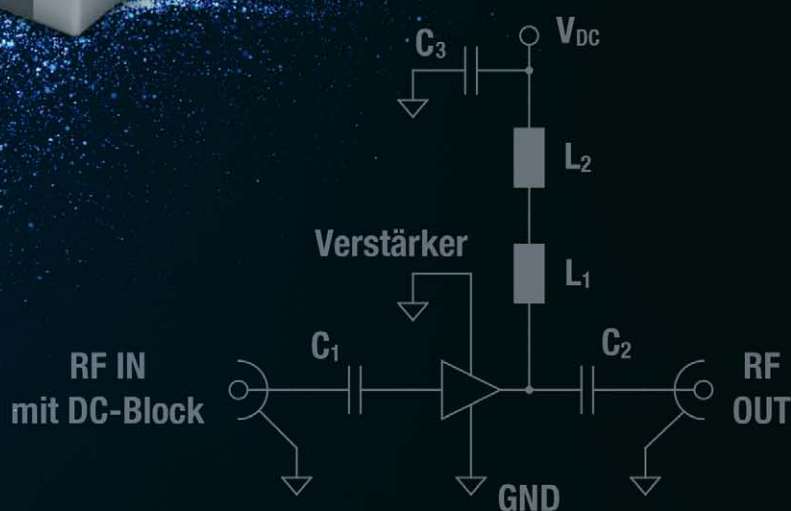
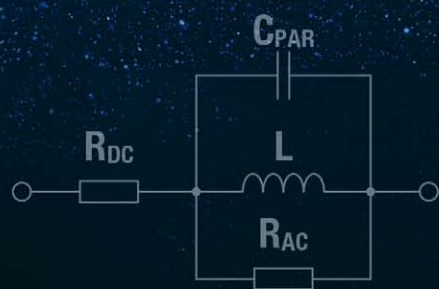


## DIE MAGIE HINTER HOCHFREQUENZ

### SMT-MULTILAYER-FERRITE



#### LEITERPLATTEN-DESIGN

Zuverlässiger Lötén durch Simulation

#### STROMVERSROGUNG

Lithium oder Blei: Welcher Akku hat bei USV die Nase vorn?

#### PREDICTIVE MAINTENANCE

Mit Sensoren alles jederzeit unter Kontrolle

#### INDUSTRIELLE BILDVERARBEITUNG

Kurztraining für die KI-Fehlerinspektion



Über  
9,6 Millionen  
Produkte Online

**DIGIKEY.DE**

eu.support@digkey.com

# Ihr Konzept Produktion

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



TELEFON: (+49) 30 915 884 91

**DIGIKEY.DE**

eu.support@digikey.com



ÜBER 9,6 MILLIONEN PRODUKTE ONLINE | ÜBER 1200 BRANCHENFÜHRENDE ANBIETER | 100%-IGER VERTRAGSDISTRIBUTOR

\*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

 **ECIA MEMBER**  
Supporting The Authorized Channel



# KI: Zwei Buchstaben mit Potenzial

Vor ein paar Jahren noch eine Randerscheinung, ist künstliche Intelligenz mittlerweile stark im Kommen und erobert immer weitere Bereiche unseres Lebens: So kommt sie zum Beispiel im Verkehrswesen, beim Wohnen, im Gesundheitssektor oder in der industriellen Fertigung und sogar in der Forstwirtschaft zum Einsatz. Auslöser hierfür ist der Klimawandel. Er verstärkt Trockenheit, Hitze und Schädlingsbefall – was wiederum die Wälder bedroht und das Waldmanagement vor große Herausforderungen stellt. In diesem Zusammenhang naht jetzt Unterstützung in Form eines gemeinsamen Projekts des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der EDI GmbH, einem Spin-off des KIT. Gemeinsam mit Partnern aus Forstwirtschaft und -wissenschaft haben sie ein intelligentes Assistenzsystem entwickelt, das mit KI dabei hilft, den Wald zu erhalten und ihn nachhaltig zu bewirtschaften. Welche Vorteile eine KI-Steuerung für Häuser mit Solaranlage bietet, damit hat sich kürzlich das Schweizer interdisziplinäre Forschungsinstitut Empa beschäftigt. Zum Hintergrund: Das Energiemanagement für solche Häuser wird immer komplexer. So ist etwa die Frage zu klären, wieviel Strom der Heißwasserspeicher aufnehmen darf, wenn später noch genügend Energie fürs Laden des Elektroautos zur Verfügung stehen soll. Wer zusätzlich noch auf die Kosten schauen will, muss wissen, zu welcher Tageszeit der Strom am günstigsten zu beziehen ist – und genau dann die Waschmaschine starten. Mit ihrer selbstlernenden Steuerung haben die Empa-Forscher bewiesen, dass KI Antworten auf diese Fragen liefern kann.

Eine brandaktuelle Anwendung von künstlicher Intelligenz ist im Gesundheitswesen beziehungsweise in der Medizintechnik zu finden. Es handelt sich hier um einen KI-Chip, der Covid-19 im Atem aufspürt. Der neuromorphe Prozessor Akida von BrainChip steckt in einem Diagnosegerät von

NaNose Medical, das eine Corona-Infektion einfach und schnell in einem sehr frühen Stadium erkennen kann.

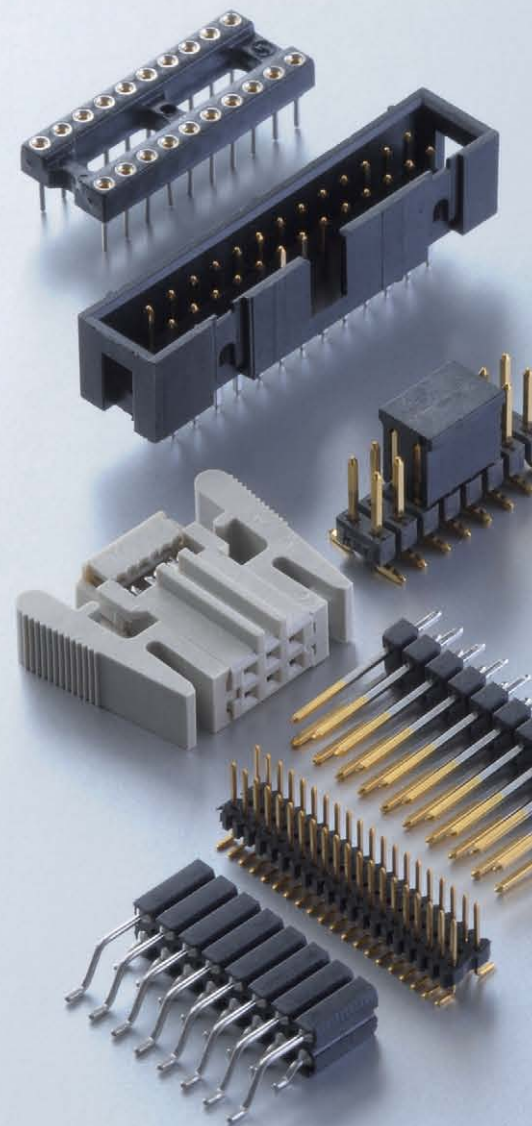
Diese Beispiele verdeutlichen, wie nützlich KI für unser heutiges Leben sein kann. Der Meinung sind auch viele Menschen in Deutschland. So ergab eine Bosch-Umfrage, dass eine knappe Mehrheit (53 Prozent) künstliche Intelligenz insgesamt als positiv bewertet. Im Rahmen des Bosch KI-Zukunftskompasses wurden 1000 Deutsche ab 18 Jahren repräsentativ nach ihrer Haltung zu KI befragt. Für den Industriebereich wünscht sich sogar eine klare Mehrheit (60 Prozent) einen vermehrten Einsatz von KI, etwa bei der Autoproduktion. Und mehr als zwei Drittel der Deutschen befürworten laut Umfrage KI-basierte Lösungen bei der Diagnose von Maschinenfehlern sowie in High-Tech-Bereichen wie der Raumfahrt. Auch bei Bosch selbst sieht man das große Potenzial, das künstliche Intelligenz für die Fertigung bietet – und plant, ein im eigenen Haus entwickeltes KI-System noch in diesem Jahr weltweit in rund 50 Bosch-Werken einzuführen. Das Unternehmen will damit seine Fabriken effizienter, produktiver und umweltfreundlicher machen. Näheres dazu lesen Sie im Artikel ab Seite 12. Und mit welcher Technologie sich der Trainingsprozess einer in der industriellen Bildverarbeitung eingesetzten KI spürbar verkürzen lässt, erläutert Mario Bohnacker von MVTEC auf den Seiten 42 bis 44.

Viel Vergnügen beim Lesen wünscht Ihnen Ihre

Kathrin Veigel  
Redakteurin  
kveigel@weka-fachmedien.de

## Steckverbinder

- RoHS konforme Steckverbinder
- hochtemperaturbeständige Isolierkörper
- gedrehte Präzisionskontakte mit vergoldeter Innenfeder
- spezielle Verpackungsformen
- kundenspezifische Ausführungen



Mehr erfahren Sie hier:  
[www.fischerelektronik.de](http://www.fischerelektronik.de)

Fischer Elektronik GmbH & Co. KG

Nottebohmstraße 28  
58511 Lüdenscheid  
DEUTSCHLAND  
Telefon +49 2351 435-0  
Telefax +49 2351 45754  
E-mail info@fischerelektronik.de



Da sich die Technik heutzutage rasant weiterentwickelt, arbeiten immer mehr Anwendungen bis in den Gigahertz-Bereich. Dementsprechend gewinnen auch die EMV und die entsprechenden Bauteile stetig an Bedeutung. Mit einer dieser EMV-Komponenten wollen wir uns nun näher befassen: der SMD-Ferritperle. **Seite 14**



Der Umstieg auf erneuerbare Energien macht stationäre auf Basis von Lithium-Ionen-Batterien nötig. Dies bringt aber auch hohe Brandrisiken mit sich. Wirkungsvolle Antworten hierauf lesen Sie ab **Seite 26**



Optokoppler gehörten zu den ersten halbleiterbasierten galvanischen Isolatoren. Sie haben die Branche über Jahrzehnte hinweg als exklusive Isolations-technologie dominiert. Mittlerweile gibt es bessere Lösungen. **Seite 45**

# Inhalt

## EDITORIAL

**KI: Zwei Buchstaben mit Potenzial** 3

## BEST OF ONLINE

**Unsere Top-3-Beiträge** 5

## TOOLS & TECHNOLOGIEN

**Widerstände für den Weltraum** 6

**Das sind die Trends für Industrie 4.0** 8

**Mit effizienteren Antrieben gegen den Klimawandel** 10

**Auf zur Null-Fehler-Produktion** 12

## TITEL - PASSIVE BAUELEMENTE

**Wertvolle Perle – Multilayer-SMD-Ferrite** 14

## ELEKTROMECHANIK

**Einheitliche Kontakttechnik** 18

**Nächster Halt: Predictive Maintenance** 20

**Zuverlässiger Lötten durch Simulation** 22

**Aktuelle Produkte** 25

## STROMVERSORGUNG

**Brandkatastrophe verhindern** 26

**Lithium oder Blei für die USV?** 28

**Kundenspezifische Leistungssteller** 30

**Standards helfen Strom und Kosten sparen** 32

**Aktuelle Produkte** 35

## IoT - INDUSTRIE 4.0

**Alles jederzeit unter Kontrolle** 37

**Kurztraining für KI-Fehlerinspektion** 42

**Besser isoliert** 45

**Aktuelle Produkte** 49

## LESERSERVICE

**Vorschau/Inserentenverzeichnis** 50

**Impressum** 51

## Online-Exklusiv – Unsere Top-3-Beiträge

### Platz 1: Interview mit Dr. Reinhard Ploss: Innovationen sind kein Selbstzweck



Infineon-CEO Dr. Reinhard Ploss, Keynote-Sprecher der embedded world Conference 2021 DIGITAL, erläutert, wie sein Unternehmen auf heutige Krisen reagiert und in solchen Zeiten Innovationen vorantreibt. Zudem nimmt er Stellung, welche Herausforderungen sich hinsichtlich KI und Quantencomputing stellen.

### Platz 2: Schiffsverkehr ohne Treibhausgase: Weltweit erste Brennstoffzelle mit Ammoniak

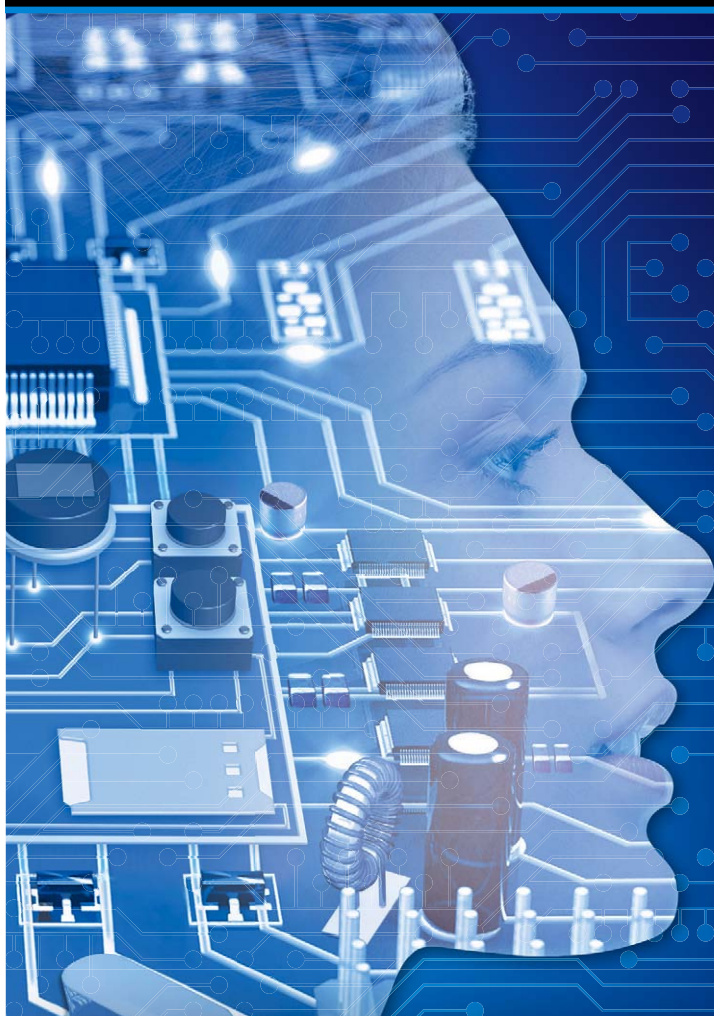


Der Seeverkehr stößt jedes Jahr viele hundert Millionen Tonnen klimaschädliches Kohlendioxid aus. Es braucht also neue Antriebskonzepte, die Schweröl als Treibstoff ablösen könnten. Daher arbeiten Fraunhofer-Forscher derzeit in einem internationalen Konsortium an Brennstoffzellen auf Ammoniak-Basis.

### Platz 3: Electroglaz von Zytronic: Strom unsichtbar durch Glas leiten



Wireless Charging wird immer beliebter, aber auch dabei sind immer noch sichtbare Kabel für die Ladestation nötig. Unter dem Namen Electroglaz hat Zytronic eine Technologie entwickelt, um Strom für das menschliche Auge unsichtbar durch Glas zu leiten. Damit verschwinden die unästhetischen Kabel aus dem Blickfeld des Benutzers.



## HIGHTECH- BAUELEMENTE für Ihre Innovationen

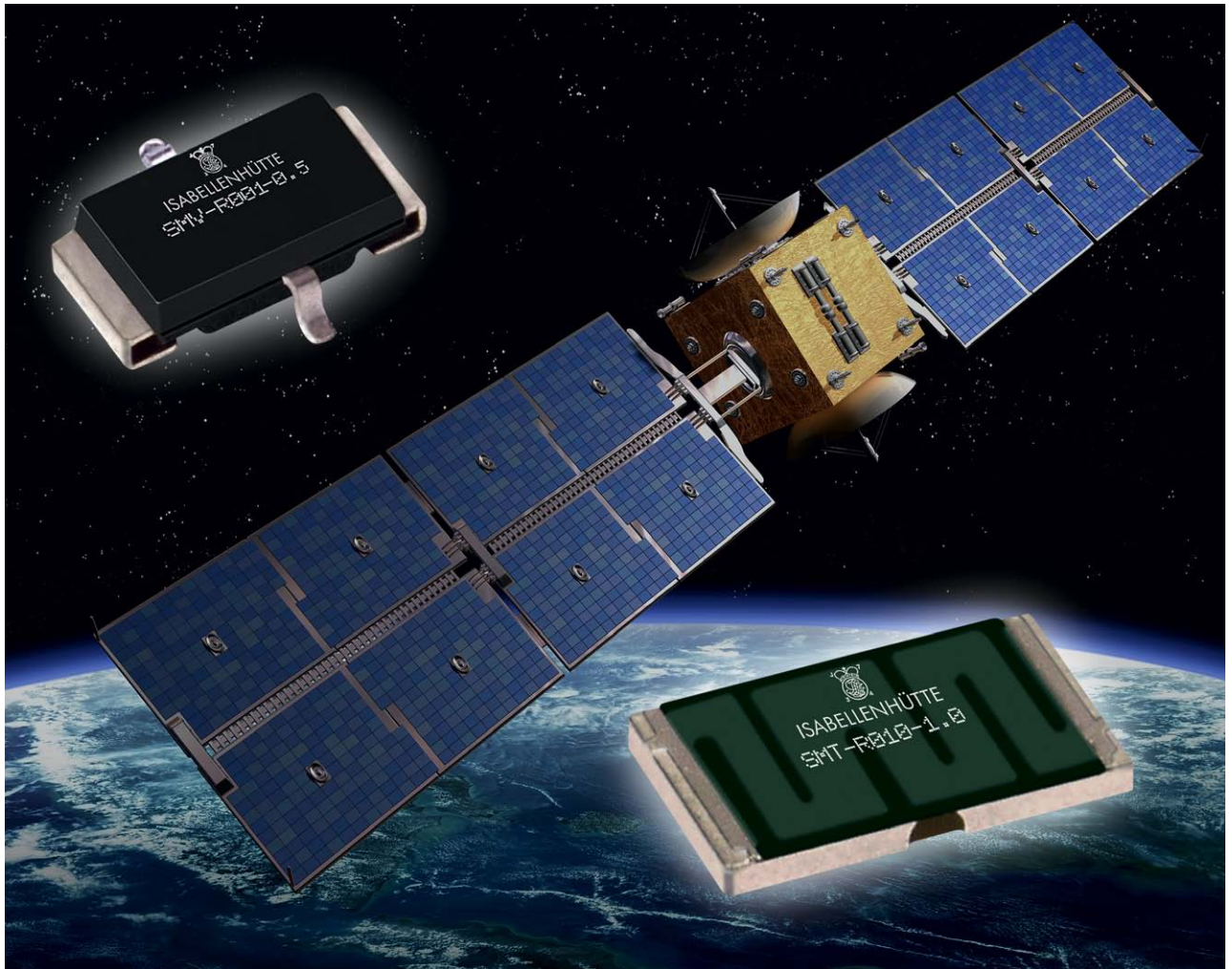
Als einer der führenden Distributoren für elektronische Bauelemente bieten wir Ihnen weltweit ein breites Produktportfolio, kompetente technische Unterstützung bei Produktentwicklung und Design, individuelle Logistik-Lösungen sowie umfangreiche Serviceleistungen.

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

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

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





Alle Bilder: Isabellenhütte

Interview mit Daniel Theis, Isabellenhütte

## Widerstände für den Weltraum

*Seit mehr als zehn Jahren fertigt die Isabellenhütte Präzisionswiderstände für Raumfahrtanwendungen nach der ESA-Spezifikation ESCC4001. Seit kurzem steigt aber auch dort die Nachfrage nach geringer qualifizierten Bauteilen. Warum das so ist, fragten wir Daniel Theis, Industry Manager Aerospace.*



**DESIGN&ELEKTRONIK:** Herr Theis, welche Bauelemente bei der Isabellenhütte sind für Raumfahrtanwendungen spezifiziert und wo werden diese eingesetzt?

**Daniel Theis:** Zu den ESCC-qualifizierten Bauteilen der Isabellenhütte gehören Widerstände aus den SMx-Serien, also SMP,

SMS und SMT als die klassischen Vertreter der Chipwiderstände, sowie SMV-Widerstände. Mögliche Anwendungen sind zum Beispiel DC-DC-Wandler oder Batteriemanagementsysteme in Satelliten oder Zentralsteuerungen in Trägerraketen. Die Aufgaben der Widerstände unterscheiden sich nicht wesentlich von denen auf der Erde – beispielsweise im Automotive-Sektor. Das Herausfordernde sind die

Umgebungsbedingungen wie beispielsweise die erhöhte Strahlung im Weltall. Allerdings sind davon eher aktive Komponenten oder Halbleiter betroffen, denn sie können stärker in Mitleidenschaft gezogen werden als passive Bauelemente.

**D&E:** Was zeichnet ESCC-qualifizierte Widerstände aus?

**Daniel Theis:** Da sind die Präzision, die Zuverlässigkeit und Belastbarkeit der Bauteile und ihre hohe Langzeitstabilität zu nennen. Schließlich können Bauteile im Weltraum nicht einfach ausgetauscht werden. Wenn Trägerraketen beim Start starke Vibrationen erzeugen, halten die Widerstände dies dank ihrer großen Löt-pads und der bleiverzinneten Kontakte sehr gut aus. Dies wirkt sich auch günstig auf mögliches Whisker-Wachstum aus, das durch die Blei-Zinn-Beschichtung vermieden wird.

**D&E:** Warum wollen Raumfahrtgenieure zunehmend auf geringer qualifizierte Bauteile ausweichen?

**Theis:** Wir stellen in der Luft- und

Raumfahrtbranche verschiedene Strömungen fest: Einerseits gibt es die festen Vorgaben und Spezifikationen der Raumfahrt-Agenturen, nach denen sich viele Hersteller richten, um ein sicheres Produkt bereitzustellen. Andererseits steigt im Zuge der Kommerzialisierung der Raumfahrt aufgrund der Vielzahl von New-Space-Projekten die Nachfrage nach günstigeren Bauteilen, die ebenso funktionstüchtig sind. Daher können durchaus auch andere Widerstände der Isabellenhütte geeignet sein, die beispielsweise die Spezifikationen des Automotive-Sektors erfüllen. Hier müssen die Hersteller in Raumfahrtprojekten zwischen Kostenreduzierung durch niedriger qualifizierte Bauteile einerseits und der Erhöhung des Ausfallrisikos beim Einsatz dieser Komponenten andererseits abwägen.

**D&E: Für welche Anwendungen könnte das sinnvoll sein?**

**Theis:** Es besteht in der Branche eine große Unsicherheit darüber, ob Bauteile abseits der QLP (*Qualified Parts List; Anm. d. Red.*) der ESA den Anforderungen genügen können und sicher genug für den Einsatz im Weltraum sind. Viele Ingenieure möchten sich hier nicht auf Experimente einlassen und bevorzugen daher zertifizierte Komponenten. Jedoch werden oft die tatsächlichen Anforderungen außer Acht gelassen, die an die Bauteile bei der jeweiligen Mission gestellt werden. Diese können durchaus deutlich geringer ausfallen, wenn es zum Beispiel nur um eine kurze Verweildauer im All geht. Bei kurzfristigen Missionen, bei denen Satelliten nur wenige Monate im All genutzt werden, oder bei Trägerraketen, die nur einen einzigen Einsatz haben, rechnen sich QLP-gelistete Bauteile oft nicht und die Anwender suchen nach kostengünstigeren Alternativen. Wenn Ingenieure dann auf Automotive-Komponenten zurückgreifen möchten, fehlen ihnen oft aussagekräftige Informationen über die Leistungsfähigkeit der Bauteile.

**D&E: Welche Empfehlungen haben Sie für Raumfahrtingenieure?**

**Theis:** Raumfahrtingenieure tun gut daran, einmal über den eigenen Tellerrand hinauszublicken und die Anforderungen an die nötigen Bauteile aufgrund der Art der Mission zu hinterfragen. Wenn diese nämlich geringer sind als bei langfristigen und anspruchsvol-

len Projekten wie Navigations- und Wettersatelliten, lohnt es sich, seinen Blick für geringer qualifizierte Teile beispielsweise aus dem Automotive-Bereich zu öffnen. Die Isabellenhütte hilft gerne dabei, Qualifizierungsdaten bereitzustellen und zu prüfen, aber auch Nachqualifizierungen gemäß zum Beispiel ESA-Vorgaben durchzuführen. So sinkt das Risiko für die Verwendung von Automotive-Bauteilen bei gleichzeitiger Kostenersparnis.

Qualifikationsdaten unserer Bauteile und Qualifizierungen bieten wir gerne als Dienstleistung an. Das heißt, wir können umfangreiche Daten zu bereits ge-

elektronische und elektromechanische Bauteile für den Raumfahrtsektor; *Anm. d. Red.*) künftig von der Produktion der Automotive-Bauteile. Seit September 2020 stehen eigene Produktionslinien ausschließlich für die EEE-Bauteile zur Verfügung, sodass wir zeitliche Engpässe bei der Lieferung vermeiden und auftragsgemäß fertigen und liefern können.

Aktuell arbeiten wir daran, einen ISA-WELD-Widerstand nach ESCC-Spezifikation zu qualifizieren und so in der QPL zu etablieren. Dieser erweitert das Widerstandsspektrum im unteren Bereich von 0,2 Milliohm bis zwei Milliohm, für den es derzeit



»Im Zuge der Kommerzialisierung der Raumfahrt steigt auch die Nachfrage nach günstigeren Bauteilen«, stellt Daniel Theis fest. Er ist Industry Manager Aerospace im Vertrieb Bauelemente der Isabellenhütte.

laufenen Qualifizierungen weitergeben sowie kundenindividuelle Nachqualifizierungen von Bauteilen durchführen, beispielsweise nach Spezifikationen der ESA, der NASA oder nach kundenspezifischen Anforderungen.

**D&E: Wie reagiert die Isabellenhütte auf die steigende Nachfrage im Raumfahrtbereich?**

**Theis:** Um noch schneller und individueller auf New-Space-Anfragen reagieren zu können, trennen wir unsere Fertigung von EEE-Komponenten (*elektrische,*

kein qualifiziertes Bauteil gibt. Daneben qualifizieren wir günstigere Automotive-Komponenten für mögliche New-Space-Projekte nach, um unser Produktportfolio an ESCC-gelisteten Bauteilen komplementär zu ergänzen.

**D&E: Herr Theis, herzlichen Dank für das Gespräch.**

Das Interview führte Ralf Higgelke.





Bild: Monopoly919/stock.adobe.com; alle anderen Bilder: MathWorks

### Fabrik der Zukunft

## Das sind die Trends für Industrie 4.0

Die Corona-Pandemie hat sich als ein wahrer Treiber der Digitalisierung erwiesen: Angestellte arbeiten vermehrt aus dem Homeoffice, Schüler werden im Homeschooling über digitale Lernplattformen unterrichtet. Auch im Industriebereich setzt sich die Digitalisierung zunehmend durch. Welche Entwicklungen hier in der nächsten Zeit zu erwarten sind, erläutert Philipp H. F. Wallner von MathWorks.

Philipp H. F. Wallner  
Industry Manager, Industrial Automation & Machinery bei MathWorks

Die Ausbreitung des Corona-Virus hat unseren persönlichen und beruflichen Alltag in vielerlei Hinsicht auf den Kopf gestellt – leider nicht nur auf positive Weise. Vor allem von Vorteil war sie dagegen für die Digitalisierung, die einen deutlichen Aufschwung erlebte. So ist es im Industriesektor mittlerweile unverzichtbar geworden, flexible Produktionssysteme autonomer zu machen. Dadurch bekommen Ingenieure die Möglichkeit, das Verhalten der Anlagen anhand von Simulationen zu validieren, nicht nur in Testdurchläufen vor Ort. Das ist zum Beispiel ein Aspekt, der uns sicher auch nach Abklingen der Pandemie erhalten bleiben wird. Ich sehe folgende fünf Trends, die die Industrie in den nächsten Jahren begleiten werden:

### ■ KI-Projekte werden wirtschaftlich immer erfolgreicher

Smartphones, Fitnessstracker oder sonstige Smart Assistants haben Künst-

liche Intelligenz (KI) in die eigenen vier Wände gebracht. Dagegen hat die verarbeitende Industrie gerade erst begonnen, ernsthaft über die Integration von KI nachzudenken.

Die Produktionslinie der Zukunft wird sich jedoch in hohem Maße auf Künstliche Intelligenz stützen, etwa wenn es um automatische Zustandsüberwachung und vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance), visuelle Qualitätsprüfung und das Optimieren von Fertigungsprozessen geht. KI wird der Vision einer vollautomatischen Fabrik den Weg ebnen, die flexibel Waren in kleinen Produktionsmengen herstellt – bis hin zu »Losgröße Eins«.

Wir können ist davon auszugehen, dass in den nächsten Jahren neue KI-basierte Applikationen auf den Markt kommen, die wirtschaftlich relevant sein werden. Letztendlich wird KI flexiblere und leistungsstärkere Maschinen-Software ermöglichen, die durch herkömmliche Programmierung nicht möglich wäre.

### ■ Funktionen von Maschinen durch Simulation validieren

Die steigende Komplexität von Maschinen-Software sowie die fortschreitende Modularisierung von Produktionsanlagen haben dazu geführt, dass im Vorfeld weitreichende Simulationen durchgeführt werden. Dieser Trend wird noch dadurch verstärkt, dass der internationale Reiseverkehr für Inbetriebnahme- oder Servicezwecke in Pandemiezeiten deutlich zurückgegangen oder in einigen Fällen sogar zum Erliegen gekommen ist.

In diesem Zusammenhang bietet es sich an, Funktionstests von Produktionsanlagen zukünftig mit umfassenden Modellen zur Simulation und zur virtuellen Inbetriebnahme durchzuführen. Die Fabrik der Zukunft wird also zweimal aufgebaut: erst virtuell, dann physisch. Ein digitales Abbild, das kontinuierlich mit Live-Daten gespeist wird, gibt während der gesamten Lebensdauer der Maschine als digitaler Zwilling Auskunft über deren



Zustand. Das macht Einsätze vor Ort letztendlich zur Ausnahme.

### ■ **Produktionshalle und Büro verschmelzen**

Auch der IT-Bereich wird eine Veränderung erleben – durch die Vernetzung von modularisierten Maschinen über standardisierte Protokolle wie OPC UA TSN oder den Wechsel von Kabelverbindungen hin zu drahtlosen Protokollen wie 5G. Programme, die auf Industriesteuerungen, Edge-Geräten und Cloud-Systemen laufen, werden noch enger mit Apps und Dashboards zusammenarbeiten und schließlich den Fertigungsbereich und den Bürobereich verschmelzen lassen.

Immer leistungsfähigere Hardware-Systeme werden nicht nur die Ausführung komplexer KI-Algorithmen auf Produktionsgeräten ermöglichen, sondern auch eine neue Ebene der Mensch-Maschine-Interaktion durch die automatisierte Verarbeitung von Textdaten und Spracherkennung einleiten. Dies ist in der Konsumgüterindustrie bereits mit intelligenten Sprachassistenten weit verbreitet.

### ■ **Roboter und autonome Systeme automatisieren die Produktion**

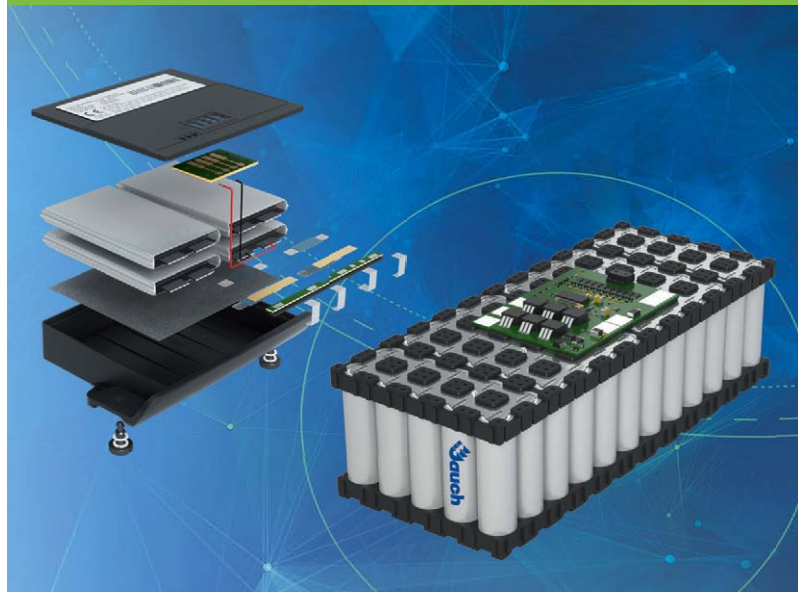
Die flexible Produktion in der Fabrik der Zukunft erfordert Roboter und autonome Handhabungssysteme, um sich schneller an wechselnde Anforderungen anzupassen. Das klassische Programmieren und Trainieren von Robotern ist allerdings nicht dazu geeignet, das System auf die Verarbeitung von großen und schnell wachsenden Mengen unterschiedlicher Güter vorzubereiten. Handhabungsgeräte werden dies in Zukunft stattdessen durch Reinforcement-Learning und andere KI-Techniken automatisch lernen. Die Voraussetzungen dafür – hohe Rechenleistung und große Datenmengen – sind in den letzten Jahren geschaffen worden.

