktionen zählen ein 64-Bit-verschlüsseltes Passwort mit Fehlversuchs-Zähler für den Datenschutz, digitale TruST25-Signaturservices zum Verifizieren der Authentizität des Chips sowie Untraceable- und Kill-Modi zum Schutz der Privatsphäre.

STMicroelectronics

Bild: STMicroelectronics

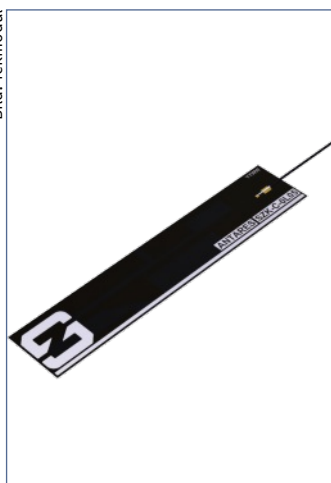


INTERNET OF THINGS

## Flache 5G-Antenne für M2M-Kommunikation

Die 5G-Antenne Antares eignet sich laut Hersteller Synzen für den Einsatz in 5G/4G LTE/3G/2G/NB-IoT/CAT-M-Applikationen respektive für integrierte Antennen-Lösungen. Durch ihren kompakten Formfaktor (100 mm x 20 mm x 0,2 mm) soll sich die formbare Antares-Antenne einfach in eigene Designs integrieren lassen. Das Produkt ist als „Flexible Printed Circuit“- (FPC-) Board ausgeführt und erfüllt die Anforderungen vieler Applikationen aus der Wissenschaft, Industrie oder Medizin. Dazu zäh-

Bild: Tekmodul



len beispielsweise Smart Grids, Smart Meters oder Remote Monitoring, industrielle Machine-to-Machine-Kommunikation oder Femtocell-Anwendungen. Entwickler können die Antenne über das 1,13 mm dicke, 180 mm lange Kabel anschließen und nutzen – und müssen so nicht selbst eine Onboard-Antenne designen. Über den kostenlosen Tuning-Service lässt sich das Produkt an spezielle Anwendungen anpassen.

Synzen / Tekmodul

emv  
...goes digital

Digital, 22. – 26.03.2021

Einzigartiger Marktüberblick, Wissenstransfer und frische Impulse für die tägliche Arbeit – tauschen Sie sich mit Experten auf dem Branchentreffpunkt für elektromagnetische Verträglichkeit aus.

Mehr erfahren: [e-emv.com](http://e-emv.com)

# Diese Firmenübernahmen haben die Halbleiterbranche erschüttert

*NVIDIA und Arm, AMD und Xilinx – 2020 haben diverse Übernahmen den Chipmarkt durchgerüttelt. Welche ähnlichen Deals gab es in der Dekade davor? In Teil 1 von 2 betrachten wir die Jahre 2010 bis 2015.*

SEBASTIAN GERSTL

Das Jahr 2020 stellt einen historischen Zeitpunkt in der Geschichte des knapp 70 Jahre alten Halbleitermarktes dar. Mit nur vier Firmenübernahmen wurden alleine im vergangenen Jahr über 100 Mrd. US-\$ für Firmenkäufe oder Merger ausgegeben. Sollten all diese Übernahmen von den jeweiligen Kartellbehörden abgesegnet werden, dürfte 2020 das teuerste Akquisenjahr der Halbleitergeschichte werden.

## Konsolidierungen seit den 1980ern deutlich spürbar

Während gerade in den Bereichen Automotive, KI und Rechenzentren in den letzten Jahren zahlreiche Start-Ups entstanden sind, stehen die Zeichen in den restlichen Chipmärkten vielmehr auf Konsolidierung. Gerade in den letzten 20 Jahren hat die Zahl und die Geschwindigkeit der Firmenübernahmen

– und vor allem die Höhe der Transaktionssummen – dramatisch zugenommen.

Sicher, auch im 20. Jahrhundert gab es diverse Merger und Firmenkäufe, die für Aufsehen gesorgt haben, und deren Auswirkungen auch heute noch spürbar sind. Für den europäischen Markt ist etwa der 1985 erfolgte Zusammenschluss der italienischen SGS Microelettronica mit der französischen Halbleitergruppe Thomson Semiconducteurs von besonderer Bedeutung. Die aus dem Merger entstandene Firma SGS-THOMSON, die seit Mai 1998 unter dem Namen ST Microelectronics firmiert, ist auch heute noch eines der drei bedeutendsten europäischen Halbleiterunternehmen und zählt zu den 15 größten Halbleiterherstellern weltweit.

Auch in den USA gab es noch vor der Jahrtausendwende Firmenübernahmen, die die Branche weltweit aufhorchen ließen. So

sorgte etwa 1987 die Nachricht für aufsehen, dass National Semiconductor sich den Konkurrenten Fairchild einverleiben würde. Das Unternehmen, das es damals seit 30 Jahren gab, war einer der ersten kommerziellen Halbleiteranbieter überhaupt gewesen und galt damit quasi als Traditionsunternehmen.

Doch die Zeiten ändern sich, mit zunehmender Rasananz: Nicht nur wurde Fairchild zwischenzeitlich wieder ausgegründet und schließlich 2016 wiederum von ON Semiconductor geschluckt. Auch der Name des einstigen Käufers, National Semiconductor, findet sich mittlerweile nicht mehr auf dem Markt. Und generell haben sich die Summen und die Zahl der Merger und Akquisen alleine in den letzten 20 Jahren dramatisch vergrößert. Als im September 2000 Texas Instruments den Analog-Pionier Burr-Brown für damals unerhörte 7,6 Mrd. US-\$ übernahm, sandte dies Schockwellen durch die Elektronikbranche. Der Kaufpreis sollte dann auch bis zum Jahr 2015 nicht mehr übertroffen werden – und zählt doch mittlerweile noch nicht einmal mehr zu den Top 10 der teuersten Firmenkäufe im Halbleitermarkt.

Gewiss, eine vollständige Übersicht über alle relevanten Firmenakquisen der Halbleitergeschichte dürfte angesichts des Umfangs kaum möglich sein. Zum Jahresausklang des Jahres 2020 wollen wir aber aus gegebenem Anlass einen Rückblick über die relevantesten Merger und Akquisen werfen, die die Branche in den letzten 10 Jahren erlebt hat: Vom Jahr 2010 bis heute. In diesem ersten Teil wollen wir die Jahre 2010 bis 2015 genauer betrachten.

## Hitachi, Mitsubishi und NEC bilden Renesas (bis 2010)

Hatten bis in die 1980er Jahre in erster Linie amerikanische Halbleiterfirmen den Weltmarkt geprägt, holten japanische Unternehmen ab Mitte der 1980er enorm auf und drangen in den 90er Jahren signifikant in die Weltspitze vor. Dabei half insbesondere ein



Bild: Renesas

**Europäische Firmenzentrale in Düsseldorf:** Seit der Fusion von Renesas Technology und NEC Electronics zu Renesas Electronics im Jahr 2010 wird das Geschäft im EMEA-Markt von Deutschland aus gelenkt.

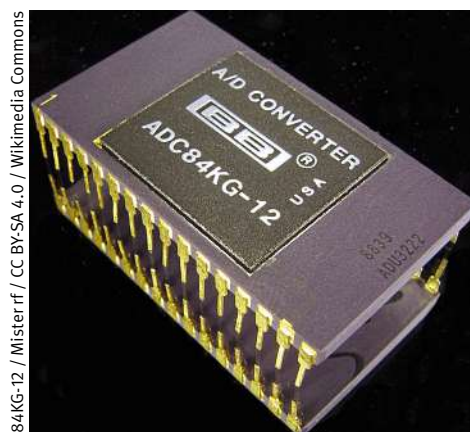
Elektronik-Boom im eigenen Land, dessen Bedarf an neuen, leistungsfähigen Chips in erster Linie aus einheimischem Bedarf gedeckt wurde. Wie in Japan üblich, mischten dabei vor allem große Mischkonzerne im Halbleitermarkt mit und schufen sich schnell signifikante Nischen.

Was zunächst eine große Stärke und eine Triebfeder für das Wachstum bedeutete, stellte sich aber mit dem Näherrücken des 21. Jahrhunderts zunehmend problematisch heraus: Der japanische Halbleitermarkt war schneller gewachsen, als dass der Bedarf hätte mithalten können. Zu viele Unternehmen konkurrierten mit ähnlichen Produkten miteinander, es kam zu drastischen Preisverfällen vor allem bei Mikrocontrollern für den Automobilmarkt. Als schließlich im Jahr 2000 das Platzen der Dotcom-Blase einen dramatischen Kurssturz bei Technologiefirmen – nicht nur im IT-Bereich – mit sich führte, gerieten zahlreiche Elektronikunternehmen in eine wirtschaftliche Krise. Gewiss auch unter signifikanter Anleitung der japanischen Regierung kamen die in der Halbleiterbranche tätigen Großkonzerne des Landes zu dem Schluss, dass eine Konsolidierung des einheimischen Chipmarktes nötig ist.

Unter diesen Vorzeichen wurde schließlich aus einer Fusion der Halbleiterabteilungen der Mischkonzerne Hitachi (Hitachi Semiconductor) und Mitsubishi (Mitsubishi Electric) ein neuer Player auf dem Chipmarkt aus der Taufe gehoben. Am 1. April 2003 entstand das Joint Venture Renesas Technology. Der Name leitet sich ab aus Renaissance Semiconductor for Advanced Solutions; ein Statement, dass sich hier kein Tochterunternehmen, sondern eine neue, eigenständige Firma auf dem Markt einfinden sollte.

Durch die Fusion entstand umgehend die Nr. 1 unter den Mikrocontrolleranbietern der Welt – ein „neuer“ Embedded-Gigant, der sich zudem als Lieferant von SoC-Bausteinen, Smartcard-ICs, Mixed-Signal-Produkten sowie Flash- und SRAM-Speichern betätigte. Beider Partner brachten wichtige, auf dem Markt fest etablierte Produkte in die Heirat mit ein: Von Mitsubishi kam die noch heute etablierte M16C-Plattform zu Renesas, Hitachi steuerte die weiterhin wichtige H8-Familie bei, die historisch den Übergang von den 8- auf die leistungsstärkere 16-Bit-Architektur im Embedded-Markt markierte.

Doch das junge Unternehmen hatte in den ersten Jahren mit Startschwierigkeiten zu kämpfen; vor allem der einheimische japanische Markt war noch immer übersättigt, während es Renesas Technology gleichzeitig schwer fiel, sich trotz des großen Startvolumens auf dem internationalen Parkett zu



**Ein 12-Bit A/D-Wandler von Burr-Brown:** Die Übernahme des Halbleiterpioniers durch Texas Instruments sorgte im September 2000 für komplett neue Marktverhältnisse bei den Analogbausteinen.



**Analog-Marktführerschaft:** Im April 2011 gab TI für National Semiconductor 6,5 Mrd. US-\$ aus.

behaupten. Dies änderte sich, als 2010 NEC Electronics in einem Merger zum Joint Venture hinzustieß und sich hieraus das moderne Renesas Electronics herausbildete. Mit der V-Serie an Single-Chip-Computern nun international besser aufgestellten Standorten konnte sich Renesas so endgültig als führendes Unternehmen im Mikrocontroller-Markt etablieren. Vor allem bei Automotive-MCUs ist das aus drei unterschiedlichen japanischen Halbleitersparten hervorgegangene Renesas heute eines der weltweit tonangebenden Unternehmen.

### TI übernimmt National Semiconductor (2011/2012)

TI kauft NatSemi: Diese Meldung sorgte 2011 für die Überraschung des Jahres im Halbleitermarkt. Für 6,5 Mrd. US-\$ verleihte sich ein Urgestein der amerikanischen Chipindustrie einen anderen Pionier der Halbleiterbranche ein. Eine Marke, die über 50 Jahre lang die Branche mitgeprägt hatte, verabschiedete sich damit aus dem Markt. Der zu

diesem Zeitpunkt bereits umsatzstärkste Anbieter analoger ICs übernahm den viertstärksten Bauteilhersteller im Markt. Texas Instruments, das knapp 10 Jahre zuvor schon mit der Rekord-Übernahme von Burr-Brown ein eindeutiges Zeichen gesetzt hatte, legte eine weitere Spitzenmarke unter den Firmenakquisen vor und setzte sich damit hinsichtlich Produktportfolio und Umsatzzahlen deutlich vom Rest des Marktes ab.

National Semiconductor hatte auch in den 2000er Jahren noch zahlreiche Innovationen hervorgebracht. So stellte das Unternehmen etwa 2001 die weltweit erste weiße LED vor. Auch in den Jahren brachte NatSemi zahlreiche wichtige Patente für Audio-Subsysteme, Power-Management-Controller oder Solarenergie ein.

Allerdings war das Unternehmen besonders hart von der Wirtschaftskrise 2008/2009 in Mitleidenschaft gezogen worden, die einen zuvor bereits eingeleiteten Sparkurs noch einmal drastisch verschärfte. Zahlreiche Werksschließungen sowie der Abbau von über einem Viertel der bestehenden Belegschaft waren die Folge.

Dennoch wurden Analysten von der Übernahme im September 2011 kalt erwischt. In der Folge sahen viele Branchenexperten eine große Konsolidierungswelle auf den Analog-Markt zurollen. Diese ist auf weiter Strecke auch eingetreten. Zwar hat sich Texas Instruments seit 2011 mit weiteren großen Akquisen zurückgehalten. Doch die aktuelle Nummer 2, Analog Devices, sollte zwischen 2015 und 2020 mit einer Reihe namhafter Akquisen zu dem Spitzenreiter aufschließen. On Semiconductor wiederum übernahm, wie bereits erwähnt, 2016 für 2,6 Mrd. US-\$ den Mitwettbewerber Fairchild.

### Avago kauft erst LSI (2013), dann Broadcom (2015)

Avago Technologies hat eine sehr bewegte Geschichte hinter sich. Das Unternehmen war erst Teil des Halbleitergeschäfts von Hewlett-Packard, ehe es 1999 als Teil einer Firmenausgliederung in des neue Unternehmen Agilent Technologies überging. Aus einem Teilverkauf der Chipsparte von Agilent an die global agierenden Investoren KKR und Silver Lake ging 2005 Avago hervor, das seither regelmäßig vor allem durch immer größerer Firmenzukäufe Schlagzeilen machte – so erwarb das Unternehmen etwa 2008 das BAW-Halbleitergeschäft (bulk acoustic wave) von Infineon.

2013 wurde ein vorläufiger Höhepunkt an Zukäufen und Investitionen erreicht: erst akquirierte Avago im Frühjahr für 400 Millionen US-\$ den Optik-Spezialisten CyOptics

und investierte im weiteren Jahresverlauf 5 Millionen US-\$ in den Leistungselektronik-anbieter Amantys, ehe es schließlich in der seinerzeit drittgrößten Firmenübernahme der Halbleitergeschichte den amerikanischen Halbleiter- und Networking-Spezialisten LSI Corporation übernahm. LSI galt in den Jahren zuvor gerade im Netzwerk-Umfeld als ein starker Innovationstreiber im Halbleitergeschäft; mit diesem Portfolio stockte Avago sein vorhandenes Repertoire an Halbleiter- und Technologiepatenten stark auf, die einen Großteil der gesamten Halbleiter-Bauteilgruppen adressiert. Allein hierüber besitzt Avago einen großen Einfluss und Handlungsspielraum auf dem Elektronikmarkt. Avago/LSI zählte in diesem Zeitraum zu den innovativsten Unternehmen weltweit.; ein Status, den die Gruppe, gemessen an ihren Patenten, auch bis heute noch hält.

Doch nur zwei Jahre später sollte Avago diesen bis dato größten Deal der Firmengeschichte bereits wieder toppen: 2015 weitete das Unternehmen das Spektrum seines Portfolios abermals aus und übernahm das seinerzeit noch in Singapur ansässige Unternehmen den Wireless- und Embedded-Soc-Anbieter Broadcom. Da die internationalen Marktaufsichten mit dieser Transaktion kein Problem hatten, war dies mit 37 Mrd. US-\$ bis 2020 die größte verwirklichte Firmenübernahme in der Geschichte der Halbleiterindustrie. Seitdem firmiert das Unternehmen unter dem Namen Broadcom an dessen alten Firmenstammsitz in an José und stieg zwischenzeitlich zum größten Fabless-Chipanbieter der Welt auf.