### ■ **Mehr Möglichkeiten für Ingenieure mit erweitertem Domänenwissen**

Die vergangenen Monate haben gezeigt, wie wichtig Digitalisierung ist. In den nächsten Jahre werden wir dann sehen, wer für die Fabrik der Zukunft bereit ist und wer nicht.

Unternehmen, die sich erfolgreich den Herausforderungen und Chancen einer zunehmend digitalen und virtuellen Welt stellen, werden dies mit Teams aus Ingenieuren mit erweiterten Domänenkenntnissen tun. Das heißt mit solchen, die in der Lage sind, Domänenwissen mit Fachkenntnissen in Technologie und Tools von Unternehmen wie MathWorks zu kombinieren. Um für eine Zukunft gerüstet zu sein, in der Industrie 4.0 nur der Anfang ist, müssen Unternehmen, die Industrieanlagen bauen und betreiben, deshalb ihre Stellenausschreibungen überarbeiten und Ingenieure mit einem vollkommen veränderten Anforderungsprofil einstellen. (kv)

## Komplexe Batterie-Packs für anspruchsvolle Anwendungen



Seit 15 Jahren Ihr Entwicklungspartner für zuverlässige Batterielösungen

- + Auslegung des Batterie-Packs inkl. BMS
- + Prototypen-Fertigung inkl. ausführlicher Testreihen
- + Zertifizierung nach CE, IEC62133-2, UL2054, UN38.3, UKCA





Bilder: Dominic Wunderlich / Pixabay

## ABB Motion

## Mit effizienteren Antrieben gegen den Klimawandel

*Ein signifikanter Hebel, um dem Klimawandel entgegenzuwirken, ist laut ABB der Einsatz effizienter Antriebe in Industrie und Gebäuden. Allein dadurch ließen sich 40 Prozent an den Treibhausgasen einsparen, die nötig wären, um die im Pariser Abkommen festgelegten Klimaziele für 2040 zu erreichen.*

**A**uch wenn die meisten von uns sie fast nie zu Gesicht bekommen, finden sich Elektromotoren fast überall. Sie dienen als Antrieb in einer breiten Palette von Anwendungen, die für unser tägliches Leben von grundlegender Bedeutung sind. Sie reichen von industriellen Pumpen, Lüftern und Förderanlagen für die Fertigung über Antriebssysteme für den Transport bis hin zu Kompressoren für Elektrogeräte sowie Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage (HKL) in Gebäuden.

Leider ist eine beträchtliche Anzahl von industriellen Systemen mit Elektromotoren – etwa 300 Millionen weltweit – ineffizient oder benötigt viel mehr Strom als nötig. Die Folge ist eine enorme Energieverschwendung. Laut der Internationalen Energieagentur (IEA) entfallen auf die Industrie 37 Prozent des weltweiten Energiebedarfs und 24 Prozent der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Gebäude sind für etwa 30 Prozent des Energiebedarfs und 28 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich. Nach unabhängigen Untersu-

chungen könnte der Austausch dieser Anlagen durch optimierte, hocheffiziente Systeme den weltweiten Strombedarf um bis zu zehn Prozent senken. Dies wiederum entspräche mehr als 40 Prozent der Einsparungen an Treibhausgasemissionen, die nötig wären, um die im Pariser Abkommen festgelegten Klimaziele für 2040 zu erreichen.

In dem neuen Whitepaper »Achieving the Paris Agreement: The Vital Role of High-Efficiency Motors and Drives in Reducing Energy Consumption« [1]

möchte ABB verdeutlichen, wie stark sich die Energieeffizienz durch den Einsatz von hocheffizienten Motoren und drehzahlvariablen Antrieben in Industrie und Infrastruktur verbessern lässt. Zudem ruft das Unternehmen die Regierungen und die Industrie auf, die Einführung dieser Technologie zu beschleunigen, um dem Klimawandel entgegenzuwirken.

## ■ **Elektromobilität zu fördern reicht allein nicht**

»Energieeffizienz in der Industrie birgt mehr als jeder andere Aspekt die größte Chance, den Klimanotstand zu bekämpfen. Im Grunde ist sie die unsichtbare Klimälösung«, erklärte Morten Wierod, Präsident ABB Motion. »Für ABB ist Nachhaltigkeit ein wesentlicher Teil unserer Unternehmenskultur und des Wertes, den wir für alle unsere Anteilseigner schaffen. Der mit Abstand größte Beitrag, den wir leisten können, um die Treibhausgasemissionen zu reduzieren, sind unsere führenden Technologien. Diese reduzieren den Energiebedarf in der Industrie, in Gebäuden und im Verkehr.«

Zwar wurden bereits bedeutende Maßnahmen ergriffen, um die Einführung von Elektroautos und erneuerbaren Energieträgern zu unterstützen. ABB ist jedoch der Meinung, dass es an der Zeit ist, das Gleiche für industrielle Technologien zu tun, da Energieeffizienz in diesem Bereich der Umwelt und der Weltwirtschaft noch mehr nützen würde.

»Es kann gar nicht genug betont werden, wie wichtig die Umstellung von Industrie und Infrastruktur auf diese hoch energieeffizienten Antriebe und Motoren ist, um ihren Beitrag zu einer nachhaltigeren Gesellschaft zu leisten«, so Morten Wierod weiter. »Da 45 Prozent des weltweit erzeugten Stroms für den Betrieb von Elektromotoren in Gebäuden und industriellen Anwendungen verwendet werden, werden sich Investitionen in deren Aufrüstung in Bezug auf die Effizienz überproportional auszahlen.«

Schätzungen zufolge könnten 160 Terawattstunden Energie pro Jahr eingespart werden, wenn 80 Prozent der heute installierten industriellen Motoren durch ultrahocheffiziente IE5-Motoren ersetzt würden – das entspricht mehr als dem jährlichen Energiebedarf von Polen. ABB bewertet regelmäßig die realen



»Energieeffizienz in der Industrie birgt mehr als jeder andere Aspekt die größte Chance, den Klimanotstand zu bekämpfen. Im Grunde ist sie die unsichtbare Klimälösung«, meint Morten Wierod, Präsident ABB Motion.

Auswirkungen der eigenen installierten hocheffizienten Motoren und Antriebe. Im Jahr 2020 sparten diese 198 Terawattstunden Energie ein – mehr als die Hälfte des jährlichen Energiebedarfs von Großbritannien. Bis 2023 sollen Motoren und Antriebe des Unternehmens den Kunden weltweit schätzungsweise zusätzlich 78 Terawattstunden an elektrischer Energie pro Jahr einsparen, fast so viel wie der jährliche Energiebedarf von Belgien, Finnland oder den Philippinen und mehr als der gesamte Jahresbedarf von Chile.

## ■ **Alle müssen an einem Strang ziehen**

Regulatorische Maßnahmen gehören zu den wichtigsten globalen Treibern für industrielle Investitionen in Energieeffizienz. Während die Europäische Union in diesem Jahr ihre Ökodesign-Richtlinie (EU 2019/1781) umsetzen wird, die neue strenge Anforderungen für eine wachsende Palette energieeffizienter Motoren festlegt, müssen viele andere Länder erst noch tätig werden.

Um die enormen Chancen zu nutzen, die energieeffiziente Antriebe und Motoren bieten, um die Treibhausgasemissionen zu reduzieren, müssen laut ABB alle Beteiligten mithelfen und an einem Strang ziehen:

■ Staatliche Entscheidungsträger und Regulierungsbehörden müssen An-

reize für ihre schnelle Einführung schaffen.

- Unternehmen, Städte und Länder müssen sich sowohl der Kosteneinsparungen als auch der ökologischen Vorteile bewusst sein und bereit sein, entsprechende Investitionen zu tätigen.
- Investoren müssen ihr Kapital auf Unternehmen verlagern, die besser darauf vorbereitet sind, den Klimarisiken zu begegnen.

»Unsere Aufgabe bei ABB ist es zwar, unseren Kunden stets die effizientesten Technologien, Produkte und Dienstleistungen anzubieten und weiterhin Innovationen für eine immer höhere Effizienz zu entwickeln, aber das allein reicht nicht aus. Alle Beteiligten müssen zusammenwirken, um die Art und Weise, wie wir Energie nutzen, umfassend zu verändern. Wenn wir gemeinsam handeln und innovativ sind, können wir die zentralen Versorgungsleistungen aufrechterhalten und gleichzeitig den Energiebedarf senken und dem Klimawandel entgegenwirken«, sagt Morten Wierod abschließend. (rh)

### REFERENZEN

- [1] Achieving the Paris Agreement: The Vital Role of High-Efficiency Motors and Drives in Reducing Energy Consumption, ABB, <https://tinyurl.com/2awhpcf6>

KI im Einsatz bei Bosch

## Auf zur Null-Fehler-Produktion

*Künstliche Intelligenz unterstützt den Menschen dabei, komplexe Zusammenhänge schnell zu erschließen und Maßnahmen einzuleiten. Das ist vor allem für die fertigende Industrie von Vorteil – weshalb Bosch noch in diesem Jahr ein eigens entwickeltes KI-System weltweit in Werken seiner Antriebssparte einführt.*

Um noch effizienter, produktiver, umweltfreundlicher und kostensparender zu produzieren, hat das Bosch Center for Artificial Intelligence (BCAI) ein KI-basiertes System entwickelt, das in Pilotwerken, zum Beispiel in Hildesheim, bereits zum Einsatz kommt. Hier wurden durch die KI Störungen in den Prozessabläufen identifiziert und beseitigt. Die Taktzeiten der Linien sanken so um rund 15 Prozent.

Bei Bosch wird die vom BCAI entwickelte KI-Lösung 2021 zunächst in rund 50 Werken der Antriebssparte weltweit ausgerollt und an über 800 Fertigungslinien angebunden. Täglich werden dann über eine Milliarde Datennachrichten in der Analyseplattform gespeichert. Anschließend plant Bosch, die KI-Lösung unternehmensweit in seinen rund 240 Werken einzusetzen. Zudem fließen die gewonnenen Erfahrungen und das Technologie-Know-how in die Entwicklung neuer KI-Techniken für die Fertigung ein.

### ■ KI verbessert Produktion und Produkt

Pilotanwender der neuen KI-Analyse-

plattform ist die Antriebssparte des Unternehmensbereichs Mobility Solutions. In den nächsten Jahren will Bosch hier rund 500 Millionen Euro in die Digitalisierung und Vernetzung der Werke investieren. Die voraussichtliche Ersparnis wird doppelt so hoch sein: rund eine Milliarde Euro bis 2025. Ein integraler Bestandteil des Projekts ist der Einsatz von Künstlicher Intelligenz. In Zusammenarbeit zwischen dem BCAI und den Werken des Geschäftsbereichs ist eine universelle KI-Lösung für die Fertigung entstanden, die mithilfe des Nexeed Manufacturing Execution System (MES) von Bosch Connected Industry Messwerte aus unterschiedlichen Quellen automatisiert sammelt, aufbereitet und nahezu in Echtzeit analysiert.

Sensordaten von Maschinen dienen als Grundlage, um etwa Schwankungen in unterschiedlichsten Fertigungsverfahren zu ermitteln. Die Industrie-4.0-Software Nexeed übersetzt und visualisiert die Daten und Codes, die KI gibt eine Handlungsempfehlung ab, der Mitarbeiter entscheidet. Genutzt werden dafür vor allem Dashboards, individuell konfiguriert und auf lokale Anwendungsfälle



» **Künstliche Intelligenz ist eine Technologie von epochalem Charakter – vergleichbar mit der Erfindung des Buchdrucks. KI wird die Industrie revolutionieren. Mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz lernen Maschinen und Produkte mit- und weiterzudenken.** «

Dr. Michael Bolle, Bosch-CDO/CTO



Alle Bilder: Bosch

und die entsprechende KI-Analyse zugeschnitten. So lassen sich potenzielle Ursachen von Fehlern leichter finden. Auch selbstanpassende Prozesse für Maschinen und Montagelinien lassen sich integrieren. Weicht beispielsweise ein Bohrloch von der definierten Platzierung ab, leitet die KI selbstständig die notwendigen Schritte ein. Unterstützt wird die KI mitunter durch Kameras, die entlang von Fertigungslinien den Produktionsprozess aufzeichnen. Anhand von Mus-

Für Bosch ist Künstliche Intelligenz eine Schlüsseltechnologie. Ab 2025 sollen alle Bosch-Produkte über KI verfügen oder mit ihrer Hilfe entwickelt oder hergestellt werden. Dazu investiert Bosch in kluge Köpfe, eine adäquate Infrastruktur und passende Rahmenbedingungen.

tern identifiziert die KI Abweichungen, Maßnahmen lassen sich umgehend ergreifen. Darüber hinaus sind in einzelnen Fällen Feld- und Kundendaten mit der Plattform verknüpft. Dies hilft, noch besser zu verstehen, wie sich Produkte im Einsatz verhalten, um Mängel rechtzeitig festzustellen und drohende Fehler vorherzusagen.

## ■ **Noch nutzt nicht jeder das Potenzial**

So weit wie Bosch sind viele in der Industrie aber noch nicht. Die Einsicht ist zwar da, aber noch mangelt es an der Umsetzung: Mehr als jedes zweite deutsche Unternehmen (58 Prozent) sieht in Künstlicher Intelligenz disruptives Potenzial. Aber nur jedes siebte Unternehmen (14 Prozent) nutzt aktuell KI für Industrie 4.0 (Umfrage Bitkom, 2020). Dass sich eine klare Mehrheit der Deutschen (60 Prozent) einen vermehrten Einsatz von industrieller KI, etwa bei der Herstellung von Autos oder Flugzeugen, wünscht, ist ein Kernergebnis des »Bosch KI-Zukunftskompasses«. Die im November 2020 vorgestellte Studie zeigt, dass mehr als zwei Drittel der Befragten KI-basierte Lösungen bei der Diagnose von Maschinenfehlern sowie in anderen High-Tech-Bereichen befürworten.

Bosch setzt bereits umfassend auf Künstliche Intelligenz. In der Fertigung unterstützt die Technologie dabei, den Ausschuss zu reduzieren, die Auslastung von Maschinen und Anlagen zu erhöhen und Produktionsprozesse zu optimieren. Neben Projekten in eigenen Werken



Die neue universelle Bosch-KI-Lösung für die Fertigung sammelt automatisiert Messwerte aus unterschiedlichen Quellen, bereitet diese auf und analysiert sie nahezu in Echtzeit. Sensordaten von Maschinen dienen als Grundlage, um etwa Schwankungen in unterschiedlichsten Fertigungsverfahren zu ermitteln. Die KI gibt eine Handlungsempfehlung ab, der Mitarbeiter entscheidet.

bringt Bosch KI-basierte Lösungen auch auf den Markt. Zu den Anwendungen in der Fertigung zählen die automatisierte optische Inspektion von Werkstücken, Software für eine intelligente Produktionssteuerung und ein ausgeklügeltes Energiemanagement.

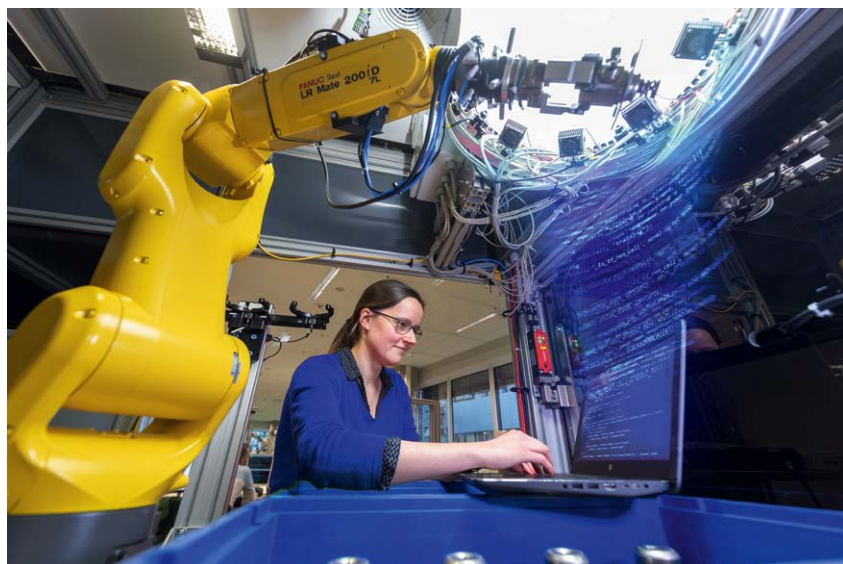
## ■ **In Unternehmensstrategie wird KI fest verankert**

Für Bosch ist Künstliche Intelligenz eine Schlüsseltechnologie. Ab 2025 sollen alle Bosch-Produkte über KI verfügen oder mit ihrer Hilfe entwickelt oder hergestellt

werden. Dazu investiert Bosch in kluge Köpfe, eine adäquate Infrastruktur und passende Rahmenbedingungen. Bis Ende 2022 macht Bosch 20 000 Mitarbeiter fit in KI. Ein entscheidender Hebel: das Forschungs- und Entwicklungszentrum für Künstliche Intelligenz.

Bereits im dritten Jahr nach seiner Gründung hat das BCAL einen Return on Invest realisiert, liefert mit Projekten einen Ergebnisbeitrag von rund 300 Millionen Euro. Der Anspruch: »Wir erforschen und bieten KI, die sicher, robust und nachvollziehbar ist«, sagt Dr. Michael Bolle, Bosch-CDO/CTO.

Dabei geht es dem Unternehmen vor allem um industrielle KI, also die Verbindung von Künstlicher Intelligenz und physischer Welt. Bosch verfügt dabei über beste Voraussetzungen. »Wir fertigen in unseren Werken unterschiedlichste Produkte – von Kühlschränken, Elektrowerkzeugen über Antriebsstränge und Assistenzsysteme für die Automobilindustrie bis hin zur Automatisierungstechnik für den Einsatz in Fabriken. Dieses Wissen kombinieren wir jetzt mit KI-Algorithmen«, erklärt Bolle. (kv)



Neben Projekten in eigenen Werken bringt Bosch auch KI-basierte Lösungen auf den Markt, die den Ausschuss zuverlässig reduzieren und den Fertigungsprozess optimieren. Hierzu zählt beispielsweise eine KI-basierte Lösung zur automatisierten optischen Inspektion von Werkstücken.



# Wertvolle Perle

*Da sich die Technik heutzutage rasant weiterentwickelt, arbeiten immer mehr Anwendungen bis in den Gigahertz-Bereich. Dementsprechend gewinnen auch die EMV und die entsprechenden Bauteile stetig an Bedeutung. Mit einer dieser EMV-Komponenten wollen wir uns nun näher befassen: den SMD-Ferritperlen.*

Joanne Wu

Produktmanagerin bei Würth Elektronik eiSos

**M**ultilayer-SMD-Ferrite – oft auch SMD-Ferritperlen genannt – sind EMV-Komponenten, die hochfrequente Störungen in bestimmten Frequenzbereichen dämpfen sollen. Es handelt sich um passive Bauelemente mit hohen Impedanzen über einen breiten Frequenzbereich, die das Nutzsignal nicht beeinträchtigen, wenn sie richtig ausgewählt worden sind. Üblicherweise sind Multilayer-SMD-Ferrite in Reihe mit einer Stromversorgung oder einer Signalquelle geschaltet. Diese Bauteile in der Schaltung unsachgemäß zu verwenden kann jedoch das EMV-Verhalten des Produktes durchaus verschlechtern.

Multilayer-SMD-Ferrite können in verschiedenen Frequenzbereichen unter-

schiedliche elektrische Eigenschaften aufweisen. Diese Eigenschaften lassen sich in drei Bereiche unterteilen: induktiv, resistiv beziehungsweise ohmsch und kapazitiv (Bild 1).

Bei der Eigenresonanzfrequenz (Self Resonance Frequency, SRF) verhält sich der Multilayer-SMD-Ferrit wie ein ohmscher Widerstand, der Signale in diesem Frequenzbereich dämpft und die in ihm umgesetzte Leistung als Wärme ableitet. Diese Komponenten dämpfen die Störsignale durch ihre hohe Impedanz in diesem resistiven Frequenzbereich optimal.

Allerdings beeinträchtigen parasitäre Elemente innerhalb eines solchen Ferrits die Impedanz in Abhängigkeit von der Frequenz erheblich. Für die weitere Veranschaulichung dieser parasitären Elemente nutzen wir ein Ersatzschaltbild aus seiner

Induktivität  $L$ , der parallelen Kapazität  $C_{\text{PAR}}$  dem parallelen Widerstand  $R_{\text{AC}}$  und dem Serienwiderstand  $R_{\text{DC}}$  (Bild 2). Die Zuleitung mit der ohmschen Komponente der Induktivität ist als  $R_{\text{DC}}$  dargestellt. Dieses Ersatzschaltbild wird häufig verwendet, um einen Multilayer-SMD-Ferrit zu simulieren, wie stark die parasitären Parameter die Impedanzkurve beeinflussen.

## ■ Aufbau eines Multilayer-SMD-Ferrits

Die Bauteilserie *WE-CBF HF* hat Würth Elektronik speziell zur Anwendung im HF-Bereich entwickelt, was höhere Impedanz und geringere parasitäre Kapazität mit sich bringt. Durch die Anordnung der Windungen und Anschlüsse innerhalb des Bauteils entstehen parasitäre elektrische Effekte, die sich im Impedanzverlauf bemerkbar machen. Durch die vertikale Anordnung der Windungen (Bild 3) sinken die parasitären Windungskapazitäten deutlich.

Der Zusammenhang mit der Gesamtimpedanz  $Z$  wird durch Anwendung der untenstehenden Impedanzgleichung beschrieben. Der Haupteinfluss der parasitären Elemente kommt aus dem reaktiven Teil der Gleichung. Je niedriger die kapazitive Reaktanz  $X_C$  und je mehr induktive Reaktanz  $X_L$  in der Gesamtimpedanz enthalten sind, desto höher ist der Wert der Gesamtimpedanz.

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L^2 - X_C^2)}$$

Bei der WE-CBF HF ist die Wicklung wie eine spiralförmige Luftspule ausgebildet, die von einem Anschluss zum anderen führt (Bild 3a). Dadurch entstehen parasitäre Kapazitäten zwischen den Windungen und zwischen den jeweiligen Endanschlüssen (Bild 3b). Da die parasitären Kapazitäten mit ihren Nachbarn in Reihe geschaltet sind, lässt sich die Gesamtkapazität folgendermaßen bestimmen:

$$1/C_{\text{Series}} = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots$$

Folglich ist die parasitäre Gesamtkapazität nur ein Bruchteil der parasitären Kapazität von herkömmlichen Multilayer-SMD-Ferriten. Dadurch steigt die Eigenresonanzfrequenz, was den möglichen Nutzfrequenzbereich in den höheren Frequenzbereich verschiebt.

Bild 4 stellt zwei SMD-Multilayer-Ferrite bei einer Impedanz von 500 Ω einander gegenüber. Die WE-CBF (gelbe Kurve) deckt bei gleicher Impedanz den Bereich von 30 MHz bis 300 MHz ab, die WE-CBF HF (blaue Kurve) jedoch einen Bereich von 70 MHz bis 2500 MHz, bei der also die Filterbandbreite viel größer ist.

## Einfluss von Temperatur und Strom

Ändert sich die Temperatur, kann sich der Magnetisierungszustand eines Multilayer-SMD-Ferrits verändern. Strom durch das Bauteil erzeugt Verluste, die in Wärme umgesetzt werden und somit die elektrischen Eigenschaften beeinflussen. Multilayer-SMD-Ferrite können bis zu einem gewissen Grad diese Wärme ableiten. Bei steigender Betriebstemperatur verringert sich jedoch die Impedanz. Die laut Datenblatt spezifizierte maximale Betriebstemperatur liegt bei +125 °C.

In der Praxis werden Multilayer-SMD-Ferrite häufig mit einem Gleichstrom (DC Bias) beaufschlagt. Die Kurvenschar der Impedanz über der Frequenz in Abhängigkeit des Stroms in Bild 5 zeigt, wie sich das Bauelement in der Praxis verhält, wenn also Strom durch sie fließt. Steigt der Strom durch die Ferritperle an, baut sich ein magnetisches Feld auf, sodass das Kernmaterial immer weiter in Richtung Sättigung geht und die Induktivität abfällt. Diese Sättigung ist auf die maximale Ausrichtung aller magnetischer Dipole des Bauelementes zurückzuführen und verändert die Permeabilität (bzw. die Impedanz) des Ferritmaterials. Im unteren Frequenzbereich, also unterhalb

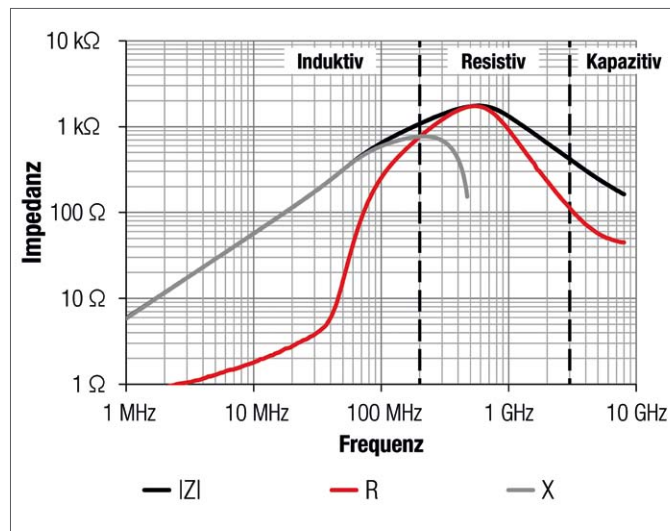


Bild 1: Typische Impedanzkurve eines Multilayer-SMD-Ferrits, hier am Beispiel der WE-CBF HF 742841210 von Würth Elektronik.

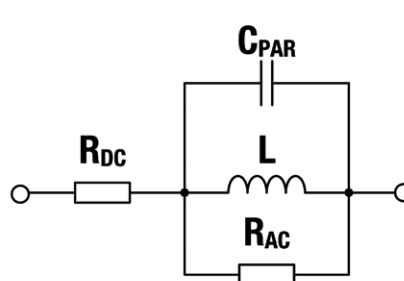


Bild 2: Ersatzschaltbild eines Multilayer-SMD-Ferrits.

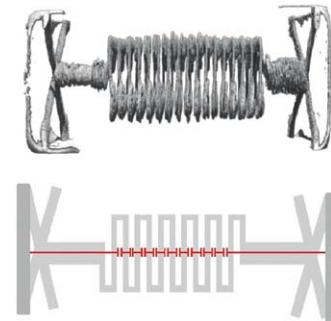


Bild 3: Computertomografie eines vertikal ausgerichteten Multilayer-SMD-Ferrits vom Typ WE-CBF HF (oben) und Darstellung der parasitären Kapazitäten (unten).

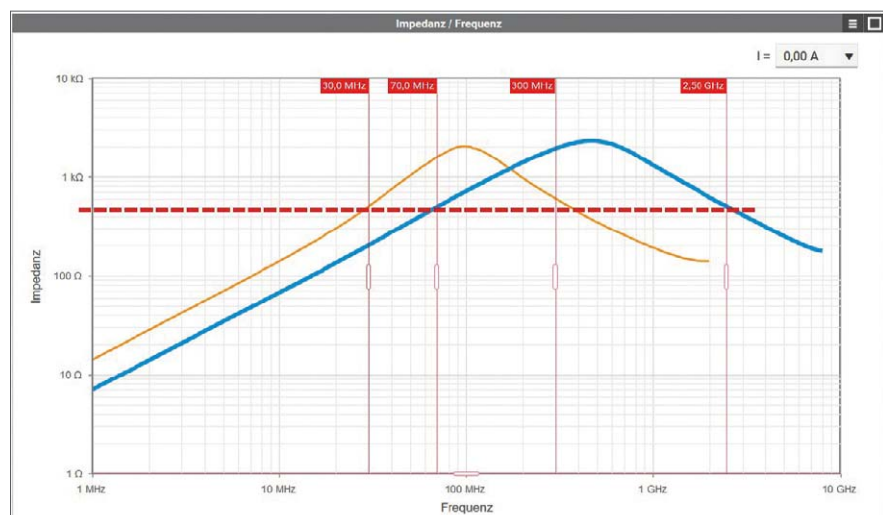


Bild 4: Impedanzkurven im Tool RedExpert zum Vergleich der Impedanz der WE-CBF 742792693 (orange) und WE-CBF HF 742861210 (blau) mit 0 A DC-Bias-Strom.

der Eigenresonanzfrequenz, wirkt sich der Bias-Strom im Vergleich zum Frequenzbereich oberhalb der Eigenresonanzfrequenz deutlich stärker aus.

Mit zunehmendem Gleichstrom nimmt die Induktivität weiter ab, die parasitäre Kapazität bleibt jedoch gleich. Dadurch

verschiebt sich das Impedanzmaximum bei der Eigenresonanzfrequenz nach rechts hin zu höheren Frequenzen und die Gesamtimpedanz sinkt. In diesem Szenario erzeugen SMD-Ferrite schärfere und höhere Spitzenwerte bei der Eigenresonanzfrequenz, da auch die Güte Q steigt. Die Impedanz

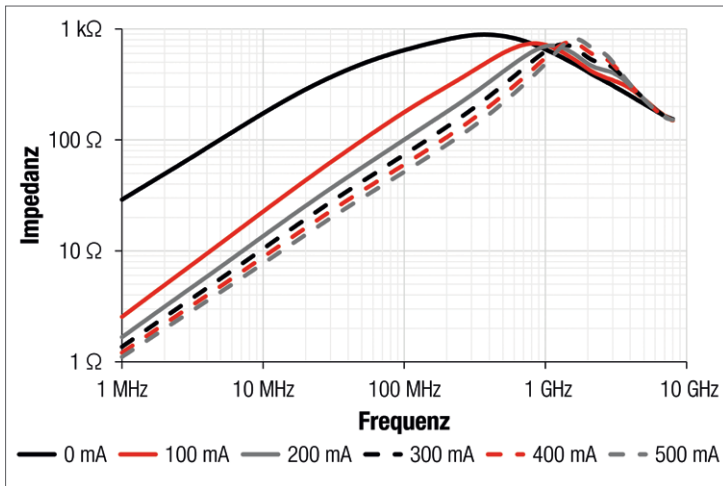


Bild 5: Die Impedanzkurven der WE-CBF HF 742861160 verändern sich mit dem DC-Bias-Strom.

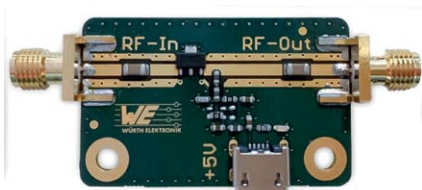
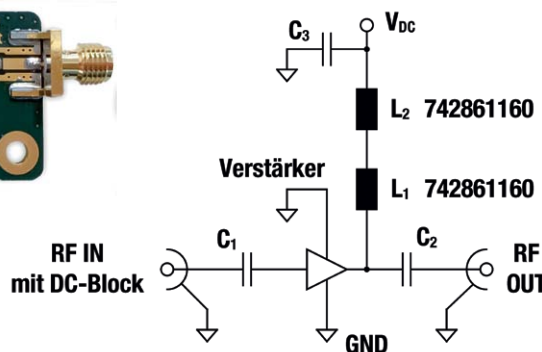


Bild 6: Breitbandverstärker: Schaltplan und Testplatte mit der WE-CBF HF (742861160).



Materials zueinander zeigt. Mit der messwertbasierten Online-Design-Plattform RedExpert von Würth Elektronik können darüber hinaus die Impedanz und andere elektrische Eigenschaften jedes Multilayer-SMD-Ferrits bei jeder Betriebsfrequenz und jedem DC-Bias-Strom bestimmt werden. Alternativ lassen sich die Bauteile auch anhand der S-Parameter oder mit einem SPICE-Modell simulieren.

### Breitbandverstärker und HF-Filter

Viele EMV-Probleme in elektronischen Geräten lassen sich mit einem Multilayer-SMD-Ferrit im betroffenen Signalpfad lösen. Im Folgenden gehen wir noch auf zwei konkrete Anwendungsfälle ein, bei denen die WE-CBF HF eingesetzt werden kann: ein Breitbandverstärker für 5 MHz bis 7 GHz und ein HF-Bias-Filter für den Balun einer 2,4-GHz-WiFi-Schnittstelle.

Breitbandverstärker im Kleinsignalbereich werden oft bei der Verwendung von Antennen für den Empfang benötigt, um über einen weiten Frequenzbereich sehr kleine Signale bei geringem Rauschen zu verstärken. Bild 6 zeigt ein Beispiel. Das Netzwerk zur Entkopplung der Stromversorgung zum Verstärkermodul ist einer der kritischen Aspekte beim Entwurf von HF-Schaltungen. Es bestimmt sowohl die Verstärkerleistung über die Temperatur als auch die DC-Bias-Bedingungen. Die für die Verstärkerstufe notwendige Versorgungsspannung kann nicht direkt angelegt werden, sondern ist hochimpedant über den gesamten Arbeitsfrequenzbereich des Verstärkers zu entkoppeln. So wird das HF-Signal nahezu nicht beeinträchtigt und der größte Teil des verstärkten Signals gelangt unbehindert zum Ausgang des Verstärkers.