### Storage-Gigant Western Digital schluckt Sandisk (2015)

Mit der 19 Mrd. US-\$ schweren Übernahme von Sandisk durch Festplattenspezialist Western Digital entstand auf dem Massenspei-



Bild: Sebastian Gerstl

**Speichergrößen:** Mit dem Zukauf von Sandisk stieg der Western Digital 2015 zum unangefochtenen Spitzenreiter für Storage-Lösungen im Markt auf.

chermarkt ein regelrechter Storage-Gigant: Das bei Enterprise- und klassischen HDD-Festplatten sowie Netzwerkspeichern fest etablierte WD weitete damit sein Portfolio massiv durch die speziell auf dem Consumer-Markt populären Flash-SSD und (micro)SD-Lösungen von Sandisk auf. SanDisk hatte bereits 1988 mit der Weiterentwicklung des Floating Gate EEPROMs die Grundlage für NAND-Flash-Chips gelegt und brachte bei der Akquise über mehr als 6.500 Patente in diesem Bereich mit ein. Western Digital etablierte sich damit als klarer Marktführer.

Die Übernahme von Sandisk brachte Western Digital auch einige pikante Kontakte mit Toshiba ein, womit Sandisk 15 Jahre lang bei der Fertigung seiner Flash-Produkte zusammengearbeitet hatte. Erst kurz vor Bekanntgabe der Akquise hatten die Firmen gemeinsam in einem Joint Venture die Fab 2 im japanischen Yokkaichi gestartet in der 3D-Flash-Chips gefertigt werden sollten.

Dies sollte im Übrigen noch pikante Konsequenzen haben: Als Toshiba 2017 aus finanziellen Gründen die Abspaltung und den Verkauf seines Speichergeschäftes einleiten wollte, reichte Western Digital dagegen Kla-

ge ein. Das Unternehmen argumentierte, dass es für einen entsprechenden Verkauf der Einwilligung des Joint-Venture-Partners bedürfen würde. Daher hätte sich Toshiba mit seinen Plänen zuerst an Western Digital richten müssen, das die Partnerschaft nach der Sandisk-Übernahme weiterführte, und dem Unternehmen entweder ein Vorkaufsrecht oder von ihm Eine Einwilligung in die Veräußerung einholen müssen.

Letztendlich äußerten sich beide Parteien außergerichtlich, Western Digital erhielt sogar einen noch weitergehenden Zugang zu Forschungsdaten und Fab-Kapazitäten des japanischen Halbleiterkonzerns. Den Zuschlag für die Ausgründung, heute unter dem Namen Kioxia bekannt, erhielt ein Bieterkonsortium um den Finanzinvestor Bain, dem auch SK Hynix und Apple angehören, wobei Toshiba weiterhin eine Minderheitenbeteiligung am Unternehmen hält.

Derzeit ist Western Digital unangefochten Marktführer auf dem Speichermarkt. Das Geschäft wird intern grob in zwei Einheiten gegliedert: Auf der einen Seite das Festplattengeschäft, auf der anderen das Flash-Speicher-Geschäft. Beide Sparten liegen im Umsatz ähnlich gut im Markt, wobei anzumerken ist, dass der Flash-Markt generell deutlich volatil ist. Aus diesen und ähnlichen Gründen vermuten Wirtschaftsanalysten, dass der seit März 2020 amtierende WD-CEO David Goechler möglicherweise eine Aufspaltung des Unternehmens in zwei entsprechende Tochterunternehmen vorbereiten könnte. Beide Unternehmen besäßen nach aktuellem Stand eine etwa gleich starke Wirtschaftskraft, könnten aber bei kräftigen Schwankungen unabhängig voneinander schneller und flexibler reagieren als in einem großen Unternehmen.

### NXP fusioniert mit Freescale – und tritt eine Lawine los (2015)

Auf den ersten Blick betrachtet war es ein Paukenschlag: Durch die Fusion mit dem amerikanischen Konkurrenten Freescale stieg NXP zum Marktführer im Bereich der Automotive-Halbleiter und zwischenzeitlich sogar zum viertgrößten Chipanbieter der Welt auf. Basierend auf den damaligen Aktienkurs von NXP wurde der Kaufpreis auf stolze 11,8 Mrd. US-\$ geschätzt. NXP übernahm durch den Freescale-Deal eine Reihe von Patenten, die das Unternehmen noch aus seinem Erbe als Motorola-Ausgründung mit sich führte, darunter unter anderem die im Automobilmarkt weiterhin stark präsekte PowerPC-Architektur.

Die Transaktion rief in der Embedded- und Automotive-Welt eine Menge Kritik hervor;



Bild: Clipdealer

**Aus Avago wird Broadcom:** Mit 37 Mrd. US-\$ stellt der Kauf des kalifornischen Fabless-Chipanbieters bislang den teuersten Kauf eines Halbleiterunternehmens dar, der von Kartellbehörden auch abgesegnet wurde.



was unter anderem auch an der bewegten Vergangenheit von Freescale lag. Das Unternehmen war 2003 aus der ausgegründeten Halbleiterabteilung von Motorola hervorgegangen und startete als der drittgrößte amerikanische Halbleiterhersteller in den Markt, geriet aber unmittelbar danach bereits in finanzielle Schwierigkeiten geraten. 2006 erfolgte ein Kauf der Unternehmung in Höhe von 17,6 Mrd. US-\$ durch ein von der amerikanischen Blackstone Group angeführtes Investorenkonsortium, was seinerzeit streng genommen den bis dato teuersten Verkauf einer Halbleiterfirma darstellte. 2011 machte sich Freescale durch einen Börsengang wieder selbstständig, aber ausstehende Schulden und andere Ungereimtheiten zogen eine Prüfung der amerikanischen Börsenaufsicht nach sich. Einige Marktbeobachter hielten die Kaufsumme der erzielten Fusion daher für überbewertet.

Aufgrund der Größe der Transaktion als auch des Umstands, dass beide Unternehmen direkte Konkurrenten in diversen Märkten waren, schalten sich die Kartellbehörden der USA und der EU ebenfalls ein. Die Fusion wurde erst zugelassen, nachdem die Marktaufsichten verfügt hatten, dass NXP vorher erst seine RF-Power-Sparte zu verkaufen habe. Ebenso wurde die Abspaltung des NXP-Geschäfts für Standard Products (Transistoren, Dioden, MOSFETs und Logikbausteine) beschlossen und in das Unternehmen Nexperia ausgegründet. Sowohl das RF-Power-Geschäft als auch Nexperia wurden kurz darauf von der chinesischen Investorengruppe JAC Capital übernommen, ehe sie zwei Jahre später wiederum an die chinesische Wingtech-Gruppe veräußert wurde.

Trotz einer resultierenden Dominanz im Automotive-Umfeld wurde NXP durch die Fusion und die folgenden Abspaltungen geschwächt, was das Unternehmen wiederum selbst als Übernahmekandidaten attraktiv machte. Nicht einmal ein Jahr nach der abgeschlossenen Fusion mit Freescale versuchte sich daher Fabless-Marktführer Qualcomm an einer Akquise des niederländischen Halbleiterherstellers. Der kalifornische SoC- und Modem-Spezialist bot eine Rekordsumme von 47 Mrd. US-\$.

Die geplante Übernahme von NXP verlief von Beginn an schleppend. Unter anderem verweigerten NXP-Aktionäre trotz mehrerer Fristverlängerungen und Angebotserhöhungen wiederholt ihre Zustimmung und ließen mehrmals erneuerte und verlängerte Angebotsfristen verstreichen. Nach der zwischenzeitlich erfolgten Wahl von Donald Trump zum US-Präsidenten kühlte sich das Verhandlungsklima deutlich ab. Spätestens, als

PLATZ	AKQUISE UND KÄUFER (JAHR DER ANKÜNDIGUNG)	MRD. US-\$
1	NXP durch Qualcomm (2016)	39.0
2	Broadcom durch Avago (2015)	37.0
3	Arm durch SoftBank (2016)	32.0
4	SanDisk durch Western Digital (2015)	19.0
5	Freescale durch ein US-Investitionskonglomerat (2006)	17.6
6	Altera durch Intel (2015)	16.7
7	Linear Technology durch Analog Devices (2016)	14.8
8	Freescale durch NXP (2015)	11.8
9	Burr Brown durch Texas Instruments (2000)	7.6
10	LSI durch Avago (2013)	6.6
11	National Semiconductor durch Texas Instruments (2011)	6.5
12	ATI durch AMD (2006)	5.4
13	Spansion durch Cypress (2014)	5.0
14	Agere durch LSI (2006)	4.0
15	Chartered Semiconductor durch GlobalFoundries (2009)	3.9

**Ranking der Halbleiterübernahmen bis 2016:** Die teuerste hier aufgeführte Akquise wurde nach längeren Aktionärs- und kartellrechtlichen Streitigkeiten wieder abgeblasen.



**Dramatische Entwicklungen:** Der Merger von Freescale mit NXP zog eine Reihe kartellrechtlicher Streitigkeiten nach sich – und ließ dNXP selbst prompt zum Übernahmeobjekt werden.

der Handelsstreit der USA mit China ausbrach verkomplizierten sich die Übernahmeverhandlungen weiter: Qualcomm hat seinen Hauptsitz in den USA, der europäische Chiphersteller NXP betreibt allerdings Werke in China. Letzten Endes verweigerten die chinesischen Kartellbehörden ihre Einwilligung für den Merger. Marktbeobachter vermuten, dass die von der Trump-Regierung ausgesprochenen Strafzölle auf in China gefertigte Halbleiterprodukte der Hauptgrund dafür waren, dass die chinesische Marktaufsicht ihre Zustimmung verweigerten. Dass Qualcomm in der Zwischenzeit in separate Rechtsstreits mit Apple sowie Samsung und Intel verwickelt wurde und wegen Preisab-

sprachen Strafzahlungen sowohl an die europäische, als auch der taiwanischen und der südkoreanischen Kartellbehörde leisten musste, half den Verhandlungen nicht gerade weiter. Fast zwei Jahre nach der versuchten Akquise gab Qualcomm den Übernahmever Versuch von NXP schließlich wieder auf.

Pikanterweise mischte sich mitten in diese Verhandlungen ein weiterer Mitbewerber ein: Inmitten der geplanten Übernahme von NXP durch Qualcomm versuchte sich Fabless-Kontrahent Broadcom daran, seinerseits Qualcomm zu übernehmen. Erst wurden 100, später 130, schlussendlich sogar 148 Mrd. US-\$ geboten, was in einer Transaktion mehr für den Kauf eines einzelnen Halbleiterunternehmens gewesen wäre als im Rekordjahr 2015 zusammengenommen. Zeitweise schien es, als strebe Broadcom gar eine feindliche Übernahme des Rivalen an.

Erst ein Veto von US-Präsident Donald Trump ließ dann auch diesen Übernahmever such platzen. Wäre die Akquise erfolgt, hätte die Kaufsumme das gesamte Transaktionsvolumen aller Halbleiter-Übernahmen im bisherigen Akquisen-Rekordjahr 2015 (103 Mrd. US-\$) deutlich übertroffen. So kam eine Serie gescheiterter Mega-Deals, die ohne die zuerst anstehende Fusion von Freescale und NXP wohl gar nicht erst ange laufen wäre, zu einem jähen Ende, und der Boom des Rekordjahrs 2015 wurde vorerst gestoppt. // SG

ELEKTRONIKPRAXIS

# Luft- und Kriechstrecken auf PCBs für Leistungselektronik

*Um Leitungselektronik sicher zu machen, müssen bei hohen Potentialen die Leiterabstände von z.B. IGBTs oder MOSFETs ausreichend groß sein, um Über- oder Durchschläge zu unterbinden.*

DIRK MÜLLER \*

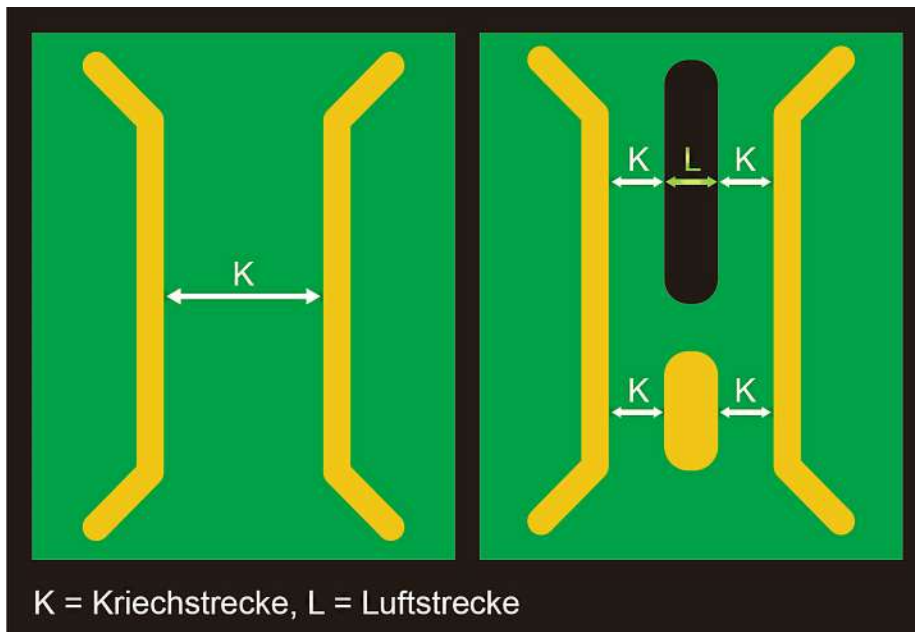


Bild: FlowCAD

strecken sowie der Durchschlagsfestigkeit erforderlich.

Eine Luftstrecke ist die kürzeste Entfernung zwischen zwei elektrischen Leitern durch die Luft. Wenn eine hohe Spannung an beiden Leitern anliegt, wird die Luft dazwischen ionisiert und leitfähiger. Je nach Stoßspannung, Verschmutzung, Dauer und Luftdruck, kann es zu einem Kurzschluss durch die Luft kommen und wir können einen Lichtbogen sehen. Beim Lichtbogen kommt es zu hohen Temperaturen, einem elektromagnetischen Feld und einer ungeplanten Übertragung von Ladung zwischen den beiden Leitern. Diese Einflüsse können die Elektronik oder benachbarte Bauteile zerstören. Maßgebend für die Dimensionierung der Luftstrecken sind Bemessungsstoßspannungen, die sich aus der Überspannungskategorie und aus der anliegenden Spannung ableiten.

Bei einer Kriechstrecke kommt es zum Kurzschluss zwischen zwei Leitern an der Oberfläche des Isolationsmaterials, wenn die Effektivspannung überschritten ist. Im Fall von Leiterplatten „kriecht“ der Strom an der Oberfläche vom FR-4-Material, auf dem Schutzlack, auf Bauteilen und Kabeln. Merke: Eine Kriechstrecke ist die kürzeste Verbindung entlang der Oberfläche des Isolators zwischen den Leitern.

Die Luftfeuchtigkeit und der Luftdruck beeinflussen die Überschlagsspannung durch die Luft und die Wahrscheinlichkeit eines Lichtbogens. Befeuchtung, Öle und Staub lagern sich an den Oberflächen der Leiterplatte und Bauteile ab und verringern über die Zeit die Isolationsstrecken zwischen den Leitern.

Wenn der Abstand zwischen zwei Leitungen auf der Platine zu gering und die erlaubte Kriechstrecke unterschritten ist, kann zwischen den Leitungen ein Schlitz gefräst werden (Bild 1 rechts oben). Dann berechnet sich der erlaubte Abstand aus der Kombination von Luft- und Kriechstrecken. Mit der

**Bild 1:** Rechts ist zu sehen, wie Kriechstrecken durch eine Luftstrecke verlängert oder durch eine Insel verkürzt sind.

Die Sicherheitsvorschriften zu Luft- und Kriechstrecken und Durchschlagsfestigkeit sollen in erster Linie Menschenleben schützen, aber auch die technischen Systeme und Einrichtungen. Dazu gibt es spezielle Normen zur Einhaltung von Sicherheitsabständen bei hohen Spannungen. Zu den Anwendungen zählen Industrieantriebe, Aufzüge, Fahr- und Flugzeuge und auch Medizintechnik. Die Einhaltung der Luft- und Kriechstrecken sowie der Durchschlagsfestigkeit ist wichtig, da nicht nur die Elektronik zerstört werden kann. Durch den Ausfall oder eine Fehlfunktion kann es zu katastrophalen Folgen. Wenn es um Men-

schenleben geht, haben die Themen Haftung und Versicherungsschutz für die Hersteller eine wesentliche Bedeutung.