Herkömmliche Induktivitäten und SMD-Ferrite weisen keine konstant hohe Impedanz über einen so breiten Frequenzbereich auf. Eine Möglichkeit, breitbandige Filtern aufzubauen, besteht darin, die normalerweise verwendeten Luftspulen durch eine WE-CBF HF zu ersetzen (Bild 6). Die hohe Impedanz im Stromversorgungspfad von über 200 Ω über den gesamten Frequenzbereich kann den HF-Verstärker signaltechnisch entkoppeln. Zusätzlich wird durch den geringen Gleichstromwiderstand des Multilayer-SMD-Ferrits das Modul mit dem nötigen Gleichstrom versorgt. Für Signale im Frequenzbereich unter 5 MHz ist die Impedanz gering, sodass hier eine gewünschte Signaldämpfung erfolgt.

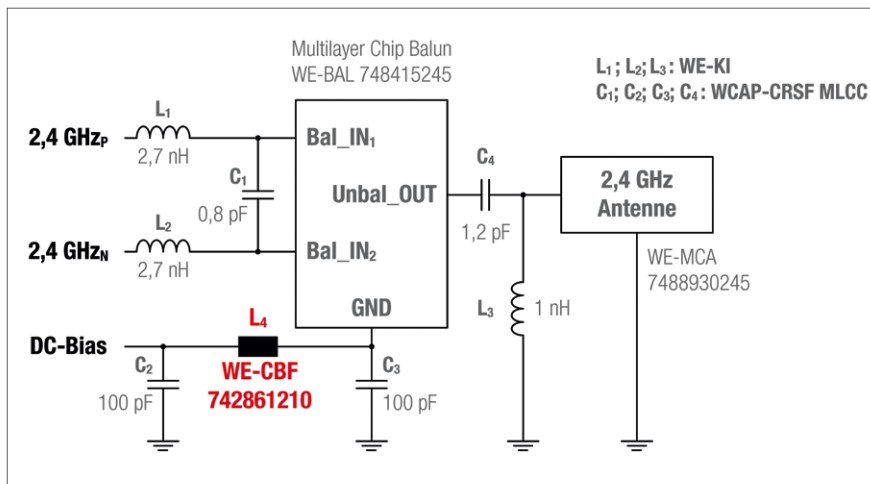


Bild 7: Balun für eine WiFi-Schnittstelle mit DC-Bias gespeistem Transceiver und  $\pi$ -Filter für die Entkopplung der DC-Bias-Spannung.

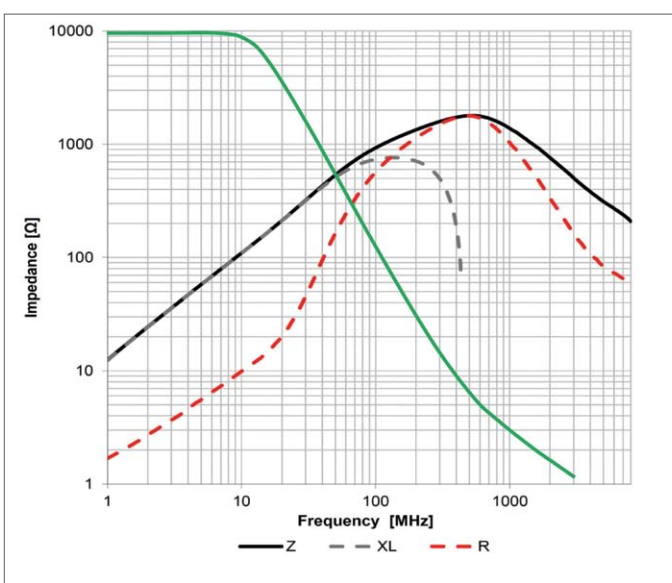
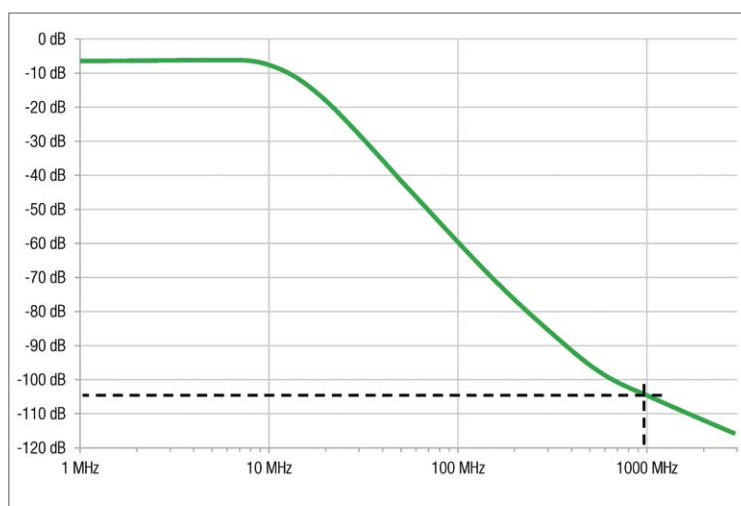
konvergiert in einem Frequenzbereich zu einem Punkt. Dies liegt am ferromagnetischen Effekt, der bis zur Eigenresonanzfrequenz dominiert. Oberhalb davon ist der ferromagnetische Effekt zwar noch vorhanden, wird aber durch die resonanten und die kapazitiven Effekte überdeckt. Mit abnehmender Permeabilität verlieren die ferromagnetischen Eigenschaften ihren Einfluss und das Material verhält sich paramagnetisch. In diesem Zustand wirkt

der Multilayer-SMD-Ferrit aufgrund der parasitären Effekte kapazitiv und verhält sich physikalisch wie eine Drahtspule über ihrer Resonanzfrequenz.

Es zeigt sich, dass der Einfluss von Temperatur und DC-Bias-Strom Schlüsselparameter für die Auswahl des richtigen Bauteils sind. Die Impedanzkurven sind im entsprechenden Datenblatt zu finden, wobei die Kurvenschar eine Abhängigkeit der Impedanz, des DC-Bias-Strom und des



**Bild 8:** Simulation der Einfügedämpfung des  $\pi$ -Filters zur DC-Bias-Entkopplung mit LTspice ( $I_{DC} = 100 \text{ mA}$ )



**Bild 9:** Impedanzkurven des Multilayer-SMD-Ferrits WE-CBF HF 742841210 zusammen mit der relativen Einfügedämpfung des  $\pi$ -Filters.

Bild 7 zeigt den Schaltplan einer 2,4-GHz-WiFi-Schnittstelle. Das symmetrische HF-Signal gelangt vom Transceiver über das Anpassnetzwerk zum Balun, der dieses in ein unsymmetrisches Signal transformiert. Vom Balun gelangt das Signal über das zweite Anpassnetzwerk letztendlich zur LTCC-Antenne. Die Komponentenwerte der Anpassnetzwerke in Bild 7 müssen entsprechend dem Layout angepasst werden.

Einige Transceiver-Schaltungen erfordern eine DC-Bias-Spannung, um zwischen TX (Sendemodus) und RX (Empfangsmodus) umzuschalten. Die Schaltspannung kommt vom Transceiver und wird über den Balun zurück in die symmetrische HF-Schnittstelle des Chips gespeist. Zur Entkopplung der Spannung ist hier ein  $\pi$ -Filter vorgesehen.

Das  $\pi$ -Filter dämpft wirksam Störungen, die von dem DC-Bias-Pin des Controllers und der Leiterbahn in den Balun eingekoppelt werden könnten. Vor allem im

Sendemodus entkoppelt das Filter gleichzeitig die Reste des HF-Signals, die sich wegen Unsymmetrien von Layout, Balun und gegebenenfalls zusätzlicher Streueffekte auf dem GND-Pin des Baluns befinden. Die Kurve der Einfügedämpfung ist in Bild 8 dargestellt. Das Filter wurde in einem 50- $\Omega$ -System bis 3 GHz in LTspice simuliert, der Bias-Strom beträgt hier 100 mA. Eine Einfügedämpfung von über 100 dB bei 1 GHz wird in der Praxis nicht zu erreichen sein. Die Kurve zeigt, dass die Dämpfung stark und frei von Resonanzen ist. Dies ist auf die hohe Impedanz des Multilayer-SMD-Ferrits WE-CBF HF 742841210 zurückzuführen.

Bild 9 zeigt die relative Kurve der Einfügedämpfung über der Frequenz zusammen mit den Impedanzkurven des WE-CB HF 742841210. Hier ist die Wirksamkeit über der Frequenz deutlich zu erkennen, im Bereich des höchsten resistiven Impedanzanteils (R) steigt auch die Einfügedämpfung stark an. (rh)



## DC/DC-Konverter Stromversorgung der Serien MonoBK™ und PicoBK™

- ⚡ Erweitertes Portfolio
- ⚡ Eingangsspannungsbereiche 5V, 12V, 24 V und 40V
- ⚡ Ausgangsströme von 0,5A bis 30A
- ⚡ Varianten mit bis zu 105°C Umgebungstemperatur
- ⚡ Flaches Profil verfügbar mit Bauteilhöhen kleiner 2,4mm
- ⚡ Bis zu 4 Ausgänge möglich

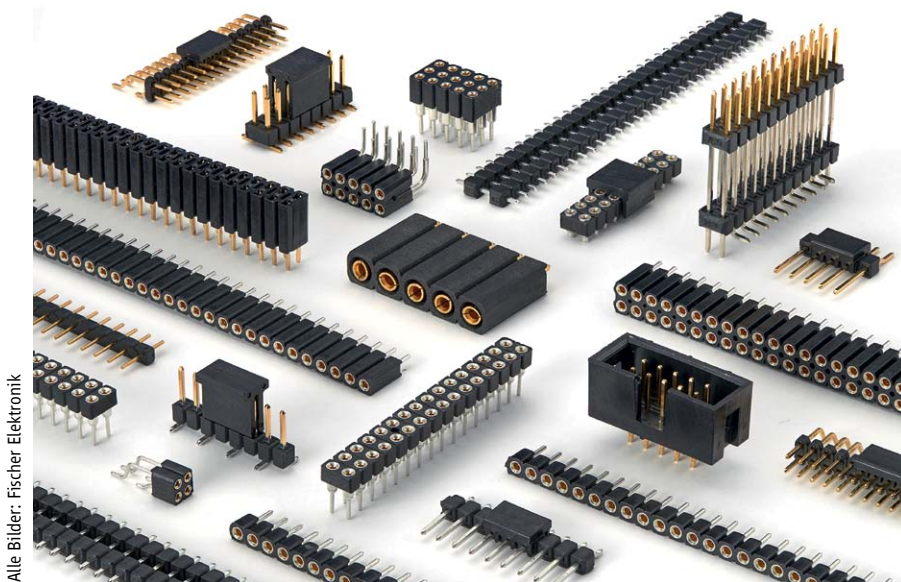
# GUDECO ELEKTRONIK



Elektronische und elektromechanische  
Baulemente - sofort ab Lager

**WWW.GUDECO.DE**

# Einheitliche Kontakttechnik



Alle Bilder: Fischer Elektronik

Bild 1: Leiterplattensteckverbinder – Stift- und Buchsenleisten.

*Auf den ersten Blick scheinen Leiterplattensteckverbinder und IC-Sockel kaum etwas gemeinsam zu haben. Sieht man näher hin, entdeckt man viele Ähnlichkeiten, beispielsweise bei der Kontakttechnik.*

Gerhard Brüser

Leitender Entwicklungsingenieur für Steckverbinder bei Fischer Elektronik in Lüdenscheid

Leiterplattensteckverbinder verbinden – wie der Name schon sagt – Leiterplatten zueinander aber auch zur Stromversorgung der Baugruppen und übertragen auch Daten. IC-Sockel dagegen nehmen elektronische Schaltkreise in ihren verschiedensten Bauformen und Größen mit unterschiedlichsten Anschlüssen auf. Diese sollen im Schadensfall problemlos und schnell gewechselt werden können, ohne die Leiterplatten mit unnötigen Lötarbeiten zu belasten.

Sowohl Leiterplattensteckverbinder als auch IC-Sockel basieren auf Präzisionskontakten. Sie werden vorwiegend als Rundanschlüsse mit 0,5 mm Durchmesser in ein- und zweireihigen Steckerleisten eingesetzt (Bild 1). Darüber hinaus werden auch vereinzelt dreireihige und sogar vierreihige Varianten. Eine kostengünstigere Möglichkeit, Steckerleisten mehrreihig auszuführen, besteht darin, die ein- und zweireihigen

Leisten anreihbar zu gestalten, sodass sie sich untereinander ergänzen können. Für größere Kontaktquerschnitte, zum Beispiel die gängigen Vierkant-Stiftkontakte mit 0,635 mm Kantenmaß, sind natürlich auch die Buchsenkontakte im Querschnitt entsprechend größer.

## ■ Die Buchsenkontakte

Präzisionsbuchsenkontakte bestehen aus zwei Teilen: der Hülse und der Innenkontaktfeder. Die Hülse ist ein Dreiteil, während die Innenkontaktfeder gestanzt und gerollt wird. Nach der galvanischen Beschichtung wird die Innenkontaktfeder – auch Clip genannt – in die Hülse gesteckt und auf Klemmsitz montiert. Der Clip kann eine unterschiedliche Anzahl von Kontaktfingern aufweisen, meist drei bis sechs, abhängig von der Baugröße und der gewünschten Kontaktierungssicherheit. Die Kontakte für die IC-Sockel haben in der Regel

vier Kontaktfinger, die verzinnt oder vergoldet sind, wobei die vergoldete Ausführungen bevorzugt verwendet werden. Die Hülse hingegen ist überwiegend verzinnt, da sie die Lötverbindung zur Leiterplatte übernimmt.

Bei den IC-Sockeln haben sich gestanzte Flachkontakte kaum durchgesetzt, anders als bei den Leiterplattensteckverbindern. Es werden vielfach sogenannte tulpenförmige Kontakte, mit zwei gegenüberliegenden Flachkontakten, oder auch Gabelkontaktformen verwendet. Solche Kontakte lassen sich gut automatisch bestücken. Daneben spart die galvanische Beschichtung, gerade Vergoldungen, mittels Bandgalvanik eine Menge des teuren Edelmetalls. Hierdurch entstehen gegenüber den Präzisionskontakten gute und preiswertere Alternativen. Im Stiftleistenbereich findet man überwiegend gezogenes Vierkantmaterial. Die Spitzen sind zwecks guter Steckung mittlerweile überwiegend pyramidenförmig geprägt.

Da integrierte Schaltkreise zu Beginn ihrer Entwicklung in den 1980er Jahren noch sehr teuer waren, wurden sie gesockelt, um sie im Fehlerfall leicht auswechseln zu können. Durch die unterschiedlichsten IC-Bauformen und deren unterschiedlichen Anschlusskontakten, entstanden entsprechend ebenso viele Sockeltypen (Bild 2). Zu beachten sind hierbei neben dem Kontaktabstand auch der Reihenabstand zueinander.

Am weitesten verbreitet ist die DIL-Fassung (Dual in Line). Daneben gibt es Rundfassungen mit verschiedenen Polzahlen für Transistoren, speziellere Bauformen für Leistungstransistoren, für Schwingquarze und auch Fassungen mit zum Teil besonders hochtemperaturbeständigen Kunststoffen (Bild 3). Daneben gibt es weitere Fassungstypen, beispielsweise für die heute noch gängigen PLCCs (Plastic-Leaded-Chip-Carrier). Diese ICs haben eine J-förmige Anschlussform, die in Verbindung mit dem entsprechend passenden Sockel eine klemmende und federnde Kontaktierung ausbildet.

## ■ Elektrische Kenndaten

Die elektrischen Kenndaten sind wichtige Merkmale bei der Auswahl von IC-Sockeln und Leiterplattensteckverbindern. Die gängigen Typen mit einem Kontaktabstand (Raster) von 2,54 mm liegen in der Regel bei einer nominalen Strombelastung von bis zu 3 A. Dieser Wert sinkt bei kleineren Rastern, zum Beispiel bei 2,0 mm auf 2,5 A und bei 1,27 mm auf 1,0 A, je nach Raster und Type. Variationsmöglichkeiten ergeben sich auch durch den Einsatz unterschiedlicher

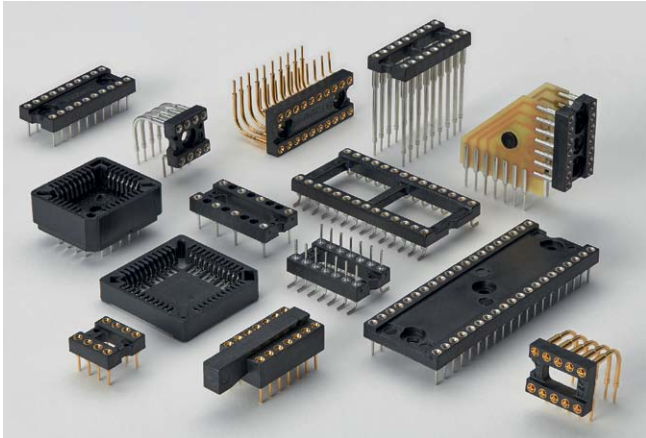


Bild 2: Standard-IC-Sockel.



Bild 3: Sonderfassungen – verschiedene Gehäuse und Kontakte.

Kontaktwerkstoffe. Während der elektrische Leitwert von Zinn-Bronze (CuSn) bei etwa 9 S/m liegt, kommt man bei Messing (CuZn) auf zirka 15 S/m.

Sind gute Federeigenschaften erforderlich, so bieten sich eher Zinn-Bronze-Legierungen an. In den meisten Fällen reichen diese Möglichkeiten der elektrischen Belastbarkeit für den Massenmarkt der Leiterplattensteckverbinder vollkommen aus. Darüber hinaus haben sich in der Vergangenheit – gerade für federnd beanspruchte Kontaktteile – Werkstoffe aus Kupfer-Beryllium-Legierungen (CuBe) mit maximal 2 Prozent Beryllium etabliert. Hier sind neben Varianten in walzhartem Zustand auch aushärtbare Typen verfügbar. Die aushärtbaren Varianten lassen sich besonders gut für stark geformte Federn verwenden.

## Die Lötverfahren

Bei IC-Sockeln und Leiterplattensteckverbindern kommen dieselben Lötverfahren zum Einsatz. Dies sind das Wellenlöten für Durchsteck-Komponenten (THT) sowie verschiedene Reflow-Lötverfahren und das bauteilschonende Dampfphasenlöten für die oberflächenmontierbaren Komponenten (SMT). Für

den Isolierkörper sind in den letzten Jahren verschiedene sehr temperaturbeständige Materialien auf den Markt gekommen. Die Ansprüche an die Steckverbinder und IC-Sockel sind durch die hohe Löttemperatur beim SMT-Löten deutlich gestiegen. Beim Wellenlöten erreichen die Steckverbinder kaum die übliche maximale Dauertemperaturbelastung von ungefähr +150 °C, während bei den SMT-Löttechniken Temperaturen von etwa +260 °C üblich sind. Dies setzt voraus, dass die Isolierkörper aus entsprechend temperaturbeständigem Kunststoff bestehen.

Für kleinere Hersteller von Steckverbindern und Fassungen lohnt es sich kaum, bei gleichen Bauformen der Isolierkörper, unterschiedliche Kunststoffe für das Wellenlöten und die SMT-Lötverfahren zu verwenden. Neben der möglichen Gefahr des Vertauschens, sofern der Kunststoff dieselbe Farbe hat, ist auch die doppelte Lagerhaltung ein nicht zu vernachlässigendes Thema. Daher kann es sich rechnen, generell den temperaturbeständigen Kunststoff für alle identischen Bauformen zu verwenden – unabhängig vom Lötverfahren.

Darüber hinaus lassen sich für besonders dünnwandige Bauteile oft nur noch spezielle Kunststoffe beispielsweise aus der

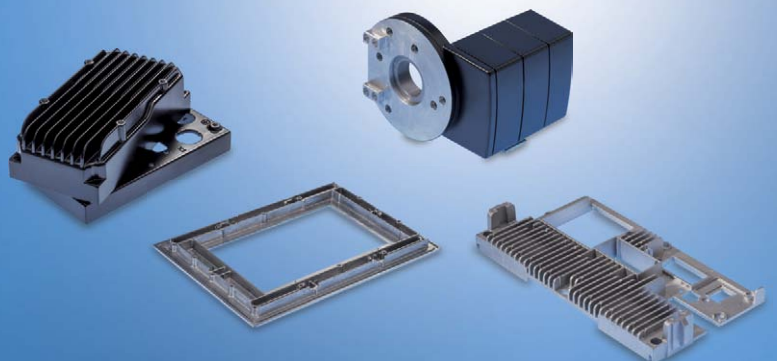
LCP-Gruppe (flüssigkristalline Polymere) verwenden. Hierfür bedarf es jedoch entsprechend geeignete Formwerkzeuge, die wegen des dünnflüssigen Kunststoffes sehr gut abgestimmt, äußerst formschlüssig und hochpräzise gefertigt sein müssen. Auch die Temperierung dieser Formwerkzeuge ist von über +130 °C maschinen- und werkzeugtechnisch besonders anspruchsvoll. Aber dadurch lassen sich auch bei einem recht langen Fließweg kleinste Wandstärken zuverlässig füllen. Erreicht wird dies durch den molekularen Aufbau mit starren, stabförmigen Makromolekülen, die sich in der Schmelze parallel ausrichten. Die LCP-Materialien sind in der Regel inhärent flammgeschützt (Stufe V0), also nicht durch flammhemmende Zusatzstoffe belastet. Durch den Zusatz von Füllstoffen, wie Faser- oder Mineralfüllungen, wird ein hoch formbeständiger Kunststoff erzeugt. Damit können sehr feine Strukturen, die sich bei vielen Steckverbinderleisten gerade bei kleiner werdenden Rastern ergeben, sicher gefüllt und produziert werden. Die gute Wärmeformbeständigkeit dieser Bauteile übersteigt +270 °C und gelangt bei einzelnen Typen auch auf über +300 °C. Darüber hinaus werden mit diesem Material gute mechanische Eigenschaften erzielt. (rh)

Anzeige



## Druckguss-Kühlkörper und Druckguss-Gehäuse

- Druckgussmaterialien: Aluminium, Zink, Magnesium
- Anwendungsspezifische Geometrien möglich
- Kurzfristige Musterstellung und Design-Änderungen
- Mechanische Bearbeitung und Oberflächenveredlung
- Wirtschaftliche Lösung auch bei Kleinserienfertigung



**CTX** THERMAL SOLUTIONS

# Nächster Halt: Predictive Maintenance



Rudy and Peter Skitterians / Pixabay

*Die Dänischen Staatsbahnen wollten die Bremsbacken ihrer Züge im Betrieb überwachen anstatt erst im Depot. Wie dieses Vorhaben im Rahmen einer vorausschauenden Wartung mithilfe hoch performanter Kamerasysteme und Hybrid-Steckverbinder gelang, beschreibt dieser Beitrag.*

Nach Unterlagen von Fischer Connectors

**B**remsanlagen in Zügen müssen hohen Belastungen standhalten, besonders wenn sie im Bahnhof zum Halten kommen sollen. Umso wichtiger ist es, den Zustand dieser sicherheitsrelevanten Systeme stets im Auge zu behalten. Drohende Schäden durch Verschleiß müssen behoben werden, bevor diese zu einem Sicherheitsrisiko werden. In der Regel findet dies in den Zugdepots durch entsprechend geschultes Personal statt.

Dadurch erhöhen sich allerdings die Stillstandszeiten und die Wartungsintervalle sind meist kürzer als notwendig.

Schon seit Längerem sind die Scan-Anlagen von ITTH in Wartungshallen der Dänischen Staatsbahnen installiert, um eine derartige automatische optische Inspektion durchzuführen. Dort sind die Bedingungen zum Ermitteln der Daten sehr günstig, da die Züge dort nur sehr langsam rollen. Dementsprechend sind die Ansprüche an die Geschwindigkeit der

Technik nicht ganz so hoch. Im Laufe der Zeit kam die Idee auf, das System aus der Halle auf die Strecke zu verlagern.

## ■ Bilder in Hochgeschwindigkeit

Bei der Zustandsüberwachung der Bremsbacken ist es unbedingt notwendig, genau zu wissen, welche Bremse an welchem Zug wann überprüft wurde. Um diese Daten zu erhalten, wird jeder Zug anhand mehrerer RFID-Tags eindeutig identifiziert. Die analysierten Züge vom Typ IC3 und IC4 haben sogenannte achsmontierte Bremssysteme, wobei jeder Zug über 40 bis 60 Bremsen verfügt, die eindeutig identifiziert werden müssen, um die Daten zuordnen zu können. Über die RFID-Tags erkennt der Scanner, welche Bremse an welchem Waggon wann gescannt wurde und ermittelt gleichzeitig den Zustand der Bremsbacke

anhand hoch performanter Aufnahme-technik innerhalb von Sekundenbruchteilen. Das System ist dafür zertifiziert, diese Messung bei einer bis zu 60 km/h schnellen Überfahrt des Zuges präzise auszuführen (Bild 1).

Um diese Daten innerhalb einer möglichst geringen Zeitspanne zu erhalten, benötigt man entsprechende Technik. Die Bilder werden von sechs Kameras gemacht, die bis zu 4000 Bilder in der Sekunde mit einer Belichtungszeit von 200 µs aufnehmen. Wesentlicher Kernbestandteil solcher bildgebenden Verfahren sind auch immer leistungsfähige Beleuchtungssysteme: 32 leistungsstarke Infrarot-LEDs mit Spezialgeometrie für eine horizontale Beleuchtung sorgen für das nötige Licht, das mit der Kamera synchronisiert ist.

Danach werden die Bilder über Lichtwellenleiter an ein leistungsstarkes Rechensystem übertragen. Dieses kann eine eindeutige Abnutzungsregression pro Achse und Bremse ermitteln und Anomalitäten erkennen. Dadurch lässt sich der Bedarf für alle Bremsbeläge exakt ermitteln (Bild 2). Abschließend gelangt der Zustand der Bremsen automatisch in eine Datenbank.

Wird bei der Soll-Ist-Analyse ein bestimmter Schwellenwert unterschritten, ergeht eine automatische Warnmeldung über das SAP oder SMS-Gateway-System und weist darauf hin, dass eine Wartung notwendig ist. Dadurch können Wartungsintervalle bedarfsgerechter gestaltet, Zeit eingespart und die Sicherheit erhöht werden – ganz nach dem Gedanken der »Predictive Maintenance«.

## ■ Große Datenmengen schnell übermittelt

Damit die Daten schnell und exakt zum Rechensystem gelangen, ist eine entsprechende Verbindungstechnik nötig. Die Wahl fiel schließlich auf die Hybrid-Steckverbinder der FiberOptic-Serie von Fischer Connector (Bild 3). Diese verfügen über zwei optische Kanäle zur Datenübertragung und zwei elektrische Kontakte



Bild: Fischer Connectors

**Bild 3:** Die Steckverbinder der FiberOptic-Serie von Fischer Connectors verfügen über zwei optische Kanäle zur Datenübertragung und zwei elektrische Kontakte. Sie erfüllen die Schutzarten IP68 und IP67.

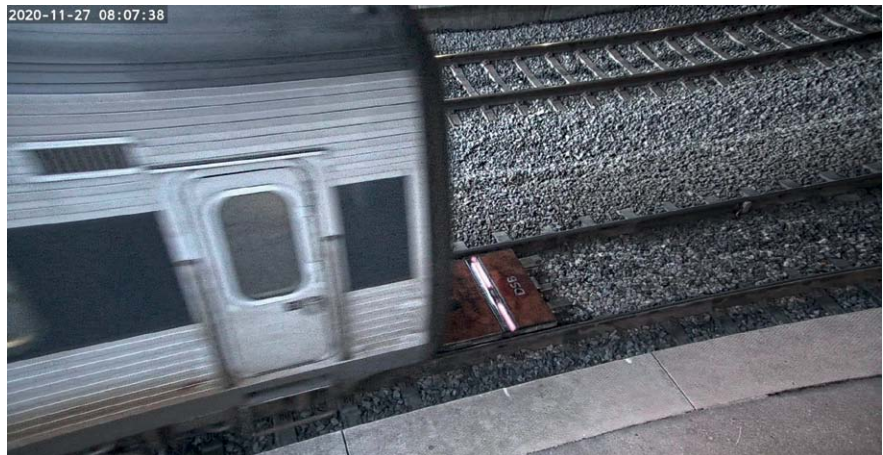


Bild: ITTH

**Bild 1:** Zur automatischen optischen Inspektion von Bremsbacken während der Zugüberfahrt wurden Hochleistungs-Scansysteme an den Bahnhöfen in Odense und Kolding sowie eines auf freier Strecke im Gleisbett verbaut.

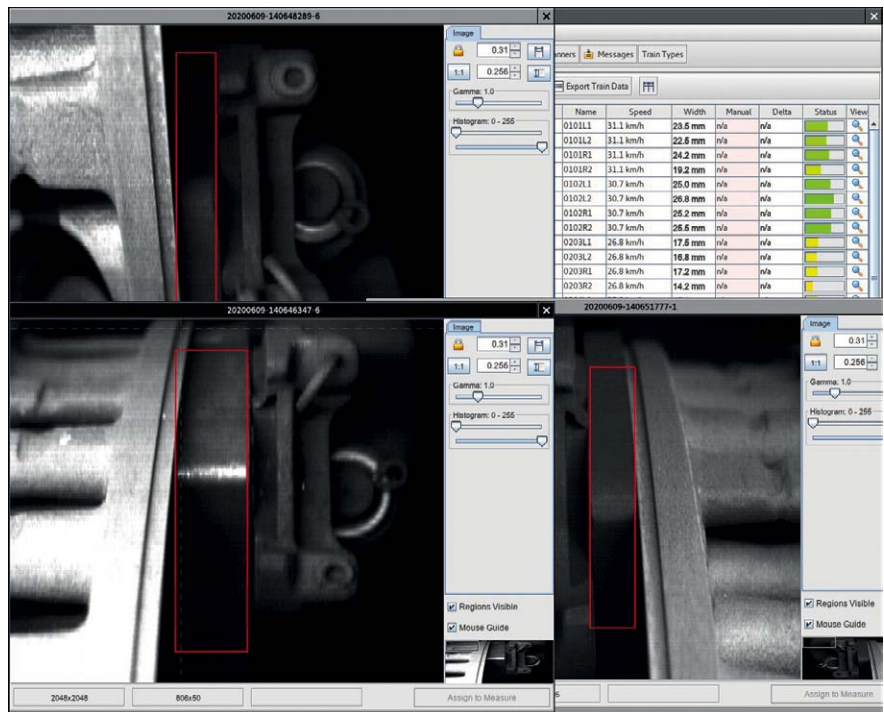


Bild: ITTH

**Bild 2:** Der Scanner erkennt innerhalb von Sekundenbruchteilen, welche Bremse an welchem Waggon wann gescannt wurde und ermittelt gleichzeitig den Zustand der Bremsbacke.

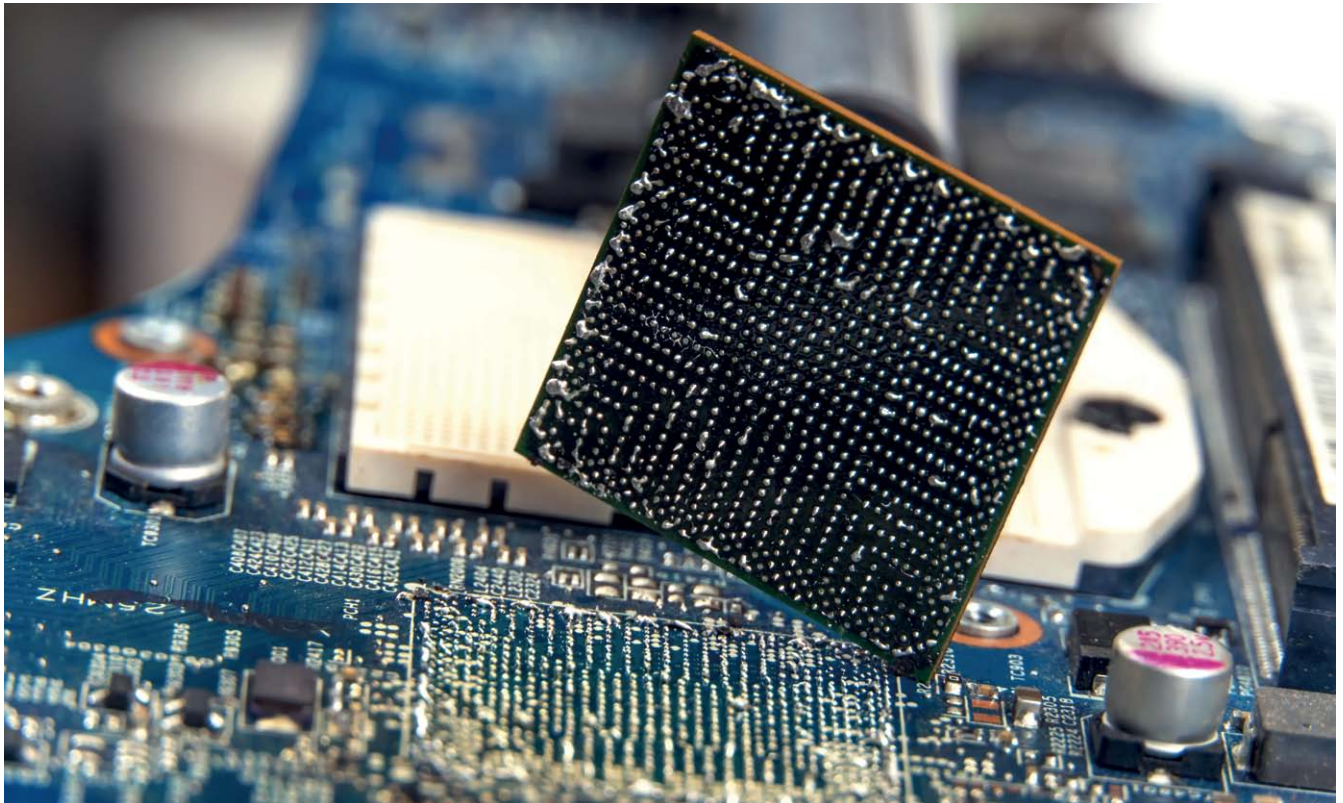
und können dadurch Daten mit einer Geschwindigkeit von 10 Gb/s übertragen. Da sich das System im Gleisbett befindet, müssen die Steckverbinder entsprechend robust und widerstandsfähig gegenüber äußeren Einflüssen sein. Die Steckverbinder verfügen über die Schutzarten IP68 und IP67. Sie sind also gegenüber äußeren Einflüssen wie Staub, Regen und Schnee resistent. Auch Öl und Benzin können den Steckver-

bindern nichts anhaben. Das System muss von Zeit zu Zeit gewartet und dazu aus dem Gleisbett herausgehoben werden. Um die Strecke dafür nicht sperren zu müssen, ist es wichtig, dass die Steckverbinder schnell und einfach stecken zu können. Dies ist mit den Steckverbinder von Fischer möglich.