Die Zahl der Entwicklungen von elektrischen Antrieben steigt durch die Trends E-Mobilität, Automatisierung und erneuerbare Energien rapide an und es drängen neue Anbieter auf den Markt. Steuergeräte für Elektromotoren werden nicht mehr nur stationär, sondern auch mobil in Fahrzeugen eingesetzt. Um die Effizienz der Steuergeräte zu optimieren werden Leistungshalbleiter wie IGBTs, MOSFETs oder SiC-Dioden mit höheren Spannungen verwendet. Je nach Anwendung gibt es unterschiedliche Maximalwerte für Niederspannung, Mittelspannung und Hochspannung. Um Personen oder Anlagen insbesondere im Fall einer Überspannung vor der Auswirkung elektrischer Fehlfunktion zu schützen, ist eine ausreichende Bemessung der Luft- und Kriech-



\* Dirk Müller  
... ist Geschäftsführer bei FlowCAD,  
Feldkirchen.

Software NEXTRA wird der Abstand nicht nur auf einer Ebene geprüft. Da der Kriechstrom bei einer Fräsung, Bohrung oder Leiterplattenkante auch nach oben bzw. unten kriechen kann, müssen auch mögliche Spannungen zu Leitern auf anderen Lagen entlang der Oberfläche dreidimensional geprüft werden.

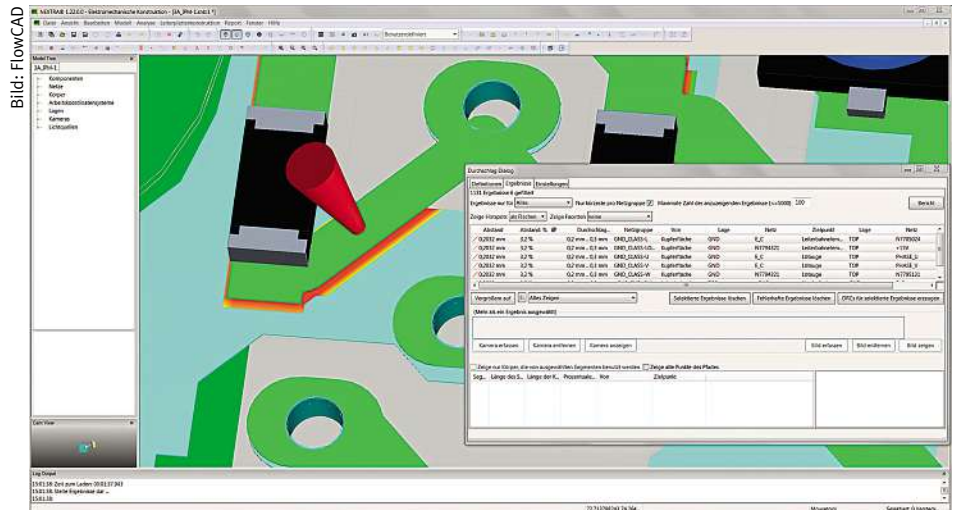
Kupferinseln, Befestigungsschrauben oder andere Leitungen, die sich zwischen den beiden Leitungen mit höherer Spannung befinden, verkürzen den Abstand (Bild 1 rechts unten). In den Normen werden leitende Elemente zwischen den betrachteten Leitern als Dreipunktproblem bzw. als Sprungstellen bezeichnet. Für eine Prüfung müssen alle Kombinationen und Wege am Rand von Löchern überprüft werden.

Der Wert für die Durchschlagsfestigkeit bzw. der notwendige Abstand für die erforderliche Luft- und Kriechstrecke ist insgesamt eine Funktion von Verschmutzungsgrad, Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Luftdruck, Überspannungskategorie, Frequenz, chemische Belastungen, Hydrolyse, mechanische Druck und Einsatzgebiet.

In diversen Normen wird über Sicherheit von stromführenden Teilen bei Niederspannungsanlagen gesprochen und es werden entsprechende Sicherheitsabstände definiert. Beispiele sind in der DIN EN 60 664-1/ VDE 0110 aufgeführt. In dieser Norm sind die einzuhaltenen Abstände zwischen leitenden Objekten definiert, um einen Kriechweg, einen Überschlag oder einen Durchschlag zu verhindern.

### Durchschlagsfestigkeit und der Temperatureinfluss

Jede Verunreinigung mit Gasen, Flüssigkeiten oder Feststoffen, die dazu führen kann, dass der elektrische Widerstand bzw. die Isolationsfähigkeit einer Trennstrecke



**Bild 2:** Die Auswertung von Bereichen mit zu geringer Durchschlagsfestigkeit in der Software NEXTRA.

reduziert wird, bezeichnet die Norm IEC 61010 als Verschmutzung. Die angegebenen Abstände sind je nach Verschmutzungsgrad in folgende Kategorien unterteilt:

- Verschmutzungsgrad 1 erlaubt keine oder nur geringe, jedoch nicht leitfähige Verschmutzung. Sie hat keinen Einfluss.
- Verschmutzungsgrad 2 ist eine leichte, übliche Verschmutzung, die durch gelegentliches Betauen oder Handschweiß leitfähig werden kann.
- Verschmutzungsgrad 3 ist eine Verschmutzung, die leitfähig ist oder durch Betauen leitfähig wird.
- Verschmutzungsgrad 4: Es tritt eine durch leitfähigen Staub, Regen oder Nässe hervorgerufene dauernde Leitfähigkeit auf (inakzeptabel für Isolierungen, die eine Schutzmaßnahme darstellen).

Die Durchschlagsfestigkeit eines Isolierstoffes beschreibt die maximale elektrische Feldstärke (kV/mm), bevor es zu einem Span-

nungsdurchschlag kommt. Das Leiterplattenmaterial FR-4 isoliert die übereinander angeordneten Lagen von Leiterplatten und hat eine Durchschlagsfestigkeit von etwa 13 kV/mm bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C. Überdies ist die Durchschlagsspannung bei vielen Stoffen nicht proportional zur Dicke des Isolators, da es insbesondere bei Gleichspannung zu inhomogener Feldverteilung kommen kann. Daher besitzen dünne Folien höhere Durchschlagsfestigkeiten als große Materialdicken. Dieser Effekt wird z.B. in Folienkondensatoren ausgenutzt. Die Durchschlagsfestigkeit ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Der Wert sinkt mit steigender Temperatur und steigender Frequenz und ist daher keine Materialkonstante. Zur Prüfung ist eine 3D-Simulation mit finiten Elementen erforderlich.

Im CAD Flow müssen die Abstände bereits im Layout und Lagenaufbau vorgesehen werden. Layout-Software prüft die Abstände

**ELEKTRONIK PRAXIS**  
Fachwissen-Newsletter  
www.elektronikpraxis.de/newsletter

12/16/22

**ELEKTRONIK PRAXIS** ist eine Marke der  
**VOGEL COMMUNICATIONS GROUP**

# Beilagenhinweis

Dieser Ausgabe liegen Prospekte der Firma  
**RCT Reichelt Chemietechnik GmbH & Co., Heidelberg**, bei.

Wir bitten unsere Leser freundlichst um Beachtung.

über 30 Jahre

# HKR

Induktivitäten

**www.HKR.de**  
**+49(7122)82598-0**

**Bild 3:**

Hier weist die Software NEXTRA den Anwender auf zu dicht zueinander platzierte Stecker hin.

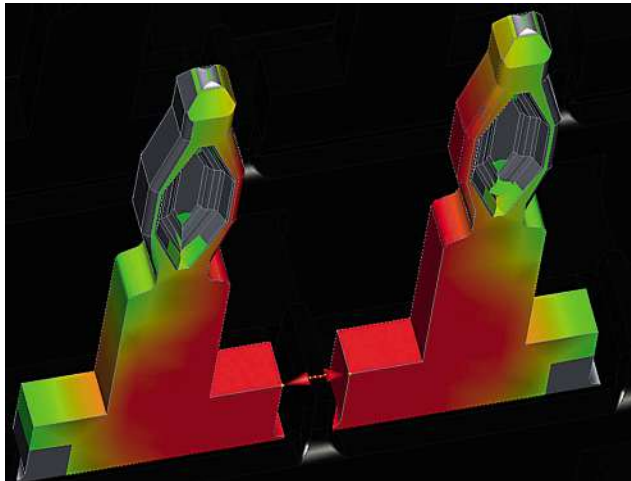


Bild: FlowCAD

dem ein Bereich identifiziert, der bei den gegebenen Input-Parametern wie Spannung, Material, Verschmutzung und Luftdruck problematisch sein könnte. Der Einfluss von Fertigungs- und Montagetoleranzen wird in NEXTRA beachtet. In Bild 3 ist zu sehen, dass die beiden Flächen eines Steckers durch Fertigungstoleranzen zu dicht platziert werden können. Solche Toleranzen lassen sich im Test an Prototypen nur zufällig erkennen.

### Zuverlässigkeit und Konformität erhöhen

Durch die Schaltungssimulation und Verifikation der Luft- und Kriechstrecken lässt sich die Zuverlässigkeit und Konformität mit den Normen verbessern. Das Testen von Durchschlag und Überslag im eingebauten Zustand mit unterschiedlicher Verschmutzung ist nur schwer möglich. In einem professionellen CAD Flow sollten die 3D-STEP-Modelle für Hochspannungsbauerteile unterschiedliche Farbcodierungen für leitende und isolierende Materialien haben. Dann ist das Starten einer Luft- und Kriechstreckenanalyse zusammen mit der Netzliste, den Peak-Spannungen und Vorgaben über Verschmutzungsklassen einfach und schnell möglich. Der PCB Designer kann damit zuverlässige Schaltungen entwickeln und thermische Zerstörung durch Luft- und Kriechstrecken vermeiden.

Bild: University of Leicester



**Bild 4:** Beispiel einer Dendriten-Bildung (verästelter Fortsatz) an einem Isolator entlang der Kriechstrecke.

meist nur auf einer Lage und ignoriert Inseln oder Fräsungen. NEXTRA ist eine Software, die Design-Daten aus unterschiedlichen eCAD-Systemen einlesen und dann eine normgerechte Prüfung der Leiterplatte durchführen kann. Es können auch Bauteilmodelle und Gehäuse-Design-Daten in NEXTRA über direkte bidirektionale Schnittstellen für alle wichtigen eCAD- und mCAD-Systeme eingelesen werden, um die Luftstrecken komplett zu verifizieren.

3D-STEP-Modelle für Bauteile lassen sich beispielsweise direkt aus Allegro oder OrCAD übernehmen und leitende oder isolierende Materialinformationen können über Farbcodes automatisch bezogen werden, ohne eine Zwischendatenbank anzulegen. Für die exakte geometrische Analyse mit finiten Elementen ist die Genauigkeit einstellbar.

### Problematische Spannungsspitzen

In der Automobilindustrie werden durch die neue Kfz-Generation von Elektro- und Hybridfahrzeugen Batteriespannungen von 400 V und sogar 850 V verwendet und in Invertern ebenfalls höhere Spannungen angewandt. Als Hochvolt werden im Automobilsektor Spannungen oberhalb von 60 V bezeichnet. Die Unterscheidung der Spannungsclassen in Klein-, Nieder-, Mittel-, Hoch- und Höchstspannungen kommt aus der Installations- und Gebäudetechnik. Bisher wird in der Automobiltechnik lediglich nach Nieder- und Hochvolt unterschieden, um den Mechanikern in der Werkstatt einen besonderen Hinweis auf die elektrischen Gefahren zu geben. Hochvolt-Komponenten müssen durch Auslegung des Systems eine Spannungsfestigkeit entsprechend ISO 6469 aufweisen.

Frequenzumrichter und Schaltnetzteile belasten heute Isolationen stärker als früher,

denn Motoransteuerungen oder Netzteile verwenden pulswitengesteuerte Rechteckspannungen im Bereich von 20 kHz und mehr. Die dabei entstehenden Oberwellen haben Frequenzanteile bis weit über 50 MHz, und es entstehen z.B. durch Resonanzen und induktive oder kapazitive Kopplung Spannungsspitzen weit oberhalb der Betriebsspannung. Die hohen Schaltgeschwindigkeiten (du/dt) in der Leistungselektronik von z.B. MOSFETs oder IGBTs belasten erheblich die verwendeten Isolationsmaterialien.

Neben den schaltungsinternen Faktoren wie hohe Frequenzen, kommen beim Schalten mit Leistungshalbleitern noch externe Faktoren hinzu. Durch induktive Lasten, die geschaltet werden, oder durch die Kapazität angeschlossener Kabel, kommt es zu ungewollten Spannungsspitzen. Die maximalen Werte der Spannungsspitzen durch externe Faktoren lassen sich durch Schaltungssimulationen mit PSpice im Vorfeld ermitteln und als Peak-Spannung in den CAD-Daten erfassen und für Spannungsprüfungen verwenden.

Mechanische Toleranzen sind für eine Aussage über die Sicherheit zu berücksichtigen. Dabei wird nicht nur der kürzeste Pfad, son-

Die Isolationskoordination besteht aus einer Untersuchung der Luft- und Kriechstrecken und der Durchschlagfestigkeit. Eine Simulation kann alle kürzesten Wege mit allen Parametern berücksichtigen. Jedoch kann die Genauigkeit der Simulation nur so gut sein, wie es die Eingangsparameter sind. Ein Eingangsparameter ist die Verschmutzung, die nur verbal in vier Kategorien eingeteilt ist. NEXTRA behandelt deswegen Isolationsverletzungen als „problematische Bereiche“, die einer ingenieurmäßigen Endbeurteilung vorbehalten sind. Ein simpler kürzester Pfad tritt in der Realität meist nicht auf, da das Isolationsmaterial, elektrische Felder und Verschmutzungen nicht homogen sind. Bilder von Kriechstrecken haben fraktale Strukturen (Dendriten-Bildung, Bild 4). Daher muss der gesamte problematische Bereich einer ingenieurmäßigen Endbeurteilung unterzogen werden.

Eine Prüfung der Isolationsabstände ab 60 V sollte bereits im PCB Layout erfolgen, da dort alle Kombinationen und Fertigungstoleranzen simulierbar sind. Frühzeitig erkannte Schwachstellen lassen sich dann ohne Folgekosten beheben. // KU

FlowCAD/Mecadtron

MOTORANSTEUERUNG

## Design-Alternativen ausprobieren

Dieses Kit integriert die Leistungselektronik, die mit einem Universal Controller Board verbunden ist. Auf den Modulen befinden sich verschiedene Wechselrichter für die Motorsteuerung (HV-Modulen und LV-MOSFETs). Das UCB ist eine gemeinsame Steuerungsplattform, die sich mit jedem Modul verbinden lässt ist, um alternative Motorsteuerungstechniken für verschiedene Motortypen und bei einer Vielzahl von Leistungsstufen abschätzen zu können. Unterstützt wird die Software-



Bild: ON Semi

Entwicklung durch die Vivado Design Suite für High-Level-Synthese und wird mit Python über PYNQ programmiert.

ON Semiconductor

AUTOMOTIVE

## 10-A-H-Brücken-Motortreiber



10A H-Bridge supporting dual-channel

Bild: Toshiba

nem  $R_{th}$  von 0,67 K/W ausgeliefert. Zu den Hauptanwendungen dieser Treiber zählen die elektronische Drosselklappensteuerung, Abgasrückführung, der Motorantrieb für Seitenspiegel, Lüftungsklappen, Kleinlüfter, Kamera- oder On-Board-Charger-Klappensteuerungen sowie Türöffner und Zuziehhilfen. Die H-Brücken-ICs sind nach AEC-Q100 (Grad 1) qualifiziert und erlauben Sperrschichttemperaturen bis 150 °C.