Die Scan-Technologie soll bald auch auf der Straße zum Einsatz kommen: ITTH arbeitet an einer hochmobilen Version beispielsweise für Sicherheitsbehörden oder die Polizei zur Gefahrenabwehr. Auch hier sollen wieder Steckverbinder der FiberOptic-Serie von Fischer Connectors zum Einsatz kommen, unter anderem auch aufgrund ihres Kabelmanagements. (rh)

# Zuverlässiger Lötén durch Simulation

Bild: yaroslav1986 – stock.adobe.com; alle anderen Bilder: Zollner Elektronik



*Systeme mit hoher Rechenleistung nutzen oft Bausteine im Ball Grid Array (BGA). Bereits in der Entwicklungsphase erfordern BGAs eine robuste Konstruktion und Optimierung, damit sie zuverlässig mit der Leiterplatte kontaktieren. Lassen sich die Löttergebnisse durch eine Simulation verbessern?*

Philemon Olaleru, Dr. Tim Weber  
Zollner Elektronik

Prof. Dr. Peter Firsching  
Technische Hochschule Deggendorf

**B**all Grid Arrays (BGA) sind integrierte Schaltkreise mit sehr vielen Anschlüssen. Diese zuverlässig auf eine Leiterplatte zu lötén, ist eine große Herausforderung. Verantwortlich dafür ist der unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizient (Coefficient of Thermal Expansion, CTE) zwischen Bauteil, Lot, Kupferpad und Leiterplatte. Dadurch verformen sich die Materialien, wenn sie während dem Lötvorgang erst erhitzt und anschließend abge-

kühlt werden. So können Risse entlang der intermetallischen Phase der Lötverbindung entstehen. Wie zuverlässig eine Lötstelle ist, bestimmt sich vor allem dadurch, wie stark ein Produkt thermisch belastet wird, und wie die Metallurgie der Verbindung aussieht. Neben diesen Umweltfaktoren beeinflusst auch das Kriechverhalten der Lotlegierung die Zuverlässigkeit.

Üblicherweise nutzen Board-Hersteller sogenannte Dye-and-Pry-Experimente, um die Fertigungsparameter zu optimieren

(Bild 1). Für Dye and Pry wird zunächst eine ganze Serie an Boards mit verschiedenen Prozessparametern gefertigt. Anschließend kommen die bestückten Platinen in ein Bad mit einer hochviskosen, farbigen Flüssigkeit (engl. Dye). Aufgrund der Kapillarwirkung dringt diese Flüssigkeit bis in die mikroskopisch feinen Risse ein, die sich durch den Temperaturstress zum Beispiel bei den Löt­kugeln (Balls) des BGAs gebildet haben. Danach werden die Komponenten mechanisch von den Platinen heruntergerissen (engl. Pry) und die Grenzflächen auf Risse untersucht, was die farbige Flüssigkeit in den Rissen natürlich sehr erleichtert.

Dieses zerstörende Verfahren ist eine regelrechte Materialschlacht und daher mit hohen Kosten verbunden. Interne Berechnungen von Zollner zeigen, dass der experimentelle Aufwand etwa 45 Mal höhere Kosten als eine Simulation verursacht. Ziel der nachfolgenden Untersuchung war es also, ob sich die Fertigungsparameter zerstörungsfrei auch per Simulation optimieren lassen.

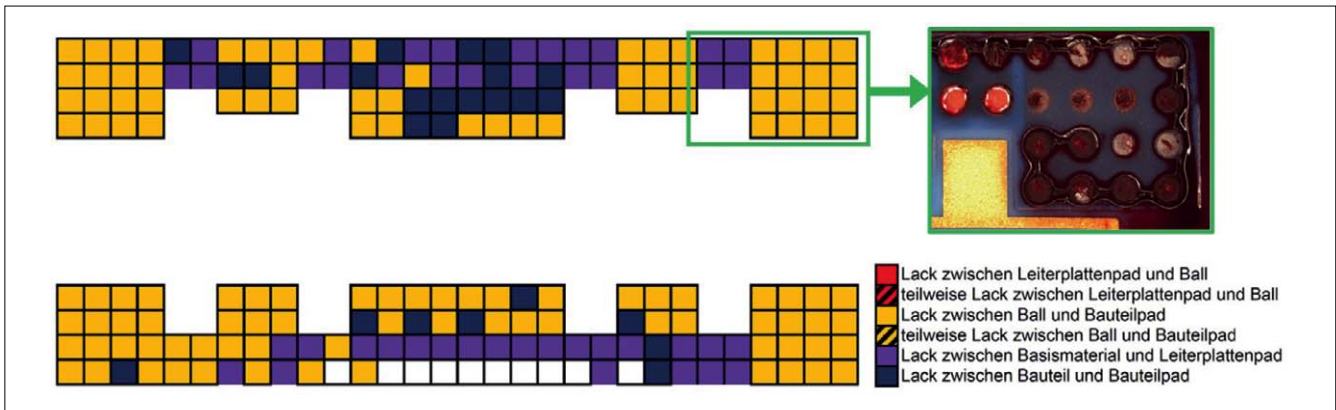


Bild 1: Bislang ließen sich Fertigungsparameter nur über zerstörende Dye-and-Pry-Experimente (hier bei der Lötlegierung SAC305) optimieren.

## ■ BGA-Simulation

Nachdem ein Ersatzmodell in der *Ansys Workbench* erstellt ist, werden die thermischen Randbedingungen in Form eines Reflow-Lötprofils (hier Sattelprofil) aufgebracht. Die viskosen und plastischen Effekte des Lotes lassen sich durch das Anand-Modell [1] abbilden, um das Kriechen als primären Schadensmechanismus von Lötstellen zu modellieren. Das Tool *Ansys Sherlock* bietet hier bereits umfassende Einblicke auf Leiterplattenebene und kann durch Lebensdauerabschätzungen im ersten Schritt helfen, kritische Bauteile zu identifizieren.

Als Ergebnis der Simulation und für die Quantifizierung des Schadens dient die Dichte der Kriechdehnungsenergie (Creep Strain Energy Density, CSED). Diese lässt sich mithilfe eines angepassten Skripts in *Ansys APDL* (Ansys Parametric Design Language) bestimmen. In *Bild 2* sind die experi-

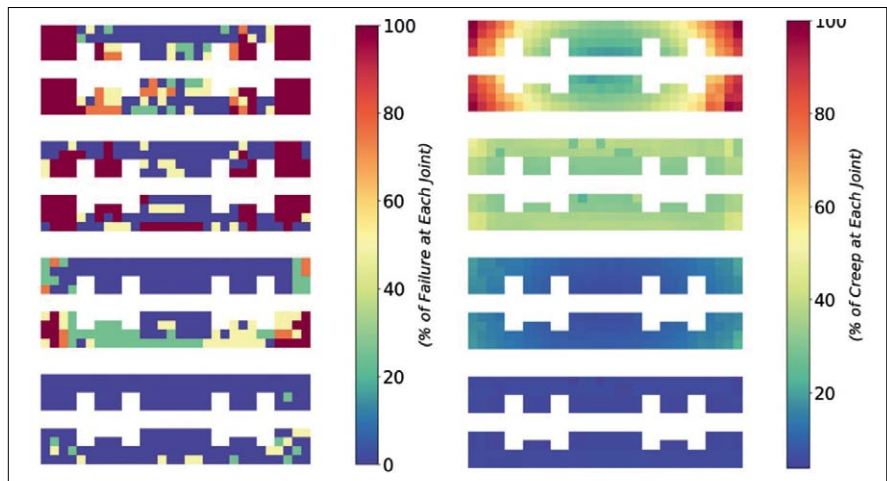


Bild 2: Die Simulation (rechts) stimmt mit den experimentellen Ergebnissen (links) überein.

mentellen Ergebnisse aus den Dye-and-Pry-Versuchen und die CSED aus der Simulation gegenübergestellt. Gut zu erkennen ist, dass reale und numerische Welt weitestgehend übereinstimmen und kritische Verbindun-

gen sowie die Durchbiegung von Bauteil und Leiterplatte sichtbar werden. Außerdem wurde die Lebensdauer der gesamten bestückten Platine prognostiziert, um weitere kritische Komponenten zu identifizieren.

Anzeige

**proboxx - Zusammenspiel aus Design und Funktion**

MADE IN GERMANY

→ innovativer Befestigungsmechanismus für Wand- und Profilmontage

→ Leergehäuse      → M12-Gehäuse

→ AS-Interface     → IO-Link

→ Funk (sWave®)

**SCHLEGEL®**  
ELEKTROKONTAKT  
www.schlegel.biz

21  
APR  
2021  
VIRTUELLES  
EVENT

JETZT  
ANMELDEN

# FORUM KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

Künstliche Intelligenz ist mittlerweile integraler Teil vieler technischer Systeme. In zahlreichen Anwendungsgebieten eröffnen Künstliche Intelligenz (KI), Maschinelles Lernen, Deep Learning und Neuronale Netze vielversprechende Pfade der Weiterentwicklung – sei es zur Einsparung von Kosten, zur Effizienzsteigerung, zur Anreicherung bestehender Anwendungen mit neuen Funktionen oder zur Entwicklung neuer Einsatzbereiche von Hard- und Software. KI, Machine Learning, Deep Learning und Neuronale Netze sind Schlüsseltechnologien, damit Systeme autonom reagieren und selbständig aufgrund äußerer Einflüsse Entscheidungen treffen können.

Das Forum Künstliche Intelligenz, das die Fachmedien Elektronik, Elektronik automotive und Computer&AUTOMATION am 21. April 2021 erneut virtuell veranstalten, beleuchtet dazu die rasanten Entwicklungen in Hard- und Software.

## THEMENBEREICHE

- **KI in Embedded-Systemen:**  
Hardware- und Software-Komponenten für die Entwicklung von KI-Systemen
- **KI im Auto:**  
Autonomes Fahren, Spracherkennung, Fahrerüberwachung, Verkehrssteuerung, Safety und Security
- **KI in der Fabrik:**  
Machine Learning, Predictive Maintenance, Optimierung von Produktionsprozessen, Qualitätssicherung

Veranstalter:

Elektronik  
automotive

Computer &  
AUTOMATION  
Fachmedium der Automatisierungstechnik

[www.forum-ki.eu](http://www.forum-ki.eu)

## ELEKTROMECHANIK / Leiterplatten-Design

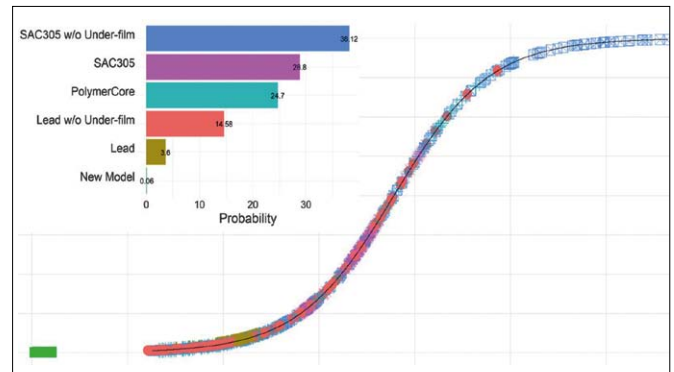


Bild 3: Logistische Regression zur Vorhersage des Versagens auf Ebene der Lötugeln

## ■ Prädiktive Analyse

Mithilfe der logistischen Regression kombiniert man die experimentellen Ergebnisse mit den berechneten CSED-Werten (als unabhängige Variable) aus der *Ansys Workbench* zu einer prädiktiven Analyse auf Ebene der Lötugeln (Bild 3). Um zu überprüfen, wie gut diese Anpassung ist, kam zunächst ein Likelihood-Ratio-Test zum Einsatz. Mit diesem Hypothesentest lässt sich die Güte der Anpassung von zwei Modellen (einem uneingeschränkten Modell, dessen Parameter alle frei sind, und dem entsprechenden, von der Nullhypothese auf wenige Parameter eingeschränkten Modell) an die Stichprobendaten vergleichen. Der Korrelationskoeffizient Pseudo-R<sup>2</sup> nach McFadden ist ein Maß für die Varianz jedes Prädiktors (die zur Vorhersage eines Merkmals herangezogene Variable) für die abhängige Variable. Dies dient als weiteres Qualitätsmaß für das Modell. Mithilfe des Wald-Tests lassen sich die Prädiktoren statistisch daraufhin überprüfen, wie wichtig diese jeweils für die Modellgüte sind.

Abschließend werden die statistischen Modelle anhand der ROC-Kurve (Receiver Operating Characteristic) analysiert. Die Fläche unter dieser Kurve (Area under Curve, AUC) bestimmt, welches Modell zur prädiktiven Analyse letztlich verwendet wird.

## ■ Fazit

Bei der Produktion von Leiterplatten spielen viele Einflussfaktoren (z. B. Verwindung/Verwölbung, Materialmix, Lotlegierung etc.) eine große Rolle. Die experimentellen Ergebnisse des Dye-and-Pry-Tests und die berechnete Dichte der Kriechdehnungsenergie (CSED) aus *Ansys* stimmen weitestgehend überein. Dies macht die Entwicklung eines prädiktiven Modells für Ausfallwahrscheinlichkeiten während des Lötprozesses möglich. Simulation kann hier also kostenintensive Experimente zu weiten Teilen ersetzen.

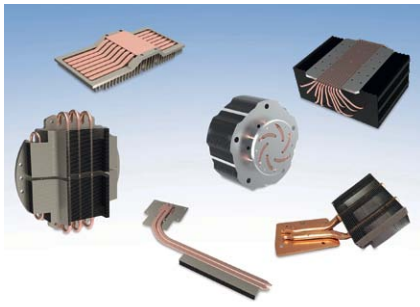
Wie die gefundenen Ergebnisse in die Praxis umgesetzt werden sollen, ist noch in der Evaluierung. Denkbar sind beispielsweise neue Regeln für das fertigungsgerechte Design von Leiterplatten – Stichwort »Design for Manufacture«. (rh)

## REFERENZEN

- [1] Anand, L. (1985). Constitutive equations for hot-working of metals. *International Journal of Plasticity*, 1(3), 213–231. [https://doi.org/10.1016/0749-6419\(85\)90004-X](https://doi.org/10.1016/0749-6419(85)90004-X)



## Heatpipes entwickeln und fertigen



Kühlkörper mit Heatpipes zeichnen sich durch eine hohe Wärmeleitung auch über weite Distanzen aus. Sie eignen sich besonders für beengte Einbausituationen und lassen sich mit zahlreichen Fertigungstechnologien verknüpfen. Neben der hohen Gestaltungsfreiheit und dem geringen Platzbedarf zeichnen sich Heatpipes auch durch eine komplett lageunabhängige Montage und einen geringeren Wärmewiderstand verglichen mit reinen Metallkühlkörpern aus. CTX übernimmt auf Wunsch neben Produktion und Lieferung auch die Entwicklung applikationsspezifischer Heatpipes sowie deren mechanische Bearbeitung und Oberflächenveredlung.

**CTX Thermal Solutions**  
www.ctx.eu

## Robuste Hybridsteckverbinder

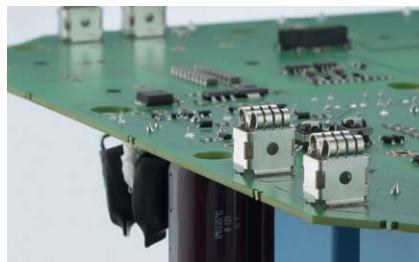


*AmpSeal 16 mini lever* heißt ein Hybridsteckverbinder für gedichtete Anwendungen mit Schutzgrad IP6K7/IP6K9K, den TE Connectivity vorstellt. Er soll zusätzliche Flexibilität für Bulkhead- und Durchgangs Anwendungen bieten. Zu den Hauptmerkmalen der 16- und 24-poligen Steckverbinder zählen ein ergonomisches Verschlussystem für einfache Montage sowie eine integrierte Kontaktpositionssicherung und Steckverbinder-Positionssicherung, die vor versehentlichem Entriegeln schützen und die präzise Kontaktposition sichern.

**TE Connectivity**  
www.te.com

## Hochstrom-Kontaktelemente

Dank der beidseitig geöffneten Kontaktflächen bietet der Phasenkontakt mit einer Grundfläche von 14,0 mm × 10,2 mm von Lumberg verschiedene Steckmöglichkeiten an: von oben, durch die Leiterplatte hindurch oder von unten (Kontaktfahne 0,8 mm bzw. 1,0 mm). Diese haben einen Bemessungsstrom von bis 80 A pro Kontakt und sind bei Rutronik24 zu haben. Gerade für zahlreiche Anwendungen im Automotive-Bereich, wie zum Beispiel in Frequenzumrichtern industriellen Elektromotoren, Steuergeräten in Elektrofahrzeugen, Batteriespeichern oder On-Board-Chargern sind die Kontaktelemente essenziell.



**Lumberg/Rutronik24**  
www.rutronik24.com

## USB-C-Steckverbinder

Mit der Serie 719 von MPE Garry nimmt Schukat Steckverbinder des USB 3.1 Typ C im SMD-Design in sein Programm auf. Die Bauteile aus Kupferlegierung mit teilvergoldeter Kontaktoberfläche (24 Kontakte) verfügen über vergrößerte SMD-Lötflächen, sodass sie einer höheren mechanischen Belastung standhalten. Die Datenübertragungsraten liegen bei bis zu 10 Gb/s. Die Steckverbinder besitzen eine Lebensdauer von mindestens 10.000 Steckzyklen und halten Ladeströme von bis zu 5 A bei Spannungen von maximal



20 V stand. Ihr Betriebsbereich für die Standardvariante umfasst  $-30^{\circ}\text{C}$  bis  $+80^{\circ}\text{C}$ , durch spezifische Anpassungen auch bis etwa  $-55^{\circ}\text{C}$ .

**MPE Garry/Schukat**  
www.schukat.com



## Kabelbaugruppen direkt ab Lager

Sein Angebot an Kabelbaugruppen für *Datamate*-Steckverbinder im 2-mm-Raster hat Harwin erweitert. Die 61 neuen Varianten sind ab sofort über die Vertriebspartner ab Lager verfügbar und ergänzen das Angebot an Kabelbaugruppen. Sie decken Stecker- und Buchsenverbindungen ab, wobei zahlreiche Optionen für Kontaktzahl und Kabellänge zur Verfügung stehen. Diese sind als Single- oder Double-Ended-Konfiguration erhältlich. Kabellängen von 150 mm, 300 mm und 450 mm stehen bereit. Zu den Kontaktoptionen gehört auch der T-Kontakt, der bis 8,5 A belastbar ist.

**Harwin**  
www.harwin.com

## Beleuchtete Folientastaturen



In dunklen Arbeitsumgebungen sorgen beleuchtete Folientastaturen für Bediensicherheit. Mit der Integration von Lichtleitern und Streuelementen möchte Kundisch optimale Beleuchtungsergebnisse für Nacht- und Tageslicht bieten. Die NLF-Backlight-Technologie (Night Light Foil) setzt auf seitliche LEDs, die sowohl einzelne Tasten als auch Flächen für die Bedienung in dunkler Umgebung leuchten lassen. Die neueste Beleuchtungstechnik DLF (Day Light Foil) bietet eine noch höhere Lichtausbeute für Signalgebung und optische Effekte bei Tageslicht.

**Kundisch**  
www.kundisch.de

# Brandkatastrophe verhindern

Bilder: Siemens



Die Energiewende und der Umstieg auf erneuerbare Energien machen stationäre Energiespeichersysteme auf Basis von Lithium-Ionen-Batterien nötig. Dies bringt aber auch hohe Brandrisiken mit sich. Wirkungsvolle Antworten auf diese Herausforderung bietet ein anwendungsspezifisches Brandschutzkonzept.

Gerd Hülsen

Global Fire Safety Applications, Siemens Smart Infrastructure

**L**ithium-Ionen-Zellen bestehen aus zwei Elektroden, der negativen Anode und der positiven Kathode, die durch einen Separator getrennt sind. Ein weiterer wichtiger Bestandteil ist der Elektrolyt, der die Lithiumionen von der einen Elektrode zur anderen transportiert.

Dieses kommerziell sehr erfolgreiche wie in aller Regel auch sichere Funktionsprinzip birgt allerdings einige bauartbedingte Risiken. So sind die Batteriezellen gekennzeichnet durch das Vorhandensein großer Mengen chemischer Energie auf kleinem Raum und durch einen sehr geringen Abstand zwischen den Elektroden, denn die Separatorschicht ist typisch gerade einmal 30 µm dick. Gleichzeitig sind die eingesetzten Elektrolyten typischerweise brennbar beziehungsweise leicht entzündlich.

Deshalb übernimmt ein Batteriemagementsystem (BMS) neben der Steuerung und Überwachung des Ladezustands auf Zellen- und Systemebene auch das

Temperaturmanagement beim Laden und Entladen. Dies soll sicherstellen, dass die Zelle im definierten sicheren Betriebsbereich bleibt.

## ■ Gefahrenszenario

Wird der sichere Temperaturbereich überschritten, kann es zu einem thermischen Durchgehen (Thermal Runaway) kommen. Dabei setzt die Batterie die gespeicherte Energie schlagartig frei, und die Temperatur steigt innerhalb von Millisekunden auf mehrere hundert Grad Celsius. Im Zuge dessen verdampft der flüssige Elektrolyt mit ansteigender Temperatur sukzessive. Dadurch baut sich der Druck in der Zelle immer weiter auf, bis der Elektrolytdampf entweder über ein Überdruckventil oder durch das Bersten der Hülle freigesetzt wird. Ohne Gegenmaßnahmen entsteht dabei ein explosives Gas-Luft-Gemisch. Eine Zündquelle reicht dann aus, um eine explosionsartige Verbrennung herbeizuführen. Zudem kann sich ein thermisches

Durchgehen in einem Batteriesystem von Zelle zu Zelle ausbreiten und so zu einem Großbrand führen.

Mögliche Ursachen für ein solches thermisches Durchgehen liegen entweder außerhalb oder innerhalb der Batteriezelle. Im ersten Fall können extreme äußere Einflüsse, zum Beispiel ein Gebäudebrand, dazu führen, dass die Temperatur in der Batterie über den tolerierbaren Wert steigt. Im zweiten Fall ist ein interner Kurzschluss Ursache für den gefährlichen Temperaturanstieg. Der Auslöser dafür wiederum kann eine extern herbeigeführte mechanische Beschädigung oder ein alterungsbedingter Ausfall des Separators durch Dendritenbildung sein.

## ■ Schutzkonzept

Wie Versuche im Brandlabor von Siemens Smart Infrastructure in Altenrhein in der Schweiz an Lithium-Ionen-Batterien unterschiedlichster Zellchemien (getestet wurden unter anderem Lithium-Kobalt-Oxid-, Lithium-Mangan-Oxid-, Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid- und Lithium-Eisenphosphat-Zellen) gezeigt haben, kündigt sich ein thermisches Durchgehen schon vorher an. Ein zuverlässiger Indikator ist der ausgasende Elektrolyt. Sobald also ein Elektrolytgas auftritt, ist mit einem thermischen Durchgehen zu rechnen. Es bleibt dann aber noch genügend Zeit, um automatisch geeignete Gegen- beziehungsweise Löschmaßnahmen auszulösen.

Das heißt zum einen, Löschmittel in ausreichender Konzentration in den Batterieraum einzubringen, bevor der Separator der ersten Batteriezelle ausfällt, und zum anderen, über das Batteriemanagementsystem Abschaltungen vorzunehmen, die die Entwicklung eines Durchgehens durch Überladung oder Überlast möglicherweise noch stoppen können.

Die schnelle Flutung des Batterieraums mit dem Löschmittel verhindert, dass große Mengen an explosivem Elektrolyt-Sauerstoff-Gemisch entstehen und dass die Ausprägung eines ersten thermischen Durchgehens verringert sowie das Übergreifen auf benachbarte Batteriezellen gehemmt wird. Sekundärbrände und – durch eine langanhaltende Inertisierung – auch Rückzündungen sind ausgeschlossen.

### ■ Schritt 1: Detektion durch Ansaugrauchmelder

Ein entsprechendes Schutzkonzept muss also im ersten Schritt nicht nur zuverlässig einen Brand erkennen, sondern auch möglichst früh Elektrolytgas detektieren. Diese Herausforderung erfüllen Ansaugrauchmelder (Aspirating Smoke Detectors; ASD). Diese erkennen mittels der Dual-Wellentechnologie sowohl elektrische Brände als auch Elektrolytgas beziehungsweise -dämpfe auch bei hohen Luftgeschwindigkeiten und geringen Gaskonzentrationen zuverlässig.

Ansaugrauchmelder entnehmen kontinuierlich Luftproben aus den zu überwachenden Bereichen und überprüfen diese auf Rauch- und Gaspartikel. Die Luftproben werden über ein Rohrnetz mit definierten Öffnungen angesaugt und der Messkammer zugeführt. Dort erkennt eine Auswerteeinheit die Größe der Partikel und deren Konzentrationen. Dabei lassen sich auch geringste Mengen von Brand- und Elektrolytgasen messen.

### ■ Schritt 2: Löschung durch Inertgas

Haben die Melder einen Brand oder Elektrolytgas erkannt, ist umgehend ein automatischer Löschvorgang durch eine Löschanlage auszulösen. Nicht nur, weil eine Löschung mit Wasser in elektrischen Systemen zu vermeiden ist, sondern auch weil versteckte oder verdeckte Brandherde mit Wasser nicht erreicht werden, wird das Batteriesystem über Düsen mit einem gasförmigen Löschmittel geflutet. Dieses verdrängt den für den Brand notwendigen Sauerstoff.

Bleibt die Frage nach dem geeigneten Löschmittel. Auch chemisch wirkende

Die Kombination aus früher Detektion und schneller Löschung hilft dabei, das Brandrisiko bei stationären Batteriespeichern auf Lithium-Ionen-Basis zu minimieren.



Löschmittel scheiden in diesem konkreten Fall aus, da sich zum einen gefährliche Zersetzungsprodukte bilden und zum anderen Halteflutungen notwendig sein können. Damit bleiben die natürlichen Löschgase Stickstoff (N<sub>2</sub>), Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Argon (Ar) als mögliche Alternativen.

Diese unterscheiden sich im Detail. So wird das im Vergleich teure Edelgas Argon nur für spezielle Anwendungen wie etwa Metallbrände eingesetzt. Kohlendioxid, das effektivste unter den vorgenannten Löschmitteln, ist primär für nicht begehbare Bereiche oder Objektschutzsysteme vorgesehen, da es in der benötigten Löschkonzentration für Menschen gefährlich ist. Vor diesem Hintergrund wird reiner Stickstoff als Löschmittel verwendet, der auch für Lithium-Ionen-Batteriespeicher sehr gute Ergebnisse bringt.

### ■ Fazit

Lithium-Ionen-Batterien bergen charakteristische Brandrisiken. Ein anwendungsspezifisches Brandschutzkonzept kombiniert frühestmögliche Branderkennung mit leistungsfähigen Ansaugrauchmeldern und Inertgaslöschanlagen. Eine sehr frühe Flutung mit dem Löschmittel verhindert die Bildung großer Mengen explosiver Elektrolyt-Sauerstoff-Gemische, reduziert die Ausprägung eines ersten thermischen Durchgehens, hemmt das Übergreifen solcher Ereignisse auf andere Batteriezellen und vermeidet Sekundärbrände sowie Rückzündungen.

Mithilfe eines solchen Schutzkonzeptes sind stationäre Lithium-Ionen-Batteriespeichersysteme ein beherrschbares Risiko. Das von Siemens entwickelte »Schutzkonzept für stationäre Lithium-Ionen-Batterie-Energiespeichersysteme« hat im Dezember 2019 die VdS-Anerkennung (VdS Nr. S 619002) erhalten. (rh)

### REFERENZEN

- [1] Brandschutz für Li-Ionen-Batteriespeichersysteme, Siemens Smart Infrastructure, <https://tinyurl.com/ybx6dtlg>
- [2] White Paper, Siemens Smart Infrastructure, <https://tinyurl.com/y88qkavp>

Anzeige

**Professional Power**



Schaltnetzteile  
Switch Mode Power Supplies



Automatische Drehtürantriebe

## Schaltnetzteile für Gebäudesystemtechnik

- maßgeschneidert
- intelligent
- effizient



Customized Solutions · Quality made in Germany








www.inpotron.com

**Dietmar Ruscher, Wöhrle Stromversorgungssysteme**

# Lithium oder Blei für die USV?



Bild: Wöhrle Stromversorgungssysteme

*Fast alle sprechen heutzutage nur noch über Lithium-Ionen-Akkus. Doch eignen sie sich auch in Verbindung mit unterbrechungsfreien Stromversorgungen? Laufen sie eventuell sogar den Bleiakkus den Rang ab? Wir fragten Dietmar Ruscher, Prokurist bei Wöhrle Stromversorgungssysteme.*



**DESIGN&ELEKTRONIK:** Herr Ruscher, Lithium-Ionen-Akkus überrollen den Markt. War es das jetzt mit dem Bleiakku?

**Dietmar Ruscher:** Nun ja, Totgesagte leben am längsten, wie wir wissen. Aber ganz im Ernst, mittlerweile gibt es eine breite Auswahl von Lithium-Ionen-Akkus für industrielle Anwendungen, wie eine unterbrechungsfreie Stromversorgung. Das ist zwar erfreulich, aber noch lange kein Abgesang auf den Bleiakku. Die beiden Technologien überlappen im Moment nur in Teilbereichen. Nach wie vor muss man die Anwendungsfälle genau betrachten.

**D&E:** Aber hat die neue Generation von Lithium-Ionen-Akkus nicht deutliche Vorteile hinsichtlich Energiedichte, Le-

bensdauer und Temperaturstabilität?

**Ruscher:** Doch, das stimmt, wenn man die Werte an sich nimmt. Verstehen Sie mich nicht falsch, moderne Lithium-Ionen-Energiespeicher geben dem Bereich unterbrechungsfreie Stromversorgungen dringend benötigte Innovationsimpulse. Wir wären ein schlechter Hersteller, wenn wir diese Technologie nicht genau bewerten und in aktuellen Produkten verbauen würden. Wenn sie die richtige Anwendung haben, sind die Eckdaten von Lithium-Ionen-Akkus nicht zu schlagen.

**D&E:** Was könnte so eine Anwendung sein?

**Ruscher:** Es geht um den Anwendungsfall, nicht nur um die Anwendung an sich. Eine USV in einem Rechenzentrum lässt sich je nach Anwendungsfall optimal mit Blei- oder eben mit Lithium-Ionen-Akkus

betreiben. Ein Rechenzentrum kann beispielsweise in einem sehr beengten Gebäude aufgebaut sein, wo jeder Quadratmeter Platz sehr teuer ist. Dort haben Lithium-Ionen-Akkus Vorteile, weil die Energiedichte höher ist. Zudem benötigen diese keinen eigenen belüfteten Batterieraum, weil sie nicht ausgasen. Auch das spart Platz und damit Kosten. Spielt der Platzbedarf hingegen keine Rolle, sind Bleiakkus im Rechenzentrum häufig die bessere Wahl.

**D&E:** Gibt es weitere Anwendungsfälle, in denen Lithium-Ionen-Akkus die Nase vorn haben?

**Ruscher:** Ich denke, neben der höheren Energiedichte ist die Zyklenfestigkeit der zweite wesentliche Pluspunkt von Lithium-Ionen-Akkus. Sie liegt mindestens um den Faktor Zehn über der eines Standard-Bleiakkus. Das ist immer dann wichtig, wenn die Spannung häufiger aus dem Toleranzbereich fällt und die USV puffern muss. Solche Situationen finden Sie in Ländern mit weniger ausgereiften Stromnetzen. Oder wenn in einer Region sehr viel gebaut und die Netzversorgung häufig abgestellt wird. Auch der gesamte Bereich Home-Grid stellt hohe Anforderungen an die Zyklenfestigkeit. Dort wird ein Akku täglich be- und entladen.