Toshiba Electronics Europe

Auf DMOS-FET-Technologie basieren die beiden Treiber-ICs TB9054FTG und TB9053FTG für bürstenbehaftete Gleichstrommotoren. Der TB9053FTG wird im QFN40-Power-Gehäuse mit ei-

WÄRME-MANAGEMENT

## Kühlen von Embedded-Systemen

Die Kühlösungen des Unternehmens umfasst aktive und passive Methoden und reichen von Heat-spreader mit integrierten Heatpipes über Kühlkörper mit Kupfer-Inlay, PCB-Kühlkörper und SMD-Bauteilekühler bis hin zu kühlenden Elektronikgehäusen und Frontplatten nebst Lüfertechnik. Die Auswahl der geeigneten Methode erfolgt auf Basis von Kundendaten, thermischer Simulation sowie einer ausführlichen Beratung seitens CTX. Die CNC-gefertigten Kühlkörper sind speziell für den Einbau in Em-

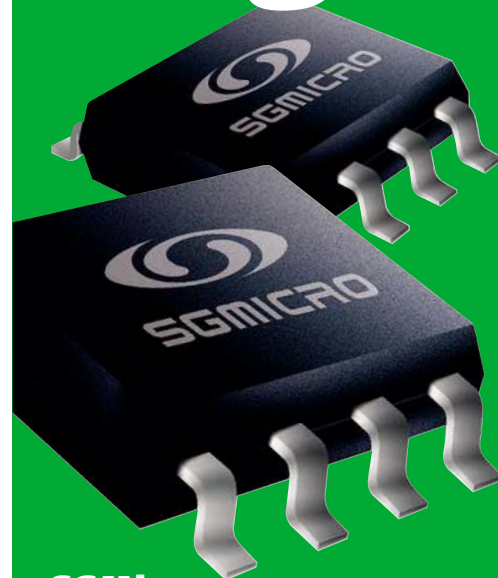


Bild: Schmol Detmar

bedded-Systemen ausgelegt. Sie werden in der Regel direkt am Hotspot montiert, um lange Funktionsfähigkeit zu sichern.

CTX

# watch dogs



## SGMicro Überwachungs-ICs & Watchdogs

- Standard-Typen SGM706, SGM708, SGM803, SGM809, SGM810, SGM811 und SGM812
- Schwellenspannungen von 2,63V bis 4,63V
- SMD-Bauformen SO8, SOT23 und SOT143
- Ab Lager Schukat lieferbar

### Distribution by Schukat electronic

- Über 250 Hersteller
- 97% ab Lager lieferbar
- Top-Preise von Muster bis Serie
- Persönlicher Kundenservice

Onlineshop mit stündlich aktualisierten Preisen und Lagerbeständen

[schukat.com](http://schukat.com)

**SCHUKAT**  
electronic

# Keramikkondensatoren steigern Leistungsdichte und Wirkungsgrad

*Stromversorgungssysteme sollen immer kompakter und leistungsfähiger werden. Mehrschicht-Keramikkondensatoren spielen auf dem Weg zu diesem Ziel eine entscheidende Rolle.*

ROLF HORN \*

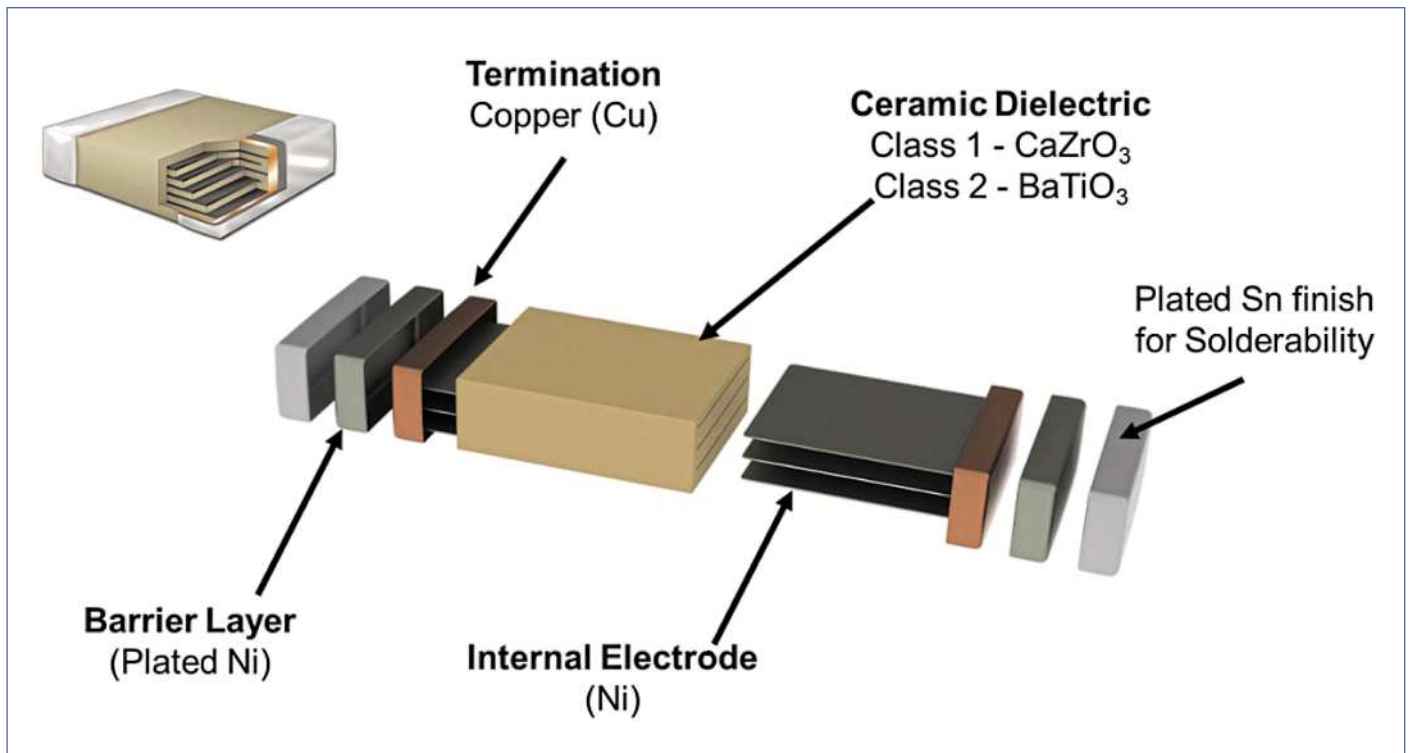


Bild: Kemet

**Bild 1:** Keramische Dielektrika werden nach Temperaturstabilität und Dielektrizitätskonstante kategorisiert.

Von Datenservern für das Internet der Dinge (IoT) bis hin zu Elektrofahrzeugen (EVs) stehen die Entwickler von Stromversorgungssystemen unter ständigem Druck, eine höhere Leistungsdichte und Umwandlungseffizienz zu erreichen. Während der Schwerpunkt auf Halbleiterschaltkomponenten lag, um diese Verbesserungen zu erreichen, können die inhärenten Eigenschaften von Mehrschicht-Keramikkondensatoren (MLCCs) auch eine wichtige Rolle bei der Unterstützung von Entwicklern bei

der Erfüllung ihrer Designanforderungen spielen. Zu diesen Eigenschaften gehören niedrige Verluste, hohe Spannungs- und Welligkeitsstrombelastbarkeit, hohe Spannungsfestigkeit und hohe Stabilität bei extremen Betriebstemperaturen.

## Der Aufbau von Mehrschicht-Keramikkondensatoren

Dieser Beitrag beschreibt den Aufbau von MLCCs und wie Keramikkondensatoren die Belastbarkeit von Gleich- und Wechselstromschienen erhöhen und gleichzeitig schnell schaltende Halbleiter ergänzen. Er beleuchtet auch die Dielektrika der Klassen I und II und wie sie es ermöglichen, dass Miniatur-MLCCs Leistungssysteme wie Dämpfer und Resonanzwandler bedienen können.

MLCCs sind monolithische Bauelemente, die aus abwechselnden Schichten keramischer Dielektrika und Metallelektroden aufgebaut sind (Bild 1). Die laminierten Schichten in MLCCs werden bei hohen Temperaturen aufgebaut, um ein gesintertes und volumetrisch effizientes Kapazitätsbauelement herzustellen. Als nächstes wird ein leitendes Abschlussbarriersystem an den freiliegenden Enden des Geräts integriert, um die Verbindung zu vervollständigen.

Unpolare Keramikbauelemente, die einen größeren volumetrischen Wirkungsgrad bieten, können eine höhere Kapazität in kleineren Gehäusegrößen liefern. Außerdem sind sie bei Hochfrequenzoperationen zuverlässiger. Dadurch können MLCCs die richtige Kombination aus Dielektrikum,



\* Rolf Horn  
... ist Applications Engineer bei  
Digi-Key Electronics.

Bild: Kemet

EIA CODE	PME - Precious Metal Electrodes BME - Base Metal Electrodes	TYPICAL AGING (% / DECADE HRS)	TYPICAL „REFEREE TIME“ (HRS)
COG	PME/BME	0	N/A
X7R	BME	2.0	1,000
X5R	BME	5.0	48

Bild 2: Die Alterungsraten in Kapazitätsprozent über die Zeit.

Abschlussystem, Formfaktor und Abschirmung bieten.

Dennoch erfordern mehrere Aspekte bei der Auswahl von Keramikkondensatoren für Anwendungen mit hoher Leistungsdichte die gebührende Sorgfalt seitens der Entwickler. Zunächst einmal kann die Kapazität durch die Betriebstemperatur, die angelegte DC-Vorspannung und die Zeit nach der letzten Erwärmung beeinflusst werden. Die Zeit nach der letzten Erwärmung kann z.B. eine Kapazitätsverschiebung verursachen, die zu einer Alterung des Kondensators führt (Bild 2).

### Welligkeiten können die Leistung beeinträchtigen

Noch wichtiger ist, dass die von schnell schaltenden IGBT- oder MOSFET-Halbleiterbauelementen erzeugten Welligkeiten die Leistung beeinträchtigen können, da jeder Kondensator eine gewisse Impedanz und Eigeninduktivität aufweist. Daher ist es zwingend erforderlich, dass Kondensatoren die Schwankungen begrenzen, da Geräte wie Wechselrichter sporadisch hohe Ströme benötigen, was eine hohe Welligkeitstromtoleranz erfordert.

Dann gibt es noch den effektiven Serienwiderstand (ESR) des Kondensators, eine wichtige Kenngröße, die den gesamten bei einer gegebenen Frequenz und Temperatur spezifizierten Innenwiderstand darstellt. Durch die Minimierung des ESR reduziert ein Entwickler den Leistungsverlust aufgrund von Wärmeerzeugung.

Als nächstes erhöht eine niedrige effektive Serieninduktivität (ESL) den Betriebsfrequenzbereich und ermöglicht eine weitere Miniaturisierung von Keramikkondensatoren. Zusammen erhöhen ein niedriger ESR und eine niedrige ESL die Belastbarkeit eines Kondensators und minimieren die parasitären Geräteparameter. Darüber hinaus tragen sie zu geringeren Verlusten bei, was wiederum den Betrieb der Kondensatoren bei hohen Welligkeitsströmen ermöglicht.

Eine weitere kritische Designüberlegung ist die Wahl des dielektrischen Materials. Dies bestimmt die Änderung der Kapazität über der Temperatur (Bild 3). Dielektrische Materialien der Klasse I wie COG und U2J bieten zwar temperaturstabilere Dielektrika, haben aber eine niedrigere Dielektrizitätskonstante K. Auf der anderen Seite weisen Materialien der Klasse II wie X7R und X5R

Bild: Kemet

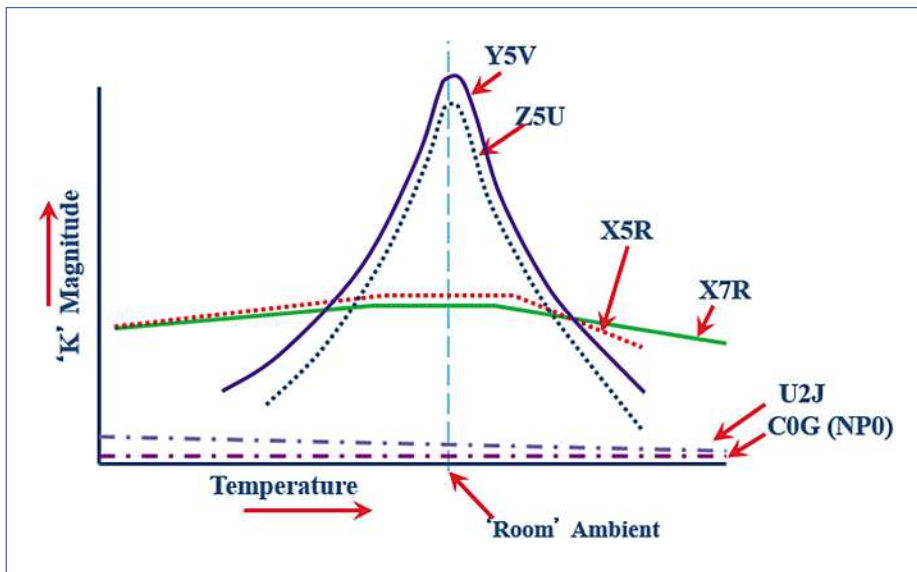


Bild 3: Dielektrische Materialien der Klasse I und der Klasse II unterscheiden sich hauptsächlich darin, wie stark sich die Kapazität bei einer bestimmten Temperatur ändert.

# Hybrid SMD Panasonic



SCHUKAT electronic

Du suchst einen passenden Job in der Elektronikbranche?

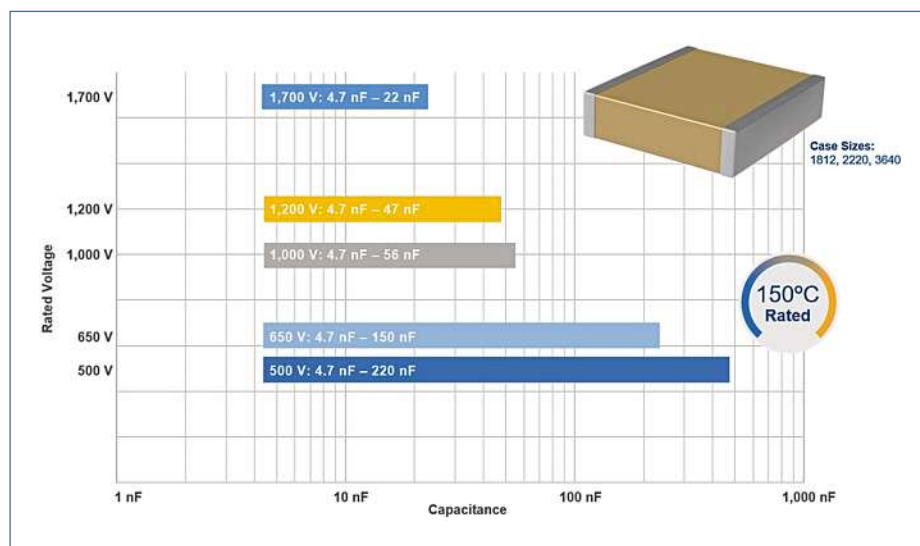


Hier findest du ihn:

jobs.elektronikpraxis.de

ELEKTRONIK PRAXIS ist eine Marke der

VOGEL COMMUNICATIONS GROUP



**Bild 4:** Mit einer Betriebstemperatur von 150 °C können KC-LINK-Keramikkondensatoren in Anwendungen mit hoher Leistungsdichte, die eine minimale Kühlung erfordern, näher an schnell schaltenden Halbleitern platziert werden.

eine mittlere Stabilität sowie einen mittleren K-Wert auf und bieten gleichzeitig wesentlich höhere Kapazitätswerte.

### Keramikkondensatoren ersetzen Folienkondensatoren

Bei schnell schaltenden Stromversorgungssystemen gilt jedoch: je höher die Betriebsfrequenz, desto geringer ist die zur Leistungsabgabe erforderliche Kapazität. Dadurch können Keramikkondensatoren mit niedrigerem K-Wert sperrige Folienkondensatoren mit hoher Kapazität ersetzen, wodurch die Leistungsdichte deutlich erhöht wird. Diese Keramikkondensatoren haben einen kleineren Footprint, sodass sie näher an schnell schaltenden Halbleitern montiert werden können und bei Anwendungen mit hoher Leistungsdichte nur minimale Kühlung erfordern.

### Dielektrische Mehrschicht-Keramikkondensatoren Klasse I

Kemets KC-Link-Kondensatoren wie der CKC33C224KCGACAUTO (0,22 µF, 500 V), der CKC33C224JCGACAUTO (0,22 µF, 500 V) und der CKC18C153JDGACAUTO (15 nF, 1000 V) sind gute Beispiele für die Klasse I. Sie verwenden ein Kalziumzirkonat-Dielektrikum der Klasse I, das einen extrem stabilen Betrieb ohne Kapazitätsverlust aufgrund von Schaltfrequenz, angelegter Spannung oder Umgebungstemperatur ermöglicht. Das verlustarme Kalziumzirkonat-Dielektrikum minimiert auch die Alterungseffekte, da es keine Kapazitätsverschiebung über die Zeit gibt. Die KC-Link-Kondensatoren nutzen die COG-Dielektrikumstechnologie, um einen

sehr niedrigen ESR und die Fähigkeit zur Bewältigung eines sehr hohen Welligkeitsstroms zu erreichen, der für Designs mit hoher Leistungsdichte erforderlich ist. Die hohe mechanische Robustheit ermöglicht es, diese Keramikkondensatoren der Klasse I ohne die Verwendung von Leadframes zu montieren, was ebenfalls zu einem extrem niedrigen ESL beiträgt.

Diese Keramikkondensatoren können bei sehr hohen Welligkeitsströmen ohne Änderung der Kapazität gegenüber der Gleichspannung und bei vernachlässigbarer Änderung der Kapazität über einem Betriebstemperaturbereich von -55 bis 150 °C betrieben werden. Sie sind mit Kapazitätswerten von 4,7 bis 220 nF und Nennspannungen von 500 bis 1700 V erhältlich (Bild 4).

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass KC-Link-Kondensatoren, die auf dielektrischem Material der Klasse I basieren, eine geringere chipeigene Kapazität bieten als gleichwertige Kondensatoren der Klasse II. Wenn also mehr Kapazität benötigt wird, können mehrere KC-Link-Kondensatoren zu einer einzigen monolithischen Struktur verbunden werden, um eine höhere Packungsdichte zu erzielen.

### Rauscharme Lösung mit bis zu 125% mehr Kapazität

Das Ergebnis dieser Kondensatorkonsolidierung ist eine rauscharme Lösung ähnlich wie KC-Link, jedoch mit bis zu 125% mehr Kapazität. Die oberflächenmontierbaren Konnekt-Kondensatoren von Kemet, die ebenfalls auf einem dielektrischen Material der Klasse I basieren, bieten

höhere Kapazitätswerte im Bereich von 100 pF bis 0,47 µF. Sie behalten über 99% ihrer Nennkapazität bei Nennspannungen und eignen sich gut für zeitkritische und Anwendungen, die Temperaturzyklen und Plattenbiegung unterliegen.

### Stapelung von MLCCs für mehr Kapazität

Die Konnekt-Keramikkondensatoren, einschließlich der Typen C1812C145J5JLC7805, C1812C944J5JLC7800 und C1812C944J5JLC7805, werden durch vertikales oder horizontales Stapeln von zwei bis vier Keramikkondensatoren erzeugt, wobei die Integrität des Bauelements erhalten bleibt. Der Keramikkondensator C1812C944J5JLC7800 bietet eine Kapazität von 0,94 µF durch Stapeln von zwei Bauelementen, während der Keramikkondensator C1812C145J5JLC7805 den Kapazitätswert auf 1,4 µF bringt, wenn drei Bauelemente gestapelt werden.

Diese MLCCs nutzen das transiente Flüssigphasen-Sintern (TLPS), um Komponentenabschlüsse miteinander zu verbinden und so eine bleifreie Multichip-Lösung zu schaffen. Die bleifreie Multichip-Lösung macht den Kondensator kompatibel mit bestehenden Reflow-Prozessen. TLPS, eine Metallmatrix-Kompositverbindung aus Kupfer-Zinn-Material, wird als Ersatz für Lot verwendet. Es bildet eine metallurgische Verbindung zwischen zwei Oberflächen, in diesem Fall den U2J-Schichten.

Da Kondensatoren in beiden Ausrichtungen integriert werden können, minimiert sich die Grundfläche der Komponenten und es maximiert sich die Gesamtkapazität eines gestapelten MLCC-Bauelements (Bild 5), wodurch Konnekt-Keramikkondensatoren den Kapazitätsbereich erreichen können, der bisher nur mit dielektrischen Materialien der Klasse II wie X5R und X7R möglich war.

Bei einer verlustarmen Ausrichtung wird weniger elektrische Energie in Wärme umgewandelt, was wiederum die Energieeffizienz verbessert und die Belastbarkeit eines Kondensators weiter erhöht. Die verlustarme Ausrichtung senkt außerdem sowohl ESR als auch ESL und erhöht somit die Fähigkeit eines Keramikkondensators, mit Welligkeitsströmen umzugehen.

Die Verwendung von TLPS-Material in Kombination mit einem ultrastabilen Dielektrikum ermöglicht es Keramikkondensatoren, extrem hohe Welligkeitsströme im Bereich von Hunderten von Kilohertz zu bewältigen. Bei dem U2J-Konnekt-Kondensator C1812C145J5JLC7805 mit 1,4 µF beträgt der ESL z.B. 1,6 nH, wenn er in der Standardausrichtung montiert ist, aber er reduziert sich



auf 0,4 nH in verlustarmer Ausrichtung. Ebenso wird bei verlustarmer Ausrichtung der ESR von 1,3 auf 0,35 mΩ reduziert, wodurch die Systemverluste gesenkt und der Temperaturanstieg begrenzt werden.

Kemets oberflächenmontierbaren U2J-Konnect-Kondensatoren begrenzen ihre Kapazitätsänderung auf  $-750 \pm 120$  ppm/K über einen Temperaturbereich von  $-55$  bis  $125$  °C. Dadurch weist der U2J-Keramikkondensator eine vernachlässigbare Verschiebung der Kapazität gegenüber der Gleichspannung und eine vorhersehbare lineare Kapazitätsänderung in Bezug auf die Umgebungstemperatur auf.

### Keramikkondensatoren für Wechselstromleitungen

Die in den obigen Abschnitten erwähnten Keramikkondensatoren stabilisieren und glätten die Spannung und den Strom auf Gleichstromschienen und verhindern so Entkopplungsspitzen, die durch schnelles Schalten verursacht werden. Keramikkondensatoren werden jedoch auch in AC-Netzfiltern, AC/DC-Wandlern und PFC-Schaltungen eingesetzt.

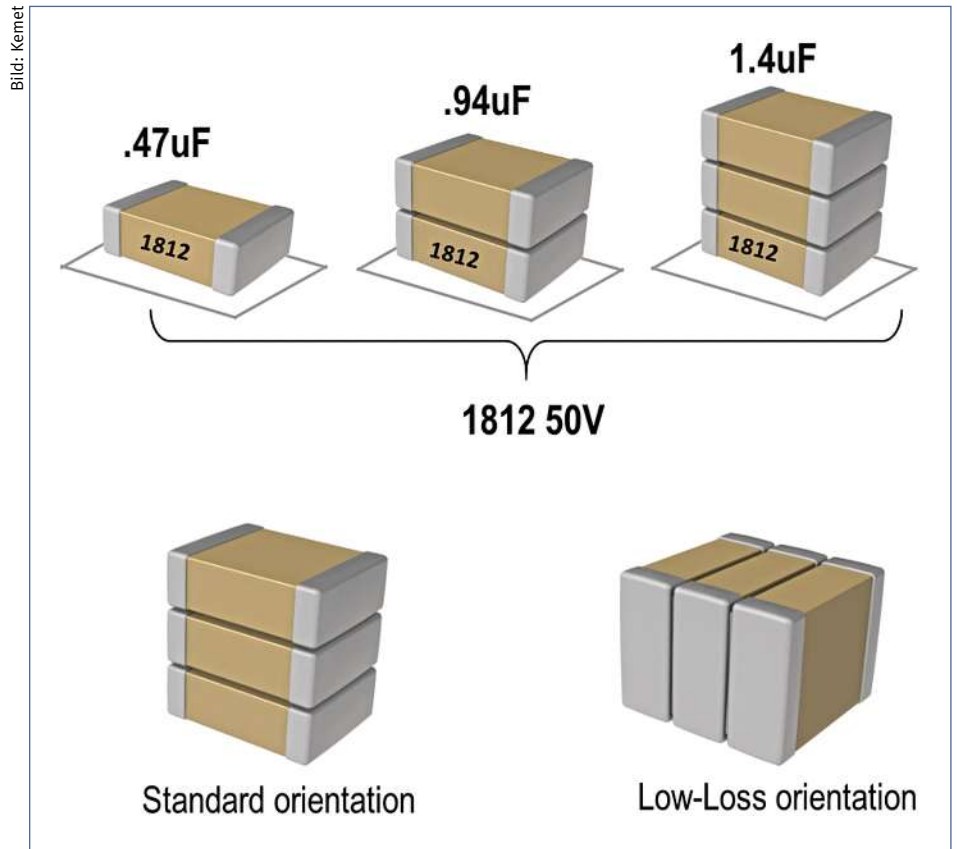
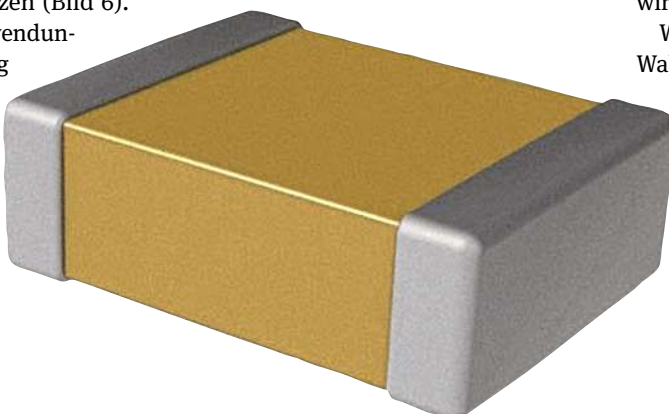
In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu beachten, dass Keramikkondensatoren für Wechselstromleitungen sowohl in sicherheitsbewerteten als auch in nicht sicherheitsbewerteten Ausführungen erhältlich sind. Während die sicherheitsbewerteten Kondensatoren elektrisches Rauschen unterdrücken und die Schaltungen vor Überspannungen und Transienten schützen, sind höhere Kapazitäts-/Spannungspegel (CV) in diesen sicherheitszertifizierten MLCCs nicht verfügbar.

Nicht sicherheitsbewertete AC-Keramikkondensatoren, die in einer Vielzahl von Größen und CV-Werten erhältlich sind, können für den Dauerbetrieb unter AC-Leitungsbedingungen verwendet werden. Die Keramikkondensatoren der CAN-Serie von Kemet sind für Wechselstromnetze bis  $250 V_{AC}$  bei Netzfrequenzen von 50/60 Hz und andere nicht sicherheitsrelevante Anwendungen geeignet.

Die Wechselstromkondensatoren bieten einen niedrigen Leckstrom und einen niedrigen ESR bei hohen Frequenzen (Bild 6). Sie eignen sich sowohl für Anwendungen von Leitung zu Leitung

**Bild 6:** Die Wechselstromkondensatoren der CAN-Serie bieten einen niedrigen Leckstrom und einen niedrigen ESR bei höheren Frequenzen.

Bild: Kemet



**Bild 5:** MLCCs können gestapelt werden, um die Kapazität zu erhöhen, und in einer verlustarmen Ausrichtung platziert werden, um ESR und ESL zu senken.

(Klasse X) als auch von Leitung zu Erde (Klasse Y) und erfüllen die in der Norm IEC 60384 festgelegten Impulskriterien.

Die Keramikkondensatoren der CAN-Serie sind sowohl mit X7R- als auch mit COG-Dielektrika erhältlich. Das COG-Dielektrikum weist, wie im Fall der DC-Zwischenkreis-kondensatoren gezeigt, keine Kapazitätsänderung über Zeit und Spannung und nur eine vernachlässigbare Kapazitätsänderung in Bezug auf die Umgebungstemperatur auf. Andererseits weist X7R bei Keramikkondensatoren wie dem CAN12X153KARAC7800 und dem CAN12X223KARAC7800 eine vorhersehbare Kapazitätsänderung bezüglich Zeit und Spannung auf und weist eine minimale Kapazitätsänderung aufgrund der Umgebungstemperatur auf. Der Keramik-

kondensator CAN12X153KARAC7800 bietet einen Kapazitätswert von  $0,015 \mu F$ , während der Baustein CAN12X223KARAC7800 eine Kapazität von  $0,022 \mu F$  aufweist. Beide MLCC-Komponenten bieten eine Toleranz von 10%.

### Dielektrika der Klassen I und II bieten Vorteile

Da Stromversorgungssysteme weiter schrumpfen und mehr Leistung in kleinere Formfaktoren packen, spielen MLCCs eine entscheidende Rolle in Designs, die von Server-Stromversorgungen über drahtlose Ladegeräte bis hin zu Wechselrichtern reichen. Sie glätten Gleich- und Wechselspannungen, stabilisieren die Stromwelligkeit und gewährleisten das Wärmemanagement in Leistungsdesigns, die den Umwandlungswirkungsgrad verbessern sollen.

Wie in diesem Beitrag gezeigt, bietet die Wahl von Dielektrika der Klassen I und II den MLCCs eine Hebelwirkung, um die Kapazität und andere kritische Parameter wie ESR und ESL entsprechend den spezifischen Anwendungsanforderungen anzupassen. // TK

Digi-Key

KERAMIK-SMT-INDUKTIVITÄTEN

# Hohe Güte, hoher Nennstrom, große Auswahl

Würth Elektronik hat der Produktfamilie WE-KI weitere Varianten von Keramikinduktivitäten in den Formfaktoren 0603 und 0805 hinzugefügt. Das Portfolio umfasst jetzt über 300 Modelle in vier Größen von 0402 bis 1008, wahlweise mit einer Toleranz von  $\pm 2\%$  und  $\pm 5\%$ . Mit den neuen Modellen reicht die Spanne der verfügbaren Induktivitätswerte von 1 bis 1800 nH.

Die SMT-bestückbaren Keramikinduktivitäten zielen speziell auf Hochfrequenzanwendungen. So werde eine WE-KI-Variante oft

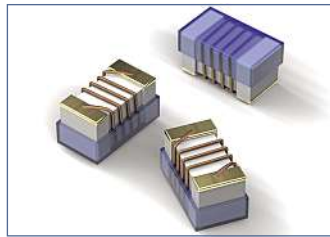


Bild: Würth Elektronik

im Bereich Telekommunikation und in der Antennenanpassung eingesetzt. Würth Elektronik bietet hier als Zusatzservice einen Antenna Matching Service, damit Entwickler Effizienz und Reichweite zuverlässig opti-

mieren können. Im Vergleich mit anderen Technologien wie Multilayer-Keramikinduktivitäten oder Thin-Film-Induktivitäten bieten die WE-KI eine sehr hohe Güte (Q-Faktor) und sehr hohe Nennströme. WE-KI zeichnet sich durch hohe thermische Stabilität aus und ist für Betriebstemperaturen von  $-40$  bis  $125^\circ\text{C}$  spezifiziert. Die höchstmögliche spezifizizierte Eigenresonanzfrequenz reicht bis zu  $12,5\text{ GHz}$ . Um die Auswahl im Design zu erleichtern, stellt Würth Elektronik für alle Varianten Spice-Modelle

(LT Spice und PSpice) für die Simulation zur Verfügung.

Zu WE-KI werden Design Kits angeboten, also Mustersammlungen mit denen Entwickler Induktivitäten verschiedener Werte immer griffbereit haben. Diese „Setzkästen“ werden von Würth Elektronik kostenlos wiederaufgefüllt. Auch einzelne Muster werden jederzeit gestellt. Alle Produkte der Induktivitätenreihe sind ohne Mindestbestellmenge ab Lager verfügbar.

Würth Elektronik

KONDENSATOREN

# Für hohe Temperaturen bis $125^\circ\text{C}$



Bild: Eurocomp

Die HTC-Hochtemperaturkondensatoren von Celem (Vertrieb: Eurocomp) eignen sich für Temperaturen bis  $125^\circ\text{C}$ . Es sind verschiedene Bauformen verfügbar, je nach Kapazität für 550 oder

1000 V. Die Kapazitätswerte betragen je nach Bauform  $0,1$  bis  $0,4\ \mu\text{F}$ . Das Bild zeigt die Bauformen CSM, C-Cap mini, CMPP und CSP mit den Anschlussmöglichkeiten. Auf Wunsch können diese Kondensatoren mit UL-zertifiziertem Harz hergestellt werden. Celem verwendet für die HTC-Serie hochwertige Hochtemperaturfolie, sodass sich die Serie u.a. auch für Wireless-Leistungsträger in Automobilanwendungen eignet.