Es gibt aber auch spezielle Industrieanwendungen, die sich mit Lithium-Ionen-Akkus deutlich besser und effizienter betreiben lassen als mit Bleiakkus. Wir bieten beispielsweise USV-Systeme für den Einsatz zum Peak-Shaving an. Dabei werden Lastspitzen abgefangen, die sonst zu erhöhten Bereitstellungsentgelten des Stromversorgers führen würden. Solche Spitzen fallen in der Regel täglich an, ein Bleiakku erreicht damit sehr bald das Ende seiner Lebensdauer. Lithium-Ionen-Akkus hingegen halten deutlich länger, verursachen dadurch weniger Wartungs- und, auf die Gesamtlaufzeit gesehen, weniger Gesamtkosten.

**» Spielt der Platzbedarf keine Rolle, sind Bleiakkus im Rechenzentrum häufig die bessere Wahl. «**

**D&E:** Stichwort Kosten. Im Vergleich mit Bleiakkus wurden immer die höheren Kosten von Lithium-Ionen-Akkus genannt. Nähern sich die beiden Technologien in dieser Hinsicht allmählich an?

**Ruscher:** Der reine Kaufpreis eines Lithium-Ionen-Akkus ist höher als der

eines Bleiakkus, und das wird auch auf absehbare Zeit so bleiben. Aber das heißt nicht, dass die resultierende Lösung teurer ist, schon gar nicht auf die Lebensdauer gesehen. Wie schon angesprochen, ist die Lebensdauer der Lithium-Ionen-Akkus deutlich höher als die von vergleichbaren Bleiakkus. Selbst wenn man Reinblei-Akkus mit theoretisch 15 Jahren Lebensdauer nutzt, ist die erzielbare Lebensdauer deutlich niedriger. Und das gilt für optimale Bedingungen hinsichtlich Temperatur und Ladezyklen. Ein Lithium-Ionen-Akku ist bei den Ansprüchen an die Temperatur moderater, die Folgen für die Lebensdauer sind deutlich geringer. Es verändert die Kostenstruktur der Lösung schon deutlich, wenn die Energiespeicher länger optimal nutzbar bleiben.

**D&E: Dann ist die Kostenbetrachtung nur auf die Gesamtlebensdauer der Lösung sinnvoll?**

**Ruscher:** Ja, absolut. Und Sie dürfen auch nicht vergessen, dass in einem Lithium-Ionen-Akku auch immer ein Batterie-Managementsystem eingebaut ist. Das geht gar nicht anders, weil die Zellen viel empfindlicher auf Überladung reagieren. Mit dem BMS wird sichergestellt, dass zu jeder Zeit optimale Bedingungen für die Zelle herrschen. Darüber hinaus liefert das BMS eine Vielzahl von sehr wichtigen Daten, um beispielsweise proaktiv einzugreifen, wenn sich Parameter verschlechtern. Für Bleiakkus gibt es zwar auch Batterie-Managementsysteme, die werden aber fast nie verbaut. Damit ist ein Vergleich der beiden Akku-Technologien auf Ebene der einzelnen Zellen in punkto Kosten ohnehin nicht zielführend.

**D&E: Sie haben es gerade angesprochen: Das Thema Sicherheit spielt bei Lithium-Ionen-Akkus eine ganz andere Rolle als bei Blei. Das Gefahrenpotenzial gilt als deutlich höher. Ist das immer noch so?**

**Ruscher:** Ja und nein. Zunächst müssen wir die Lithium-Ionen-Akkus differenzierter betrachten. Wir haben bisher immer von Lithium-Ionen-Technologie gesprochen, ohne auf die tatsächlich verwendeten Materialien einzugehen. Häufig wird Lithium mit Mangan als Kathode kombiniert. Das ergibt relativ leichte Zellen, die auch im Automobilbereich verwendet werden. Deren Nachteil ist aber eine heftige Reaktion bei Beschädigung. Eisenphosphat hat dagegen sehr ähnliche Speichereigenschaften bei etwas höherem

Gewicht, reagiert bei Beschädigungen aber viel weniger aggressiv. Auch wenn ein Nageltest nicht die absolute Aussagekraft hat, zeigt er doch, wie unterschiedlich die beiden Materialkombinationen reagieren.

**D&E: Beim Nageltest wird die Zellenwand mit einem Stahl Nagel durchschlagen?**

**Ruscher:** Korrekt. Und im Gegensatz zu den Lithium-Mangan-Zellen, die beim Nageltest praktisch immer mit Qualm und Flammen reagieren, treten bei Lithium-Eisenphosphat nur Gase aus.

**D&E: Heißt das, dass es bald eine VDS-Zulassung für Lithium-Ionen-Zellen geben wird?**

**Ruscher:** Ich bin absolut der Meinung, dass die Hersteller von Lithium-Ionen-Blöcken eine solche Zertifizierung anstreben sollten. Aber meiner Ansicht nach sollte man nicht so bald mit einer Zulassung rechnen, der Aufwand dafür ist sehr hoch.

**D&E: Auch wenn die Lebensdauer der Li-Ionen-Zellen sehr hoch ist, vergleichen mit einem Bleiakku, irgendwann erreicht sie doch das Ende ihrer Einsatzdauer. Und dann sieht es, wie viele Kritiker sagen, schlecht aus, wenn es um das Recycling geht.**

**Ruscher:** Im Moment ist das Recycling von Bleiakkus viel einfacher, ganz klar. Das liegt aber daran, dass wir viele Jahre Erfahrung damit haben. Bleiakkus werden seit einem halben Jahrhundert wiederaufbereitet. Und selbst bei Blei hat es lange gedauert, bis ein wirtschaftlich sinnvolles Recycling-Modell entstand. Bei Lithium-Ionen-Akkus fehlen die Erfahrung, die Infrastruktur und das komplette Ökosystem. Das entsteht gerade. Aber klar ist auch: Die Lithium-Ionen-Zellen sind so wertvoll,

dass wir es uns gar nicht leisten können, auf deren Recycling zu verzichten. Darum wird es auch funktionierende Recycling-Modelle geben.

**D&E: Sie zeichnen ein gemischtes Bild der Lithium-Ionen-Technologie. Technisch überlegen, aber nicht immer; teurer, aber nicht auf die Gesamtlebensdauer gesehen; sicher, wenn der richtige Materialmix genutzt wird. Wie sieht Ihrer Ansicht nach die Zukunft der Energiespeicher konkret aus?**

**» Bei Lithium-Ionen-Akkus wird es bestimmt funktionierende Recycling-Modelle geben. «**

**Ruscher:** Ich würde eher den Begriff »anwendungsbezogen« anstelle von »gemischt« verwenden. Wenn sie eine passende Anwendung haben, sind Lithium-Ionen-Akkus die perfekte Technologie, auch heute schon. Sie ist marktreif und verfügbar. Nicht nur wir bieten Lösungen mit Lithium-Ionen-Akkus an, andere Hersteller tun es auch. Um herauszufinden, ob Blei- oder Lithium-Ionen-Akkus die richtigen Energiespeicher sind, müssen die Kunden ihren Einsatzfall genau kennen und analysieren – am besten mit einem Partner zusammen, der genau weiß, was mit welchem Aufwand machbar ist. Sie werden überrascht sein, wie oft die Wirtschaftlichkeit für die Lithium-Ionen-Technologie spricht.

**D&E: Herr Ruscher, vielen Dank für das Gespräch.**

*Das Interview führte Ralf Higgele.*



Anzeige

**fine power**<sup>®</sup>  
YOUR INNOVATION HUB

**NETZTEILE & ADAPTER**  
mit fester oder programmierbarer  
Ausgangsspannung

- ➔ IEC 62368-1 konform
- ➔ Schutzklasse bis IP67
- ➔ Standardserien bis 150 W
- ➔ USB-C PD und PPS bis 65 W

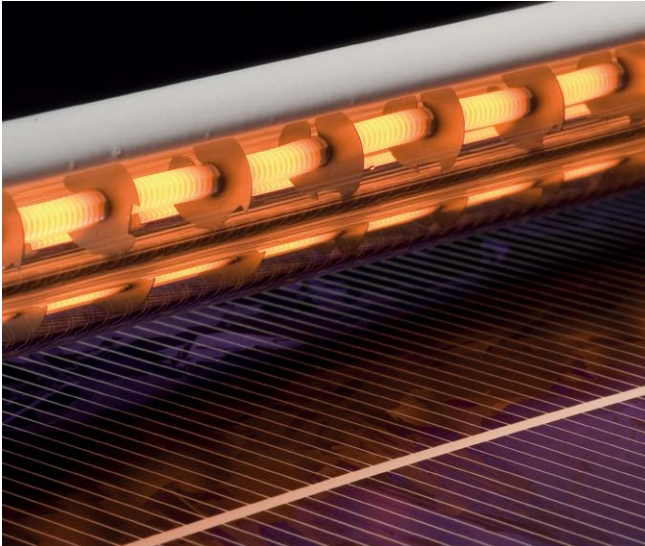
Auch kunden-spezifische Designs

**LEADER ELECTRONICS**

**ENGINEERING & DISTRIBUTION**  
www.finepower.com

# Kundenspezifische Leistungssteller

Alle Bilder: Systemtechnik Leber



**Bild 1:** Leistungssteller sorgen in der Prozessautomatisierung dafür, dass stets die korrekten Temperaturen für die gewünschte Zeit auf ein Werkstück einwirken können.



**Bild 2:** Ein Beispiel, bei dem Leistungssteller zum Einsatz kommen, sind Lackierungen von Fahrzeugen.

*In immer mehr verfahrenstechnischen Anlagen reichen einfache Halbleiterrelais von der Stange nicht aus, um die erforderliche Prozessgenauigkeit zu erreichen. Voll parametrierbare Thyristorsteller wiederum sind zu teuer. Doch es gibt eine Lösung.*

Florian Börder

Experte für Leistungssteller bei Systemtechnik Leber

**E**ine typische Aufgabe an Leistungssteller besteht darin sicherzustellen, dass bei der Herstellung beziehungsweise Verarbeitung von Kunststoffen, Lacken, Lebensmitteln sowie metallischen und keramischen Materialien optimale Ergebnisse erreicht werden (Bilder 1 und 2). Dies sind allesamt Anwendungsfälle, bei denen durch Wärmezufuhr bestimmte chemische oder physikalische Reaktionen ausgelöst werden.

Dabei ist es völlig unwesentlich, ob Heizmatten, Heizstäbe, Infrarot- oder Keramikstrahler als Wärmequelle eingesetzt werden. Die Wärmemenge muss punktgenau zur Verfügung gestellt werden. Da jede dieser Heizquellen unterschiedliche physikalische Eigenschaften hat – beispielsweise

Kaltwiderstand oder thermische Trägheit – muss das Regelement beziehungsweise der eingesetzte Leistungs- oder Thyristorsteller optimal darauf abgestimmt werden. Dabei kann es beispielsweise notwendig sein, den Laststrom zu überwachen und eine Kombination von Steuerverfahren wie Sanftanlauf, Phasenanschnitt oder Impulsgruppenbetrieb einzusetzen.

Um solch komplexe Fragestellungen schnell zu lösen, greifen verantwortliche Konstrukteure dann gerne zu aufwendigen Standard-Thyristorstellern, die eine Vielzahl an Parametrierungsmöglichkeiten bieten, von denen aber nur ein Teil tatsächlich für die Anwendung benötigt wird. Zwar lassen sich die Prozessanforderungen auf diese Weise erfüllen, für die Serienfertigung bedeutet dies aber einen

nicht unwesentlichen Mehraufwand durch die vorzunehmende Parametrierung.

Eine weitere, neue Herausforderungen beim Anlagenbau ergibt sich durch den Trend zur Modularisierung in der Industrie. Diese führt dazu, dass Leistungselektronik verstärkt in die Geräte und Anlagen selbst integriert wird. Mit anderen Worten: Viele Komponenten wandern vom Schaltschrank in das industrielle Feld. So sitzt der Thyristorsteller, der beispielsweise einen Strahler betreibt, nicht mehr zehn Meter von diesem entfernt im Schaltschrank, sondern direkt im Strahlergehäuse. Die Vorteile liegen auf der Hand:

- Die Anwenderfreundlichkeit nimmt zu, während die Schaltschränke proportional dazu immer kleiner und kompakter werden.
- Die Leistungsregelung erfolgt in unmittelbarer Nähe zur Last. Damit entfällt die Kompensation von Leitungslängen und zudem steigt die Prozessgenauigkeit.
- Durch die Modularisierung lassen sich die Anlagen außerdem einfacher skalieren.

Allein: Für derartige Vorhaben ist es aufgrund des beschränkten Bauraums oftmals

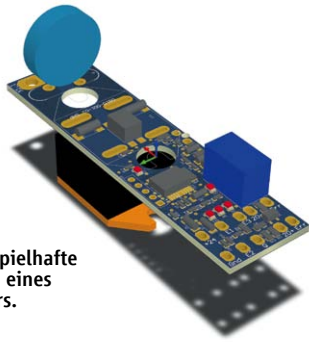


Bild 3: Beispielhafte Darstellung eines OEM-Stellers.

nicht möglich, Standardleistungssteller mit den benötigten Merkmalen an der gewünschten Stelle unterzubringen. Um beim Beispiel zu bleiben: der Leistungssteller ist für den Einbau ins Strahlergehäuse zu groß.

In solchen Fällen können kundenspezifisch zugeschnittene OEM-Steller die Lösung sein – und damit Leistungssteller, die von Spezialisten wie Systemtechnik Leber gezielt an den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden.

Je nach Detailtiefe ist die Grundvoraussetzung dafür ein großes Maß an Erfahrung und Produkt-Know-how. Denn Leistungsparameter, Platzvorgaben oder die optimale Kommunikationsschnittstelle sind oft von Hersteller zu Hersteller verschieden.

## ■ Beispiel Kunststofftrocknung

NIR-Strahler (Nahes Infrarot) finden oft dort Einsatz, wo es darum geht, empfindliche Trägermaterialien wie Kunststoff-Folien zu trocknen. Solche Strahler reagieren schnell darauf, wenn sich die elektrische Leistung ändert, weswegen sie bei solchen Anwendungen für einen optimalen Wärmeeintrag sorgen.

Leider ziehen diese Strahler im Kaltanlauf hohe Ströme. Aus diesem Grund kommt ein Offset-Betrieb zum Einsatz, bei dem die Lampen zwischen den Prozessschritten mit sehr geringer Leistung betrieben werden. Das schont die Lampen und erhöht die Energieeffizienz.

Ändert sich die Prozessgeschwindigkeit – beispielsweise durch Störungen in nachgelagerten Prozessen – können Werkstücke aber trotz Offset-Betriebs zu viel Wärme abbekommen und sich damit das Trägermaterial verformen.

Um dies zu verhindern, hat Systemtechnik Leber firmwareseitig ein besonders niedriger Offset parametrieren, der sich unterhalb der Werte befindet, die in verfügbaren Geräten einstellbar sind. Durch diese kundenspezifische Anpassung der Firmware entstand eine Lösung, die die

Zielvorgaben Energieeinsparung, Materialschonung und Prozesssicherheit bestmöglich gegeneinander abwägt.

Kaltleiter-Heizelemente werden häufig in Industrieofenanlagen im Bereich der Wärmebehandlungen, zum Schmelzen von Glas, zum Sintern technischer Keramik oder auch im Bereich der Laboröfen eingesetzt. Sie lassen sich dabei sowohl kontinuierlich als auch intermittierend betreiben und eignen sich dadurch sehr gut für verschiedene Verfahren der Wärmebehandlung.

Allerdings gibt es auch Besonderheiten, die beim Anfahren und im Betrieb beachtet werden müssen, um zu vermeiden, dass die Heizelemente beziehungsweise der Anlage beschädigt werden, und um die Leistung punktgenau zu regeln.

Durch den geringen Kaltwiderstand von Heizelementen beispielsweise aus Molybdändisilicid ( $\text{MoSi}_2$ ) würden bei einem einfachen Einschalten sehr hohe Ströme fließen, die bis zum 16-Fachen des Nennwert betragen können. Darüber hinaus werden solche Lasten oftmals mit Transformatoren betrieben.

Die hohen Anlaufströme, verbunden mit der Induktivität des Transformators, machen es nötig, dass über das Phasenanschnittverfahren das System fein abgestimmt sanft anläuft. Nur so lassen sich der Anlaufstrom des Transformators und die hohen Einschaltströme des Heizelements begrenzen.

Dadurch werden sowohl die Leitungen geschützt als auch verhindert, dass Heizelemente durch die hohen elektromagnetischen Kräfte beschädigt wird, die durch hohe Ströme entstehen.

Gerade beim Betrieb von Kaltleiter-Heizelementen nutzt man aber neben dem Phasenanschnitt auch den Impulsgruppenbetrieb. Leber bietet mit seinen Leistungsstellern hier die Möglichkeit, beide Betriebsarten miteinander zu kombinieren und die Rampenfunktion des Sanftanlaufs an die Anwendung anzupassen. Durch die kundenspezifische Anpassung der Steller entfallen bei der Produktion der Anlagen aufwendige Parametrierungen.

## ■ Integrierte Leistungssteller

»Woher einen integrierbaren Leistungssteller für ein modulares Strahler-System nehmen?« Mit dieser Fragestellung kam ein Entwickler von Elektronikkomponenten auf die Ingenieure bei Leber zu. Aufgrund des beschränkten Bauraums war es in diesem Fall nicht möglich, die für den Schaltschrankeinbau konzipierten Standardsteller zu verwenden. Um die Stärken des modularen Konzepts konsequent ausspielen zu können, waren darüber hinaus die Themen Strommessung zur Diagnose sowie die Anbindung des Moduls an die übergeordnete Steuerung über ein Bussystem wichtige Themen in der Entwicklung.

In Abstimmung mit dem Kunden wurde ein OEM-Steller entwickelt, der beides konnte: Hardwareseitig erfüllte er die Anforderungen an die Baugröße, den Leistungsbereich und die Schnittstellen, softwareseitig standen – über die Verwendung von standardisierten Funktionsbausteinen – die benötigten Steuerverfahren zur Verfügung. Damit konnte der Steller mit allen geforderten Funktionen direkt in das Gehäuse des einzelnen Strahlers integriert werden.

Durch das Customizing lässt sich folglich immer genau der Leistungssteller liefern, den der Anwender für seinen speziellen Fall benötigt – im Bereich klassischer Anlagenkonzepte auch durch eine optimale Anpassung der Serienprodukte an die Anforderungen der Anlage. Bezahlt werden nur die tatsächlich benötigten Funktionen. Weitere Einsparungen ergeben sich durch das Plug-and-Play-Konzept und die damit verbundenen kürzeren Montagezeiten. Kundenspezifische Leistungssteller können vollkommen neue Möglichkeiten erschließen und einen bedeutenden Wettbewerbsvorteil liefern. (rh)

Anzeige

**WIBU SYSTEMS**

**Zeit vorbei für Hacker, Cracker und Piraten**

Im Zeitalter softwaregetriebener Produkte sorgt CodeMeter für

- Know-how-Schutz vor Reverse Engineering
- Vorteile neuer Geschäftsmodelle für Anbieter und Anwender
- Security by Design für Software- und Geräte-Hersteller

Schützen Sie Ihre Produkte jetzt [s.wibu.com/sdk](http://s.wibu.com/sdk)

+49 721 931720  
sales@wibu.com  
www.wibu.com

QR-Code

# Standards helfen Strom und Kosten sparen

Die Vielfalt möglicher Einsatz- und Geschäftsfelder für IoT-Anwendungen ist eine Herausforderung für Entwickler, denn die Geräte müssen hohen Anforderungen genügen. Ian Smith, IoT-Experte bei MIPI Alliance erklärt, wie die Verwendung von standardisierten Schnittstellen, die für die Mobilfunkindustrie entwickelt wurden, Entwicklern helfen kann, diese Herausforderungen zu meistern.



**DESIGN&ELEKTRONIK:**  
Vernetzten IoT-Geräten wird von den Marktforschern der GSMA Intelligence ein

rasantes Wachstum in den nächsten fünf Jahren vorausgesagt. Deren Anwendungsbereiche sind vielfältig – sie reichen von der Automobilbranche und dem Gesundheitswesen über die Unterhaltungselektronik und die Industrie bis hin zu Smart Buildings und Smart Cities. Sie sagen, dass das Design der IoT-Geräte ein Schlüsselfaktor für dieses Wachstum ist. Warum?

**Ian Smith:** Für viele IoT-Dienste müssen diese Geräte hohe technische Ansprüche erfüllen, die sich durch neue und zukünftige Einsatzoptionen ergeben. Ich sehe hier insgesamt fünf Hauptanforderungen, denen entsprochen werden muss.

**D&E: An welche Anforderungen denken Sie da?**

**Smith:** Da sind zunächst einmal Kosteneffizienz und Skalierbarkeit sowie niedriger Stromverbrauch zu nennen. Aber auch eine geringe Größe, lange Lebenszyklen und Sicherheit sind wichtige Aspekte. Der Einsatz von standardisierten Protokollen und Schnittstellen aus der Mobilfunkindustrie, wie sie zum Beispiel von der MIPI Alliance und anderen Verbänden entwickelt werden, kann Entwicklern dabei helfen, diese Herausforderungen zu meistern.

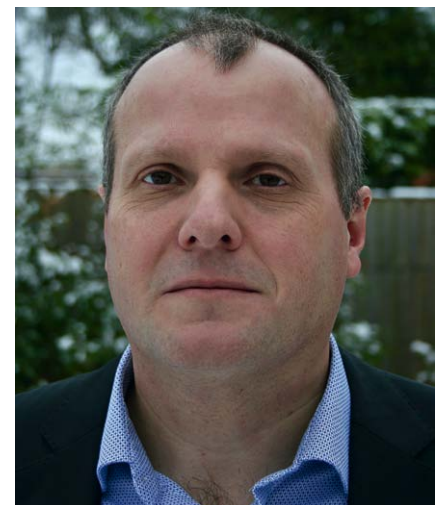
**D&E: Das müssen Sie näher erläutern. Fangen wir doch mit dem ersten Punkt an: dem kostengünstigen, skalierbaren Gerätedesign.**

**Smith:** Eines der wesentlichen Ziele eines jeden Industriestandards ist es, Kosten zu senken und Marktwachstum zu ermöglichen. Dies ist möglich, weil die Verwendung standardisierter Schnitt-

stellen die Interoperabilität fördert und die Marktfragmentierung reduziert. Im Bereich der Elektronikkomponenten führt das zu Skaleneffekten, da unnötige Implementierungskosten innerhalb der Anbietergemeinschaft entfallen, die Integrationskosten innerhalb der Entwicklergemeinschaft sinken und sich hohe Entwicklungskosten über große Mengen von Komponenten amortisieren. Auf Standards basierende Lösungen beschleunigen auch die Entwicklungszeiten, da Entwickler-Kits und Referenzdesign-Boards in der Regel von mehreren Anbietern zur Verfügung gestellt und durch software-basierte Entwicklungsressourcen wie Treiber, Open-Source-Beispielcode und Tutorials unterstützt werden. Ein letzter wichtiger kommerzieller Aspekt ist, dass Standards in der Regel einer klar definierten Richtlinie für geistige Eigentumsrechte folgen.

**D&E: Das Minimieren des Stromverbrauchs schreiben Sie auch ins Pflichtenheft eines jeden Entwicklers. Wie können Standards aus der Mobilfunkindustrie hier nützlich sein?**

**Smith:** Richtig, ein niedriger Stromverbrauch ist für viele IoT-Geräte von entscheidender Bedeutung, insbesondere für Geräte, die mit einer Batterie oder einer begrenzten Energiequelle wie Solar- oder Windkraft betrieben werden. Hier gibt es zwei Punkte, wie Standards dem Entwickler weiterhelfen: Zum einen sind standardisierte Schnittstellen, die für den Einsatz im Mobilfunk entwickelt wurden, von Anfang an so konzipiert, dass sie eine hohe Energieeffizienz ermöglichen und eine flexible Datenübertragung zwischen Gerätekomponenten bieten. Eine Schlüsseleigenschaft dieser physikalischen Schnittstellen ist ihr sehr geringer Stromverbrauch sowohl im aktiven Modus, in dem Daten gesendet und empfangen wer-



Alle Bilder: MIPI Alliance

Ian Smith ist Technologieexperte für den Bereich IoT bei der MIPI Alliance.

den, im Active-Standby-Modus, wenn die Datenübertragung gering ist, als auch im Full-Standby-Modus, wenn keine Datenübertragung stattfindet.

**D&E: Und was ist der zweite Punkt?**

**Smith:** Die Bereitstellung von standardisierten Stromsparfunktionen auf Protokollebene ist ein weiterer wichtiger Punkt. Ein gutes Beispiel dafür ist die »Always On Sentinel Conduit«-Funktion (AOSC) der neuen Kameraspezifikation MIPI CSI-2

## DIE MIPI ALLIANCE

Die 2003 gegründete MIPI Alliance ist vor allem für die Standardisierung der Kamera- und Display-Schnittstellen in mobilen Geräten bekannt. MIPI-Schnittstellen werden von zahlreichen etablierten IoT-Entwickler-Kits unterstützt. Weitere Informationen darüber, wie die MIPI Alliance das Wachstum von IoT-Diensten unterstützt, sind in dem White Paper »MIPI Alliance: Enabling the IoT Opportunity« (<https://bit.ly/3smf11x>) zu finden.



v4.0. Sie ermöglicht ein hochgradig energieeffizientes Edge Computing innerhalb von Sensorkomponenten und weckt den Hauptanwendungsprozessor eines Geräts nur dann auf, wenn signifikante Ereignisse auftreten. Industriestandards treiben auch eine Steigerung der Energieeffizienz voran: Indem jede Version einer Spezifikation in der Regel versucht, noch energieeffizienter zu sein als die vorherige. Damit wird auch jede Implementierung der Spezifikation effizienter, da die Komponentenhersteller immer effizientere Wege finden, sie zu implementieren.

» Geräte für IoT müssen hohen Anforderungen an Kosteneffizienz, Skalierbarkeit, Stromverbrauch, Größe, Lebensdauer und Sicherheit genügen. «

D&E: Zum Thema »Kompakte Größe beim Gerätedesign« fallen mir spontan Wearables oder Geräte, die in ihrer Einsumgebung unauffällig sein müssen,

ein. Welche Vorteile können hier Technologien, die für mobile Geräten entwickelt wurden, ausspielen?

Smith: Nutzen Entwickler solche Technologien, die ja extra für den Einsatz in Geräten entwickelt wurden, deren physische Größe entscheidend ist, können sie hochintegrierte IoT-Gerätedesigns entwerfen. Eine Herausforderung, die es in diesem Zusammenhang zu bewältigen gilt, ist, dass die engere Anordnung der Komponenten weniger Platz für die elektromagnetische Abschirmung bedeutet. Die Verwendung von standardisierten Schnittstellen, die elektromagnetische Störungen (EMI) auf ein Minimum reduzieren, Niederspannungsschwingungen auf Hochgeschwindigkeits-Physical-Layern verwenden und eine Slew-Rate-Steuerung bieten, gibt Systementwicklern die Flexibilität, das EMI-Profil der Physical-Layer-Schnittstelle an die Anforderungen des Endgeräts anzupassen.

Außerdem empfiehlt sich die Verwendung von standardisierten seriellen High-Performance-Schnittstellen, die eine minimale Anzahl von Drahtleitern verwenden. Dies

ermöglicht es den Chip-, Geräte- und Modulherstellern, die Anzahl der Pins zu begrenzen, was zu weniger Verbindungen auf den Chips und auf den Leiterplatten führt. Diese reduzierte Komplexität senkt die Herstellungskosten, unterstützt ein immer kompakteres Design von Komponenten in immer kleineren Geräten und reduziert das Gewicht, wodurch neue Anwendungsfälle im IoT-Bereich möglich werden.

D&E: Viele IoT-Geräte haben Lebenszyklen, die sich auf bis zu 20 Jahre erstrecken können, wie beispielsweise im Fall von Geräten, die Teil einer Smart-City-Infrastruktur sind. Welche Problematik stellt sich dadurch für die Entwickler?

Smith: Die Verwaltung und Wartung von Geräten über lange Zeiträume ist in diesem Fall eine Herausforderung. Auch hier sind standardisierte Schnittstellen von Vorteil, da diese in der Regel sowohl rückwärts- als auch vorwärtskompatibel sind, was zu zusammenhängenden, langlebigen Spezifikationen führt, die über viele Jahre hinweg auf dem Markt unterstützt werden. Durch den Einsatz standardisierter Schnittstellen lässt sich sicherstellen, dass Upgrade-Pfade

Anzeige

# TRACO POWER

Reliable. Available. Now.

www.tracopower.com

## Gekapselte AC/DC-Schaltnetzteile

Ultrakompakte Leiterplatten- und Gehäusevarianten



Für den Einsatz in Industrie und Haushalt

- Vier Leistungsstufen: 5, 10, 25 und 50 Watt
- Betrieb mit 90–305 V AC
- Vorbereitet für Klasse II (keine Sicherheitserdung)
- Interner Filter EN55032 Klasse B
- Zulassung nach IEC/EN/UL 62368-1
- 3 Jahre Produktgarantie



	TMPW 5 (5 Watt)	TMPW 10 (10 Watt)	TMPW 25 (25 Watt)	TMPW 50 (50 Watt)
Leiterplattenvariante	1.46 × 1.08 × 0.69"	1.46 × 1.08 × 0.79"	2.07 × 1.08 × 0.93"	2.92 × 1.85 × 0.91"
Gehäusevariante	2.17 × 1.70 × 0.91"	2.17 × 1.70 × 0.91"	3.48 × 1.50 × 0.95"	3.82 × 1.90 × 1.00"



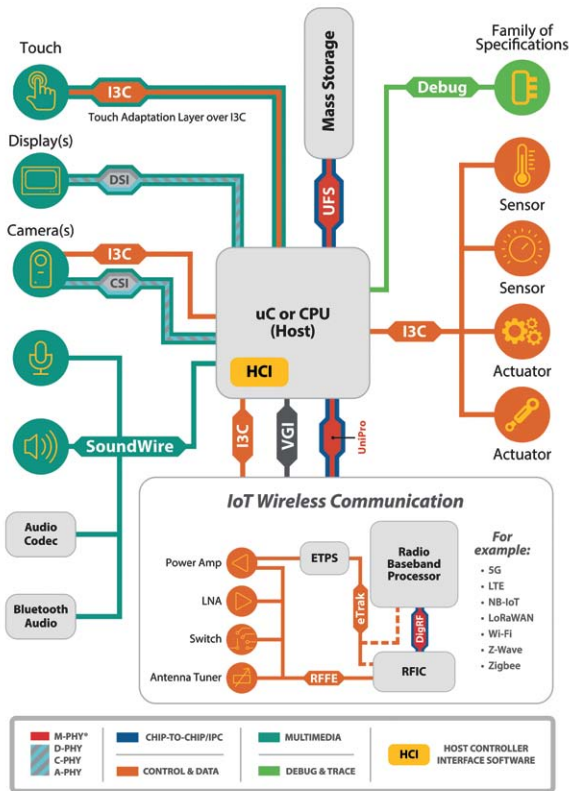


Bild 2: Beispiel für die Verwendung der MIPI-Spezifikationen in einem generischen IoT-Gerät mit Mobilfunkkommunikativität.

plett neue Kenntnisse anzueignen. Der langfristige Support von Entwickler-Tools für diese Schnittstellen maximiert zudem auch die Investition in Test-Suiten.

» Standardisierte Schnittstellen, die für die Mobilfunkindustrie entwickelt wurden, helfen Entwicklern beim Design von IoT-Geräten. «

**D&E:** Was ist denn beispielsweise so eine zusammenhängende, langlebige Spezifikation?

**Smith:** Ein gutes Beispiel für einen zusammenhängenden Industriestandard ist etwa die Busschnittstelle MIPI I<sup>3</sup>C. Sie bietet Verbesserungen gegenüber ihrem Vorgänger, der seit über 30 Jahren auf dem Markt befindlichen I<sup>2</sup>C-Schnittstelle, wahrt aber dennoch Abwärtskompatibilität für eine einfache Integration.

**D&E:** Als letzten Aspekt, dem für viele IoT-Dienste eine entscheidende Bedeutung zukommt, haben Sie Sicherheit genannt.

**Smith:** Genau. Insbesondere für Geräte, die personenbezogene Daten erfassen oder kritische Sicherheitsfunktionen ausführen, ist Sicherheit unentbehrlich. Sicherheitsstandards wie ETSI EN 303 645 und NIST IR8259 empfehlen Entwicklern, mehrschichtige Sicherheit in IoT-Geräten zu implementieren, um allgemeine Sicherheitsrisiken zu adressieren. Die Verwendung von Industriespezifikationen, bei denen Sicherheitskriterien bereits berücksichtigt wurden, sollte, wo immer möglich, für alle internen Geräteschnittstellen in Betracht gezogen werden. Bereits heute werden flexible, standardisierte Sicherheits-Frameworks entwickelt, welche die Authentifizierung, die Vertraulichkeit und den Schutz der Integrität von Nachrichten ermöglichen, die zwischen Anwendungsprozessoren und angeschlossener Peripherie gesendet werden. Diese Frameworks bieten einen Weg für IoT-Entwickler, mehrschichtige Sicherheit in zukünftige IoT-Geräte zu implementieren und helfen ihnen bei der Einhaltung strengster Sicherheitsanforderungen.

**D&E:** Herr Smith, vielen Dank für Ihre Zeit und das interessante Gespräch. Mit Ihren Informationen haben Entwickler nun das Rüstzeug, die Herausforderungen beim Design von IoT-Geräten zu beherrschen.

Das Interview führte Kathrin Veigel.



Bild 3: Zuordnung von IoT-Anwendungsfallkategorien zu Gerätetypen und MIPI-Spezifikationen.

Sector & Category	Section	Device Type(s)	C/D-PHY	A-PHY	M-PHY	I3C for Sensor(s)	I3C for Actuator(s) and Control	CSI-2 for Camera	I3C for Simple UI	DSI-2 for Advanced Display	SoundWire for Advanced Audio	RFIC for Wireless Connectivity	UniPro	Debug	Software
Consumer Sector	Smart Home	Home Hub	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		Smart Door	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		Home Appliance	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Consumer IoT	Connected Camera	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		Video Conferencing	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		Smart Speaker	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		Portable Gaming Device	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Wearables	XR Headset	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	Smart Watch	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	Smart Earbuds	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
Enterprise Sector	Smart Factory	AR Glasses	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		Connected Speakers	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		Robot with Vision	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	Smart City	Industrial Tools	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		Machine Control System	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		Automated Vehicle	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		Smart Lighting	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	Healthcare	Environmental Monitor	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		Surveillance Camera	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		Smart Tram	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	
Utilities	Parking Sensors	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	Smart Waste Bin	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	Remote Health	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	Remote Surgery	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Drones	Smart Meters	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	Smart Charger	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	Home Battery	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Agriculture	Energy Harvesting	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	Energy Monitoring & Control	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	Commercial Drones	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Smart Greenhouse	Precision Agriculture	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	Auto Agriculture	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Livestock Monitoring	Precision Agriculture	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	Livestock Monitoring	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•		

verfügbar sind, falls ein Legacy-Gerät repariert, aufgerüstet oder ersetzt werden muss. Die Hersteller bieten in der Regel einen langfristigen Entwicklersupport für

Standardschnittstellen an – damit entfällt die Notwendigkeit für Entwickler, sich für jede neue Gerätegeneration oder für die Unterstützung von Legacy-Geräten kom-

## Modulare DC-USV-Systeme



Mit der UPSI-Serie von Bicker Elektronik führt Schukat modulare DC-USV-Systeme für die 12 und 24 V im Programm. Die Serie sowie die separaten Energiespeicher sind als Open-Frame-Variante oder DIN-Rail-Version erhältlich. Bei den Energiespeichern besteht die Wahl zwischen sicheren LiFePO<sub>4</sub>-Zellen mit 6000 Lade- und Entladezyklen für längere Überbrückungszeiten und wartungsfreien Supercaps mit über 500.000 Lade- und Entladezyklen für kurze und mittlere Überbrückungszeiten.

**Bicker Elektronik/Schukat**  
[www.schukat.com](http://www.schukat.com)

## 500-W-Abwärtswandler für die Hutschiene

Mit der DDA-Serie von TDK-Lambda hat Hy-Line Power Components nun einen DC-DC-Wandler im Sortiment, der eine DC-Busspannung in eine oder zwei lokal benötigte Spannungen umsetzen. Dank eines Wirkungsgrads bis zu 95 % können die 36,5 mm breiten Hutschienen-Wandler bei forcierter Belüftung zwei Ausgangsspannungen eine Dauerleistung von bis zu 500 W liefern. Bei Konvektionskühlung sind es 250 W im Dauerbetrieb. Die Eingangsspannung



kann im Bereich von 9 V bis 53 V liegen, was den Betrieb an DC-Busspannungen von 12 V, 24 V und auch 48 V ermöglicht. Die Ausgangsspannungen sind im Bereich von 3,3 V bis ±24 V einstellbar bei Ausgangsströmen bis zu 2 × 20 A.

**TDK-Lambda/Hy-Line Power Components**  
[www.hy-line-group.com](http://www.hy-line-group.com)

## Netzteile erfüllen neue Sicherheitsnorm

Aus dem Programm von Leader Electronics präsentiert Finepower die Netzgeräte der MH-Serie, die der neuen Sicherheitsnorm IEC EN 62368-1 entsprechen. Damit unterstützt Finepower die Entwickler von AV-Produkten (Audio/Video) und ITK-Equipment beim Umstieg auf die neue Norm. Die 12-V-Netzteile der MH-Serie arbeiten an Eingangsspannungen von 180 V bis 264 V und Umgebungstemperaturen von ±0 °C bis +40 °C. Die Geräte folgen den Vorgaben des US-Department of Energy (DoE) für die Energieeffizienz externer Netzteile und entsprechen dem DoE-Level VI.



**Leader Electronics/Finepower**  
[www.finepower.com](http://www.finepower.com)

## Kosteneffiziente Netzteilmodule



Zwei neue Baureihen von AC-DC-Wandlern für Leiterplattenmontage hat Recom vorgestellt. Gerade einmal 33,7 mm × 22,2 mm groß und 15,4 mm hoch ist das 2-W-Modul RAC02E-K/277, 37 mm × 24 mm misst das 3-W-Modul RAC03E-K/277 bei ebenfalls 15,4 mm Höhe. Beide Serien sind für Eingangsspannungen von 100 V bis 277 V ausgelegt und liefern geregelte Ausgangsspannungen von wahlweise 3,3 V, 5 V, 12 V, 15 V und 24 V. Sie arbeiten ohne Leistungsminderung bis +80 °C (RAC02E-K/277) oder +75 °C (RAC03E-K/277).

**Recom Power**  
[www.recom-power.com](http://www.recom-power.com)



## 20-W-Wandler für die Bahn

THN-20WIR heißt eine Modellreihe von 20 W starken DC-DC-Wandlern, mit der Traco sein bestehendes Angebot für Bahnanwendungen erweitert hat. Diese 25,4 mm × 25,4 mm großen und nach EN 50155 und EN 61373 zugelassenen Wandler haben einen Eingangsspannungsbereich von wahlweise 9 V bis 36 V, von 18 V bis 75 V oder 36 V bis 160 V und eine erhöhte Festigkeit gegen elektromagnetische Störungen, Stöße/Vibrationen sowie schnelle Temperaturänderungen. Sie bieten Wirkungsgrade von bis zu 91 % und gewährleisten einen Arbeitstemperaturbereich von -40 °C bis +65 °C ohne Lastreduktion (Derating).

**Traco Power**  
[www.tracopower.com](http://www.tracopower.com)

## Für DC-Eingangsspannungen von 110 V

Einen DC-DC-Wandler für eine eingangsseitige Gleichspannung von 110 V hat Phoenix Contact seine Quint-Power-Familie erweitert. Anwendungen, für die bisher eine Serienschaltung von mehreren DIN-Schienen-Stromversorgungen notwendig war, können somit nun mit nur einem Gerät versorgt werden. Das spart Platz im Schaltschrank und reduziert den Verdrahtungsaufwand. Die Stromversorgung verfügt über Sicherheitszulassungen nach IEC/EN/UL 61010-1 und 61010-2-201. Sie ist nach UL HazLoc Class 1, Division 2 auch für explosionsgefährdete Bereiche zertifiziert und kann aufgrund der Marine-Zulassung nach DNV GL auch in Schiffsapplikationen eingesetzt werden.



**Phoenix Contact**  
[www.phoenixcontact.com](http://www.phoenixcontact.com)

# Elektronik TESTSIEGEL

## Das Content-Marketingtool für Ihren Werbeerfolg

Lassen Sie Ihr Produkt von den Fachlesern der Elektronik\* testen und heben Sie sich mit dem Testsiegel in Ihrer Marktkommunikation von der Konkurrenz ab.

**Elektronik** READER'S  
**Proofed Products**  
**2021** ★ ★ ★ ★ ★

### LESER TESTEN

#### MITMACHAKTION **LÖTSTATION IM PRAXISTEST**

Das erste Testobjekt für unsere Aktion „Leser testen“ ist die Lötstation „RS Pro LCD Smart Soldering Station“ von RS Components. Wir sind gespannt auf die Ergebnisse unserer zehn Leser-Tester. Von Gerhard Steizer



In Elektronik-Ausgabe 22/2019 haben wir Sie, liebe Leser, aufgefordert, sich bei uns als Tester für die Lötstation „RS Pro LCD Smart Soldering Station“ von RS Components zu bewerben. Wir haben uns sehr über die zahlreichen Rückmeldungen gefreut. Vielen Dank! Über 200 Interessenten wollten die Lötstation ausprobieren und auf Herz und Nieren prüfen. Deshalb mussten wir die zehn glücklichen Tester auslesen. An jedem wurde im Anschluss von der Redaktion ein Testbogen zum Ausfüllen und von RS Components das Testobjekt versandt. Zur Erinnerung sind im Folgenden nochmal die wichtigsten technischen Daten aufgeführt.

#### WAS WIRD GETESTET?

Die Elektronik hat dazu einen reichen Testbogen in Zusammenarbeit mit RS Components erarbeitet, den unsere zehn Tester werten. Der Test gliedert sich in:

- Vor der Inbetriebnahme
- Inbetriebnahme
- Betrieb
- Fazit

Innerhalb des Testbogens sind Einzelzeilespalten für die Bewertung von 1 bis 5 vorgefährte Erkennung der Testschritte und freier Beantwortung

#### STECKBRIEF „RS PRO LCD SMART SOLDERING STATION“

Die Lötstation RS Pro LCD Smart Soldering Station zeichnet sich laut Hersteller durch eine Leistungsaufnahme von 75 W aus und arbeitet mit einer Eingangsspannung von 220 bis 240 V bei 50 Hz. Ein eingebauter Mikrocontroller steuert die Lötstation zwischen dem Temperaturminimum von 30 °C bis zum Temperaturmaximum von 500 °C mit einer Genauigkeit von ±10 °C. Die

testen teilnehmen möchten, registrieren Sie sich bitte auf der Website unter: [www.elektronik.de/lesertesten](http://www.elektronik.de/lesertesten). Mit der Registrierung erklären Sie sich damit einverstanden, dass Ihre Registrierungsdaten an RS Components zum Zwecke des Testobjektversands weitergegeben werden. Nach der Durchführung des Praxistests gemäß unserer Kriterien und der Einreichung Ihres Testprotokolls dürfen Sie als Dankeschön für Ihre Mitwirkung das Testobjekt behalten. Bei mehr als zehn Registrierungen entscheidet das Los über die Teilnahme. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen. 95

#### IMPULSE » Leser testen

### Aktion: **10 Praxistester für Lötstationen gesucht!**

**Elektronik** READER'S  
**Proofed Products**  
**2019** ★ ★ ★ ★ ★

Die Elektronik führt die neue Rubrik „Leser testen“ ein. Sie möchten von Ihnen wissen, was Sie von ausgewählten Elektronikprodukten halten. Bewerben Sie sich. Zur Belohnung dürfen Sie nach dem Test das Te

Als Leser der Elektronik zählen Sie zur Gruppe der professionellen Anwender und Entwickler. Wir als Redaktion freuen uns über Ihre sachkundige Meinung und dabei ganz speziell darauf, wie Sie aktuelle Produkte für die professionelle Elektronik auf dem Markt bewerten. Dem Community-Gedanken folgend, können Sie so Gleichgesinnten helfen, Kaufentscheidungen auf ein fachkundiges Urteil zu stützen. Um unseren Testern die Arbeit zu erleichtern, stellt die Redaktion vorab einen Katalog an Kriterien zusammen, an dem Sie sich orientieren können. Die Testkriterien reichen von der Lieferung, Verpackung, Dokumentation über Lieferumfang bis zur Inbetriebnahme samt Bedienung und Funktion sowie einem abschließenden Fazit.

6 **Elektronik** 22/2019

Erstes Testobjekt „RS Pro LCD Smart Soldering Station“ ist die elektronisch geregelte Lötstation RS Pro LCD Smart Soldering Station von RS Components. Wenn Sie mit Lötvorgängen vertraut sind oder selbst öfter zum Lötblech greifen, dann sind Sie unser Kandidat. Die Lötstation RS Pro LCD Smart Soldering Station zeichnet sich laut Hersteller durch eine Leistungsaufnahme von 75 W aus und arbeitet mit einer Eingangsspannung von 220 bis 240 V bei 50 Hz. Ein eingebauter Mikrocontroller steuert die Lötstation zwischen dem Temperaturminimum von 30 °C bis zum Temperaturmaximum von 500 °C mit einer Genauigkeit von ±10 °C. Die

elektronik.de

\*laut aktuellem Copytest arbeiten 83 % der Elektronik-Leser im Bereich Entwicklung / Konstruktion / Forschung

13

# JETZT BUCHEN!

MEDIABERATUNG ELEKTRONIK | MEDIA@ELEKTRONIK.DE | +49 (89) 255 56-1376



**Leistungen**  
 3x redaktionelle Berichterstattung in der Elektronik  
 1x Printunterlage mit Ihrem Lesertest (1.000 Exemplare)  
 2x redaktionelle Berichterstattung auf elektronik.de  
 2x Social Media Postings  
 Bewerbung und Berichte im Newsletter der Elektronik



# Alles jederzeit unter Kontrolle

Industrieanlagen sollen zu jedem Zeitpunkt reibungslos funktionieren. Deshalb setzt man hier auf eine vorausschauende Wartung, zu der auch die Zustandsüberwachung von Maschinen mit Sensoren gehört. Um zu gewährleisten, dass die Sensoren Fehler und Ausfälle früh und zuverlässig erkennen, muss man die am besten geeigneten auswählen. Die Kenntnis ihrer jeweiligen Stärken und Schwächen ist dafür unabdingbar.

Chris Murphy  
Applications Engineer bei Analog Devices

**Z**ustandsüberwachung (Conditions based Monitoring, CbM) an Maschinen oder Anlagen bedeutet, dass Sensoren den aktuellen Zustand dieser Maschinen und Anlagen erfassen. Die vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance, PdM) kombiniert Techniken wie CbM, maschinelles Lernen und Analysen, um künftige Fehler der Maschinen oder Anlagen vorhersagen zu können. Aktuell kommt eine große Anzahl an Sensoren in rotierenden Maschinen und ihren Lasten zum Einsatz, um Fehler zu erfassen und zu erkennen. Ziel dabei ist, unerwünschte Still-

standzeiten zu vermeiden. Die Auswahl der einzelnen Sensoren ist jedoch schwierig, da PdM-Techniken für eine Vielzahl rotierender Maschinen (Motoren, Getriebe, Pumpen und Turbinen) und auch nicht rotierende Maschinen (Ventile, Schutzschalter und Kabel) eingesetzt werden.

Viele industrielle Motoren sind dafür entwickelt, kontinuierlich bis zu zwanzig Jahre in Produktionsanlagen, in chemischen und Lebensmittelabriken oder Kraftwerken zu arbeiten, wobei jedoch nicht alle Motoren ihre gewünschte Lebensdauer erreichen. Ursache hierfür kann ein nicht optimaler Betrieb des

Motors, ungenügende Wartung, fehlende Investitionen in PdM-Systeme oder generell ein Fehlen eines PdM-Systems vor Ort sein.

Mit der PdM können Wartungsteams Reparaturen planen und so ungeplante Stillstandzeiten vermeiden. Das frühe Vorhersagen von Maschinenausfällen mittels PdM kann den Wartungsingenieuren auch dabei helfen, Motoren, die nicht optimal laufen zu identifizieren und zu reparieren, was zu einer verbesserten Leistung, höheren Produktivität, besserer Maschinenverfügbarkeit und längerer Lebensdauer führt.

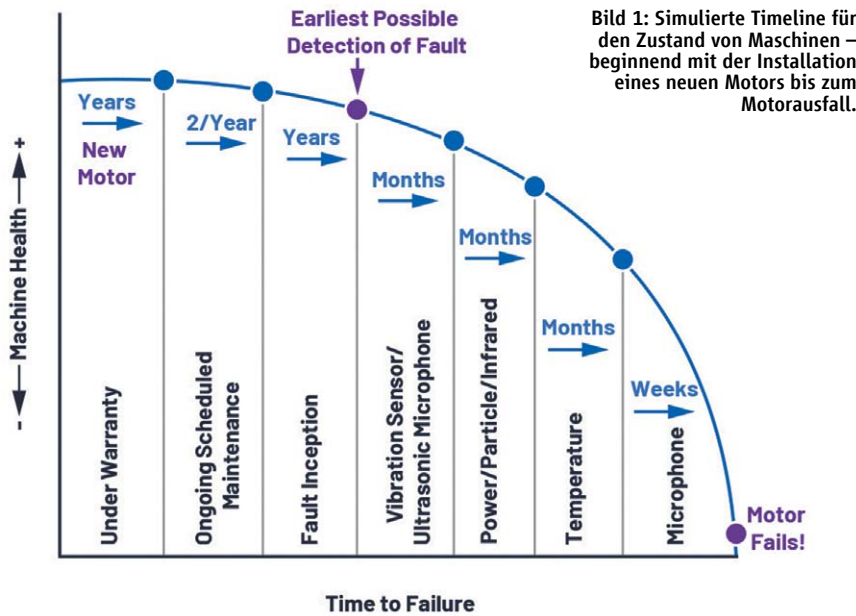


Bild 1: Simulierte Timeline für den Zustand von Maschinen – beginnend mit der Installation eines neuen Motors bis zum Motorausfall.

## ■ Sensoren im Einsatz bei vorausschauender Wartung

Einige Sensoren können bestimmte Fehler, wie ein beschädigtes Lager, wesentlich früher als andere erkennen, wie in *Bild 1* dargestellt. Die im Folgenden untersuchten Sensoren, Beschleunigungsmesser und Mikrofone, können die Fehler zu einem sehr frühen Zeitpunkt erkennen.

*Tabelle 1* listet die Sensorspezifikationen auf und einige der Fehler, die sie erkennen. Die meisten PdM-Systeme werden nur einige dieser Sensoren enthalten. Das macht es notwendig, dass man über die wichtigsten Fehler gut Bescheid weiß – ebenso wie über die Sensoren, die sich am besten dazu eignen, diese zu erkennen.

Über 90 Prozent der rotierenden Maschinen in der Industrie und in kommerziellen Anwendungen nutzen Wälzlager. Die Verteilung von ausgefallenen Komponenten eines Motors ist in *Bild 2* zu sehen. Es ist klar zu erkennen, dass es bei der Auswahl eines Sensors darauf ankommt, sich auf die Überwachung der Lager zu konzentrieren. Um potenzielle Ausfälle zu erkennen, zu diagnostizieren und vorherzusagen, muss ein Vibrationssensor ein geringes Rauschen und eine hohe Bandbreite aufweisen.

*Tabelle 2* listet die gängigsten Fehler bei rotierenden Maschinen sowie die entsprechenden Vibrationssensoren für den Einsatz in PdM-Systemen auf. Um Fehler so früh wie möglich zu entdecken, benötigen PdM-Systeme typischerweise Hochleistungssensoren. Dabei hängt das

Die beste PdM-Strategie ist es, so viele Techniken und Sensoren wie möglich einzusetzen, um Ausfälle frühzeitig und mit hoher Sicherheit zu erkennen. Allerdings gibt es keinen Sensor, der alle diese Ansprüche erfüllt. Im Folgenden werden die jeweiligen Stärken und Schwächen von Sensoren, die für die Zustandsüberwachung verwendet werden, genauer beleuchtet.

## ■ Zeitverlauf von Systemausfällen

*Bild 1* zeigt den simulierten Zeitverlauf von Ereignissen – angefangen bei der Installation eines neuen Motors bis zum Ausfall – zusammen mit dem empfohle-

nen Sensortyp für die vorausschauende Wartung. Ist der neue Motor installiert, gibt es noch Garantie darauf. Nach einigen Jahren ist die Garantie jedoch abgelaufen, und zu diesem Zeitpunkt werden häufiger Inspektionsintervalle manuell durchgeführt.

Tritt ein Ausfall zwischen diesen geplanten Wartungsarbeiten ein, so ist ein Maschinenstillstand wahrscheinlich. Um potenzielle Ausfälle so früh wie möglich zu entdecken, ist es entscheidend, den richtigen Sensor für die vorausschauende Wartung einzusetzen. Die Analyse von Vibrationen wird allgemein als der beste Ausgangspunkt für PdM angesehen. Daher finden Vibrations- und Akustiksensoren hier häufig Verwendung – und stehen hier im Fokus.

Messung	Sensor	Schlüsselinformation	Target Faults
Vibration	Piezo-Beschleunigungsmesser	Geringes Rauschen, Frequenzen bis zu 30 kHz, sehr gängig in CbM-Applikationen	Lagerzustand, Getriebezahneingriffe, Pumpenkavitation, Fehlausrichtung, Unwucht, Lastbedingung
Vibration	Mems-Beschleunigungsmesser	Geringe Kosten/Leistungsbedarf/Baugröße, Frequenzen bis zu 20 kHz+	Lagerzustand, Getriebezahneingriffe, Pumpenkavitation, Fehlausrichtung, Unwucht, Lastbedingung
Schalldruck	Mikrofon	Geringe Kosten/Leistungsbedarf/Baugröße, Frequenzen bis zu 20 kHz	Lagerzustand, Getriebezahneingriffe, Pumpenkavitation, Fehlausrichtung, Unwucht, Lastbedingung
Schalldruck	Ultraschallmikrofon	Geringe Kosten/Leistungsbedarf/Baugröße, Frequenzen bis zu 100 kHz	Druckverlust, Lagerzustand, Getriebezahneingriffe, Pumpenkavitation, Fehlausrichtung, Unwucht, Lastbedingung
Motorstrom	Shunt, Stromwandler	Preiswert, nicht-invasiv, üblicherweise an der Motorversorgung gemessen	Exzentrerschneckenpumpen, Wicklungsprobleme, Rotorstabdefekte, Versorgungsschwankungen, Lagerschäden
Magnetfeld	Hall, Magnetometer, Suchspule	Geringe Kosten/Leistungsbedarf Frequenzen bis zu 250 Hz, stabil über Temperatur	Rotorstab, Endringprobleme
Temperatur	Infrarotthermographie	Teuer, genau, erfasst mehrere Komponenten/-Quellen gleichzeitig	Bestimmung der Wärmequelle durch Reibung, Lastwechsel, exzessive Start/Stops, schlechte Stromversorgung
Temperatur	RTD, Thermoelement, digital	Geringe Kosten und Baugröße, akkurat	Temperaturänderung aufgrund von Reibung, Lastwechsel, exzessive Start/Stops, schlechte Stromversorgung
Ölqualität	Partikelzähler	Viskosität, Partikel und Kontamination	Detektiert Verschmutzung aufgrund von Verschleiß

Tabelle 1: Populäre Sensoren, die für CbM eingesetzt werden.

# DC-DC Converter



## RECOM

### Recom Power Supplies Serie RPX-1.0

- 1,0 Ampere Buck-Regler
- 4,5 x 4 x 2mm QFN-Gehäuse
- Betriebstemperaturbereich -40 bis +125 °C
- Flip-Chip-Technologie für ein verbessertes Wärmemanagement
- Wirkungsgrad bis 91 %
- 3 Jahre Herstellergarantie

### 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

Anforderungen an Sensoren	Häufige Maschineefehler			
	Unwucht	Ausrichtungsfehler	Lagerdefekte	Getriebedefekte
Geringes bis mittleres Rauschen <100 µg/√Hz	•	•		
Geringes Rauschen < 100 µg/√Hz			•	•
Bandbreite: 5× bis 10× der Grundfrequenz	•	•		
Bandbreite: >5 kHz			•	•
Mehrachsenmessung	•	•		
Kleiner Frequenzgang für langsam rotierende Maschinen	•			
Großer g-Bereich			•	

Tabelle 2: Kurzer Überblick über Maschinenfehler und Betrachtungen zu Vibrationssensoren.

% Occurances of Motor Faults

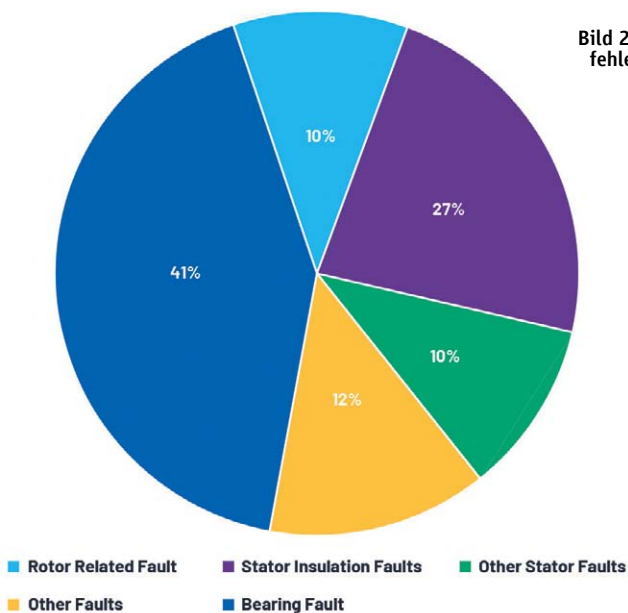


Bild 2: Prozentualer Anteil von fehlerhaften Komponenten in ausgefallenen Motoren.

Leistungsniveau dieser Sensoren davon ab, wie zuverlässig und kontinuierlich die zu überwachende Komponente im gesamten Prozess arbeiten muss. Die Kosten der Komponente selbst spielen hier eine nachgelagerte Rolle.

Anhand der Energiemenge in der Vibration oder Bewegung eines Motors (in der Spitze, von Spitze-zu-Spitze und im Durchschnitt) ist es möglich festzustellen, ob eine Maschine mit einer Unwucht läuft oder falsch eingestellt ist. Manche Fehler, wie Lager- oder Getriebedefekte, treten nicht so offensichtlich in Erscheinung und lassen sich nicht allein durch stärkere Vibrationen erkennen und vorhersehen. Solche Fehler erfordern für die vorausschauende Wartung einen Hochleistungs-Vibrationssensor mit geringem Rauschen

(<100 µg/√Hz) und hoher Bandbreite (>5 kHz) sowie eine Signalkette, Signalverarbeitung, Transceiver und Nachverarbeitung auf sehr hohem Leistungsniveau.

### Vibrations-, Akustik- und Ultraschallsensoren für PdM

Mikroelektromechanische Systemmikrofone (Mems) enthalten ein Mems-Element auf einer Leiterplatte, typischerweise eingebaut in ein Metallgehäuse mit einem Anschluss auf der Ober- oder Unterseite, um darin Schalldruckwellen zu erfassen. Mems-Mikrofone sind preiswert, klein und erkennen effektiv Maschinenfehler, wie Lagerzustand, Getriebezahneingriffe, Pumpenkavitation, Ausrichtungsfehler

Sensor	Kosten (1k Stückpreis)	3-dB-Bandbreite	DC-Response	Rauschen/SNR	Potenzielle Batterielebensdauer für drahtloses CbM	Selbsttest
Piezo-Beschleunigungsmesser	\$25 bis \$500+	2.5 kHz bis 30 kHz+	nein	<1 µg/√Hz bis 50 µg/√Hz	kurz bis mittel	nein
Mems-Beschleunigungsmesser	\$10 bis \$30*	3 kHz bis 20 kHz+	ja	<25 µg/√Hz bis 100 µg/√Hz	mittel bis lang	ja
Mems-Mikrofon	<\$1 bis \$2	20 kHz	nein	57 dB bis 74 dB	lang	nein
Mems-Ultraschallsensor	<\$1 bis \$2	100 kHz	nein	65 dB	lang	nein

Tabelle 3: Leistungsspezifikationen für Sensoren zur vorausschauenden Wartung (\* Mems-Beschleunigungs-Module können über \$ 30 kosten, sind aber vollständige Systemlösungen, während alle anderen Bauteile nur die Sensoren sind).

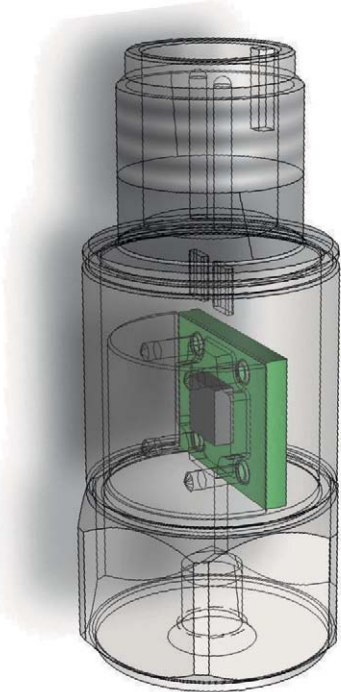


Bild 3: Mems-Beschleunigungssensor, IEPE-Referenz, Leiterplattendesign ermöglichen das Nachrüsten der CbM-Beschleunigungssensoren der ADXL-100x-Familie in mechanische IEPE-Module.

und Unwucht. Dies macht sie optimal geeignet für batteriebetriebene Applikationen. Sie können in deutlichem Abstand von der Schallquelle angeordnet sein und sind nichtinvasiv.

Wenn mehrere Anlagen in Betrieb sind, kann die Leistung der Mikrofone jedoch wegen störender Geräusche von anderen Maschinen oder Umgebungsfaktoren wie Schmutz oder Feuchtigkeit, die auch in die Öffnung des Mikrofons eindringen, leiden. Die Datenblätter der meisten Mems-Mikrofone listen immer noch relativ einfache Applikationen auf, wie mobile Terminals, Laptops, Spielekonsolen und Kameras etc. Obwohl in einigen Datenblättern von Mems-Mikrofonen die Vibrationsmessung oder die PdM als mögliche Anwendungen erwähnt werden,

herrscht weiterhin eine große Unklarheit darüber, ob sich diese Sensoren für den Betrieb in sehr rauen Umgebungen mit Schockbelastungen eignen.

Mems-Ultraschallmikrofone erlauben die Überwachung des Motorzustands bei vorhandenen hörbaren Geräuschen. Dies ist möglich, weil sie Geräusche erfassen, die im nichthörbaren Bereich (20 kHz bis 100 kHz) liegen, in dem es weit weniger Geräusche gibt. Die Wellenlänge von niederfrequenten hörbaren Signalen beträgt üblicherweise rund 1,7 cm bis 17 m. Die Wellenlänge von hochfrequenten Signalen liegt bei rund 0,3 cm bis 1,6 cm. Steigt die Frequenz der Wellenlänge, so steigt auch die Energie, was dem Ultraschall eine Richtwirkung gibt. Dies ist sehr nützlich, um einen Fehler in einem Getriebe oder Gehäuse aufzufindig zu machen.

Beschleunigungsmesser sind die am häufigsten verwendeten Vibrationssensoren, und die Vibrationsanalyse die am meisten eingesetzte PdM-Technik – hauptsächlich für große mechanische Systeme wie Turbinen, Pumpen, Motoren und Getriebe. Die Tabellen 3 und 4 zeigen Schlüsselspezifikationen, die bei der Wahl eines Standard-Piezo-Vibrationssensors, eines Hochleistungs-Mems-Vibrationssensors oder eines Akustiksensors zu beachten sind. Die Daten in jeder Spalte repräsentieren die Min/Max-Variation innerhalb dieser Kategorie und korrelieren nicht mit benachbarten Spalten.

Die CbM-Industrie wird in den nächsten fünf Jahren ein starkes Wachstum aufweisen, wobei die Installationen von drahtlosen Systemen einen signifikanten Anteil an diesem Wachstum haben. Piezo-Beschleunigungsmesser eignen sich wegen der Kombination aus Größe, fehlender integrierter Funktionen und hohem Leistungsbedarf weniger für CbM-Systeme. Es existieren aber Lösungen mit einer typischen Leistungsaufnahme im Bereich

von 0,2 mA bis 0,5 mA. Mems-Beschleunigungsmesser und -Mikrofone eignen sich aufgrund ihrer kleinen Größe, dem geringen Leistungsbedarf und hoher Leistung dagegen sehr gut für batteriebetriebene PbM-Systeme.

Sämtliche Sensoren verfügen über ausreichend Bandbreite und geringes Rauschen. Mems-Beschleunigungsmesser sind jedoch die einzigen Sensoren, die eine Reaktion bis hinunter zu Gleichstrom liefern, was für das Erkennen von Unwucht bei sehr niedrigen Drehzahlen und die Neigungserfassung nützlich ist. Mems-Beschleunigungsmesser haben auch eine Selbsttestfunktion, mit der sich verifizieren lässt, ob der Sensor zuverlässig funktioniert. Das ist für sicherheitskritische Anwendungen wichtig, bei denen es Systemstandards zu erfüllen gilt. Dies fällt leichter, wenn man verifizieren kann, ob ein Sensor optimal funktioniert.

### ■ Einsatz der Sensoren in rauen Umgebungen

Es ist auch möglich, Mems-Beschleunigungsmesser in Keramikgehäusen und Piezo-Beschleunigungsmesser in mechanischen Gehäusen für den Einsatz in rauen, schmutzigen Umgebungen hermetisch zu versiegeln. Tabelle 4 zeigt die physikalische und mechanische Leistungsfähigkeit sowie die Umgebungseignung der Sensoren. Zu sehen sind die Hauptunterschiede zwischen den einzelnen Sensoren, wie Integrationsdichte, Eignung für raue Umgebungen, mechanische Belastbarkeit und das Anbringen an rotierenden Maschinen oder die Montage.

Das Erfassen von Vibrationswerten in drei Achsen liefert mehr Diagnosedaten und kann zu einer besseren Fehlererkennung führen. Obwohl dies nicht für alle PdM-Installationen nötig ist, ist es doch ein wesentlicher Vorteil von Piezo- und



Sensor	Ausmaße	Anzahl der Achsen	Vibrationsfestes mechanisches Gehäuse	Industriestandard-Interface	Integrierte Funktionen	Mechanische Befestigung	Widerstandsfähigkeit gegenüber rauen Umgebungen
Piezo-Beschleunigungsmesser	mittel	1 bis 3	ja	ja	nein	ja	exzellent
Mems-Beschleunigungsmesser	klein/mittel*	1 bis 3	ja	ja	ja	ja	exzellent
Mems-Mikrofon	klein	1	nein	nein	nein	kontaktlos	gut
Mems-Ultraschallsensor	klein	1	nein	nein	nein	kontaktlos	gut

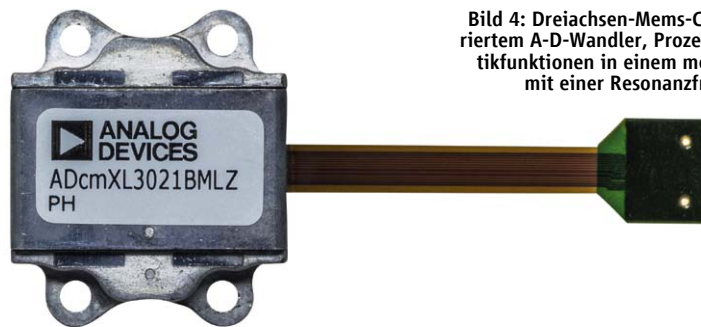
**Tabelle 4: Mechanische Spezifikationen für Sensoren zur vorausschauenden Instandhaltung (\* Mems-Module enthalten üblicherweise A-D-Wandler, Prozessoren und Filterung, abgestimmt auf den Sensor zum Erreichen der optimalen Leistung, was die Anforderungen an den Platzbedarf der Signalkette reduziert).**

Mems-Beschleunigungsmessern bezüglich Datenqualität, Verdrahtung und Platzersparungen.

Mems-Mikrofone zeigen eine Verzerrung von bis zu  $-8$  dB, wenn sie über längere Zeiträume hoher Feuchtigkeit ausgesetzt sind. Obwohl dies keine ausgeprägte Schwäche ist, lohnt es sich, sie zu berücksichtigen, wenn eine PdM-Arwendung in einer rauen Umgebung mit hoher Feuchtigkeit eingesetzt wird. In diesem Fall haben Elektret-Kondensator-Mikrofone (Electret Condenser Microphone, ECMs) Vorteile gegenüber Mems-Mikrofonen. Andere Umgebungsbedingungen, die das Mikrofon beeinflussen können, sind Wind, Atmosphärendruck, elektromagnetische Felder und mechanischer Schock.

In einfachen Umgebungen bieten Mems-Mikrofone in PdM-Applikationen eine sehr gute Leistung. Allerdings gibt es derzeit kaum Informationen, wie Mems-Mikrofone in rauen Betriebsumgebungen mit starken Vibrationen, Schmutz oder Feuchtigkeit zu montieren sind. Vibrationen können die Leistung von Mems-Mikrofonen beeinträchtigen und müssen deshalb beachtet werden, allerdings haben Mems-Mikrofone eine geringere Empfindlichkeit auf Vibrationen als ECMs. Wird in einer drahtlosen PdM-Lösung ein Mems-Mikrofon verwendet, so muss die Anschlussbox einen Zugang haben, damit das akustische Signal den Sensor erreicht. Dies resultiert in einer höheren Design-Komplexität und macht weitere Elektronik anfällig für Schmutz oder Feuchtigkeit.

In der letzten Zeit wurde die kapazitive Mems-Beschleunigungstechnik optimiert, wodurch kleine, verlustleistungsarme, drahtlose CbM-Systeme möglich sind. Diese Verbesserungen haben die Leistung von Mems-Beschleunigungsmessern an die der Piezo-Beschleunigungsmesser angenähert,



**Bild 4: Dreiachsen-Mems-CbM-Modul mit integriertem A-D-Wandler, Prozessor, FFT- und Statistikfunktionen in einem mechanischen Gehäuse mit einer Resonanzfrequenz über 50 kHz.**

die in herkömmlichen drahtgebundenen CbM-Systemen verwendet werden. Mit ihrem geringen Rauschen und hoher Bandbreite, gekoppelt mit Industriestandardschnittstellen (ICP und IEPE), sind Piezo-Beschleunigungssensoren seit Langem der Standard in der Vibrationsmessung.

Mems-Beschleunigungssensoren wurden an die Schnittstelle zu IEPE-Standardmodulen angepasst, wie in *Bild 3* dargestellt. Die Wandlerschaltung basiert auf dem Referenzdesign *Circuits from the Lab*. Diese Schaltung wurde auf einer speziellen Leiterplatte entworfen, die mit großen Bandbreiten arbeiten und zu einem späteren Zeitpunkt in ein mechanisches Modul integriert werden kann.

Das in *Bild 4* dargestellte Bauteil besteht aus drei einachsigen Mems-Beschleunigungssensoren, drei A-D-Wandlern, einem Prozessor, Speicher und Software-Algorithmen; alles eingebaut in ein mechanisches Modul mit einer Resonanzfrequenz über 50 kHz. Dies belegt die Fähigkeit von Mems-Beschleunigungssensoren, Intelligenz in den Sensorknoten zu integrieren und sicherzustellen, dass der Sensor mit der besten Signalkette und -verarbeitung gepaart wird, um die bestmögliche Leistung zu erzielen. Dieses Modul kann FFTs durchführen, verschiedene Alarime im Zeit- oder Frequenzbereich auslösen und stati-

sche Daten im Zeitbereich generieren, die für Algorithmen oder Machine-Learning-Tools zur Vorhersage von Fehlern wichtig sind.

Wenn man den geeignetsten Vibrationsensor für seine PdM-Lösung auswählen muss, liegt die Herausforderung darin, die Sensoren so zu kombinieren, dass sie die wahrscheinlichsten Fehlermöglichkeiten in den Systemen abdecken. Mems-Mikrofone haben sich noch nicht als robust genug erwiesen, um Fehler durch Vibrationen in rauen Umgebungen aufzudecken. Dagegen sind Beschleunigungssensoren, der Standard für die Vibrationsmessung, der seit Jahrzehnten erfolgreich implementiert ist und zuverlässig arbeitet. Mems-Ultraschallmikrofone zeigen eine vielversprechende Leistung, Lagerschäden früher als Beschleunigungssensoren zu erfassen. Dieses symbiotische Verhältnis könnte künftig die beste PdM-Lösung zur Vibrationsanalyse an den Maschinen und Systemen darstellen.

Analog Devices bietet verschiedene Mems-Beschleunigungssensoren für universellen Einsatz, mit niedriger Verlustleistung, geringem Rauschen, hoher Stabilität und hoher g-Belastbarkeit, sowie intelligente Edge-Node-Module (*Bild 4*). Der *ADmXL3021* ist dabei nur ein Beispiel einer dedizierten PdM-Modul-Lösung. (kv)

# Kurztraining für KI-Fehlerinspektion



Bild: xiaoliangge – stock.adobe.com, Bild 1-2: MVTec Software

*Der Einsatz von künstlicher Intelligenz wie etwa Deep Learning kann die Erkennungsraten in der industriellen Bildverarbeitung signifikant erhöhen. Der Trainingsprozess ist aber mit hohem Aufwand verbunden. Reduzieren lässt sich dieser mithilfe einer neuen Technologie, die deutlich weniger Trainingsdaten erfordert.*

Mario Bohnacker  
Technical Product Manager HALCON bei MVTec Software

In Zeiten von Industrie 4.0 und Smart Factory sind die Entwicklungs- und Produktionsprozesse von einem hohen Grad an Automatisierung und Digitalisierung sowie durchgängiger Vernetzung geprägt. Für die Optimierung dieser Abläufe spielt die industrielle Bildverarbeitung (Machine Vision)

eine wichtige Rolle. Die Technologie kann beliebige Objekte entlang der gesamten Wertschöpfungskette automatisiert und mit hoher Genauigkeit identifizieren. Dies sorgt für optimierte Handling-Prozesse sowie eine effiziente und gefahrlose Interaktion zwischen Menschen und Maschinen oder Robotern untereinander. Zudem lassen sich mit Machine Vision alle Arten von Produktionsdefekten verlässlich erkennen, was die Fehlerinspektion im Rahmen des Qualitätsmanagements auf sichere Beine stellt. So können beispielsweise defektbehaftete Platinen, Leiterplatten und sonstige Bauteile zuverlässig identifiziert und rechtzeitig aussortiert werden, bevor sie in den weiteren Produktionskreislauf gelangen.

Bildverarbeitungs-Software wird zunehmend auch in Embedded-Systeme integriert (Embedded Vision). Der Bedarf hierfür steigt rapide, da im industriellen Umfeld immer mehr kompakte Geräte mit entsprechender Embedded-Software eingesetzt werden. Dazu zählen etwa Smartkameras, mobile Vision-Sensoren,

Smartphones, Tablets, Phablets und Handhelds. Solche Geräte sind mittlerweile mit leistungsfähigen, industrietauglichen CPUs ausgestattet. Verfügen sie zudem über eine robuste Machine-Vision-Software, lassen sich darauf auch anspruchsvolle Bildverarbeitungsaufgaben ausführen. Hierbei besteht eine wichtige Anforderung in der Kompatibilität der Software mit den gängigsten Embedded-Plattformen wie etwa der Arm-Prozessorarchitektur. Denn diese ist integraler Bestandteil der meisten, marktüblichen Smartphones und Tablets.

## ■ KI-Technologien punkten gegenüber regelbasierten Lösungen

Sowohl traditionelle, stationäre Machine-Vision-Lösungen als auch Embedded-Vision-Systeme verfügen heute über Technologien auf Basis künstlicher Intelligenz (KI). Zu denken ist dabei beispielsweise an Machine-Learning- und Deep-Learning-Ver-

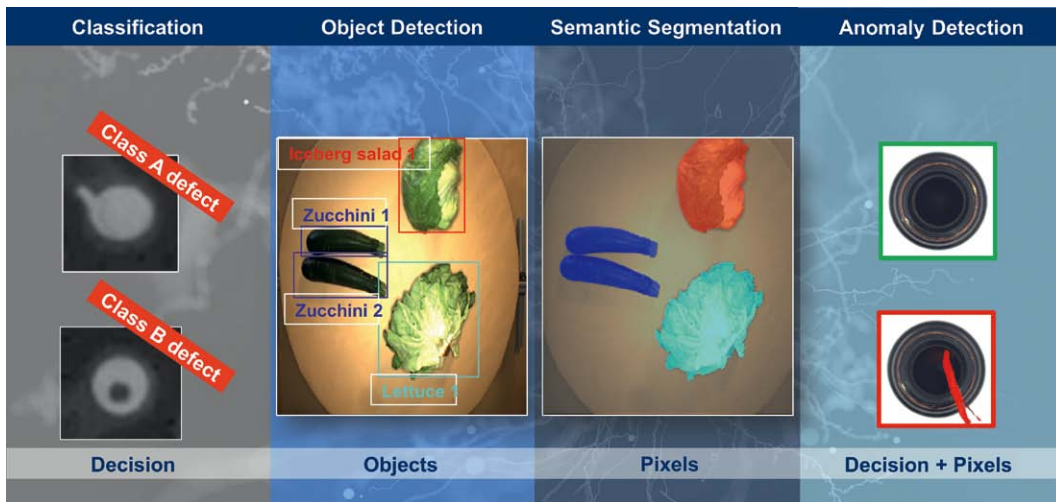


Bild 1: Deep-Learning-Algorithmen lassen sich in verschiedenen Erkennungsverfahren nutzen – wie bei der Klassifikation, Objektdetektion, semantischen Segmentierung und Anomaly Detection.

fahren, die auf neuronalen Netzen (Convolutional Neural Networks, CNNs) beruhen. Zwar können Entwickler insbesondere bei Inspektionsaufgaben anstatt auf KI auch auf regelbasierte Systeme zurückgreifen. Diese verursachen jedoch einen sehr hohen Programmieraufwand. Grund hierfür ist, dass die entscheidenden Informationen und Merkmale für die Fehlererkennung mittels Definition von Regeln manuell aus den Bilddaten extrahiert werden müssen. Hinzu kommt, dass es in der Elektronikfertigung eine unüberschaubar große Anzahl möglicher Fehler-Ausprägungen gibt, die eine regelbasierte Lösung alle abdecken müsste.

KI-Systeme mit Deep-Learning führen hier deutlich schneller zum Ziel. Sie sind in der Lage, in einem umfassenden Trainingsprozess eigenständig dazuzulernen und so die Erkennungsraten kontinuierlich zu verbessern. Im Zuge dieses iterativen Prozesses lassen sich falsche Erkennungsergebnisse durch ständiges Wiederholen gänzlich eliminieren. Dabei kann Deep Learning auch gegenüber klassischem maschinellem Lernen punkten: Bei Letzterem muss der Entwickler relevante Merkmale in aufwändiger Weise manuell definieren und verifizieren. Im Rahmen von Deep Learning hingegen profitiert er von selbstlernenden Algorithmen. Mit diesen kann er eindeutige Muster automatisiert identifizieren und extrahieren, um Objektklassen trennscharf voneinander zu unterscheiden.

### ■ Hoher Aufwand durch Labeling und Training

Anstatt also regelbasierte Lösungen oder herkömmliche Machine-Learning-Systeme zu nutzen, sind professionelle Entwickler mit selbstlernenden Deep-Learning-Technologien besser beraten. Aber auch hier erfordern der Trainingsprozess und vor allem dessen Vorbereitung einen erheblichen Aufwand. Dies beginnt mit der Erstellung, Auswahl und Sammlung einer großen Anzahl von relevanten Trainingsdaten, also Bildern, welche die zu erkennenden Defekte zeigen. Im zweiten Schritt folgt das sogenannte Labeling. Dabei werden die Bilder mit einem digitalen Etikett versehen, das die Einordnung in eine bestimmte Objekt- oder Fehlerklasse ermöglicht. Erst im Anschluss kann dann das zugrundeliegende, neuronale Netz mit den entsprechenden Bildern trainiert werden.

Um den Aufwand zu reduzieren und die auf Deep-Learning basierenden Inspektionsprozesse rentabler zu gestalten, können Unternehmen auch auf vortrainierte Netze zurückgreifen. Moderne Standardsoftwarelösungen für die industrielle Bildverarbeitung wie etwa MVTec HALCON verfügen

über entsprechende Funktionen, die das Handling stark vereinfachen und damit die Relation zwischen Aufwand und Nutzen optimieren. Die in der Software integrierten Deep-Learning-Netze wurden bereits mit Millionen von Bildern aus dem industriellen Umfeld vortrainiert. Um dabei lizenzrechtliche Probleme zu verhindern, sind sämtliche Bilder frei von Rechten Dritter. Aufgrund der intensiven Vorarbeit der Machine-Vision-Anbieter benötigen Kunden für das weitere Training nur noch wenige Bilder der eigenen Anwendung und können somit Komplexität, Aufwand sowie Kosten erheblich reduzieren.

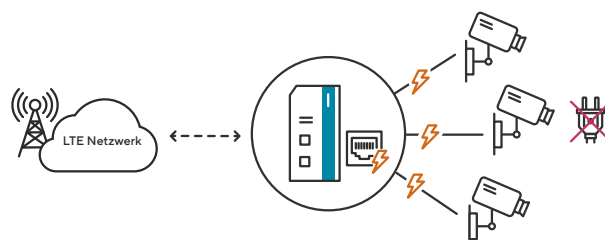
■ **Objekte innerhalb eines Bildes lokalisieren**

Ob Unternehmen nun vortrainierte Netze nutzen oder komplett selbst trainieren – beim Einsatz von Deep-Learning-Techno-

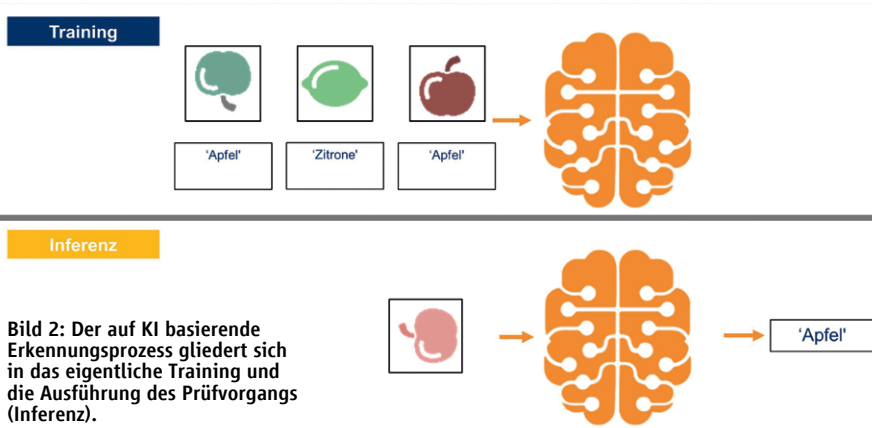
Anzeige

## Keine eigene Stromversorgung für vernetzte Endgeräte notwendig!

Unser NB1810 – Leistungstarker und modularer Mobilfunkrouter mit Power over Ethernet



**NET MODULE**  
Robust Communication



**Bild 2:** Der auf KI basierende Erkennungsprozess gliedert sich in das eigentliche Training und die Ausführung des Prüfvorgangs (Inferenz).

logien lassen sich drei spezifische Erkennungsverfahren voneinander unterscheiden (*Bild 1*): Im Rahmen der Klassifikation werden Bildinformationen dazu genutzt, um Bilder von Gegenständen oder Defekten in bestimmte Klassen einzuteilen. Bei der Objektdetektion hingegen werden die Trainingsbilder auf spezielle Art gelabelt: Hierbei fügen die Machine-Vision-Experten Rechtecke (sogenannte Bounding Boxes) ein, die in jedem einzelnen Bild die zu erkennenden Objekte einrahmen. So wird die entsprechende Objektklasse bezogen auf die jeweilige Applikation ersichtlich. Auf diese Weise können die Deep-Learning-Algorithmen die einzelnen Merkmale zu den korrespondierenden Klassen in Beziehung setzen. Dabei erfolgt das Labeling während des Trainings rein manuell. Wird das trainierte Netz im Anschluss auf neue Bilder angewendet (Inferenz), kann das CNN die entsprechenden Objekte oder Defekte innerhalb eines Bildes identifizieren und präzise lokalisieren (*Bild 2*).

Das dritte Erkennungsverfahren ist die semantische Segmentierung. Hierbei erfolgt die Klassen-Zuordnung auf Pixel-Ebene. Zunächst wird jeder Bildpunkt einer speziellen Grundklasse zugewiesen. Lassen sich einzelne Pixel in den Bildern nicht eindeutig bestimmen, werden sie einer sogenannten »Background«-Klasse zugeordnet. Da das Modell anhand einer großen Anzahl von Trainingsdaten umfassend eingelernt wird, kann für jedes Pixel in einem neuen Bild eine spezielle Klasse mit hoher Trefferquote vorausgesagt werden. So lassen sich ganze Bildregionen zielsicher klassifizieren.

### ■ **Training erfordert große Anzahl an Fehlerbildern**

Allen drei auf Deep-Learning basierenden Erkennungsmethoden ist gemein, dass sie in der Regel eine sehr große Menge an

Trainingsbildern benötigen. Damit diese eindeutig einer bestimmten Klasse zugewiesen werden können, müssen sie alle – wie oben beschrieben – gelabelt werden. Dabei sind je nach individueller Anwendung mindestens 300 Bilder erforderlich, welche die Objekte mit den zu erkennenden Fehlern in verschiedenen Ausprägungen und Erscheinungsformen zeigen. Hier kann es sich beispielsweise um Elektronik-Bauteile oder Maschinen-Komponenten handeln, die eine Delle, einen Riss oder einen Kratzer aufweisen. In der Regel steht aber im Entwicklungszyklus von Maschinen oder elektronischen Baugruppen eine solch hohe Anzahl an fehlerbehafteten Bildern (sogenannte Schlecht-Bilder) gar nicht zur Verfügung. So sind die möglichen Defekte und Fehlerquellen in ihrer konkreten Erscheinungsform im Vorfeld meist nicht bekannt. Zudem durchlaufen oft sehr viele verschiedene Produktvarianten das Entwicklungsstadium. Aufgrund ständiger Änderungen und Anpassungen am Design ist es kaum möglich, eine entsprechende Menge an konsistenten Bilddaten bereitzustellen.

Um dennoch ein umfassendes Training zu ermöglichen, müsste also eine ausreichende Anzahl an Schlecht-Bildern explizit aufgenommen und gelabelt werden. Der damit verbundene Aufwand würde hohe Kosten verursachen und ist daher für viele Unternehmen kaum rentabel. Abhilfe schafft MVTec mit einer neuen Technologie, die in der Machine-Vision-Standardsoftware HALCON enthalten ist: Das Feature »Anomaly Detection« erfordert deutlich weniger Trainingsbilder als herkömmliche Deep-Learning-Methoden. Schon mit nur 20 bis maximal 100 Bildern lassen sich passable Erkennungsraten realisieren. Damit setzt die Technologie ganz neue Maßstäbe in der KI-basierten Fehlerinspektion. Der ent-

scheidende Vorteil ist jedoch: Für das Training sind keinerlei Schlecht-Bilder mehr erforderlich. Es reichen Aufnahmen aus, die das zu prüfende Objekt in fehlerfreiem Zustand zeigen. Durch den Selbstlernereffekt erkennt das System nach dem Training unterschiedlichste Anomalien eigenständig.

### ■ **Effizienz der Fehlerinspektion erhöhen**

Entwickler profitieren dadurch in besonderer Weise: Es entfällt der Aufwand für das mühsame Erstellen und Labeln von Schlecht-Bildern, was die Effizienz des auf Deep-Learning basierenden Inspektionsprozesses entscheidend erhöht und die Kosten senkt. Zudem müssen mögliche Produktabweichungen im Vorfeld nicht mehr zwingend bekannt sein, da das System Defekte verschiedenster Ausprägung ad hoc erkennt. So wird also auch das gesamte Spektrum möglicher Fehler abgedeckt, die während des Entwicklungszyklus in dieser Form noch nicht aufgetreten sind. Solche Anomalien können sich auf unterschiedlichste Eigenschaften wie etwa Struktur oder Form des Gegenstands beziehen. Beispielsweise kann ein Hersteller während des Prüfvorgangs kleinste Sprünge, Kerben oder Verformungen an elektronischen Bauteilen präzise lokalisieren. Im Rahmen des Engineering-Prozesses kann dann die Ursache behoben werden, sodass der Fehler nicht mehr auftritt. So lässt sich im Ergebnis die Agilität des Qualitätsmanagements in der Elektronikindustrie signifikant erhöhen.

Eine Besonderheit der Anomaly-Detection-Technologie: Nach Abschluss des Trainingsprozesses wird innerhalb der Ausführung des Prüfschrittes (Inferenz) eine sogenannte »Anomaly Map« erstellt. Diese visualisiert präzise anhand eines Grauwerts spezielle Regionen, auf denen eine Anomalie sehr wahrscheinlich ist. Aufgrund der Segmentierung der Anomaly Map lassen sich pixelgenau Abweichungen aufspüren, lokalisieren und in der Größe bestimmen. Die Version MVTec HALCON 20.05 benötigte für das Training mit 20 Bildern in Testreihen nur etwa sechs Minuten. Elektronikentwickler können also dank Anomaly Detection schon mit minimalem Zeitaufwand, einer geringen Menge an Trainingsdaten und ohne zusätzliches Labeling akzeptable Prüfergebnisse erzielen. (jk)



# Besser isoliert

*Optokoppler gehörten zu den ersten halbleiterbasierten galvanischen Isolatoren, und sie haben die Branche über Jahrzehnte hinweg als exklusive Isolationstechnologie dominiert. Doch mittlerweile gibt es bessere Lösungen.*

Koteswar Rao

Applications Engineer für Isolation Products bei Texas Instruments

**E**ine galvanische Isolation dient dazu, unerwünschte Gleich- oder Wechselströme zu unterbinden oder zu verhindern, dass Ströme zwischen verschiedenen Abschnitten eines Systems fließen, während es gleichzeitig möglich sein muss, Signale und/oder Versorgungsströme zwischen diesen Systemabschnitten zu übertragen. Solche Komponenten kommen in großem Umfang in vielen Industrie- und Automobilanwendungen zum Einsatz, um Daten-, Steuerungs- oder Statussignalen zu isolieren.

Optokoppler waren zwar die ersten halbleiterbasierten Isolatoren, aber im Zuge des Fortschritts im Halbleiterbereich in den letzten Jahrzehnten gibt es inzwischen viele weitere Isolationstechnologien. Darunter fallen die kapazitive und die magnetische Isolation, die einen ähnlichen Funktionsumfang bieten wie Optokoppler, aber insgesamt leistungsfähiger sind. Unter den verschiedenen konkurrierenden Technologien zeichnet sich die auf Siliziumdioxid-Konden-

satoren ( $\text{SiO}_2$ ) basierende Isolationstechnologie von Texas Instruments (TI) durch eine große Spannungsfestigkeit, die elektrischen Kenndaten, die Schalteigenschaften und die Zuverlässigkeit aus. Im Folgenden wollen wir daher deren Performance-Parameter mit denen von einigen der üblicherweise angebotenen Optokoppler vergleichen.

Auch wenn sich kapazitive Digitalisolatoren und Optokoppler äußerlich ähneln, sind sie von ihrem inneren Aufbau und ihrem Funktionsprinzip doch sehr unterschiedlich. In Optokopplern dient eine LED zur Übertra-

gung digitaler oder analoger Informationen über die Isolationsbarriere. Diese besteht oftmals nur aus einem Luftspalt, jedoch wird in einigen Optokopplern statt Luft ein durchsichtiges Epoxidharz als Isolationsmaterial verwendet, das eine geringfügig bessere Durchschlagsfestigkeit aufweist als Luft (Bild 1a). Im Gegensatz dazu sind kapazitive Digitalisolatoren aus zwei in Serie geschalteten Isolationskondensatoren mit  $\text{SiO}_2$  als Dielektrikum zusammengesetzt (Bild 1b). Siliziumdioxid weist eine der höchsten Durchschlagsfestigkeiten aller Isolierwerkstoffe auf und besitzt eine deutlich höhere Festigkeit als die Dielektrika, die bei konkurrierenden Isolationstechnologien zum Einsatz kommen (Tabelle 1).

Da die Durchschlagsfestigkeit von Luft und Epoxidharz also sehr gering ist, wird für die Isolationsstrecke recht viel Platz benötigt. Dies begrenzt zwangsläufig auch die Zahl der Kanäle, die sich in einem Optokoppler maximal unterbringen lassen. Bei Digitalisolatoren kommt dagegen  $\text{SiO}_2$  als Isolationswerkstoff zur Anwendung, das wegen der deutlich höheren Durchschlagsfestigkeit erheblich weniger Platz für die Isolationsstrecke erfordert. Dadurch lassen

Werkstoff	Durchschlagsfestigkeit
Luft	~1 V/ $\mu\text{m}$
Epoxidharze	~20 V/ $\mu\text{m}$
Silica-gefüllte Gehäusematerialien	~100 V/ $\mu\text{m}$
Polyimid	~300 V/ $\mu\text{m}$
$\text{SiO}_2$	~500 V/ $\mu\text{m}$

Tabelle 1: Durchschlagsfestigkeit verschiedener Isolationswerkstoffe.

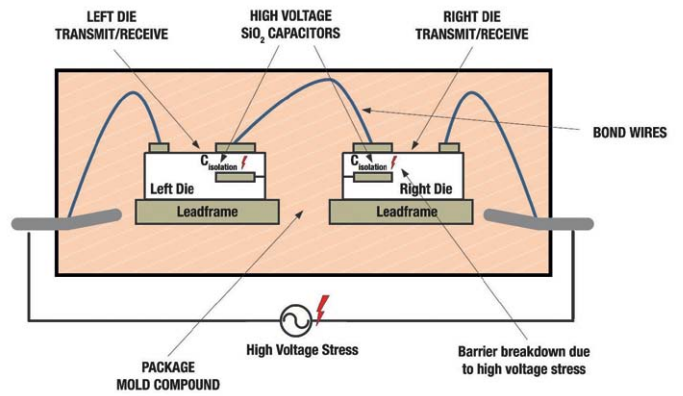
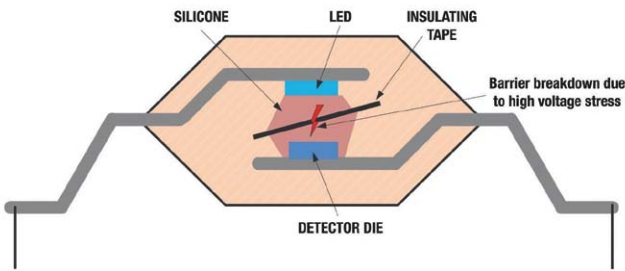


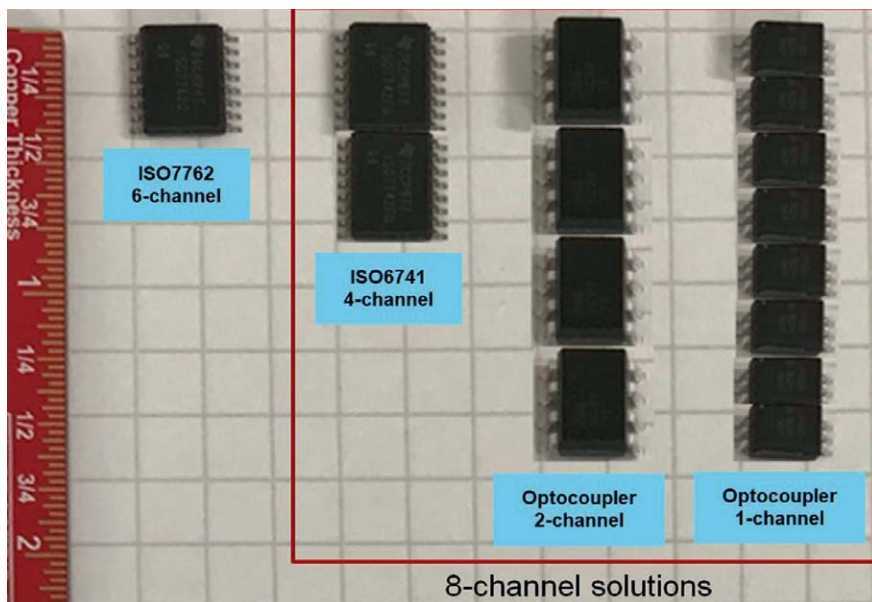
Bild 1: Aufbau eines typischen Optokopplers (links) und eines Digitalisolators von Texas Instruments (rechts).

sich mehrere Kanäle in einem kleinen Gehäuse unterzubringen. Typische Einkanal-Optokoppler werden normalerweise in 3,7 mm × 4,55 mm großen Gehäusen angeboten, während der ISO7762, ein

moderner Digitalisolator von TI, in einem 4 mm × 5 mm messenden SSOP-Gehäuse sechs Hochleistungs-Kanäle bereithält.

Bild 2 vergleicht den Platzbedarf von acht einkanaligen Optokopplern und vier

zweikanaligen Optokopplern mit zwei Digitalisolatoren des Typs ISO6741 zur Realisierung einer achtkanaligen Lösung. Dargestellt ist außerdem der sechskanalige Digitalisolator ISO7762, der es mit seinem Wide-Body-SOIC16-Gehäuse auf die höchste Kanaldichte bringt.



### Schalteigenschaften

Damit die galvanisch isolierten Signale zeitgerecht verarbeitet werden können, kommt es entscheidend darauf an, dass der Isolator optimale Schalteigenschaften aufweist. Dies minimiert seine Auswirkungen auf die Timing-Performance des Gesamtsystems.

Bei Universaloptokopplern finden sich im Datenblatt normalerweise keine Angaben über die unterstützte Datenrate. Dadurch lässt sich schwierig beurteilen, ob

Bild 2: Gegenüberstellung des Platzbedarfs von Optokopplern und den Digitalisolatoren der Typen ISO6741 und ISO7762 von Texas Instruments.

Baustein	Universal-Optokoppler		ISO7741	ISO6741
Parameter	$R_L = 100 \Omega$	$R_L = 1,9 \text{ k}\Omega$	$V_{CC} = 5 \text{ V}$	$V_{CC} = 5 \text{ V}$
Eingangs-Vorwärtsstrom ICC1 pro Kanal (typ., mA)	2,0	16,0	2,2	1,8
On-State-Kollektorstrom ICC2 pro Kanal (typ., mA)	50,0	2,6	4,5	3,2
Anstiegszeit, $t_r$ (typ., $\mu\text{s}$ )	2,0	0,8*	0,002	0,005
Abfallzeit, $t_f$ (typ., $\mu\text{s}$ )	3,0	35,0*	0,002	0,005
Einschaltzeit / Signallaufzeit, $t_{pHL}$ (typ., $\mu\text{s}$ )	3,0	0,5	0,011	0,011
Abschaltzeit / Signallaufzeit, $t_{pLH}$ (typ., $\mu\text{s}$ )	3,0	40,0	0,011	0,011
Signallaufzeit-Versatz, $t_{sk}$ (max., ns)	-	-	0,004	0,006
Max. asynchrone Datenrate ( $(T = \max(t_r, t_f) \times 2/0,6 + t_{sk})$ , typ., Mb/s)	0,1	0,008	80,6	47,6
Max. synchrone Datenrate ( $(T = \max(t_{pHL}, t_{pLH}) \times 4)$ , typ., Mb/s)	0,028	0,006	23,4	22,7

Tabelle 2: Timing-Spezifikationen eines Universal-Optokopplers und von TI-Digitalisolatoren (\* Schätzwerte).

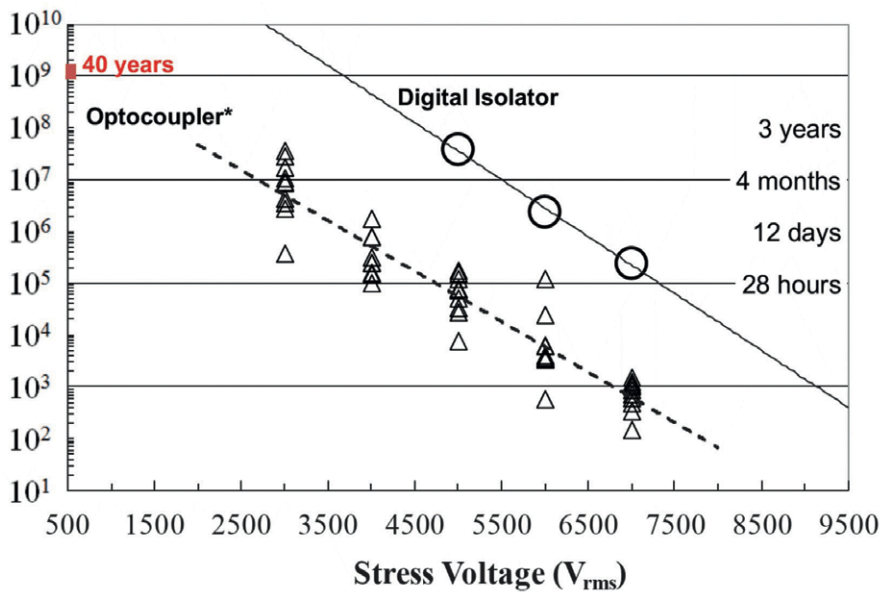


Bild 3: Lebensdauer von Optokoppler und TI-Digitalisolator (in Sekunden) in Abhängigkeit von der Spannungsbelastung.

sie für eine bestimmte Anwendung geeignet sind. Die meisten dieser Optokoppler besitzen außerdem einen offenen Kollektorausgang, weshalb sie nur für einige wenige ausgewählte Werte für Pull-up- und Lastwiderstände charakterisiert sind. Im Fall des *ISO6741* dagegen ist die maximal unterstützte Datenrate im Datenblatt klar mit 50 Mb/s angegeben, sodass Entwickler eindeutig bestimmen können, ob er für einen bestimmten Anwendungsfall tauglich ist. Anders als Optokoppler benötigen Digitalisolatoren für den Betrieb keine externen Pull-up-Widerstände, und außerdem beeinflussen externe Bauelemente die maximale Datenrate nicht sehr stark.

In *Tabelle 2* werden die Timing-Spezifikationen eines Universal-Optokopplers mit jenen zweier Digitalisolatoren von TI verglichen. Enthalten sind außerdem Schätz-

werte für die asynchronen und synchronen Datenraten, die sich mit den im Datenblatt angegebenen Timing-Spezifikationen erreichen lassen. Es ist klar ersichtlich, dass die mit einem Universal-Optokoppler erzielbare Datenrate deutlich geringer ist als jene, die mit Digitalisolatoren möglich ist. Es ist außerdem wichtig darauf hinzuweisen, dass wegen der Pull-up-Widerstände  $R_L$  (100  $\Omega$  bzw. 1,9 k $\Omega$ ) die Optokoppler wesentlich mehr Strom aufnehmen als Digitalisolatoren. Dies macht Optokoppler für viele Anwendungen ungeeignet.

High-Speed-Optokoppler weisen bessere Schalteigenschaften auf als Universal-Optokoppler. *Tabelle 3* vergleicht einen typischen High-Speed-Optokoppler mit TI-Digitalisolatoren, wobei die asynchronen und synchronen Datenraten der Bausteine anhand der Timing-Spezifikationen

in den jeweiligen Datenblättern geschätzt wurden. Wie der Tabelle zu entnehmen ist, unterstützen Digitalisolatoren aber deutlich höhere Datenraten als der High-Speed-Optokoppler.

## Lebensdauer und Zuverlässigkeit

Der TDDB-Test (Time Dependent Dielectric Breakdown) ist eine als Industriestandard etablierte beschleunigte Belastungsprüfung, mit der sich die Lebensdauer eines Dielektrikums als Funktion der Spannung ermitteln lässt. Der Test besteht darin, dass an die Isolationsbarriere verschiedene Spannungen gelegt werden, die deutlich höher sind als die typischen Arbeitsspannungen. Dabei wird beobachtet, nach welcher Zeit ein Durchschlag im Dielektrikum auftritt. Die entsprechenden Spannungs-Zeit-Koordinaten trägt man in ein geeignetes Diagramm ein und extrapoliert auf niedrigere Belastungsspannungen, um die zu erwartenden Dielektrikum-Lebensdauern für die jeweiligen Arbeitsspannungen zu ermitteln.

In *Bild 3* sind die TDDB-Diagramme eines TI-Digitalisolators und eines populären Optokopplers dargestellt. Wie man sieht, ist die durchschnittliche TDDB-Gerade eines Optokopplers um etwa zwei Dekaden (d. h. um den Faktor 100) niedriger angesiedelt als die des Digitalisolators. Der Hauptgrund für diesen großen Unterschied bei den TDDB-Lebensdauern ist die große Differenz der Durchschlagsfestigkeit der jeweils verwendeten Isolationswerkstoffe (siehe hierzu *Tabelle 1*). Ebenso ist zu sehen, dass die Lebensdauer eines Optokopplers bei einer bestimmten Spannungsbelas-

Baustein	Universal-Optokoppler		ISO7741	ISO6741
Parameter	$I_f = 14 \text{ mA}$	$I_f = 6 \text{ mA}$	VCC = 5 V	VCC = 5 V
Eingangs-Vorwärtsstrom ICC1 pro Kanal (typ., mA)	14,0	6,0	2,2	1,8
Anstiegszeit, $t_r$ (typ., ns)	15,0	15,0	2,4	4,5
Abfallzeit, $t_f$ (typ., ns)	15,0	15,0	2,4	4,5
Einschaltzeit / Signallaufzeit, $t_{pHL}$ (typ., ns)	33,0	40,0	10,7	11
Abschaltzeit / Signallaufzeit, $t_{pLH}$ (typ., ns)	27,0	30,0	10,7	11
Signallaufzeit-Versatz, $t_{sk}$ (max., ns)	30,0	30,0	4,4	6
Max. asynchrone Datenrate ( $T = \max(t_r, t_f) \times 2/0,6 + t_{sk}$ , typ., Mb/s)	12,5	12,5	80,6	47,6
Max. synchrone Datenrate ( $T = \max(t_{pHL}, t_{pLH}) \times 4$ , typ., Mb/s)	7,6	6,3	23,4	22,7

Tabelle 3: Timing-Spezifikationen eines High-Speed-Optokopplers und von TI-Digitalisolatoren.

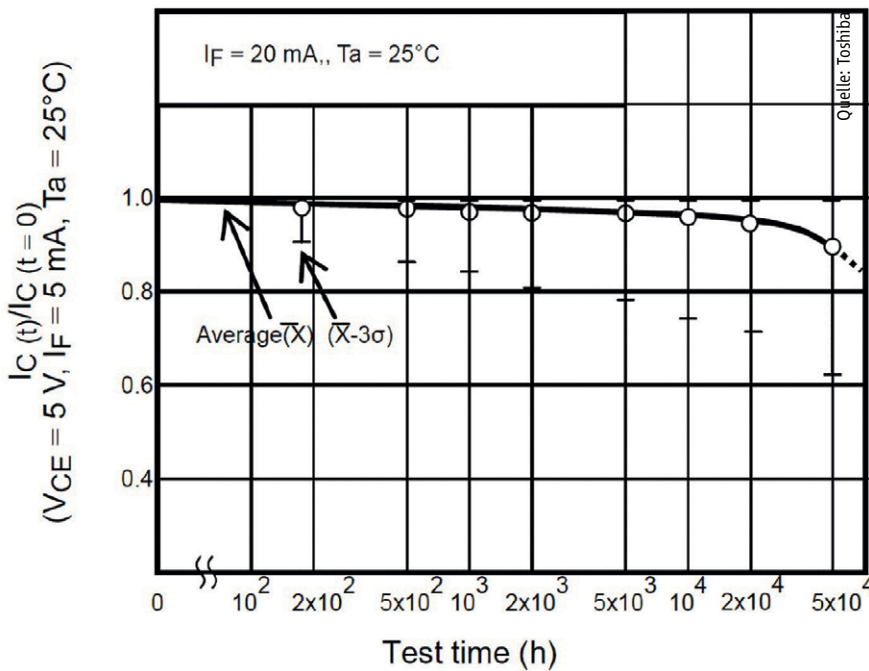


Bild 4: Normalisierter CTR-Wert als Funktion der Prüfdauer [2].

Die Alterung einer erheblichen Exemplarstreuung unterliegt, während die Werte verschiedener Exemplare des Digitalisolators sehr gut übereinstimmen.

Es ist ein allgemein bekanntes Phänomen, dass eine LED mit der Zeit immer weniger Licht abstrahlt. Diese Tatsache wirkt sich auf viele Parameter von Optokopplern aus, von denen die meisten nicht einmal im Datenblatt erwähnt werden. Das Gleichstrom-Übertragungsverhältnis (Current Transfer Ratio, CTR) ist einer der Kennwerte, an denen die Alterung klar abgelesen werden kann. Bild 4 zeigt den CTR-Wert als Funktion der Testdauer [2].

Ab einem bestimmten Zeitpunkt während der Lebensdauer eines Optokopplers fällt der CTR-Wert so weit ab, dass der Baustein nicht mehr ordnungsgemäß funktioniert. Das Resultat ist eine eingeschränkte Zuverlässigkeit (hohe FIT-Rate und niedriger MTBF-Wert). Die Isolations- und Steuerungsschaltungen von Digitalisolatoren sind dagegen sehr gut abgeglichen, sodass ihre Performance über ihre Lebensdauer hinweg nur minimal schwankt. Hinzu kommt, dass die Alterung bereits in den im Datenblatt angegebenen Minimal- und Maximal-Spezifikationen berücksichtigt ist. Der überaus gut kontrollierte Fertigungsprozess von Digitalisolatoren sorgt ferner für ein sehr hohes Zuverlässigkeitsniveau (geringe FIT-Rate und hoher MTBF-Wert).

### ■ Störfestigkeit

In vielen Anwendungen, zu denen auch Fotovoltaik-Wechselrichter gehören, werden sehr hohe Spannungen geschaltet, was sehr starke Gleichtaktstörungen zur Folge hat. In anderen Anwendungen wiederum (Antriebe) sorgen induktive Lasten für starke Oszillationen. Wenn diese Störungen an den Isolator gelangen, können sie in die internen Schaltungen eines Bauteils einkoppeln und dessen regulären Betrieb beeinträchtigen.

Eine Möglichkeit, um dies zu unterbinden, ist die Implementierung eines differenziellen Designs mit hoher Gleichtaktunterdrückung. Das massebezogene Design eines Optokopplerkanals und die fehlende Gleichtaktunterdrückung machen den Empfänger eines solchen Bauteils jedoch anfällig für solche Störungen.

Selbst mit eingebauter Faraday-Abschirmung erreicht ein typischer High-Speed-Optokoppler einen CMTI-Wert (Common-Mode Transient Immunity) von nur ±20 kV/μs. Der Digitalisolator ISO6741 dagegen verfügt über einen differenziellen Isolationskanal und enthält einen Empfänger mit recht hoher Gleichtaktunterdrückung, sodass der CMTI-Wert hier mindestens ±50 kV/μs beträgt.

Alle Optokopplereingänge werden mit Strömen angesteuert und erfordern einen stetigen Bias-Strom von mehr als 2 mA, um zu funktionieren. Viele Optokoppler benötigen unter Umständen sogar einen Eingangsstrom von mehr als 10 mA, um

REFERENZEN	
[1]	White Paper, Calculate Reliable LED Lifetime Performance in Optocouplers, Broadcom, Januar 2018, <a href="https://tinyurl.com/yyrwtzur">https://tinyurl.com/yyrwtzur</a>
[2]	Application Note, Basic Characteristics and Application Circuit Design of Transistor Couplers, Toshiba, Februar 2018, <a href="https://tinyurl.com/y6bs76se">https://tinyurl.com/y6bs76se</a>
[3]	ISO6741 General-Purpose, Quad-Channel Digital Isolator with Robust EMC, Texas Instruments, <a href="https://tinyurl.com/yyse8no2">https://tinyurl.com/yyse8no2</a>
[4]	ISO7741 High-Speed, Robust-EMC Reinforced and Basic Quad-Channel Digital Isolator, Texas Instruments, <a href="https://tinyurl.com/yxawb78x">https://tinyurl.com/yxawb78x</a>
[5]	ISO7762 High-Speed, Robust EMC Reinforced Six-Channel Digital Isolator, Texas Instruments, <a href="https://tinyurl.com/yygd8nof">https://tinyurl.com/yygd8nof</a>

die von der Anwendung geforderte Mindestperformance zu erreichen. Sie sind damit weniger gut für die direkte Ansteuerung durch TTL- oder CMOS-Ausgänge geeignet, sodass hier möglicherweise zusätzlich ein Puffer nötig ist.

Außerdem eignen sich Optokoppler nicht für den Einsatz in Verbindung mit digitalen Low-Voltage-Schaltungen mit unter 3,3 V, da sich die Leistungsfähigkeit eines Optokopplers drastisch verändern kann, wenn die Eingangsspannung auch nur geringfügig schwankt. Die hochohmigen CMOS-Eingänge von Digitalisolatoren wie dem ISO6741 werden dagegen mit Spannungen angesteuert. Sie nehmen dabei nur einen Dauerstrom von höchstens ±10 μA auf und können somit ohne externen Puffer direkt von beliebigen TTL- oder CMOS-Ausgängen angesteuert werden. Sie lassen sich damit unmittelbar an die meisten anderen digitalen Bauelemente wie etwa Mikrocontroller, A-D-Wandler usw. anschließen.

Digitalisolatoren eignen sich ferner für einen weiten Bereich von Versorgungs- und Logikspannungen und lassen sich auch mit 1,8 V betreiben. Geringfügige Schwankungen der Versorgungs- oder Logikspannung beeinflussen die Ausgangsspannung nicht. Die Eingangskapazität von Digitalisolatoren (ca. 1,3 pF im Fall des ISO6741) ist verglichen mit der eines Optokopplers (ca. 50 pF bei einem typischen High-Speed-Optokoppler) ebenfalls sehr gering, weshalb Digitalisolatoren deutlich schneller und einfacher schalten als Optokoppler. (rh)



## Sicherheitsfunktionen einfach integrieren



Arrow Electronics bietet Security Starter Kits an, die verschiedenen Wireless-Lösungen und Single-Board-Computer in die Sicherheitslösungen *Optiga TPM2.0* und *Optiga Trust M* von Infineon zu integrieren. Die Kits sollen eine unkomplizierte Sicherheitsimplementierung mit Root-of-Trust-Funktionen ermöglichen. Die Verbindung mit Cloud-Diensten wird durch die Integration von *AWS IoT Greengrass* und *AWS IoT Core* vereinfacht. Die Starter Kits umfassen energieeffiziente, drahtlose Evaluation-Kits, etwa *Giant Gecko11* von Silicon Labs und *LTE Cat M* sowie das Evaluation-Kit *STM32WB55 BLE Nucleo Pack* von STMicroelectronics. Zudem enthalten sind zwei 96-board-kompatible SBCs, basierend auf den Prozessoren *STM32MP157* und *NXP i.MX 8X*.

**Arrow**  
[www.arrow.com](http://www.arrow.com)

## Schutz vor gefälschten Komponenten



Zum Schutz vor Fälschungen hat Infineon seine Sicherheitslösung *Optiga Authenticate IDoT* auf den Markt gebracht. Mit einem erweiterten Temperaturbereich von  $-40\text{ °C}$  bis  $+120\text{ °C}$  eignet sie sich für industrielle Anwendungen. *OPTIGA Authenticate IDoT* ist im robusten TSNP-SMD-Gehäuse mit Abmessungen von  $1,5\text{ mm} \times 1,5\text{ mm} \times 0,38\text{ mm}$  untergebracht. Die Lösung unterstützt vier ECC-Authentifizierungsmodi: One-way, Mutual, Host-Bindung und Host-Unterstützung. Zudem lässt sich aus drei Temperaturbereichen, zwei Kommunikationsprofilen, drei Speichersätzen und vier integrierten gesi-

cherten Dekrementalzählern mit gesichertem Lifecycle-Management, kondensatorfreier LDO und robustem ESD-Schutz auswählen.

**Infineon**  
[www.infineon.com](http://www.infineon.com)

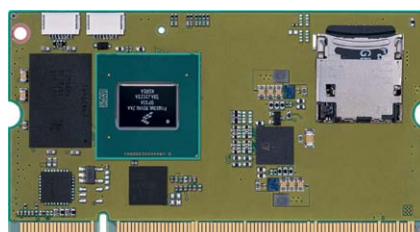
## Embedded-Technik fürs IoT

Der Box-PC *EPC-R3720* von Advantech ist ein stromsparender Edge-All-in-One KI-Box-PC für KI-Inferenz-Anwendungen. Er ist mit einem Beschleuniger für neuronale Netze bis zu 2,3 TOPS, HDR-fähigem ISP mit 375 MPixel/s und vielen Schnittstellen für die Automatisierungstechnik ausgestattet. Zu den lüfterlosen Embedded-PCs, die sich für Automatisierung sowie IoT-Plattformen eignen, zählt die Serie *ARK-3000* mit Intel-Core-i- und Xeon-Prozessoren, die im erweiterten Temperaturbereich zum Einsatz kommen kann. Das Computer-on-Module *SOM-2532* unterstützt iManager und WISE-DeviceOn und ist für industrielle AIoT- und Transportanwendungen ausgelegt.

**Advantech**  
[www.advantech.eu](http://www.advantech.eu)

## Rechenoperationen auf KI-Niveau

Das System on Module (SOM) *Trizeps VIII Plus* von Keith & Koep mit dem NXP-SoC *i.MX 8M Plus* besitzt verschiedene Prozessor-Einheiten, die vielerlei Rechenoperationen abwickeln können. Für klassische Embedded-Funktionen deckt das SOM ein breites Spektrum an Einsatzszenarien ab. So finden die Dual-Gigabit-Ethernet- und Dual-CAN-FD-Schnittstellen z. B. Anwendung in der industriellen Automation. Durch den 800-MHz-Arm-Cortex-M7-Co-Prozessor eignet es sich auch für den Einsatz in Low-Power- und Echtzeit-Anwendungen. Als High-Speed-Schnittstellen stehen USB 3.0 und PCIe zur



Verfügung. Die integrierte Neuronal Processing Unit (NPU) des *Trizeps VIII Plus* ermöglicht auch Rechenoperationen für KI.

**Keith & Koep**  
[www.garz-fricke.com](http://www.garz-fricke.com)

## Solar-Harvester im Mini-Format



Indem der Ein-/Multizellen-Solar-Harvester *MAX20361* von Maxim das Aufladen durch Solarenergie in platzbeschränkten Wearables und IoT-Geräten ermöglicht, kann er die Laufzeit dieser Geräte durch die Bereitstellung einer zusätzlichen Stromquelle verlängern. Dieser Solar-Harvester erhöht laut Anbieter die aufgenommene Energie mit einem sehr guten Boost-Wirkungsgrad, gekoppelt mit einem adaptiven MPPT-Ansatz, der den Gesamtwirkungsgrad auf Systemebene noch weiter verbessern kann.

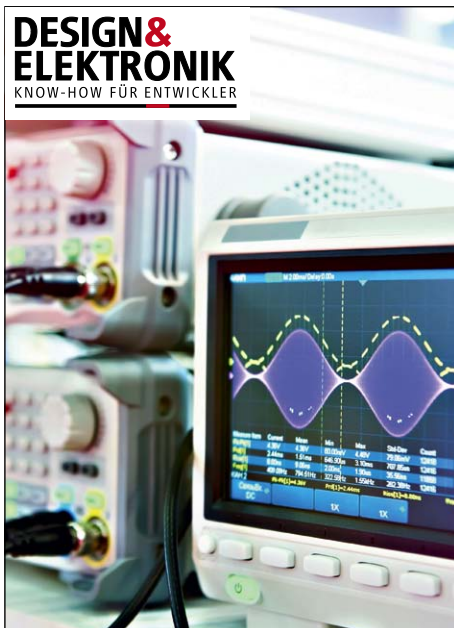
**Maxim**  
[www.maximintegrated.com](http://www.maximintegrated.com)



## KI-fähige App erkennt Fehler

Die App *Diana* von Synostik ermöglicht die mobile Diagnose und Behebung von Fehlerursachen in Maschinenparks und IoT-Systemen. Mittels eines KI-gestützten Chatbots werden Symptome im Dialog mit dem Anwender ausgewertet. Fehlerursachen lassen sich identifizieren und im Ausschlussverfahren weiter eingrenzen. Eine Schritt-für-Schritt-Anleitung hilft bei der Behebung des Fehlers. Ausgangspunkt der intelligenten Instandhaltung mit der App ist das Monitoring von vordefinierten Messwerten und weiteren Indizien.

**Synostik**  
[www.synostik.de](http://www.synostik.de)



#### AUSGABE 03/2021

Erscheinungstermin: 20.04.21

Anzeigenschluss: 22.03.21

- > **Smart Mobility**  
Bahntechnik, Stromversorgung, Displays, Safety
- > **Messtechnik & Sensorik**  
Messwerterfassung, Laborausüstung, Oszilloskope, Multimeter, Sensoren, Sensor-ICs
- > **Leistungselektronik**  
IGBTs, MOSFETs, Power Module

# Vorschau

#### AUSGABE 04/2021

Erscheinungstermin: 20.05.21

Anzeigenschluss: 22.04.21

- > **Embedded-Computing**  
Künstliche Intelligenz, Industriecomputer, Embedded-Hardware, Embedded-Software, Entwicklungs- und Testwerkzeuge
- > **Lifecycle Management**  
Design-to-Manufacture, Fertigungsgerechtes Design, Obsoleszenz, Supply Chain
- > **Safety & Security**  
Safety-Steuerungen, Internet of Things, Critical Applications, Virtualisierung

## Ihr Thema ist unser Thema!

Wenn Sie zu einer dieser beiden Ausgaben einen Beitrag schreiben oder eine Anzeige platzieren wollen, rufen Sie uns an!

#### Redaktion:

**089/255 56-1345**

**redaktion@design-elektronik.de**

#### Anzeigen:

**089/255 56-1376**

**media@design-elektronik.de**

## Inserentenverzeichnis

CTX Thermal Solutions GmbH	19	JAUCH QUARTZ GmbH	9
Digi-Key Electronics	1	NetModule AG	43
Digi-Key Electronics	2	Rutronik Elektronische Bauelemente GmbH	5
Finepower GmbH	29	Georg Schlegel GmbH & Co.KG	23
Fischer Elektronik GmbH & Co. KG	3	Schukat electronic Vertriebs GmbH	39
GUDECO-Elektronik Handelsgesellschaft mbH	17	Traco Electronic AG	33
inprotron Schaltnetzteile GmbH	27	WEKA FACHMEDIEN GmbH	24, 36, 52
		WIBU-SYSTEMS AG	31

# Impressum

## Redaktion:

Director Content Electronics: Dr. Ingo Kuss  
Chefredakteur: Dipl.-Ing. Joachim Kroll, verantwortlich für den redaktionellen Teil  
Redaktionsteam: Heinz Arnold, Editor-at-Large (ha/1253), Stefanie Eckardt, Ltd. Red. (eck/1342), Melanie Erhardt (me/1346), Markus Haller (mha/1371), Ralf Higgele (rh/1341), Engelbert Hopf, Chefreporter (eg/1320), Ute Häußler (uh/1369), Irina Hübner (ih/1339), Andreas Knoll, Ltd. Red. (ak/1319), Corinna Puhlmann-Hespen (cp/1316), Corinne Schindlbeck, Ltd. Red. (sc/1311), Tobias Schlichtmeier (ts/1368), Harry Schubert (hs/1338), Iris Stroh, Ltd. Red. (st/1326), Kathrin Veigel (kv/1746), Nicole Wörner (nw/1325), Karin Zühlke, Ltd. Red. (zü/1329)  
Ressortverteilung siehe <https://www.elektroniknet.de/electronics-redaktion>

**Teamassistentz:** Michaela Stolka (ms/1376), [mstolka@weka-fachmedien.de](mailto:mstolka@weka-fachmedien.de)

**Layout:** JournalMedia, Haar

**Chef vom Dienst:** Dipl.-Volkswirt Hartmut Dernerde (\_der/1080)

## Manuskripteinsendungen:

Manuskripte werden von der Redaktion gerne angenommen. Sie müssen frei sein von Rechten Dritter. Sollten sie auch an anderer Stelle zur Veröffentlichung oder gewerblichen Nutzung angeboten worden sein, so muss das angegeben werden. Mit der Einsendung gibt der Verfasser die Zustimmung zum Abdruck in den von der WEKA FACHMEDIEN GmbH herausgegebenen Publikationen. Manuskripte werden von der Redaktion überarbeitet und eventuell gekürzt. Honorare nach Vereinbarung. Für unverlangt eingesandte Manuskripte wird keine Haftung übernommen.

## Urheberrecht:

Alle in DESIGN&ELEKTRONIK erschienenen Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch Übersetzungen, vorbehalten. Reproduktionen, gleich welcher Art, ob Fotokopie, Mikrofilm oder Erfassung in Datenverarbeitungsanlagen, nur mit schriftlicher Genehmigung des Verlages. Aus der Veröffentlichung kann nicht geschlossen werden, dass die beschriebene Lösung oder verwendete Bezeichnung frei von gewerblichen Schutzrechten sind.

**Datenschutzbeauftragter:** Dr. Jürgen Rotter; E-Mail: [datenschutz@wekanet.de](mailto:datenschutz@wekanet.de)

## Bestell- und Abonnement-Service:

WEKA Fachmedien GmbH, c/o Zenit Pressevertrieb GmbH  
Postfach 810640, 70523 Stuttgart  
Telefon: 0711/72 52 210, Fax: 0711/72 52 333, E-Mail: [abo@weka-fachmedien.de](mailto:abo@weka-fachmedien.de)

## Erscheinungsweise: 9 Ausgaben

Jahresabonnement Print Inland	68,40 €, davon 36,55 € Heft, 31,85 € Versand
Jahresabonnement Print Ausland	79,45 €, davon 36,55 € Heft, 42,90 € Versand inkl. der aktuellen MwSt.
Einzelausgabe Print	7,50 €, inkl. der aktuellen MwSt., zzgl. 3,00 € Versandkosten (Inland/Ausland) 24,99 €, inkl. der aktuellen MwSt., ohne Versandkosten
Jahresbezug digitales E-Paper	2,99 €, inkl. der aktuellen MwSt., ohne Versandkosten
Einzelausgabe digitales E-Paper	2,99 €, inkl. der aktuellen MwSt., ohne Versandkosten

[shop.weka-fachmedien.de](http://shop.weka-fachmedien.de)

**Leitung Herstellung:** Marion Stephan (1442)

**Sonderdruck-Dienst:** Deniz Schams (1441)

**Druck:** L. N. Schaffrath, Marktweg 42-50, 47608 Geldern

**Director New Business:** Marc Adelberg (1572)

**Sales Director:** Christian Stadler (1375)

**Mediaberatung:** Petra Beck (1378), Burkhard Bock (1305), Tanja Lewin (1386), Konrad Nadler (1382), Martina Niekrawietz (1309)

**Assistenz:** Michaela Stolka (1376)

**Anzeigenverwaltung und Disposition:** Teresa Manuri (1482)

## International Account Manager:

Martina Niekrawietz (1309), Konrad Nadler (1382)

## Auslandsrepräsentanten:

**China:** Worldwide Focus Media Co., Ltd., Judy Wang, Unit 17, 9/F Tower A, New Mandarin Plaza, No.14 Science Museum Road, Tsimshatsui, Kowloon, Hongkong  
Tel.: +00852-30780826,

E-Mail: [judywang2000@vip.126.com](mailto:judywang2000@vip.126.com)

**USA:** E&Tech Media, llc, Véronique Lamarque, 80 Kenrick Street, Brighton,

MA 02135, USA, Tel.: +1-860-536-6677,

E-Mail: [veronique.lamarque@gmail.com](mailto:veronique.lamarque@gmail.com)

**Anzeigenpreise:** Es gilt die Preisliste Nr. 36 vom 1.12.2020

**Vertriebsleitung:** Marc Schneider (1509), E-Mail: [mschneider@weka-fachmedien.de](mailto:mschneider@weka-fachmedien.de)

## Haftung:

Für den Fall, dass in DESIGN&ELEKTRONIK unzutreffende Informationen oder in veröffentlichten Programmen oder Schaltungen Fehler enthalten sein sollten, kommt eine Haftung nur bei grober Fahrlässigkeit des Verlages oder seiner Mitarbeiter in Betracht.

## Anschrift des Verlages:

WEKA Fachmedien GmbH  
Richard-Reitzner-Allee 2, 85540 Haar  
Tel.: 089/255 56-1000, Fax: 089/255 56-1199  
[www.weka-fachmedien.de](http://www.weka-fachmedien.de)

## Geschäftsführer:

Alleinige Gesellschafterin der WEKA Fachmedien GmbH ist die WEKA Group GmbH, Kissing

## Telefondurchwahl im Verlag:

Wählen Sie direkt: Per Durchwahl können Sie alle Abteilungen direkt erreichen. Sie wählen 089/255 56- und dann die Nummer, die in Klammern hinter dem jeweiligen Namen steht.

*Diese Zeitschrift ist auf chlorfrei gebleichtem Papier mit einem Altpapieranteil von 100 % gedruckt. Die Druckfarben sind schwermetallfrei.*

*Mitglied der Informationsgemeinschaft zur Feststellung der Verbreitung von Werbeträgern e. V. (IVW), Bad Godesberg.*



LA ELFA 12/13  
LEHRANSTALT ELEKTRONIK FACHMEDIEN



Redaktion: Telefon 089/255 56-1376, Fax 089/255 56-1654  
[redaktion@design-elektronik.de](mailto:redaktion@design-elektronik.de)



Mediaberatung: Telefon 089/255 56-1376, Fax 089/255 56-1651  
[media@design-elektronik.de](mailto:media@design-elektronik.de)

## Abonnementbestellung

Bitte ausschneiden und einsenden an:

WEKA FACHMEDIEN GmbH, c/o Zenit Pressevertrieb GmbH, Postfach 810640, 70523 Stuttgart  
Tel. 0711/72 52 210  
Oder per Fax an: 0711/72 52 333

Ich bestelle DESIGN&ELEKTRONIK mit 13 Ausgaben jährlich zum Preis von zurzeit 68,40 Euro inkl. 7% MwSt. im Inland.  
Auslandspreis 78,- Euro. Ich kann jederzeit kündigen. Geld für bezahlte aber noch nicht gelieferte Ausgaben erhalte ich zurück.

Ich bin damit einverstanden,  
dass die zu entrichtenden Abonentengebühren

vierteljährlich  halbjährlich  jährlich

von meinem Konto abgebucht werden.

IBAN  BIC   
Kreditinstitut

Datum, Unterschrift

Firma

Name

Vorname

Abteilung

Beruf

Straße, Nr.

PLZ, Ort

Telefon\*

Fax\*

E-Mail\*

Ein gesetzliches Widerrufsrecht besteht nicht (§§ 505, 491 Abs. 2 Nr. 1 BGB).  
WEKA FACHMEDIEN GmbH, Richard-Reitzner-Allee 2, 85540 Haar, HRB 119806 Amtsgericht München

Hinweis: Ihre Daten werden von uns zur Durchführung des Vertrages und für Direktmarketingzwecke verarbeitet und genutzt.

\*Mit dem Ausfüllen stimme ich dem Erhalt von Serviceangeboten zu. Die Zustimmung kann jederzeit durch Löschung der Kommunikationsdaten widerrufen werden. (Diese Angaben sind freiwillig.)



# HÖCHSTE WOLKEN

Die seltenen nachleuchtenden Wolken bilden sich in Höhen von etwa 80 km. Zu sehen sind sie nach Sonnenuntergang, wenn sie aufgrund ihrer großen Höhe von den Sonnenstrahlen beleuchtet werden.



# HÖCHSTER ANSPRUCH AN DIE TECHNISCHE BERICHTERSTATTUNG

## DIE THEMEN:

### Embedded Computing:

Künstliche Intelligenz, Industriecomputer, Embedded Hardware, Embedded Software Entwicklungs- und Testwerkzeuge

### Lifecycle Management:

Design-to-manufacture/Fertigungsgerechtes Design, Obsoleszenz, Supply Chain

### Safety & Security:

Safety-Steuerungen, Internet of Things, Critical Applications, Virtualisierung



## JETZT PLATZIERUNG SICHERN!

### DESIGN&ELEKTRONIK Ausgabe 04/2021

Erscheinungstermin:

20. Mai 2021

Anzeigenschluss:

22. April 2021

Druckunterlagenschluss:

30. April 2021

Jetzt auch als **e-Paper** erhältlich!  
[www.design-elektronik.de](http://www.design-elektronik.de)

**Kontakt:** Mediaberatung DESIGN&ELEKTRONIK · Telefon +49 89 25556-1376 · [media@design-elektronik.de](mailto:media@design-elektronik.de)

Bild: Juhani Vitanen / i23RF - <https://www.guinnessworldrecords.de/search/applicationrecords?term=highest+clouds>