Eurocomp

BAUELEMENTESOCKEL

# Macht das Handlöten überflüssig

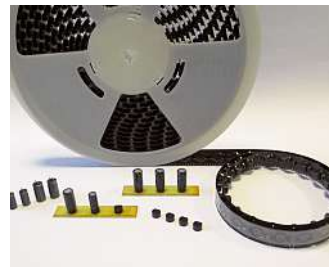


Bild: Frolyt

Frolyt hat einen Sockel zur Aufnahme elektrischer Bauelemente entwickelt, der das Handlöten überflüssig macht. Die Lösung besteht darin, dass der Sockel über das Reflowlöten aus dem

Blistergurt auf die Leiterplatte gebracht wird und im Anschluss die elektrischen Bauelemente in den Sockel gesteckt werden. Damit entfällt das Handlöten, das spart nicht nur Zeit sondern auch Kosten. Die Zugfestigkeit liegt bei  $>5,5\text{ kg}$  ( $55\text{ N}$ ), die Spannung  $\leq 450\text{ V}_{\text{DC}}$ , Leistungsaufnahme  $1800\text{ W}$ , als Raster sind  $5\text{ mm}$  und  $7,5\text{ mm}$  möglich, beide Rastermaße passen in den Sockel. Der Temperaturbereich im Dauerbetrieb liegt bei  $-40$  bis  $130^\circ\text{C}$ .

Frolyt

KERAMIKVIELSCHICHT-CHIPKONDENSATOREN

# Mit Metall-Anschlüssen und hoher Spannungsfestigkeit

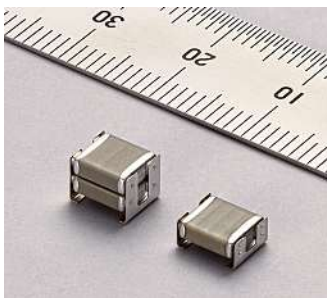


Bild: Murata

Murata Electronics hat zwei neue Serien von Keramikvielschicht-Chipkondensatoren (MLCCs) mit Metall-Anschlüssen und temperaturkompensierender U2J-Cha-

rakteristik vorgestellt. Die für Automotive-Anwendungen konzipierte KCM-Reihe bietet geringe Verluste und gute Stabilitätseigenschaften bei hohen Temperaturen, hohen Spannungen und hohen Frequenzen.

Für allgemeine Anwendungen ist die Serie KRM ausgelegt, von der einige Ausführungen eine Nennspannung von  $1250\text{ V}_{\text{DC}}$  aufweisen. Beide Serien sind hauptsächlich für die Verwendung in Snubber-Schaltungen für IGBTs vorgesehen, die vorwiegend im Automotive-Bereich und in in-

dustriellen Anwendungen eingesetzt werden. Eine Snubber-Schaltung schützt Stromversorgungen vor hohen Spannungsspitzen, die beim Schalten auftreten können. Das kapazitive Element in der Schaltung absorbiert die Spannungsspitzen, die durch die Induktivität des Übertragers oder der Verdrahtung hervorgerufen werden, und schützt damit die Schaltbausteine die peripheren Bauelemente. Da die Verwendung kompakter interner Module in Automotive- und Industrie-Anwendungen

immer mehr zunimmt, besteht ein wachsender Bedarf an miniaturisierten elektronischen Bauelementen, die hohen Temperaturen widerstehen können.

„Die neuen MLCCs weisen geringere Verluste auf und entwickeln weniger Wärme als ähnliche Bauelemente, in denen Keramikmaterial mit einer hohen Dielektrizitätskonstante zum Einsatz kommt“, betont Takatori Hibino, Capacitors Product Manager bei Murata Europe.

Murata

WIDERSTANDSNETZWERKE

## Genau, stabil und hochintegriert

Für Präzisionsspannungsteiler in der Fahrzeugelektronik, der medizinischen Gerätetechnik sowie in der analogen und Präzisionsmesstechnik, bei denen es auf Genauigkeit und Stabilität ankommt, bietet Susumu die Widerstandsnetzwerke seiner RM-Serie an. Diese integrieren jeweils zwei bis sechs Dünnschichtwiderstände vom Typ RG und teilen Eingangsspannungen von bis zu 1000 V in unterschiedlichen Verhältnissen, entsprechend den jeweiligen Widerstandswerten. Standardmäßig

sind verschiedene Teilungsverhältnisse von 1:1 bis 1:100 erhältlich; kundenspezifische Lösungen hinsichtlich der Widerstandswerte bzw. größerer Teilungsverhältnisse, jedoch auch in Bezug auf Bauformen und interne Schaltungen sind ab der Losgröße 100 realisierbar.

Die RM-Dünnschichtwiderstandsnetzwerke sind für Nennleistungen von 0,05 bis 0,1 W je Element bzw. von 0,1 bis 0,4 W je Netzwerk ausgelegt. Die Nennwerte der Widerstände reichen von 100  $\Omega$  bis 500 k $\Omega$ . Sowohl der

relative Widerstandstemperaturkoeffizient TCR der Bauteile als auch ihre relative Widerstandstoleranz ist definierbar. Niedrige Werte beider Größen sind entscheidend, um präzise und stabile Spannungsteilungsverhältnisse zu erreichen. TCR-Werte sind bis hinab zu  $\pm 5$  ppm/K (absolut) bzw.  $\pm 1$  ppm/K (TCR-Tracking) möglich; die relative Widerstandstoleranz kann Werte bis hinab zu  $\pm 0,05\%$  (absolut) bzw.  $\pm 0,01\%$  (Ratio) erreichen. Zuverlässigkeitsdaten der Bauelemente entsprechen denen der

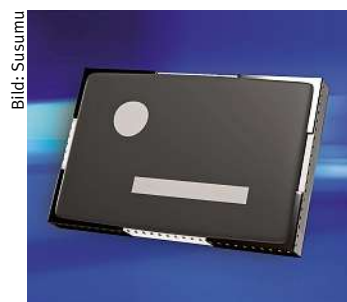


Bild: Susumu

RG-Widerstandsreihe; Prüfungen über 10.000 Stunden haben eine Drift von  $<0,1\%$  ergeben.

Susumu

DÜNNSCHICHT-CHIPWIDERSTÄNDE

## Typen mit gedrehter Anschlussgeometrie nun auch in Baugröße 0612

Vishay Intertechnology hat seine Produktfamilie NCW AT, eine Serie von Dünnschicht-Chipwiderständen mit gedrehter Anschlussgeometrie, um Modelle der Baugröße 0612 erweitert. Die für Leistungselektronik-Anwendungen im Automobilbereich und in der Industrieelektronik vorgesehenen Widerstände der Serie NCW 0612 AT kombinieren hohe Temperaturfestigkeit und Langzeitstabilität mit erhöhter Belastbarkeit bis 1 W. Sie sind mit Widerstandswerten ab 0,10  $\Omega$  erhältlich.



Bild: Vishay Intertechnology

Die AEC-Q200-qualifizierten Bauteile ergänzen die kürzlich vorgestellte Serie NCW AT in der noch kleineren Bauform 0406. Ihre gedrehte Geometrie und die

daraus resultierenden größeren Kontaktflächen zur Platine machen sie besonders robust gegenüber Temperaturwechseln. Die Bauteile vertragen hohe Betriebstemperaturen von bis zu 175  $^{\circ}\text{C}$ , sind schwefelbeständig nach ASTM B 809 und zeichnen sich durch hervorragende Feuchtigkeitsbeständigkeit bei 85  $^{\circ}\text{C}$  und 85% relativer Feuchte aus.

Diese Spezifikation erlaubt es Entwicklern, die Widerstände der Familie NCW AT unter herausfordernden Umgebungsbedingungen und bei hohen Tem-

peraturen einzusetzen, ohne dass sie Kompromisse bei der Belastbarkeit oder bei den elektrischen Eigenschaften eingehen müssen. Sie sind eine ideale Lösung für anspruchsvolle Leistungselektronik-Anwendungen, in denen es auf hohe Belastbarkeit und Robustheit ankommt. Typische Anwendungen sind DC/DC-Wandler, LED-Treiber, Gleichstromüberwachung und Batteriemangement.

Vishay Intertechnology

HOCHSTROMBRÜCKE

## Ersetzt Null-Ohm-Widerstände

Die neuesten Verbindungskomponenten von Keystone ist eine Reihe „echter“ Null-Ohm-Hochstrombrücken, die als Ersatz für Null-Ohm-Widerstände konzipiert sind. Die neuen Hochstrombrücken sind schnell und einfach einzurichten und sie eignen sich als Ersatz für Null-Ohm-Widerstände. Anpassungen des Platinendesigns bzw. -layouts sind dabei nicht erforderlich. Um den Entwurfsprozess zu vereinfachen und Footprint-Kompatibilität der Komponenten zu gewährleisten, werden die Hoch-

strombrücke in vier Widerstands-Chipgrößen angeboten: 0402, 0603, 0805 und 1206.

Die Jumper sind aus Kupfer mit Silberbeschichtung, bieten eine geringe Impedanz und ermöglichen Schaltungsverbindungen mit dem gleichen Footprint wie ein Null-Ohm-Widerstand. Die Hochstrombrücken sind ROHS-konform und eignen sich für hochkompakte Hochstrom-Platinenanwendungen, sind entsprechend der Norm ANSI/EIA-481 auf Rolle gegurtet und so mit den meisten Vakuum- und me-

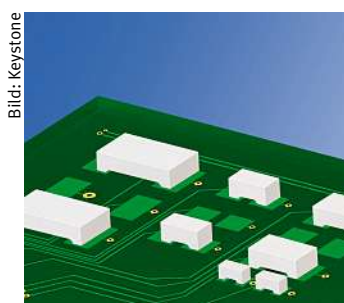


Bild: Keystone

chanischen Bestückungssystemen kompatibel. Lieferung ab Lager über das globale Distributionsnetz des Unternehmens. Keystone bietet auch Dienstleis-

tungen in den Bereichen Stanzen, maschinelle Bearbeitung, Montage, CNC und Spritzguss an. Bei Produktänderungen oder kundenspezifischen Designs unterstützt das Unternehmen zudem Ihre Applikations- und Engineering-Teams.

Keystone ist zertifiziert nach ISO 9001:2015; Der Firmensitz liegt in den USA; weitere Niederlassungen befinden sich in Kanada, Europa, Australien und Asien.

Keystone



Bild: ©rh2010 - stock.adobe.com

**Ein Akkusauger:**

auch bei ihm ist funktionale Sicherheit ein Muss, ebenso wie bei allen Akku-Haushaltsgeräten und Werkzeugen.

# Funktionale Sicherheit bei akkubetriebenen Geräten

*Akkubetriebene Geräte müssen sicher sein. In diesem Beitrag geht es um die funktionale Sicherheit und wirtschaftliche Aspekte, wenn statt diskreter Bauelemente ein ASIC eingesetzt wird.*

ENRIQUE MARTINEZ \*

Jüngste Fortschritte in der Batterie-/Akkutechnik haben im Einklang mit Umweltstandards für einen geringeren Stromverbrauch den Trend beschleunigt, Haushaltsgeräte und Elektrowerkzeuge kabellos bzw. batteriebetrieben zu betreiben.

Der Wegfall der Netzstromversorgung bietet zwar einen besseren Schutz vor Stromschlägen, mindert aber das Risiko nicht vollständig. Daher muss die funktionale Sicherheit immer noch ein wesentliches Anliegen des Systemdesigns sein.

\* Enrique Martinez  
... ist Functional Safety Manager bei EnSilica.

Die rasante Verbesserung der Batterie-/Akkutechnik in den letzten Jahren hat eine neue Generation kabelloser Haushaltsgeräte, Elektrowerkzeuge und Gartengeräte hervorgebracht. Der Komfort, den diese Geräte für Verbraucher bieten, hat bei vielen Unternehmen zu einem erheblichen Wachstum geführt: allein Dyson verzeichnete ein Wachstum von 20% in Europa/Amerika und von 40% in Asien; und die US-Marke Shark ist von einer in Europa relativ unbekannt Marke in die Top 3 aufgestiegen.

Der Vorteil des kabellosen Betriebs ist nicht nur die Bequemlichkeit. Das Fehlen der Netzspannung während des Betriebs bietet einen besseren Schutz vor Stromschlägen.

Das Sicherheitsrisiko ist jedoch nicht vollständig verschwunden – es liegt nun in der hohen Energie, die im Akku gespeichert ist.

In den letzten Jahren wurden daher Sicherheitsstandards und Gesetze für diese Geräte entwickelt und verbessert (IEC 60335 für Geräte im beaufsichtigten Betrieb, IEC 60730 für den unbeaufsichtigten Betrieb und UL 1642 für Lithium-Ionen-Akkus). Diese Standards unterstreichen nicht nur die wachsende Bedeutung, dass diese Geräte grundlegenden Schutz für Personen und Sachwerte vor Gefahren und Schäden bieten sollen, sondern bringen sie auch in Einklang mit Systemen in den Bereichen Industrie, Autobau, Medizin- sowie Luft-/Raumfahrttechnik – wo

funktionale Sicherheit schon immer ein wichtiges Thema war und ist.

## Batteriemanagement und Motorsteuerung

Tragbare batteriebetriebene Geräte basieren heute in der Regel auf Lithium-Ionen-Akkus als bevorzugte Stromquelle aufgrund ihres günstigen Energie/Gewicht-Verhältnisses, das bis zu fünfmal höher ist als bei Ni-Cd- oder Blei-Säure-Akkus. Lithium-Ionen-Akkus bieten auch eine viel höhere Anzahl von Lade-/Entladezyklen. Bei der Verwendung von Lithium-Ionen-Akkus gibt es jedoch einiges zu beachten. Sie sind empfindlich und müssen innerhalb der Grenzen ihres Lade- und Entladeprofils bleiben: Sie tolerieren keine Überladung, da dies die Lebensdauer verkürzt. Im schlimmsten Fall kann es aufgrund eines internen thermischen Runaway-Prozesses zu einem Brand oder einer Explosion kommen, wobei die Zellentemperatur auf den Lithium-Schmelzpunkt (180,5 °C) ansteigt.

Vor diesem Hintergrund besteht auf dem Markt für Elektrowerkzeuge immer mehr Bedarf an höheren Motordrehmomenten, was eine höhere Stromkapazität erfordert. Diese muss sorgfältig gehandhabt werden, wobei die Anzahl der Zellen im Akkupack auf Kosten der zusätzlichen Zellen und ihres Gewichts erhöht wird. Das Laden von Lithium-Ionen-Akkus bei niedriger Temperatur ist ebenfalls ein Problem. Unterhalb von 0 °C tritt eine interne Beschichtung auf, die Zellen beschädigen und die Batteriesicherheit beeinträchtigen kann.

Durch proaktives Überwachen der Temperatur, Spannung und des Stroms der Zelle und durch Aktivieren von Schutzmechanismen vor dem Erreichen kritischer Grenzwerte lassen sich die genannten Probleme in den Griff bekommen.

Bei einem Akku-Staubsauger oder -Schleifer sind somit ein Batteriemanagement und eine Motordrehzahlregelung erforderlich, genauso wie die o.g. zusätzlichen Funktionen. Um dies zu bewerkstelligen, können Entwickler einen Ansatz mit diskreten Bauelementen wählen oder einen ASIC entwickeln.

### Ein typisches Motorsystem für den Akkubetrieb

Ein Batteriemanagementsystem erfordert eine hochpräzise Spannungserfassung, um den Ladezustand und die Temperatur der Lithium-Ionen-Zellen zu bestimmen. Außerdem ist ein hochauflösender A/D-Wandler (bis zu 16 Bit) erforderlich, um kritische Situationen wie Überlastung oder Überhitzung

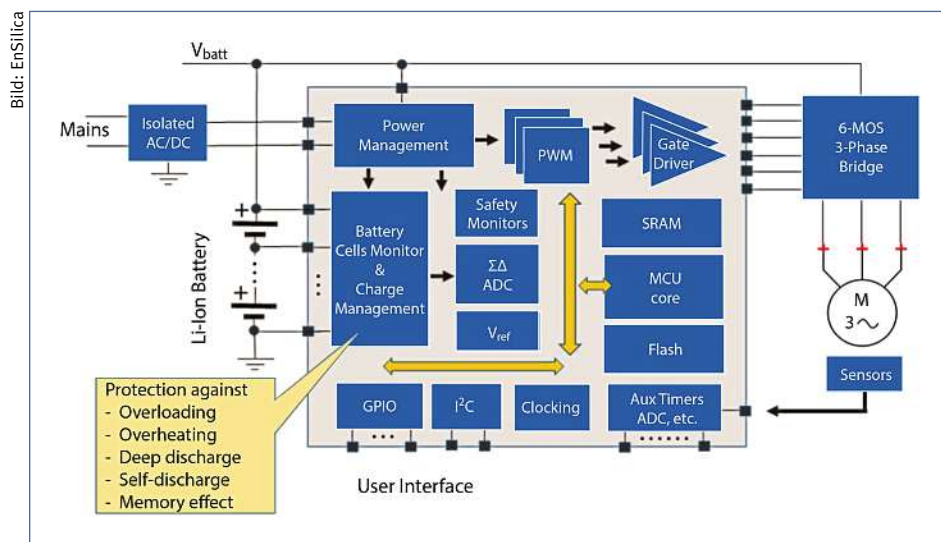


Bild 1: ASIC für Batteriemanagement und Motorsteuerung.

zu überwachen, was die Produktsicherheit beeinträchtigen könnte.

Darüber hinaus ist eine MCU mit integriertem Flash-Speicher erforderlich, um die Datenverarbeitung zu gewährleisten, die den Zustand der Lithium-Ionen-Zellen bestimmt und um zusätzliche Intelligenz, Benutzerschnittstellen, Debugging, Kommunikation und Hilfsfunktionen hinzuzufügen.

Betrachten wir nun den Motor. Die übliche Lösung für Motoren, die eine Drehzahlregelung erfordern, ist ein bürstenloser 3-Phasen-Motor mit PWM-Ansteuerung (Pulsweitenmodulation). Die Kosten für die Steuerelektronik dieser Architektur beschränken den Einsatz jedoch auf Highend-Systeme, die an der Netzspannung betrieben werden.

Der Übergang auf den Akkubetrieb (mit niedrigerer Spannung) bietet nun neue Möglichkeiten, wobei sehr effiziente Low-Voltage-MOS-Leistungsschalter und Brückengleichrichter verwendet werden – sofern die erforderliche Leistungsfähigkeit gegeben ist. Dies hat den zusätzlichen Vorteil, dass keine Isolierung von der hohen Netzspannung erforderlich ist. Bild 1 zeigt ein Blockdiagramm eines ASICs für Batteriemanagement und Motorsteuerung in einem tragbaren Gerät.

### Einsatz von ASIC und diskreten Bauelementen im Vergleich

Die Vorteile eines ASICs in einem System sind bekannt: kleinere Stückliste, geringerer Stromverbrauch, kleinere Baugröße und geringeres Gewicht, besserer IP-Schutz, mehr Zuverlässigkeit, geringere Kosten für Test und Montage sowie die Möglichkeit, zusätzliche Funktionen zu integrieren.

Dedizierte ASICs sind jedoch mit anfänglichen NRE-Kosten (Non-Recurring Engi-

neering) verbunden. Ab wann ist es also sinnvoll, einen ASIC für die funktionale Sicherheit in batteriebetriebenen Geräten zu entwickeln? Und wie lassen sich die Kosten minimieren?

### ASICs müssen nicht die teurere Lösung sein

ASICs haben zu Unrecht den Ruf, teuer zu sein. Dies mag vor Jahren der Fall gewesen sein, und die Veröffentlichungen über ASICs haben diesen Ruf häufig noch verstärkt, indem sich verständlicherweise auf die ASICs für Google, Tesla und Apple konzentriert wurde, die auf Spitzentechnologien basieren, die natürlich hohe Summen für einen einzigen Maskensatz erfordern. Für Anwendungen, die auf modernster Halbleitertechnik basieren gehen die Masken- und Entwicklungskosten in die Hunderte von Millionen US-Dollar.

Die meisten Anwendungen benötigen jedoch keine Spitzentechnologie, und dies ist sicherlich bei batteriebetriebenen Geräten der Fall. Denn diese sind in der Regel einfach, klein und stromsparend. Verfolgt man stattdessen einen „More-than-Moore“-Ansatz mit kostengünstigeren Technologien wie Bipolar-CMOS-DMOS (BCD), lassen sich die Stromversorgung, Flash-Speicher sowie analoge und digitale Funktionen in einem einzigen Baustein integrieren und damit die Masken- und Entwicklungskosten drastisch senken.

Verschiedene Maskenoptionen und Nennspannungen bis etwa 80 V für HV-MOSFETs ermöglichen ASICs für Lithium-Ionen-Akkubetriebene Motorsteuerungen. Abhängig von der erforderlichen Motorleistung lässt sich auch die Leistungsendstufe auf demselben

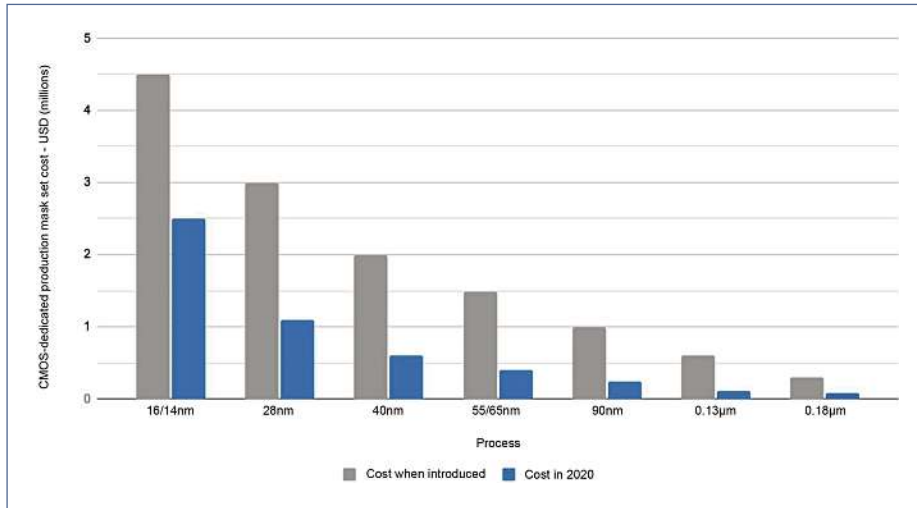


Bild 2: Kosten für modernste und neueste Halbleitertechnologien (basierend auf TSMC-Prozessen).

Chip integrieren. Zusätzliche Funktionen sind in BDC-ASIC-Implementierungen nahezu ohne zusätzliche Kosten möglich, z.B. die Steuerung der Anstiegsgeschwindigkeit der Treiber für eine bessere EMV; Erkennung von und Abschaltung bei Brückenkurzschlüssen; thermische Überwachung des Chips sowie Überwachung von Lastspannung und -strom.

Somit ist die Entwicklung eines kundenspezifischen ASICs nicht mehr nur großen Unternehmen mit umfangreichen Entwicklungsbudgets vorbehalten. Der ASIC-Ansatz ist gerade für batteriebetriebene Geräte, die häufig einfach, klein, stromsparend und kostengünstig sein müssen, die kostengünstigste Option und erleichtert die Rationalisierung in der Fertigung.

Zum Vergleich: Die Kosten für einen CMOS-Maskensatz liegen bei 28 nm im Bereich von 1,3 Mio. US-\$; bei 55/65 nm in etwa bei 0,4 Mio. US-\$ und sinken bei 180 nm auf unter 100.000 US-\$ (Bild 2). Und diese Beträge sinken weiter, sobald die Prozesse ausgereif-

ter werden. Ein 55/65-nm-Maskensatz kostet so nur noch ein Drittel der Kosten, die er bei seiner Einführung hatte.

Natürlich ist der Prozess nicht die einzige Kostenbelastung bei der Entwicklung eines ASICs. Kosten für die IP-Lizenzierung, Entwicklung und Qualifizierung müssen in die Berechnung der Gewinnschwelle (ROI; Return on Investment) mit einbezogen werden.

Als Faustregel gilt, man sollte einen ASIC einem Standard-IC (COTS; Commercial Off The Shelf) vorziehen wenn man ein kleineres, effizienteres und schwerer nachzuahmendes Design erzielen möchte und wenn die Ausgaben für elektronische Bauelemente pro Fertigungslinie mehr als 2 Mio. US-\$ betragen.

### Möglichkeiten, die Kosten zu minimieren

Unabhängig davon, ob man intern entwickelt oder einen Anbieter kundenspezifischer ASICs beauftragt, gibt es drei goldene

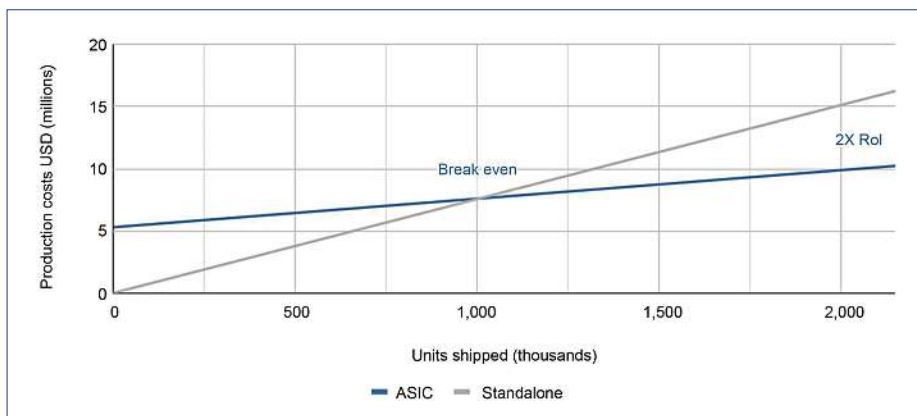


Bild 3: ASIC oder Standard-ICs? ROI-Analyse für ein sicherheitskritisches Gerät aus der Praxis.

Regeln, um die NRE-Kosten niedrig zu halten und den ROI zu steigern.

### Regel 1: Auf eine gute Planung kommt es an

Eine gute Spezifikation ist entscheidend für den Erfolg. Man sollte genau verstehen, was verfügbar ist und welche einzigartigen Funktionen oder Benutzererfahrungen ein Kunde erwartet oder wünscht. Die Folge wäre ein kundenspezifischer ASIC, dem Funktionen fehlen – oder einer, der überspezifiziert ist. In beiden Fällen gehen die Vorteile gegenüber Standard-ICs verloren.

### Regel 2: Bewährte IP-Blöcke verwenden

Ebenso wie ausgereifte Prozesse die Kosten für Maskensätze deutlich senken, lässt sich mit bewährten IP-Blöcken ein kundenspezifischer ASIC viel schneller realisieren und das Risiko von Fehlern erheblich verringern.

### Regel 3: Wiederverwendung von Software (und ASICs)

Die Softwareentwicklung wirkt sich auf NRE-Kosten des Projekts und Time-to-Market aus. Die Entwicklung von Tools und Software ist wohl die größte Investition, die im Laufe des Produktlebenszyklus getätigt wird. Die Wiederverwendung bestehender Anwendungen und Software-Bibliotheken kann daher erheblich dazu beitragen, die Kontrolle über die Projektkosten zu wahren und die Markteinführung zu beschleunigen.

Zu beachten ist auch, dass sich die NRE-Kosten pro Baustein weiter verringern, wenn sich der ASIC über mehrere Produktlinien hinweg einsetzen lässt.

### Der Einsatz von ASICs ist oftmals kostengünstiger

Der Übergang auf batteriebetriebene Systeme wird sich fortsetzen. GM Insights geht davon aus, dass dies allein bei Staubsaugern zu einem jährlichen Wachstum von 6,5% führen wird. Die Abkehr von der Netzstromversorgung verringert zwar das Risiko eines Stromschlags, erfordert aber die Handhabung hoher Energiemengen im Akku und des Risikos, das mit Lithium-Ionen-Batterien einhergeht. Funktionale Sicherheit ist daher ein entscheidender Bestandteil des Designs – und die Gesetzgebung sowie Standards beginnen damit, diese zu erzwingen. Für viele Systeme ist der Einsatz von ASICs der kostengünstigste Ansatz, um dies zu erreichen – vorausgesetzt, die Stückzahlen sind hoch genug. // TK

EnSilica

# Wasserstoff – die Wunderwaffe gegen den Klimawandel?

*Kann Wasserstoff zum Wegbereiter der Energiewende werden?  
Dr. Stefan Wagner vom Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit  
und Mikrointegration IZM beantwortet die wichtigsten Fragen.*

## Brennstoffzelle und Batterie – sind das Rivalen oder Teamplayer?

Es macht definitiv Sinn, beides zu kombinieren, denn einen reinen Wasserstoffantrieb gibt es kaum, da die Brennstoffzelle immer einen Akku braucht, aus dem die Initiierungsenergie kommt. Dieser Akku kann jedoch kleiner und leichter sein, als in reinen Elektrofahrzeugen. Aktuell wiegen Wasserstoffantriebe noch mehrere hundert Kilogramm. Hier muss es zu einer Gewichtsreduktion kommen. Als Experten für Miniaturisierung und zuverlässige Systemtechnik können wir am Fraunhofer IZM Sensor- und Aktuatorikherstellern bei der Verkleinerung der Einzelteile unterstützen und beispielsweise durch intelligente Drucksensoren, Messmethoden, innovativere Aktuatorik die Betriebsfähigkeit und Langlebigkeit der Systeme zu erhöhen.

## Ist das EU-Klimaziel der CO<sub>2</sub>-Neutralität bis 2050 mit Wasserstoff erreichbar?

Das ist technisch auf jeden Fall umsetzbar, wenn nur der Ansatz der CO<sub>2</sub>-Neutralität an erster Stelle steht und individuelle Profitmaximierung der Beteiligten in den Hintergrund rückt. Trotz vieler Förderungsmaßnahmen der Politik, Bestrebungen aus der Industrie ebenso wie über 150 Jahre themenbezogener Forschung, rückten Wasserstofftechnologien immer wieder in den Hintergrund, da günstigere Alternativen wie die Batterie auf den Markt kamen. Um diese zyklische Entwicklung der Forschung aufzugreifen, muss es ausschließlich darum gehen, die technischen Voraussetzungen für den Umstieg auf wasserstoffgetriebene Energie umzusetzen. Wir sind besonders froh, dass auch die Fraunhofer-Gesellschaft nun verstärkt auf den Wasserstoff gekommen ist und wir uns wieder mehr mit der Weiterentwicklung der Nutzung des Gases und seiner Einsatzmöglichkeiten beschäftigen können. Im Moment kranken die Systeme in der Brennstoffzelle daran, dass sie sehr teuer, aber



Bild: Fraunhofer IZM

*Dr. Stefan Wagner: forscht schon seit vielen Jahren an der Brennstoffzelle und hat seine Dissertation zur Brennstoffzelle verfasst.*

noch nicht lange genug und sicher und robust laufen sollen. Die aktive Sensorik und Aktuatorik sind im System aktuell eher örtlich weit voneinander entfernt. Ortsnahe Sensorik am Stack könnte dabei helfen eine bessere Betriebsfähigkeit bzw. Zuverlässigkeit und Langlebigkeit der Systeme zu erhöhen.

## Gibt es kostengünstigere, emissionslose Energiekonzepte als H<sub>2</sub>?

Durch die extrem niedrige Temperatur des flüssigen Wasserstoffs wird zwar eine hohe Speicherdichte erreicht, aber man hat auch einen hohen Aufwand, um das System betriebsfähig und die niedrigen Temperaturen aufrecht zu erhalten. Die druckbehaltete Speicherung von Wasserstoff sehe ich nur als einen Zwischenschritt, um erste nachhaltige Erfolge bezüglich einer ersten Etablierung von Wasserstoffanwendungen zu erreichen. Neben den finanziellen Aspekten ist dies besonders schwer steuerbar im Vergleich zu fossilen Kraftwerken. Auch Wind und Photovoltaik sind nur eingeschränkt steuerbar, denn die

Kraft des Windes ist schwer vorauszusehen und stark von der Vegetation abhängig, gleiches gilt für die Photovoltaik, also durch Sonnenlicht erzeugte Energie. Um nicht energetisch unterversorgt zu sein, empfiehlt es sich, auf größere Flächen zu setzen und bei einer Überproduktion die Elektrolyse und Wasserstoff einzubeziehen. Die Energieversorgung sollte also als Mixkonzept verstanden werden, bei dem Teillasten aus Wind und Photovoltaik und Spitzenlasten aus der Elektrolyse und Brennstoffzellen gewonnen werden, um jeweils die höchstmöglichen Wirkungsgrade nutzen zu können.

## Welche Perspektiven sehen Sie für Forschung und Anwendung?

Als Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration ist es am Fraunhofer IZM besonders wichtig, dass die Komponenten in den einzelnen Verkehrsmitteln oder der alltäglichen Energieerzeugung sicher, zuverlässig und miniaturisiert sind und gleichzeitig für die Menschen bezahlbar bleiben. Daher möchten wir genau an dieser Stelle Projektpartner finden, um die Energieumwandlung von Gas to Power zu revolutionieren. Diese Partner können bei der Entwicklung zuverlässiger und robuster Sensorik und Aktuatorik für den Gaspfad assistieren. Darüber hinaus bieten sie auch Zuverlässigkeits- und Robustheitsanalysen für Steuerelektronik und Brennstoffzellen-Komponenten unter wasserstoffspezifischen Randbedingungen und spezifischen Mission Profiles für Kunden an, um somit von der integrierten Sensorik und verbesserten Systemdesigns bis hin zu den Tests in der Anwendung die gesamte Wirkungskette nachzuvollziehen. Auch wenn noch viel zu tun ist, bleibt der Wunsch bestehen, dass durch Wasserstoff der Eintritt in die emissionsfreie Energiegewinnung gewährleistet wird. //TK

Fraunhofer IZM

## LITHIUM-IONEN-ZELLEN

## Neutronen zeigen Verteilung von Lithium und Elektrolyt

Bei Lithium-Ionen-Akkus treten mit der Zeit Effekte auf, welche die Speicherfähigkeit der Akkus nach und nach verringern. An der Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) der Technischen Universität München ging Dr. Anatoliy Senyshyn, Instrumentwissenschaftler am Pulverdiffraktometer SPODI, den Ursachen auf den Grund, indem er Neutronenstreuung als Werkzeug nutzte, um zylindrische Lithium-Ionen-Akkus zu analysieren.

Die Abläufe im Inneren einer Lithium-Ionen-Zelle lassen sich außerhalb der Zelle nur schwer beobachten. Neutronen sind besonders empfindlich gegenüber leichten Elementen wie Wasserstoff und Lithium. Sie können das Lithium daher auch im Inneren einer Zelle sichtbar machen, was Untersuchungen unter realen Betriebsbedingungen ermöglicht. Neutronen bie-



**Montage einer Lithium-Ionen-Zelle:** Martin Mühlbauer befestigt sie im Objektträger des hochauflösenden Pulverdiffraktometers (SPODI) am FRM II.

ten zudem den Vorteil, dass sie zerstörungsfrei messen. So können die Forscherinnen und Forscher Vorgänge in der Batterie von außen beobachten, ohne in das empfindliche System einzugreifen.

Die Neutronenstreuexperimente an den Instrumenten STRESS-SPEC und SPODI zeigten einen Zusammenhang zwischen dem Verlust von beweglichen Lithium-Ionen und der Zersetzung des Elektrolyten. Die dabei

entstehenden Zersetzungsprodukte des Elektrolyten lagern Lithiumatome ein, die dann nicht mehr als bewegliches Lithium zur Verfügung stehen. So verliert der Akku an Kapazität. Die Untersuchungen ergaben, dass das Lithium von Anfang an sehr ungleich verteilt ist und die Inhomogenität mit der Zeit sogar noch steigt.

Die Modellierung von Lithium-Ionen-Zellen kann also deutlich verbessert werden, wenn Entwickler diese ungleiche Lithium-Verteilung berücksichtigen. Basierend auf der Verteilung des Lithiums können zudem Aussagen über die Speicherfähigkeit der Lithium-Ionen-Zelle getroffen werden. Diese Ergebnisse sind eine wichtige Basis, um zukünftige Akkus effizienter, langlebiger und leistungsstärker zu machen. // TK

TUM

ELEKTRONIK  
PRAXIS

www.elektronikpraxis.de

ISSN 0344-1733

## Impressum

## Kommunikationsdaten unserer Ansprechpartner:

E-Mail-Code: (bitte Schreibweise von Umlauten beachten): &lt;vorname&gt;.&lt;name&gt;@vogel.de; Telefon: +49-931-418-(4-stellige-Durchwahl)

## ABONNENTENSERVICE

## DataM-Services GmbH

Franz-Horn-Straße 2, 97082 Würzburg  
Tel. +49-931-41 70-4 62, Fax -4 94  
vogel@datam-services.de, www.datam-services.de

## REDAKTION

## Leser-, Redaktionservice:

Tel. +49-931-418-2333  
fachmedien@vogel.de

## Chefredakteur:

Johann Wiesböck (jw), Tel. -30 81

## Redakteure:

Michael Eckstein (me), Tel. -30 96  
Sebastian Gerstl (sg), Tel. -30 98  
Hendrik Härter (heh), Tel. -30 92  
Gerd Kucera (ku), Tel. -30 84  
Thomas Kuther (tk), Tel. -30 85  
Margit Kuther (mk), Tel. -30 99  
Kristin Rinortner (kr), Tel. -30 86

## Freie Mitarbeiter:

Anna-Lena Gutberlet (ag),  
Richard Oed (ro)

## Redaktionsanschrift:

München: Rablstr. 26, 81669 München, Tel. -30 87, Fax -30 93  
Würzburg: Max-Planck-Str. 7/9, 97082 Würzburg  
Tel. -24 77, Fax -27 40

Konzeption/Layout: Ltg. Daniel Grimm, Tel. -22 47

**ELEKTRONIKPRAXIS ist Organ des Fachverbandes  
Elektronik-Design e.V. (FED). FED-Mitglieder erhalten  
ELEKTRONIKPRAXIS im Rahmen ihrer Mitgliedschaft.**

## Unternehmens- und Firmennamen:

Unternehmens- und Firmennamen schreiben wir gemäß Duden wie normale Substantive. So entfallen z.B. Großbuchstaben und Mittelinitiale in Firmennamen.

## SALES

## Chief Sales Officer:

Benjamin Wahler  
Tel. -21 05, sales@vogel.de

## Auftragsmanagement:

Tel. -20 78, auftragsmanagement@vogel.de

## MARKETING

## Produkt Marketing Manager:

Christian Jakob  
Tel. -30 78, customer@vogel.de

## VERTRIEB

## Bezugspreis:

Einzelheft 12,90 EUR. Abonnement Inland: jährlich 249,00 EUR inkl. MwSt. Abonnement Ausland: jährlich 280,20 EUR (Luftpostzuschlag extra). Alle Abonnementpreise verstehen sich einschließlich Versandkosten (EG-Staaten ggf. +7% USt.).

## Verbreitete Auflage:

Angeschlossen der Informationsgemeinschaft zur Feststellung der Verbreitung von Werbeträgern –  
Sicherung der Auflagenwahrheit.  
Aktuelle Zahlen: www.iww.de

## Datenbank:

Die Artikel dieses Heftes sind in elektronischer Form kostenpflichtig über die Wirtschaftsdatenbank GENIOS zu beziehen: www.genios.de

VOGEL COMMUNICATIONS  
GROUP

## Vogel Communications Group GmbH &amp; Co. KG

Max-Planck-Str. 7/9 in 97082 Würzburg  
Tel.: 0931/418-0, www.vogel.de

## Beteiligungsverhältnisse:

Persönlich haftende Gesellschafterin:  
Vogel Communications Group Verwaltungs GmbH  
Max-Planck-Str. 7/9 in 97082 Würzburg  
Kommanditisten:  
Dr. Kurt Eckernkamp, Dr. Kurt Eckernkamp GmbH,  
Nina Eckernkamp, Klaus-Ulrich von Wangenheim,  
Heiko Lindner, Axel von Kaphengst

## Geschäftsführung:

Matthias Bauer (Vorsitz)  
Günter Schürger

## Druck:

Vogel Druck und Medienservice GmbH  
97204 Hochberg

## Copyright:

Vogel Communications Group GmbH & Co. KG

## Nachdruck und elektronische Nutzung:

Wenn Sie Beiträge dieser Zeitschrift für eigene Veröffentlichungen wie Sonderdrucke, Websites, sonstige elektronische Medien oder Kundenzeitschriften nutzen möchten, fordern Sie gerne Informationen über support.vogel.de an.







# Durchstarten 2021 – gemeinsam aus der Krise

*In dieser Interview-Reihe geben unsere Leserinnen und Leser Einblicke in die Herausforderungen und Chancen der Corona-Pandemie in ihrem Unternehmen und verraten, was sie aus dem Krisenjahr 2020 gelernt haben. Lassen Sie uns im neuen Jahr 2021 gemeinsam durchstarten!*

**Hendrik Härter:** Constanze und Roland Blaschke von LXinstruments haben in der Pandemie den Schritt gewagt, einen neuen Unternehmenssitz zu bauen.



Das ganze Interview können Sie unter [www.elektronikpraxis.de/durchstarten](http://www.elektronikpraxis.de/durchstarten) nachlesen.



**Roland Blaschke:** Wir sind als kleines, privates Unternehmen in der, wie wir finden, glücklichen Situation, dass wir uns von Zwängen abkoppeln können, die größere Unternehmen oft haben. Wir müssen keine kurzfristigen Ertragszahlen liefern, weil gerade Jahres- oder Quartalsabschluss ist. Deshalb können wir antizyklisch investieren – oder eine Investition tätigen, die zwar sinnvoll erscheint, aber sich nicht sofort rentiert.

**Unser Neubau ist flexibel:** Die Büros und Flächen in der obersten Etage sollen vermietet werden. Wenn es der Eigenbedarf erlaubt, können wir die Flächen selbst nutzen.

# Nur E-Fuels können die Mobilität trotz Klimaschutz sichern



*„Wenn Deutschland trotz seiner Klimaziele mobil bleiben möchte, brauchen wir unbedingt Alternativen oder zumindest Ergänzungen zur Elektromobilität.“*

**Matthias Röbler:** Patentanwalt und Mitgründer der unabhängigen Fachkanzlei für Patent- und Markenrecht sowie Intellectual Property karo IP.

Nichts treibt die Automobilindustrie zurzeit mehr um als die Klimaschutzziele. Politik und Wirtschaft haben sich dabei zuletzt verstärkt auf E-Mobilität als Schlüssel zur Dekarbonisierung eingeschossen. Nun zeigt sich aber, dass die Infrastruktur an vielen Stellen überhaupt nicht für das massive Hochfahren der E-Mobilität geeignet ist. Wenn Deutschland trotz seiner Klimaziele mobil bleiben möchte, brauchen wir unbedingt Alternativen oder zumindest Ergänzungen zur Elektromobilität.

Einen wichtigen Beitrag könnten dabei synthetische Kraftstoffe leisten, die auch E-Fuels genannt werden. Diese werden werden im Gegensatz zu herkömmlichen Kraftstoffen jedoch nicht aus Erdöl, sondern unter Verwendung von regenerativem Strom im Idealfall klimaneutral aus Wasserstoff und CO<sub>2</sub> gewonnen, etwa direkt aus der Luft oder aus industriellen Abgasen. Je nach Herstellungsart ergibt sich dadurch synthetisches Benzin, Diesel oder Gas.

E-Fuels könnten aber nicht nur im Automobilsektor eine wichtige Rolle spielen, sondern auch im Luftverkehr, in der Schifffahrt und im Gebäudebereich sowie als Ausgangsstoff für die Kunststoffherstellung selbst in der chemischen Industrie. Insbesondere für den Automobilbereich haben E-Fuels dabei den Vorteil, dass sie weiterhin in konventionellen Verbrennungsmotoren eingesetzt werden können. Sie können somit die CO<sub>2</sub>-Bilanz auch des bereits bestehenden Kfz-Fuhrparks aus über 50 Millionen Fahrzeugen allein in Deutschland schnell deutlich verbessern und Verbrennungsmotoren langfristig sogar vollständig klimaneutral antreiben. Es müssen also nicht erst neue Autos und eine eigene Ladeinfrastruktur gebaut werden. Zudem verbrennen E-Fuels fast rußfrei und erlauben es daher, Motoren so zu verbessern, dass sie verglichen mit E-Motoren in der Gesamtbilanz sehr viel weniger CO<sub>2</sub> und nahezu keinen Feinstaub oder Stickstoffoxid ausstoßen. Das Potenzial von E-Fuels ist schier gewaltig und ihr Einsatz unabdingbar für das Erreichen der

Klimaziele, wenn es keine Abstriche bei der Mobilität geben soll. Außerdem tragen sie maßgeblich zum Erhalt der automobilen Wertschöpfungstiefe in Deutschland bei, und das sowohl bei der Automobilproduktion wie auch im Vertrieb.

Um dieses Potenzial zu schöpfen, arbeitet die Industrie derzeit mit Hochdruck daran, den Wirkungsgrad und damit die Effizienz der E-Fuels zu steigern und damit den batteriebetriebenen Autos anzugleichen. Entsprechend hat sich die Anzahl veröffentlichter Patentanmeldungen mit E-Fuels-Bezug im letzten Jahr sprunghaft fast verdreifacht.

Eine Hürde für die breite Markteinführung von E-Fuels ist, dass die für die strombasierte Produktion von E-Fuels notwendige Infrastruktur weitestgehend erst noch aufgebaut werden, um die nötigen Kraftstoffmengen ausreichend und günstig für den Kunden produzieren zu können. Hierfür kommen insbesondere sonnen- und windreiche Länder infrage, wo deutlich effektiver Ökostrom mit Überkapazität produziert werden kann als in Deutschland – etwa Nordafrika, Australien oder Chile, wo Porsche und Siemens zurzeit eine Pilotanlage zur Gewinnung von E-Fuels bauen.

Derartige länder- und industrieübergreifende Kooperationen machen natürlich einen Schutz der Lieferketten und Technologien erforderlich, die zur Herstellung von E-Fuels nötig sind. Das gilt im besonderen Maße für die deutschen Automobilhersteller, die sich derzeit noch nicht auf eine gesicherte politische Lage einstellen können, was eine dauerhafte und umfassende Bereitstellung von Energie aus Afrika oder Südamerika betrifft. Die wertvollen Ergebnisse aus diesen Kooperationen müssen nun mit wirkungsvollen Patenten abgesichert werden, auch damit diese Ressourcen für den europäischen Markt verfügbar bleiben. Nur so kann eine kosteneffiziente Bereitstellung von E-Fuels für den Wirtschaftsstandort Deutschland erreicht werden. // TK

05. – 07. Juli 2021 | VCC | Würzburg

# Anwenderkongress Steckverbinder



SAVE  
THE DATE!

## Praxisorientierte Lösungen für den Einsatz und das Design moderner Steckverbinder

Europas größter Fachkongress zum Thema ist der Pflichttermin für alle, die Steckverbinder entwickeln oder einsetzen und interessante Kontakte knüpfen möchten. Das erwartet Sie: Referenten aus Industrie und Forschung, praxisorientierte Lösungen, Workshops, Grundlagenseminare und Networking mit Experten aus der Industrie.

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

# BE COOLER. STAY **MAPI!**



© 3iSas

**WE are here for you!**

Nehmen Sie teil an unseren kostenlosen Webinaren: [www.we-online.de/webinare](http://www.we-online.de/webinare)

Die WE-MAPI ist eine der kleinsten gewickelten Metal-Alloy-Speicherdrosseln der Welt. Ihre Effizienz ist herausragend. In der 4020HT-Produktreihe ist sie jetzt verfügbar mit AEC-Q200 Klasse 0 Qualifikation für Betriebstemperaturen von  $-55^{\circ}\text{C}$  bis  $+150^{\circ}\text{C}$ . Ab Lager verfügbar. Kostenlose Muster erhältlich.

Erfahren Sie mehr unter: [www.we-online.de/WE-MAPI](http://www.we-online.de/WE-MAPI)

Designen Sie Ihren Schaltregler in **REDEXPERT**, der weltweit genauesten Online Design Plattform zur Berechnung von Spulenverlusten.

- Hohe Strombelastbarkeit bis zu 10 A
- Geringe Spulenverluste
- Geringer RDC bis zu 6,5 m $\Omega$
- Exzellente Temperaturstabilität von  $-55^{\circ}\text{C}$  bis  $+150^{\circ}\text{C}$
- Innovatives Design
- Exzellentes EMV-Verhalten

Die WE-MAPI  
Produktpalette:

