

## AB IN DIE ZUKUNFT DER ELEKTROMOBILITÄT

IN DIESEN TECHNOLOGIEN STECKT POTENZIAL

TITELBILD-SPONSOR: ISTOCK, ARTHOBBIT

### ELEKTRONIKGRUNDLAGEN

Elektrochemische Sensoren:  
Aufbau und Funktionsweise s. 34

### EINGebaUTE SICHERHEIT

Mit modularer Elektronik zu  
mehr Functional Safety s. 52

### SPEZIAL: RAILWAY

Cooler Leistungselektronik  
mit Power ab S. 38

# Explore Next Tech ELECTRONICS



Elektronik ist die Grundlage fast aller technologischen Fortschritte. **E&E** versorgt Entwicklungsverantwortliche mit allem Wichtigen über Technologien, Komponenten, Entwicklungsstrategien und spannenden Anwendungen. **E&E** ist zusammen mit **INDUSTR.com** Teil des **INDUSTRY.forward-Ecosystems**.

# INDUSTR.COM



industr.com/EuE



# Auch die nächste Ausgabe der E&E kostenfrei lesen?



Jetzt Leser werden!





**Bernhard Haluschak, Chefredakteur E&E:** Die Elektrifizierung des Verkehrssektors bietet zweifellos immense Chancen, den globalen CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu verringern und den Übergang zu einer nachhaltigen Energiezukunft zu beschleunigen. Doch sie bringt auch neue Herausforderungen mit sich, die nicht ignoriert werden dürfen. Die Abhängigkeit von komplexer Elektronik und die ökologischen Kosten der Batterieproduktion zeigen, dass die Elektromobilität auch ihre Tücken hat. Deshalb stelle ich heute die folgende Behauptung auf:

## DIE E-MOBILITÄT IST KEIN ALLHEILMITTEL

Elektronische Systeme sind das Rückgrat moderner Elektrofahrzeuge. Sie steuern nicht nur den Antrieb, sondern auch eine Vielzahl von Funktionen wie das Energiemanagement, Fahrassistenzsysteme und die Kommunikation mit externen Infrastrukturen. Die zentrale Einheit eines Elektroautos, das Batteriemanagementsystem (BMS), überwacht und optimiert die Leistungsabgabe der Batterie und schützt diese vor Schäden. Dieses System erfordert hochentwickelte Sensoren und Steuerungssoftware, um effizient zu arbeiten.

Doch genau diese komplexe Elektronik macht E-Fahrzeuge anfällig für eine Reihe von Problemen. Softwarefehler können schwerwiegende Folgen haben, wie etwa plötzliche Leistungsverluste oder das vollständige Versagen des Fahrzeugs. Auch die Cybersicherheit ist ein wachsendes Anliegen, da die Vernetzung von Fahrzeugen mit der Infrastruktur neue Angriffspunkte für Hacker schafft. Diese potenziellen Gefahren könnten das Vertrauen in die Elektromobilität untergraben, wenn sie nicht adäquat adressiert werden.

Im Zentrum der Kritik an der Elektromobilität steht auch die Batterieproduktion, die erhebliche ökologische und ethische Probleme mit sich bringt. Lithium-Ionen-Batterien, die derzeit vorherrschende Technologie, benötigen große Mengen an Lithium, Kobalt, Nickel und anderen seltenen Erden. Der Abbau dieser Rohstoffe ist jedoch mit massiven Umweltauswirkungen verbunden. Beispielsweise führt der Lithiumabbau zu erheblichem Wasserverbrauch in ohnehin wasserarmen Regionen, was die lokale Landwirtschaft und Trinkwasserversorgung gefährdet. Hinzu kommen die sozialen Probleme, die durch den Abbau entstehen, insbesondere Kobalt, das oft unter fragwürdigen Bedingungen im Kongo gefördert wird.

Ein weiterer kritischer Punkt ist die Lebensdauer und Entsorgung von Batterien. Während Elektrofahrzeuge im Betrieb emissionsarm sind, stellen verbrauchte Batterien ein wachsendes Umweltproblem dar. Hier sind die derzeitigen Recyclingverfahren noch nicht effizient genug, um die wertvollen Materialien in den Batterien vollständig wiederzugewinnen.

LEADING THE EMBEDDED FUTURE

Besuchen Sie uns auf der  
**InnoTrans 2024**  
Halle 27 | Stand 740



## TRAIN-IT-SERVER

Virtualisierungsplattform  
5G Router

- CompactPCI-Serial-CPU-Board mit Intel®-Prozessor der 13. Generation
- Zwei 10 GbE-Schnittstellen
- Bis zu 64 GB DDR4 DRAM
- Bis zu 16 TB lokaler Speicher
- Shelf-Controller für Ignition- & Lüftersteuerung

Fahrgastinformationssystem  
Sitzplatzreservierung  
Fahrgast-WiFi  
Firewall und mehr...

Wir helfen Ihnen bei der  
Konfiguration Ihres Systems!



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

# INHALT

## AUFTAKT

- 12 Highlights der Branche
- 14 Places to be auf der InnoTrans 2024

## FOKUS: E-MOBILITY

- 06 Bildreportage: Helix Ladekabel von Lapp Mobility
- 15 Zuverlässig verbinden: HV-Kabelklemmen für Hochvolt-Batterien
- 18 Umfrage: Wichtige Aspekte bei der Elektronikentwicklung für E-Fahrzeuge
- 20 Robust und langlebig: Elektronik in rauen Umgebungen
- 24 Flexible Testverfahren: Mess- und Testanwendungen

## ELECTRONICS SOLUTIONS

- 26 Robuste Verbindungen: Steckverbinder für LWL in kritischen Umgebungen
- 30 Interview mit Congatec CEO, Dominik ReBing: „Kundennutzen im Fokus“
- 34 Sensible Sensoren: Grundlagen elektrochemischer Sensortechnik

## RUBRIKEN

- 03 Editorial
- 37 Promotion: Storyboard Siglent
- 58 Impressum & Firmenverzeichnis
- 66 Die Zahl



Jetzt scannen  
und die E&E als  
E-Paper erhalten!



# 34

## SENSTORTECHNIK

Grundlagen elektrochemischer Sensoren



# 59

## ELEKTRONIK-STATISTIK

Zuverlässigkeit und Lebensdauer bestimmen





AB SEITE **15**

**FOKUSTHEMA**

E-Mobility und  
ihre Technologien



AB SEITE **38**

**SPEZIAL: RAILWAY ELECTRONICS**

Elektronische Komponenten  
für die Bahn



**SPEZIAL: RAILWAY ELECTRONICS**

- 38** Highspeed mit Hybridantrieb:  
Schienenverkehr mit SiC-Hochleistungsmodulen
- 42** Cool bleiben mit viel Power:  
Leistungselektronik will entwärmt werden
- 46** KI im Ökosystem Schiene:  
Mit Intelligenz vorausschauend fahren
- 50** Have fun - in der Bahn: Zukunftsorientiertes  
5G Entertainment im Zug

**NEXT ELECTRONICS**

- 52** Functional Safety inklusive:  
Mit modularen Hardware-Architekturen
- 56** Schnell, sicher und störungsfrei:  
Netzwerke für die Telechirurgie
- 59** Statistik: Zuverlässigkeit und  
Lebensdauer elektronischer Komponenten

**NET ZERO ELECTRONICS**

- 62** Genügsam und leistungsstark:  
Energiesparende Displays im Überblick

# Wärmeleitfolien **DETAKTA**



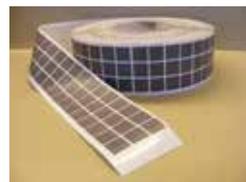
**Silikon Soft Pads**

- SBC-7 violettgrau 7 W/mK
  - SBC-5 grau 5 W/mK
  - SBC-3 grau 3 W/mK
  - SBC rosa 1,5 W/mK
- Weiche, gelartige Pads. 2 - 10° Shore A  
beidseitig haftend. Stärken 0,5 - 5,0 mm



**Silikon Soft Pads mit Gewebe**

- SB-V0-7 7 W/mK
  - SB-V0-3 3 W/mK
  - SB-V0YF 0,9 W/mK
  - SB-V0 1,3 W/mK
- Glasgewebe Deckfolie und weiche,  
gelförmige Unterseite.  
Shorehärte 2 - 20°. Einseitig haftend.  
Stärken 0,5 - 5,0 mm



**Silikon Glasgewebe Folie**

- SB-HIS-5 5 W/mK
- SB-HIS-4 4 W/mK
- SB-HIS-3 3 W/mK
- SB-HIS-2 2 W/mK
- SB-HIS 1 W/mK

**Folie auch einseitig haftend - ohne  
zusätzlichen Kleber.**

Stärken 0,15 mm, 0,23 mm, 0,30 mm,  
0,45 mm und 0,8 mm

Hans-Böckler-Ring 19  
22851 Norderstedt  
Tel.: 040 529 547-0

Fax: 040 529 547-11  
E-Mail: [info@detakta.de](mailto:info@detakta.de)  
Web: [www.detakta.de](http://www.detakta.de)

NIE WIEDER KABELWIRRWARR BEIM LADEN VON ELEKTRO- UND HYBRID-FAHRZEUGEN

# DAS LADEKABEL MIT INTEGRIERTER INTELLIGENZ

Mit dem LAPP HELIX Ladekabel beginnt eine neue Ära des Ladekomforts für Elektrofahrzeuge. Innovativ, robust und leicht zu handhaben – dieses Ladekabel setzt neue Maßstäbe in puncto Benutzerfreundlichkeit und Sicherheit. Egal, ob im privaten Gebrauch oder unterwegs: Das LAPP HELIX Ladekabel überzeugt durch seine einzigartige Spiralisierung mit dem integrierten Memoryeffekt, die ein Verheddern verhindert und für eine stets ordentliche Verstaueung sorgt. Lassen Sie sich von der nächsten Generation der Ladetechnik begeistern!

TEXT: Lapp Mobility BILDER: Lapp Mobility / Dominik Gierke



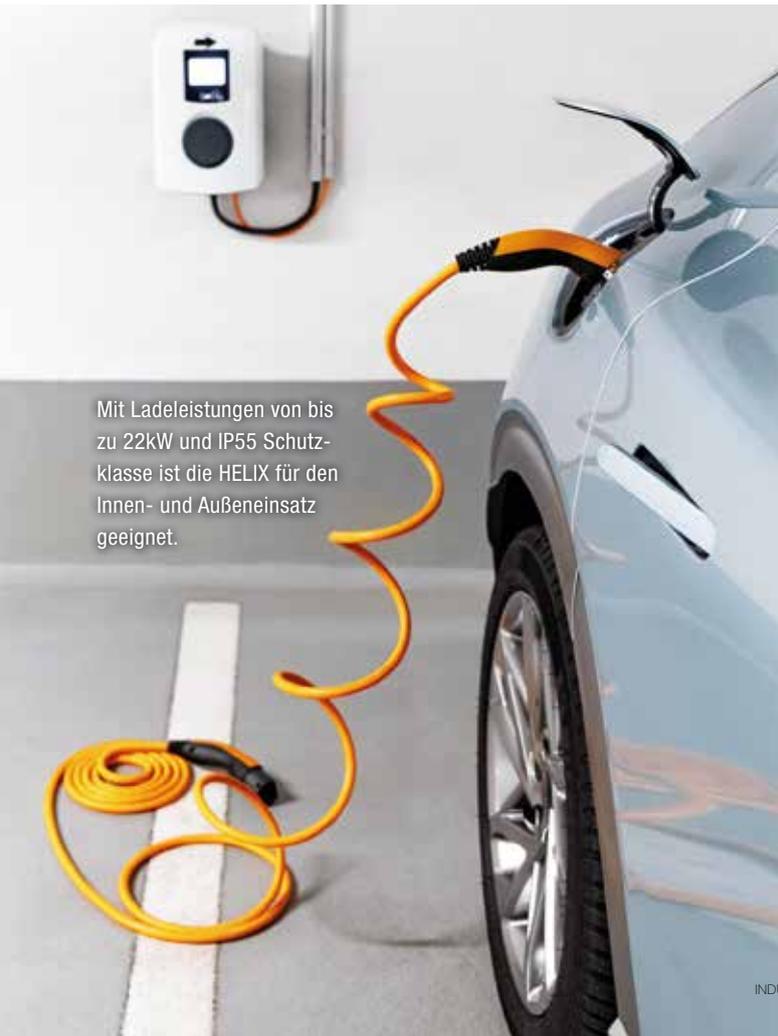
Das LAPP HELIX Ladekabel zeichnet sich durch seine einzigartige Helix-Struktur aus, die es von herkömmlichen Ladekabeln abhebt. Während traditionelle Ladekabel oft sperrig und unhandlich sind, bietet das Helix-Kabel eine revolutionäre Lösung: Es zieht sich nach dem Ladevorgang wieder in seine ursprüngliche Spiralforn zusammen und bleibt dadurch kompakt und leicht zu verstauen. Diese besondere Formgebung verhindert, dass das Kabel sich verheddert oder knickt, was nicht nur die Lebensdauer des Kabels verlängert, sondern auch den täglichen Gebrauch erheblich erleichtert.



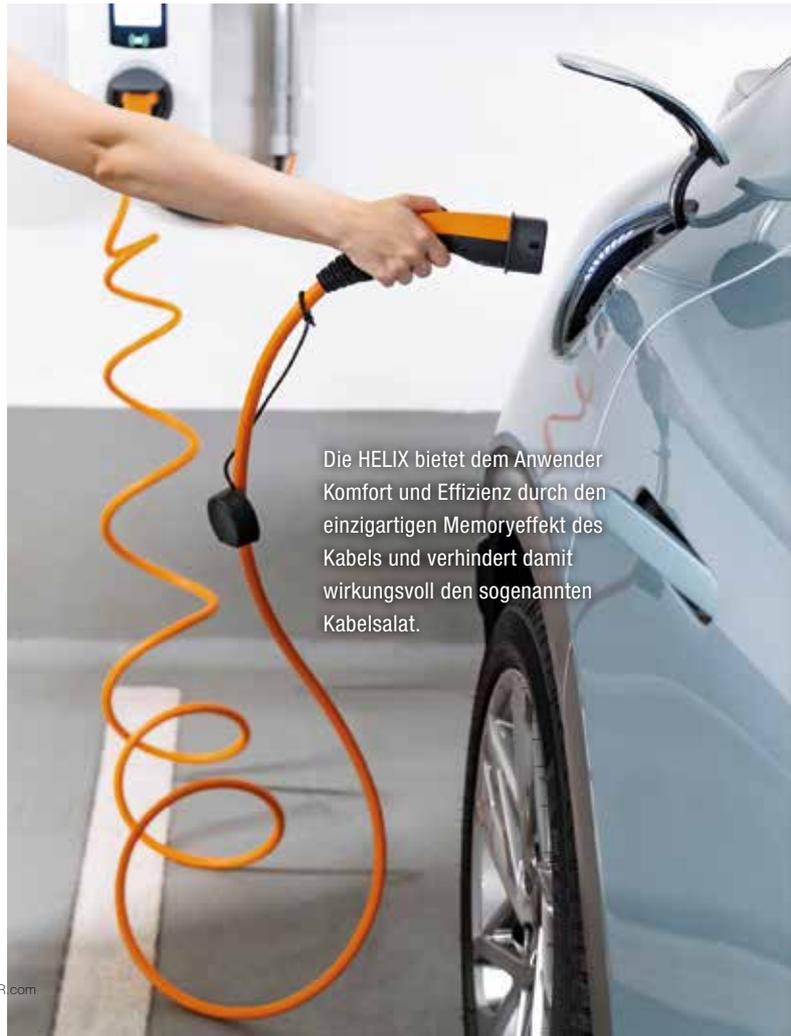
Die patentierte LAPP HELIX ist ein Ladekabel, das nach Abschluss des Ladevorgangs wieder in seine ursprüngliche Form zurückkehrt.



Durch seine robuste Bauweise und seinem eleganten Design ist die HELIX die ideale Ladelösung-Lösung für Ihr Elektrofahrzeug.



Mit Ladeleistungen von bis zu 22kW und IP55 Schutzklasse ist die HELIX für den Innen- und Außeneinsatz geeignet.



Die HELIX bietet dem Anwender Komfort und Effizienz durch den einzigartigen Memoryeffekt des Kabels und verhindert damit wirkungsvoll den sogenannten Kabelsalat.



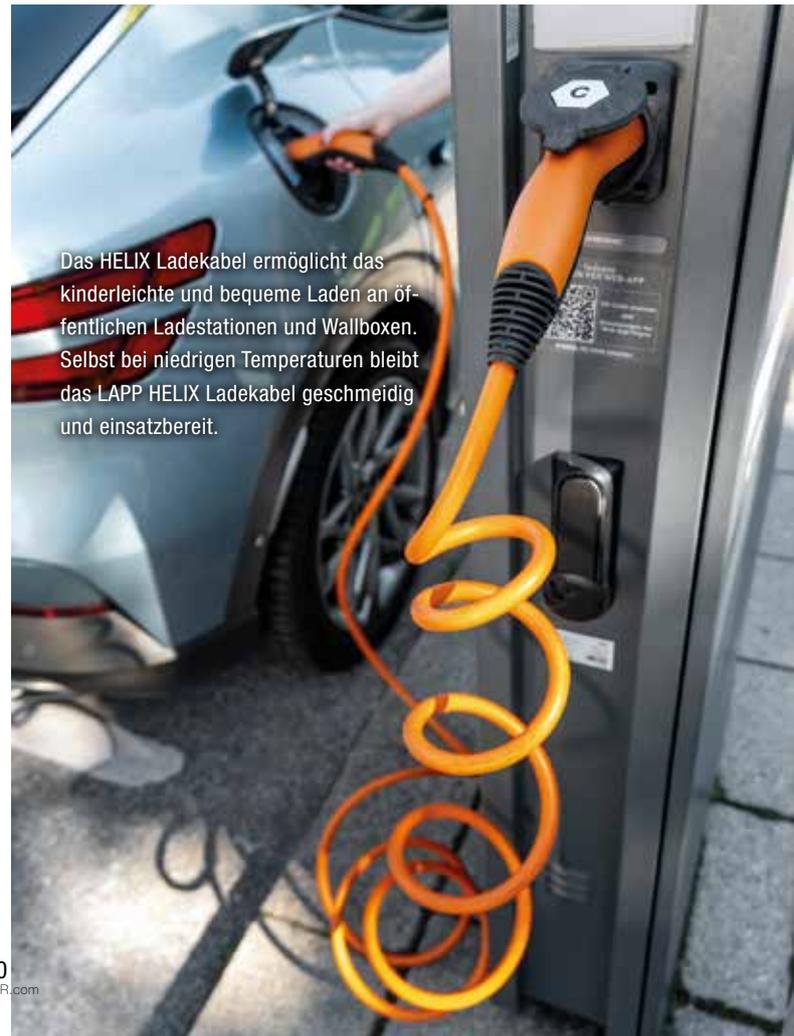
Zudem bietet LAPP als Zubehör für das form-schöne HELIX Ladekabel den MOBILITY DOCK an. Es handelt sich um ein kabelloses mobiles Ladegerät, mit dem Elektro- oder Hybridautos problemlos an jeder normalen Steckdose über ein vorhandenes Typ 2-Ladekabel geladen werden können.



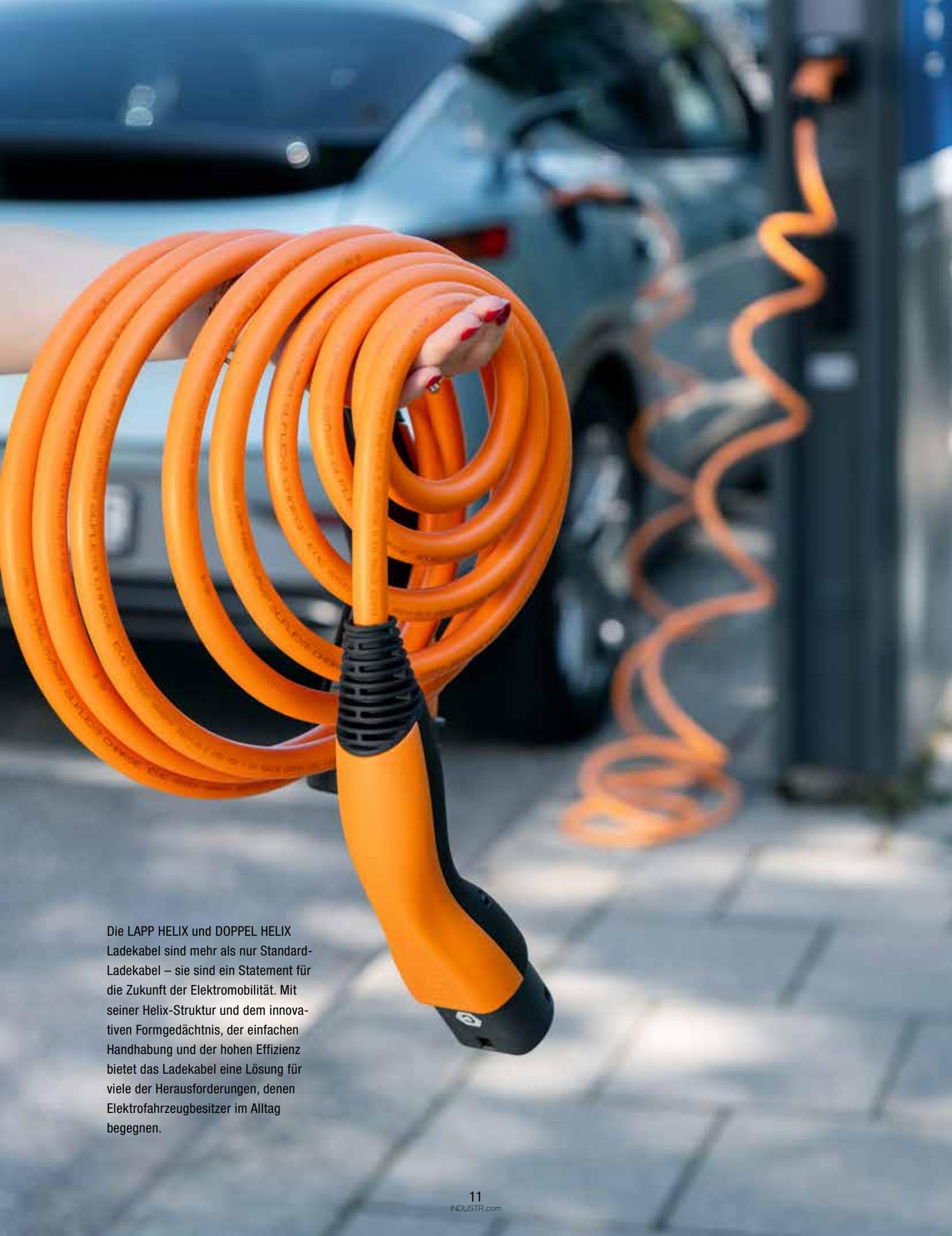
Dank der patentierten Helixform lässt sich das Kabel nach dem Laden schnell und einfach zusammenrollen und platzsparend verstauen beziehungsweise aufbewahren. Neben dem HELIX Kabel 5m bietet LAPP auch die DOPPEL HELIX mit einer Länge von bis zu 10m für eine maximale Freiheit und Flexibilität an. Beide Kabeltypen besitzen die hohe Schutzart von IP55, die zusammen mit der zusätzlichen Längswasserdichtigkeit für einen ausgezeichneten Feuchtigkeitsschutz sorgt. Das nach gültigen IEC- und EN-Normen ausgelegte Ladekabel ist dementsprechend zugleich robust und langlebig, durch das geringe Gewicht aber auch leicht zu handhaben.



Das LAPP-Kabel erfüllt sämtliche internationalen Normen und Standards, die für Ladekabel in der Elektromobilität gelten. Dadurch ist es mit nahezu mit allen Elektrofahrzeugen und Ladestationen weltweit kompatibel.



Das HELIX Ladekabel ermöglicht das kinderleichte und bequeme Laden an öffentlichen Ladestationen und Wallboxen. Selbst bei niedrigen Temperaturen bleibt das LAPP HELIX Ladekabel geschmeidig und einsatzbereit.

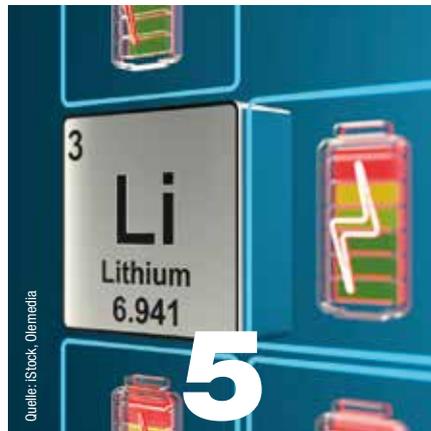
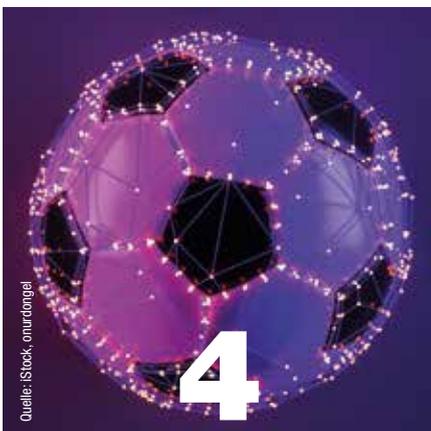
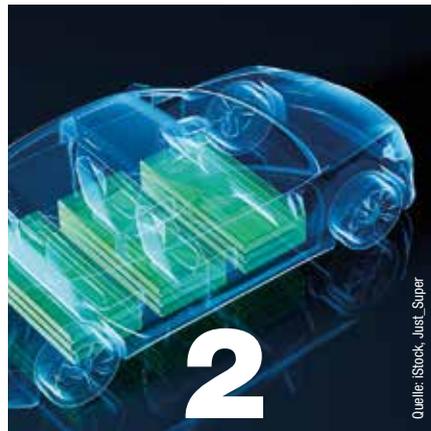


Die LAPP HELIX und DOPPEL HELIX Ladekabel sind mehr als nur Standard-Ladekabel – sie sind ein Statement für die Zukunft der Elektromobilität. Mit seiner Helix-Struktur und dem innovativen Formgedächtnis, der einfachen Handhabung und der hohen Effizienz bietet das Ladekabel eine Lösung für viele der Herausforderungen, denen Elektrofahrzeugbesitzer im Alltag begegnen.

# 6

## HIGHLIGHTS

Fakten, Trends und Neues: Was hat sich in der Branche getan? Bei Schurter gab es einen Führungswechsel, EM-Fußbälle wurden mit Hightech-Sensoren ausgestattet, und die Ursache für den Kapazitätsverlust von Lithium-Ionen-Akkus wurde erfolgreich erforscht. Neue DC/DC-Wandler und Embedded-Box-PCs erleichtern künftig die Arbeit – diese Batterie ist im Vergleich die vielversprechendere!



Stabsübergabe bei Schurter

## Führungswechsel

Nach über 25 Jahren bei Schurter wird der aktuelle Managing Director, Rolf Hausheer, auf Ende 2024 seinen wohlverdienten Ruhestand antreten. Seine Position übergab er am 01. Juli 2024 an Steffen Lindner, der bereits in der Position des General Manager & Vice President EMEA tätig ist. Er leitet bereits die Schurter-Niederlassung in Deutschland und ist ideal für diese Aufgabe geeignet.

Erfahren Sie mehr: [industr.com/2760317](https://www.industr.com/2760317)

1

Kapazität von Lithium-Ionen-Akkus steigern

## Verborgene Reserve

Lithium-Eisenphosphat ist eines der wichtigsten Materialien für Batterien in Elektroautos, stationären Stromspeichern oder Werkzeugen. Allerdings bleiben die Akkus in der Praxis um bis zu 25 Prozent hinter ihrer theoretischen Kapazität zurück. In einer Lithium-Eisenphosphat-Kathode konnten Forschende der TU Graz nun genau beobachten, wo der Kapazitätsverlust auftritt.

Erfahren Sie mehr: [industr.com/2764207](https://www.industr.com/2764207)

2

Mit ultraweitem Eingangsbereich

## Neue DC/DC-Wandler

Die TEC-3UI-Serie erhältlich bei Traco sind isolierte DC/DC-Wandler mit ultraweitem Eingangsbereich. Diese Wandler-Generation wurde entwickelt, um bestehenden 2:1 und 4:1 Eingangswandlerreihen nahtlos zu ersetzen und eine Alternative ohne Kompromisse bei Leistung oder Kosten zu bieten. Mit ihrem kompakten SIP-8 Kunststoffgehäuse sind sie ideal bei begrenztem Platzangebot.

Erfahren Sie mehr: [industr.com/2762215](https://www.industr.com/2762215)

3

Technologie für den EM-Ball

## Hightech-Sensoren

Die Bälle der diesjährigen Fußball-Europameisterschaft waren mit hochpräzisen Sensoren von Kinexon ausgestattet. Zur Überprüfung strittiger Szenen wurden am Spielfeldrand Monitore mit Kurvengrafiken integriert, die anzeigen, ob und wann der Ball berührt wurde. Kinexon ist auf die Analyse und Steuerung bewegter Objekte spezialisiert – ob im Sport oder in der Produktion.

Erfahren Sie mehr: [industr.com/2759871](https://www.industr.com/2759871)

4

Lithium-Polymer versus Lithium-Thionylchlorid

## Batterien im Vergleich

Um den Bedarf an leistungsfähigen Batterien zu decken, konkurrieren Technologien miteinander. Zu den vielversprechendsten Optionen gehören wiederaufladbare Lithium-Polymer-Batterien und primäre Lithium-Thionylchlorid-Batterien. Es gibt jedoch erhebliche Unterschiede in Bezug auf Größe, Kapazität, Lebensdauer und Sicherheit, mit diesen hat sich Jauch Quartz beschäftigt.

Erfahren Sie mehr: [industr.com/2762632](https://www.industr.com/2762632)

5

Für industrielle Anwendungen

## Embedded-Box-PC

Der Embedded-Box-PC OEM S82 von Syslogic ist mit einem Multi-Core 64-Bit Intel-Atom-Prozessor aus der Elkhart-Lake-Serie ausgestattet. Dieser Industriecomputer bietet die richtige Prozessortechnologie für zukünftige industrielle Anwendungen. Er dient als CAN-Steuerungsrechner, Datenlogger und – in Verbindung mit einem Funkmodul – als IoT- oder Fahrzeug-Gateway.

Erfahren Sie mehr: [industr.com/2762541](https://www.industr.com/2762541)

6



PEOPLE. POWER. PARTNERSHIP.

## KLEINER, SCHNELLER, SMARTER

Ethernet Connectivity für die industrielle Transformation

Ethernet übernimmt in immer mehr Bereichen den Job des universellen Kommunikationsprotokolls. Damit wird die Vision eines einheitlichen Protokollstandards für die Kommunikation von der Cloud bis an jeden Sensor möglich – damit wird das IIoT immer mehr Realität. Doch keine industrielle Transformation mit Ethernet ohne die passende Infrastruktur.

[www.HARTING.com/industrial-ethernet](https://www.HARTING.com/industrial-ethernet)



# Zukunft

THE FUTURE OF MOBILITY

## DIE INNOTRANS 2024

Mobilität der Zukunft: Vom 24. bis 27. September trifft sich auf der internationalen Fachmesse für Verkehrstechnik, der InnoTrans in Berlin, die Welt der Mobilität zum Austausch.

TEXT: Katharina Huber, E&E BILD: Messe Berlin / Robert Lehmann

Unter dem Messe-Motto „The Future of Mobility“ findet die InnoTrans 2024 an vier Tagen im September statt – hier treffen sich Mobilitätsexperten zum Informationsaustausch. Begleitet wird die Messe von einem vielfältigen Rahmenprogramm. Am InnoTrans-Freitag findet dieses Jahr zum ersten Mal das neue Railfluencer Festival statt. Hier treffen Sie auf Meinungsführende und Fachleute der Branche, die ihre lösungsorientierten Produkte einem breiten Fachpublikum präsentieren können.

### Die „Places-to-be“!

Herzstück des Rahmenprogramms ist die InnoTrans Convention mit ihren verschiedenen Foren, wie den fünf Dialog-Foren im palais.berlin. Weiterhin bieten das International Design Forum, das International Tunnel Forum, das Public Transport Forum, das DB Innovation Forum und das International Bus Forum vielfältige Möglichkeiten zum Gedankenaustausch. Die Speakers' Corner offeriert Ausstellern Präsentationsmöglichkeiten, um ihre Inhalte und Lösungen dem Publikum vor Ort und an den Bildschirmen vorzustellen. Die Talent Stage ist ein interaktiver Bühnenbereich in der unmittelbaren Nähe

zum RecruitingLAB in Halle 7.2c und bietet Unternehmen die Möglichkeit, dem interessierten Nachwuchs Rede und Antwort zu stehen. Die Mobility+ Corner und die AI Mobility Corner sind Hallenforen für maximal 60-minütige Vorträge und Diskussionsrunden. In diesen Sessions referieren Unternehmen über Produkte, Technologien und Trends sowie Branchennews aus den jeweiligen Themenbereichen.

### Rund um Mobilität: Geführte Messerundgänge

Über die Tage verteilt werden auf der InnoTrans auch geführte Messerundgänge angeboten, zum Beispiel die Career Tours, bei denen Studierende und Young Professionals potenzielle Arbeitgeber kennenlernen können. Neuheiten erleben die Fachbesucher und Journalisten bei den täglich angebotenen World Innovation Tours, bei denen Vertreter der Unternehmen an Messeständen warten. Ergänzend zum neuen Ausstellungsbereich AI Mobility Lab bietet die InnoTrans geführte Touren zum Thema Künstliche Intelligenz an. Mit der AI Tour werden Interessierte gezielt zu Ausstellern geführt, die ihre KI-Neuheiten präsentieren. □

# E-MOBILITY



Sichere und robuste HV-Kabelklemmen  
für Hochvolt-Batterien in E-Fahrzeugen

MIT STARKER HAND  
ZUVERLÄSSIG VERBINDEN

HOCHVOLT-KABELKLEMME FÜR  
BATTERIEKABELFÜHRUNG IN E-FAHRZEUGEN

# MIT STARKER HAND ZUVERLÄSSIG VERBINDEN

Mit Hochvolt-Kabelklemmen lässt sich das Kabelmanagement in Elektrofahrzeugen sicher und effizient designen. Die speziell für diesen Einsatz entwickelten Klemmen schützen empfindliche Kabel vor Beschädigungen, reduzieren den Installationsaufwand und steigern die Produktivität in der Fertigung von HV-Kabelbäumen. Entdecken Sie, wie diese Lösung die Lebensdauer von Kabeln verlängert und Ausfälle in schweren Elektrofahrzeugen minimiert.

TEXT: Panduit / Bernhard Haluschak, E&E BILDER: publish-industry, DALL-E; Panduit



Die Hochvolt-Kabelklemmen wurden speziell für das effiziente Management und Sicherung von Hochvolt-Batterie-kabelinstallationen an Rahmen oder Halterung wie etwa in E-Fahrzeugen entwickelt.

Die Hochvolt-Kabelklemmen von Panduit wurden entwickelt, um die Installation und Sicherung von Hochvolt-Batterie-kabeln in Elektrofahrzeugen effizient zu gestalten. Sie sind sowohl für den Einsatz im Hochvolt-Bordnetz als auch in der Ladeinfrastruktur geeignet und dienen dazu, Kabel sicher und zuverlässig zu verbinden.

Diese Klemmen spielen eine wichtige Rolle in elektrischen Systemen von Fahrzeugen, die Betriebsspannungen über 25 VAC bzw. 60 VDC erfordern. Hierbei müssen verschiedene Sicherheitsanforderungen berücksichtigt werden, die sowohl die Mechanik als auch die Einbaurichtlinien betreffen. Zu den Risiken für Hochvolt-Kabel in Fahrzeugen gehören Stromschläge, elektromagnetische Strahlung und Vibrationen.

Die Gehäuse der Klemmen bestehen aus glasfaserverstärktem Hochtemperatur-Nylon und sind für Temperaturen von -40°C bis 135°C ausgelegt. Sie verfügen über komprimierbare Gummeinsätze, die die Außenisolierung der Kabel vor Beschädigungen schützen. Die Klemmen können paarweise miteinander verbunden werden, und integrierte Anti-Rotationspunkte verhindern ein ungewolltes Drehen oder Verschieben der Kabel, wodurch diese vor übermäßiger Belastung geschützt werden. Die Klemmen sind zudem verstellbar und lassen sich bis zu 4,5 mm frei über das Kabel bewegen, bis sie die richtige

Position erreicht haben. Sie sorgen auch für einen sicheren Abstand zwischen den Kabeln, wodurch Abrieb minimiert und Schnellkupplungen geschützt werden. Die Klemmen sind für Kabeldurchmesser zwischen 25 bis 40 mm<sup>2</sup> (4 bis 2 AWG), 50 bis 70 mm<sup>2</sup> (1 bis 2/0 AWG) sowie 85 bis 120 mm<sup>2</sup> (3/0 bis 4/0 AWG) erhältlich.

Während der Serienfertigung von Kabelbäumen lassen sich die Klemmen nahtlos in den Montageprozess integrieren und bleiben bis zur Endmontage an der Kabelbaumgruppe befestigt. Dies stellt sicher, dass alle Komponenten während der Produktionsphasen zusammenbleiben und leicht in ihre endgültige Position gebracht werden können. Die Klemmen senken den Installationsaufwand und erleichtern die Wartung, da sie sich durch eine Push-In-Verriegelung ohne Werkzeuge lösen lassen. Für zusätzliches Kabelmanagement können sie mit einer Flügelklemme und einem extra breiten Kabelbinder kombiniert werden.

Die HV-Klemmen von Panduit sind speziell für das Hochvolt-Kabelmanagement in schweren Elektrofahrzeugen konzipiert. Eine fachgerechte Installation und Wartung kann dazu beitragen, Ausfälle zu reduzieren, die Lebensdauer der Kabel zu verlängern und die Produktivität in der Kabelbaumfertigung zu erhöhen. □

Automobilgerechte Elektronikentwicklung

# MOBILE ZUKUNFT OHNE GRENZEN

Die E-Mobilität wird die Zukunft prägen. Doch die Fahrzeuge müssen sicher und in allen möglichen Situationen sowie unter unterschiedlichen Umweltbedingungen immer zuverlässig funktionieren. Deshalb stelle ich die Frage: Welche Aspekte sind bei der Entwicklung von Elektronikkomponenten für Elektrofahrzeuge besonders wichtig?

UMFRAGE: Bernhard Haluschak, E&E

BILDER: Arrow Electronics, CTX Thermal Solutions, eSystems, ETAS, Rutronik; iStock, Dmytro Omelianenko



**PHILIPP  
MAI**

Die entscheidenden Aspekte bei der Entwicklung von Komponenten sind eng mit den Anforderungen der Konsumenten verzahnt, etwa die Reichweite des Fahrzeugs. Beispiele hierfür sind die Reduzierung von Ruhestromen bei ICs oder auch die Verringerung der Leitungswiderstände, sowie Schaltverlusten bei Leistungshalbleitern. Neben der Reichweite steht mittlerweile immer mehr direkt oder indirekt das Thema Software im Fokus. Sei es durch erhöhte Ansprüche an die ADAS, das Infotainment, die Smartphone Integration oder die App des Fahrzeuges. Daher gilt es, die Softwareentwicklung von Beginn an zu integrieren und damit Innovationen schnellstmöglich einzubringen. Beispiele hierfür sind unter anderem Complex-Device-Driver (CCD) für Motor-Control ICs oder auch der MCAL für MCUs.

Global Engineering Director –  
Automotive & Transportation,  
Arrow Electronics



**THOMAS  
WINDECK**

Ein entscheidender Aspekt ist die lange Haltbarkeit der Komponenten. 15 bis 20 Jahre müssen sie zuverlässig funktionieren. Das erzielen wir mit anwendungsspezifischen Kühlkörpern, die Verlustleistungen ableiten und die Bauteile vor Überhitzung schützen. In der Leistungselektronik entstehen hohe Temperaturen. Doch jede Erwärmung verkürzt die Lebensdauer eines Bauteils. Mit Kühlkörpern leisten wir also einen wichtigen Beitrag zur dauerhaft zuverlässigen Funktion der Komponenten. Wichtiger Aspekt bei der Entwicklung der Kühllösungen selbst ist, dass sie die erforderliche Kühlleistung in kompakter, leichter Bauweise erbringen.

Leiter Vertrieb,  
CTX Thermal Solutions



**JOCHEN  
PAUKERT**

Als Wallboxhersteller sehen wir die Sektorenkopplung als Herausforderung der Branche. Die Sektoren Energie, Industrie, Verkehr und Gebäude müssen im Zuge der Energiewende miteinander vernetzt werden. Für die Ladeinfrastruktur bedeutet dies, dass eine intelligente Wallbox mit PV-Anlage, Wärmepumpe, E-Auto und dem Stromnetz kommunizieren kann. So wird der Strom sinnvoll genutzt und verteilt. Damit die Wallbox mit Gebäuden und Stromnetz kommunizieren kann, muss sie die gängigen Kommunikationsstandards wie ISO 15118 oder EEBUS und die Vernetzung über Ethernet, LTE, WiFi, MODBUS/TCP und OCPP beherrschen. Mit EEBUS kann auch der §14a EnWG umgesetzt werden, um netzdienliches Laden und das gesetzkonforme Dimmen der Ladeleistung zu ermöglichen. Eine weitere Herausforderung ist die Cybersicherheit. Um schnell auf Bedrohungen reagieren zu können, muss die Box remote mit Updates versorgt werden können.

Managing Director,  
eSystems



**DR. THOMAS  
IRAWAN**

Besonders bei Hybridfahrzeugen kommt es darauf an, der höheren Komplexität durch Flexibilität in der Steuergeräte-Entwicklung zu begegnen. Hier punkten ausgerechnet die etablierten Mess-, Kalibrierungs- und Diagnose-Tools wie etwa INCA: Mit ihnen lassen sich über verschiedene Steuergeräte hinweg die oftmals verteilte Applikationslabels und Kommunikationsdaten auf einer Oberfläche darstellen und bearbeiten. Angesichts der verteilten Funktionen von Hybridfahrzeugen entlastet das den Applikateur enorm. Auch Bypass-Technologien erhöhen die Flexibilität. Sie ermöglichen Softwarefreischnitte, um Steuergerätefunktionen gezielt zu evaluieren und optimieren, ohne den eigentlichen Sourcecode zu verändern.

Vorsitzender der Geschäftsführung,  
ETAS



**UWE  
RAHN**

In den letzten zehn Jahren hat der Einsatz elektronischer Systeme und Komponenten in der Automobilindustrie, insbesondere für neue e-Plattformen der OEMs, stark zugenommen. Schnittstellen bilden hier Steuergeräte und Wandler, die die elektrischen Komponenten (u.a. Antriebsmotoren) steuern und die energetische Versorgung ermöglichen. Kleine Steuergeräte verschwinden oder werden in größere ECUs integriert. Die Fahrzeugelektronik konzentriert sich zunehmend auf große, komplexe Steuergeräte, die oft gemeinsam mit Komponentenherstellern oder von großen Tier 1 im Auftrag von OEMs entwickelt werden.

Senior Director  
Automotive Business Unit,  
Rutronik



RAUE UMGEBUNGEN – EINE HERAUSFORDERUNG FÜR  
DIE ELEKTRONIK IN FAHRZEUGEN

# Robust und langlebig

Schotterstraßen in der Wüste, eisige Pisten in arktischer Umgebung oder extreme Witterungsbedingungen in den Tropen – Nutzfahrzeuge müssen hart im Nehmen sein. Das gilt besonders für die Elektronik, die in den Kraftpaketen der neuen Generation verbaut werden. Die Surface Mount Technologie (SMT) mit Floating Elementen.

TEXT: Petra Adamik, freie Fachautorin BILDER: Weeco Contact; iStock, AmandaLewis



Stiftleiste für Getriebesteuerungen

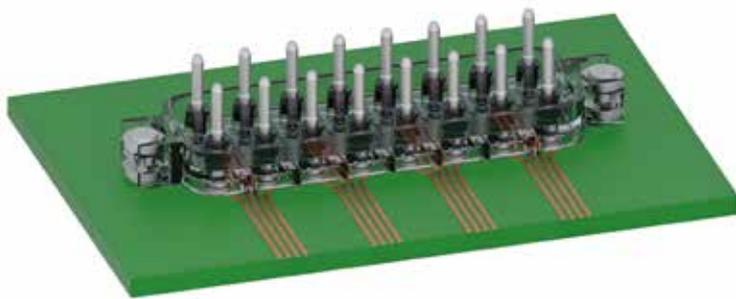
Der Automotive-Bereich stellt besondere Anforderungen an die Leiterplatten, die in den Fahrzeugen zum Einsatz kommen. Im Bereich der Nutzfahrzeuge gelten noch einmal erschwerte Bedingungen. Robust sollen die elektronischen Bauteile sein, damit die Räder auch im schlecht ausgebauten Gelände zuverlässig rollen. Ein weiterer Aspekt sind die Umweltbedingungen. Ob Sandstürme, Eisregen oder hohe Luftfeuchtigkeit – die Fahrzeuge müssen die teils extremen Umweltbedingungen aushalten und das über viele Jahre hinweg.

Bei Fahrzeugen, die unter extremen Temperaturen im Einsatz sind, muss eine Getriebeeinheit in einem breiten Temperaturspektrum reibungslos funktionieren. Im sibirischen Winter beispielsweise sind Außentemperaturen von Minus 40 Grad keine Seltenheit. Die Betriebstemperatur des Getriebeöls dagegen kann auf bis zu 90-100 Grad steigen. Diese Schwankungen muss das integrierte System problemlos aushalten können. Für den Einsatz in un-nachgiebigen Außenumgebungen hat sich die sogenannte Floating Pin-Technologie bewährt. Die robuste Technologie läuft bei jedem Wetter und arbeitet zuverlässig bei Hitze, Regen, Eisregen und Schnee. Hinzu kommt die Unempfindlichkeit gegen Getriebeöl, Gase oder andere chemische Einflüsse. Eine hohe Festigkeit und Koplanarität sorgt für die Langlebigkeit, die eine Grundvoraussetzung für den Einsatz in Fahrzeugen ist.

Die Produkte basieren auf der Oberflächenmontagetechnik SMT, in der Kfz-Elektronik mittlerweile eine feste Größe. SMT punktet nicht nur mit Flexibilität, sondern auch mit einer hohen Wirtschaftlichkeit. Allerdings kommen die klassischen SMT-Bauteile in der Automotive-Industrie auch an ihre Grenzen. Bislang waren davon Steckverbinder ab einer gewissen Baugröße sowie einem Rastermaß von mehr als 2,54 Millimeter betroffen. Hier war bislang nach wie vor die Durchsteckmontage notwendig, um die Komponenten auf der Leiterplatte zu befestigen. Der Grund ist, dass der Leiteranschluss und die Stromversorgung ausreichende Abmessungen benötigen, um bei höheren Strömen und Spannungen den physikalischen Anforderungen zu entsprechen. Leiterplattenklemmen sind zudem größeren mechanischen Belastungen ausgesetzt als andere passive oder aktive Elektronikbauteile. Beim Montageprozess kommt es zu einer enormen Kräfteentwicklung, sei es durch das Anschließen von elektrischen Leitern oder das Aufbringen einer korrespondierenden Steckerleiste. Das führt vereinzelt dazu, dass die Haftkräfte der Klemme den Installationsanforderungen nicht immer standhalten und diese sich von der Leiterplatte ablöst.

### Flexibilität in der Bestückung

Einen Weg aus diesem Dilemma bietet die "Floating Pin"-Technologie. Floating Pins kompensieren die unterschiedlichen



Da die Stifte nicht starr im Kunststoff des Gehäuses, das die Leiterplatte umschließt, befestigt sind, können sie sich in ausreichendem Maße auf und ab sowie seitlich bewegen.

Ausdehnungskoeffizienten von Bauteilen, fangen Leiterplattenunebenheiten ab und gleichen Lötstellentoleranzen aus. Mit sogenannten schwebenden Kontaktelementen wurde eine Lösung entwickelt, die ein breites Anwendungsspektrum bietet. Diese schwebenden Kontaktelemente sind nach allen Richtungen frei beweglich und setzen zuverlässig auf der Leiterplattenoberfläche auf. „Bei SMD-Bauelementen erzielen wir so eine hundertprozentige Koplanarität“, sagt Detlef Fritsch, Geschäftsführer der Weco Contact. „Die Größe der Bauteile oder die Polzahl haben keinen Einfluss auf das Endergebnis.“

Durch das Floating werden Bauteile nicht fest mit der Platine verbunden. Auf diese Weise können sie sich flexibel nach oben und unten sowie seitwärts bewegen. Im Automobilbau hat das den Vorteil, dass die Bauteile z.B. starke Schwingungen und Temperaturschwankungen abfedern können. Jede Komponente für sich hat einen Ausdehnungskoeffizienten, weshalb Platine und Kunststoffteil sich jeweils separat ausdehnen können. Die Ausdehnungskoeffizienten stimmen nicht überein, was die Flexibilität der Komponenten im eingesetzten Umfeld deutlich steigert. Die Luft zwischen den Komponenten bietet ausreichend Spielraum für die Ausdehnung. Aufgrund von Kohäsion wandert das aufzubringende Metallteil genau in die Mitte des Lötzinns und liegt damit perfekt auf der Oberfläche auf. Auf diese Weise lässt sich eine hohe Festigkeit erzielen, weil das Bauteil automatisch immer in der Mitte des Löt punktes liegt. Damit wird der vermeintliche Nachteil von SMT ad absurdum geführt, weil in diesem Fall

das Bauteil immer perfekt mittig liegt und eine Festigkeit erreicht wird. Bei fest verbauten Teilen dagegen dehnen sich sowohl Platine als auch Bauteile aus, es kommt zu einem extremen Spannungsstress auf die Löt punkte. Im Extremfall können sowohl die Lötung als auch die Platine und das Bauteil reißen.

### Qualität inklusive

Beim Floating Pin-Verfahren werden die Komponenten nicht mehr gelötet, sondern wandern durch einen Löt ofen. Dafür wird im Vorfeld eine spezielle Folie auf die Basisplatine aufgelegt, die ein Negativbild der Komponenten zeigt. Die Löt paste wird auf vorgegebene Punkte aufgebracht. Die Montage der Bauteile erfolgt per Roboter arm. Das Ganze wandert dann durch den Löt ofen, wo die Löt paste bei 260 Grad schmilzt. Während dieses Vorgangs verbinden sich die Metallkomponenten des Steckers mit der Platine. Nach der Abkühlung sind die Komponenten fest verbunden. Durch Wärmetest mit dem Kunststoff wird die Robustheit sichergestellt.

Vibrationstests, Tests über Temperaturweiten sowie die Resistenz gegen Lösungsmittel, Öle oder Gase führt ein unabhängiges externes Labor durch. Der Kunde erhält ein neutrales Prüfprotokoll. Im Automotive-Umfeld ist die Reinlichkeit ein weiteres wichtiges Thema. Auch zu diesem Thema prüft ein unabhängiges Labor die Produkte. Die Reinlichkeit ist in der Fahrzeugtechnik von besonderer Bedeutung, denn Verschmutzungen stellen eine Gefahr für das Getriebe dar. So kann das Getriebeöl verklumpen, was die

Abnutzung beschleunigt. Die IATF-Zertifizierung bescheinigt zudem die Einhaltung der Qualitätsstandards, die für Automobilzulieferer ein Muss sind.

### Robuste Technik

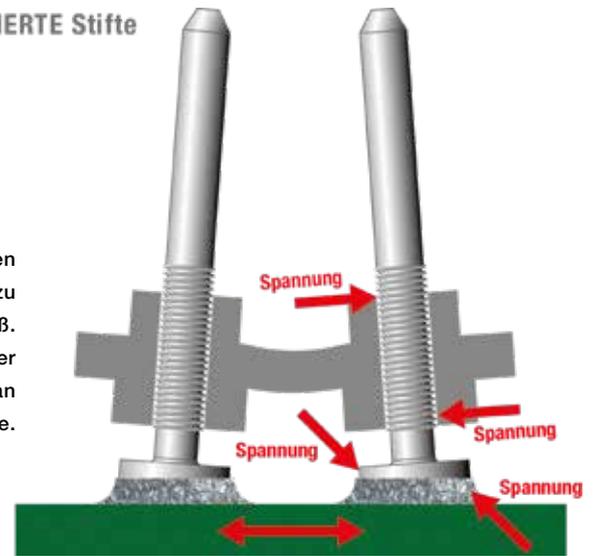
Für die Automotive-Industrie sind auch Modelle mit größerem Raster erhältlich. Beispielsweise Anschlussklemmen im Raster von 3,5 Millimeter, die für einen Leiterquerschnitt von bis zu 1 mm<sup>2</sup> geeignet sind. Der Klemmkörper befindet sich beweglich im Gehäuse. Eine Besonderheit bei dieser Variante ist, dass kein seitlicher Löt flansch zur Vergrößerung der Löt oberfläche notwendig ist. Die zweipolige Ausführung besitzt durch diese Technologie bereits eine Platinen-Abreißkraft von über 100 Newton.

Auch Bauteile mit einem Raster von 5,0 Millimeter sind beziehbar. Bei einer dementsprechenden Leiterplattenklemme ist der Klemmbügel mit der Löt fahne aus einem Stück hergestellt und fest im Gehäuse integriert. Die Löt fahnen, die nach dem Reflowlöten eine koplanare Verbindung erzeugen, werden parallel zur Leiterplatte ausgerichtet. Die Gehäuse haben zwei seitliche Befestigungsflansche, in denen sich Löt elemente befinden, die in vertikaler Richtung geringfügig beweglich sind. Das ermöglicht den Ausgleich von Höhenunterschieden, die sich ergeben können, wenn die Löt paste ungleichmäßig auf die Leiterplatte aufgebracht wird. Die optimale Anpassung an die Löt pastendicke gewährleistet bei dieser Version eine sichere mechanische Fixierung auf der Leiterplatte, was bei Prüfungsvorgängen mit

## FIXIERTE Stifte

Fest eingebaute Kontaktelemente führen bei Temperaturschwankungen und unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der Materialien zu Spannungen an den Lötstellen sowie zu Veränderungen im Rastermaß.

Gegenstücke können dann entweder gar nicht oder nur schwer aufgesteckt werden und erzeugen ihrerseits weitere Spannungen an Lötstellen und Gehäuse.



der gängigen Zahl von sechs Polen geprüft worden sei. Demnach hält die Leiterplattenklemme Abreißkräften von bis zu 320 Newton stand. Zusätzliche Bohrungen, durchkontaktierte Lötverbindungen oder Verschraubungen sind nicht notwendig.

Die für den Automotive-Bereich entwickelte Platine hat eine Größe von etwa 6 cm und verfügt über 19 plus drei oder 24 plus drei Pins, die für die Zuführung oder Abnahme der Steuersignale im Getriebe benötigt werden. Würden alle notwendigen Pins starr in den Kunststoffträger eingebunden, könnte das Bauteil den mechanischen Druck beim Ausdehnen- oder Zusammenziehen nicht ausreichend

abfedern. Die Folge wäre eine hohe mechanische Kraft, die auf die einzelnen Lötunkte der Platine wirken würde. Fehler wären so nicht auszuschließen.

Da die Pins nicht starr im Kunststoff des Gehäuses fixiert sind, das die Platine umschließt, können sich diese in einem ausreichenden Maß auf- und ab- beziehungsweise seitwärts bewegen. Anwender haben durch den Einbau dieser Lösung die Gewissheit, dass die Elektronik reibungslos und wartungsfrei über die gesamte Lebensdauer des Getriebes funktioniert. Aufwendige und teure Wartungsarbeiten entfallen. Die Platine lässt sich extern steuern und muss nicht

ausgebaut werden. „Sicherheit und Zuverlässigkeit stehen bei dieser Technologie im absoluten Fokus“, bringt es Detlef Fritsch auf den Punkt. Die Floating Pin-Technologie hat zudem den Vorteil, dass sich die benötigten Bauteile auf kleineren Platinen aufbringen lassen. Bei der bisher üblichen Bestückung mit THR-Technologie kamen größere Platinen zum Einsatz, die durchbohrt werden mussten, um die notwendigen Bauteile aufzubringen. Das war umständlich und zeitintensiv. Die Bestückung nach dem neuen „schwebenden Verfahren“ ist weniger aufwendig. Automotive-Anbieter erzielen dadurch mehr Flexibilität und eine schnellere Herstellung der Platinen. □

## INDUSTRIAL ETHERNET

CAT5 / CAT6 / CAT7

Für den Einsatz in Robotern  
und Schleppketten

Auch als kundenspezifische

**HYBRIDLEITUNGEN!**



+49 2162 898-0  
www.sab-kabel.de

**sps**

smart production solutions

Besuchen Sie uns!  
12.-14.11.2024 in Nürnberg  
Halle 2 / Stand 2-330

Entwicklung und  
Fertigung ab 300 m

SAB

CATLine



Anforderungen an Test- und  
Messanwendungen für Fahrzeuge

# Flexible Testverfahren

Testverfahren im Automotive-Bereich stellen oft sehr hohe Anforderungen an die Steckverbinder: Viele Steckzyklen bei gleichbleibenden Kontaktwiderständen sind ein Muss für zuverlässige Testergebnisse. Auch präzise Messergebnisse sind bei Crash-Tests und der Sensortechnologie unerlässlich – so wird der automobile Verkehr sicherer und die Anzahl verletzter Insassen reduziert.

TEXT: ODU BILDER: ODU; iStock, Benguhan





Bei Tests an Automobilen ist eine zuverlässige Datenübertragung essentiell.

Gerade im Automobilbereich ist eine sichere Übertragung von Signalen auch bei hoher Schock- und Vibrationsbelastung bei Testverfahren notwendig. Die Messergebnisse müssen selbst starken Belastungen standhalten. Nur eine robuste Bauweise und ein ebensolches Gehäuse schützen vor ungewolltem Lösen der Verbindung.

### Präzision bei maximaler Flexibilität

Für eine Vielzahl von anspruchsvollen Test- und Messanwendungen sind ODU Interconnect Solutions ideal: Von kompakten Rundsteckverbindern, über flexible modulare Steckverbinder bis hin zur Mass Interconnect Lösung. Dabei deckt das Produktportfolio unter anderem die Anwendungsbereiche Testfahrzeuge, Hardware in the Loop (HIL), End of Line Testing (EOL) sowie Schnittstellen für Hochstrom- und Hochspannungsübertragung ab. Zuverlässig. Robust. Leistungsfähig in rauen Umgebungen. Belastbare Ergebnisse. Das Unternehmen bietet präzise Steckverbindungen zum Stecken und Andocken für die Mess- und Prüftechnik.

### Diverse Anschlusschnittstellen für Testsysteme

Von den ODU MINI-SNAP Rundsteckverbindern für Testfahrzeuge reicht das Portfolio bis hin zum hochwertigen, modularen Steckverbindersystem der ODU-MAC Linien. Der Push-Pull Steckverbinder ODU MINI-SNAP sorgt für höchste Messeffizienz. Flexibel, zuverlässig und kompakt. Auch bei hoher Schock- und Vibrationsbelastung unterstützen die ODU MINI-SNAP Geräteteile die sichere Übertragung von Signalen. Das Metallgehäuse ist robust, die Push-Pull-Verriegelung sichert eine stabile Verbindung. Als belastbare Schnittstelle zwischen einem Messgerät und den Sensoren kommt der ODU AMC inklusive Konfektionierung mit einem Spiralkabel zum Einsatz. Bei einem reduzierten Gewicht von bis zu 70 Prozent bietet diese High-Speed-Datenübertragungen. Selbst auf kleinstem Bau- raum können unterschiedliche Übertragungsvarianten individuell konfiguriert werden.

Die ODU-MAC Blue-Line ist auf den Bereich HIL ausgerichtet. Mit der ODU-MAC Black-Line, dem Mass Interconnect System für End of Line Tests, werden ebenfalls hohe Ansprüche abgedeckt. Speziell für Hochspannung und Hochstromübertragung entwickelt, soll der ODU-MAC Power Connector für Präzision stehen. □



### CLEVER & EINZIGARTIG OPTA - PROGRAMMIERBARE LOGIKRELAIS Serie 8A



### OPTA

Mit über 4.000 Programmen aus der Arduino Bibliothek perfekt für nahezu jede Anwendung in der industriellen Automatisierung, OEM und Gebäudeautomation.

#### EIGENSCHAFTEN

- Versorgungsspannung 12...24 V DC
- 8 digitale/analoge (0-10 V) Eingänge
- 4 Relaisausgänge 10 A
- USB (Typ C) Highspeed-Anschluss für:
- Ethernet und/oder Modbus

STECKVERBINDER FÜR LWL IN KRITISCHEN UMGEBUNGEN

## Robuste Verbindung

Digitalisierung und Vernetzung dringen in immer neue Anwendungsgebiete vor und machen Bandbreite zu einem knappen Gut. Bisher wurde der Einsatz von Lichtwellenleitern (LWL) in rauen Umgebungen oft durch Bedenken hinsichtlich der Zuverlässigkeit und der einfachen Handhabung erschwert. Mit dem Steckkontakt Size 12 steht jedoch eine Lösung zur Verfügung, die auch im Industrieumfeld, in der Luftfahrt oder in der Medizin sichere LWL-Verbindungen gewährleistet.

TEXT: Max Komarow, Rosenberger OSI BILDER: Rosenberger OSI; iStock, Mauricio Graiki

Steckverbindung in rauen Umgebungen müssen über lange Zeit Vibrationen, thermischen und mechanischen Belastungen standhalten.



In der geschützten Umgebung eines Rechenzentrums oder eines Bürokomplexes sind Lichtwellenleiter inzwischen Standard. Anders sieht es dagegen in rauerer Umgebung aus, in denen Staub, stark schwankende und extreme Temperaturen, korrosive Flüssigkeiten und Dämpfe, Vibrationen und ähnliche Belastungen auftreten. Zudem stellt der Einsatz im Feld häufig höhere Anforderungen an die Zahl der Steckzyklen – alles andere als ideal für den Einsatz von LWL mit ihren empfindlichen Kontakten.

Auf der anderen Seite macht der schnell wachsende Bandbreitenbedarf auch vor Industriezweigen mit rauen Umgebungen nicht halt. Die Beispiele liegen auf der Hand:

**Industrie 4.0:** Eine hochautomatisierte industrielle Produktion benötigt uneingeschränkte Verfügbarkeit von Daten aus vielfältigen Quellen: Von Sensoren und Steuerungen über Kameras zur optischen Kontrolle bis hin zu Edge-Servern mit KI-Anwendungen, die große Datenmengen in Echtzeit verarbeiten.

**Luft- und Raumfahrt:** Eine große Anzahl hochempfindlicher Sensoren und Remote-Anwendungen sowie optische Anwendungen mit hoher Auflösung und Radarsysteme liefern eine Unmenge an Daten, die verarbeitet, gespeichert und übertragen werden müssen. Hinzu kommen extreme Anforderungen an Zuverlässigkeit und geringen Wartungsbedarf.

**Medizintechnik:** Bilddaten aus digitalem Röntgen, Magnetresonanztomographie (MRT) und Computertomographie (CT), Patienten-Monitoring und Datenübertragung zwischen verschiedenen Gebäuden oder an den entsprechenden behandelnden Arzt, Überwachung und Steuerung der IT-Infrastruktur in

Operationssälen – das alles benötigt enorme Bandbreiten. Darüber hinaus ist ein Krankenhausnetzwerk sicherlich einer der kritischsten Infrastrukturen, die überall eine absolute Zuverlässigkeit verlangt.

**Transportwesen:** In der Verkehrs- und Bahntechnik haben Lichtwellenleiter nicht nur eine hohe Bedeutung wegen der damit erzielbaren Bandbreite. Auch die mit Glasfasern erzielte galvanische Trennung sowie die Unempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Einstreuungen, die bei Kupferkabeln auftreten, sprechen für den Einsatz von LWL in dieser Branche.

**Bergbau, Öl- und Gasförderung:** Sowohl bei Abbau von Rohstoffen unter Tage als auch bei Öl- und Gasgewinnung auf Förderplattformen kommen hochkomplexe technische Systeme zum Einsatz, die ferngesteuert und mittels umfangreicher Sensorik und zahlreichen Kameras in Echtzeit genauestens überwacht werden. Dem hohen Bandbreitenbedarf stehen die extremen Umgebungsbedingungen mit Schmutz und Staub, extremen Temperaturen und Vibrationen gegenüber.

**Broadcast:** Nicht nur im Studio, sondern auch bei der Übertragung von Live-Events sind immense Datenmengen zu verarbeiten. Fernsehbilder in 4k- und 8k-Auflösung mit komplexem Ton, von zahlreichen Kameras und Mikrofonen aufgenommen, liefern einen breiten Datenstrom. Dieser muss wiederum auf Regie-Monitore, Reporterkabine und Abnahmepunkte der Sendeanstalten verteilt werden. Gerade im Eventbereich werden unzählige Auf- und Umbauten, sprich: eine enorme Zahl an Steckzyklen, absolviert.

**Defense:** Auch militärische Verteidigungs- und Kommunikationssysteme mit optischen und akustischen Systemen sowie

LWL besitzen eine hohe Bandbreite und sind unempfindlich gegen elektromagnetische Störstrahlung.



Remote-Steuerungen haben einen hohen Bandbreitenbedarf. Im Einsatz sind schwierigste Umgebungsbedingungen zu erwarten, die hohe Anforderungen an Zuverlässigkeit und Robustheit der Netzwerktechnik stellen.

### Verbindungen für besondere Anforderungen

Die Industrie hat auf diesen Bedarf mit der Entwicklung robuster Verbindungstechnologien reagiert. Ein Beispiel ist die Expanded Beam Optical Technologie. Die EBO-Technologie nutzt mit der Strahlaufweitung ein einfaches Prinzip, um Fiber-Optic-Steckverbindungen unempfindlicher gegen Verschmutzungen zu machen.

Das am Ende der Faser austretende Licht wird über eine Linsenoptik (z.B. Kugellinse) zu einem parallelen Lichtstrahl mit einer vielfach vergrößerten Fläche aufgeweitet, passiert dann die kontaktlose Verbindungszone und wird auf der Gegenseite ebenfalls durch eine identische Linse auf den ursprünglichen Durchmesser in die Glasfaser gebündelt.

Verunreinigungen, etwa durch ein Staubkorn oder Pollen, die den gebündelten Strahl zu einem erheblichen Teil oder sogar vollständig blockieren würde, verschatten bei der Strahlaufweitung nur einen kleinen Teil der Lichtfläche, so dass die korrekte Signalübertragung nicht gefährdet wird. Während Standard LWL-Stecker vor jeder Installation aufwändig und zum Teil je nach Verschmutzungsgrad mehrmals gereinigt werden müssen, damit es nicht zu Leistungseinbußen kommt, ist der Aufwand für die Reinigung der Kontakte bei der EBO-Technologie wesentlich reduziert - die Störung durch Partikel wird minimiert, da Pollen oder ein eingedrungenes Schmutzkorn nur einen kleinen Teil der vergrößerten Lichtfläche blockieren. Der Lichtstrahl wird so nicht mehr vollständig

blockiert, sondern lediglich geringfügig schwächer. Damit bleibt die Fähigkeit des Steckverbinders zur Datenübertragung vollständig erhalten.

Die EBO-Technologie trägt damit wesentlich zur Verbreitung von LWL in rauen Umgebungen bei, in denen staubfreies Arbeiten oder eine Wartung der Kontakte in kurzen Intervallen nicht möglich oder nicht wirtschaftlich durchführbar ist.

### Für ein flexibles Steckerdesign

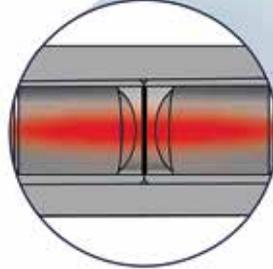
Neben fertigen EBO-Steckverbindern gibt es nun Linsensteckkontakte, mit deren Hilfe sich die EBO-Technik in eigene Steckerdesigns integrieren lässt. Sie sind für die Anbindung an Multimode-Glasfasern konzipiert und nutzen ebenfalls das Prinzip der Strahlaufweitung, um eine zuverlässige Datenübertragung zu gewährleisten. Da die Linsen nicht in direkten Kontakt kommen, gibt es auch keine mechanische Abnutzung, was die Lebensdauer des Steckkontaktes erhöht.

Für den Einsatz in herausfordernden Umgebungen wie dem Bergbau, der Luft- und Raumfahrt oder der Militärindustrie müssen jedoch weitere Voraussetzungen erfüllt werden. Dies gilt insbesondere für den zuverlässigen Halt der Steckverbindung, die über lange Zeit beispielsweise Vibrationen oder thermischen und mechanischen Belastungen standhalten muss. Als Qualitätsmerkmal hat sich hier die Zahl der Steckzyklen durchgesetzt, die der Hersteller für sein Produkt angibt.

Während für einfache und mittlere Anforderungen Steckkontakte mit einer Lebensdauer von 1.000 bis 5.000 Steckzyklen ausreichend sind, erreichen hochwertige Komponenten eine wesentlich höhere Lebensdauer, die auch extremen Anforderungen an die Verbindungssicherheit gerecht werden.



Der Linsensteckkontakt ist in Pin- und Buchsen-Ausführung ideal für den Gebrauch in Rundsteckern geeignet.



So lassen sich beispielsweise mit Rosenberger OSI Size-12-Linsensteckkontakten, die auf der EBO-Technologie basieren, und weiteren hochqualitativen Komponenten Stecker realisieren, die bis zu 100.000 Steckzyklen zuverlässig überstehen.

### Allgemeine und branchenspezifische Standards

Selbstverständlich müssen die Komponenten zwingend auch den allgemeinen Normen und Standards entsprechen, die für Lichtwellenleiter maßgeblich relevant sind, sowie den speziellen Standards für einzelne Branchen. So eignet sich der Size-12-Linsensteckkontakt unter anderem für den Einsatz in Rund- und Rechteck-Steckern nach MIL-DTL-38999, einem relevanten Standard für Steckverbinder in der Luft- und Raumfahrtindustrie.

### Fazit

Die Zeiten, in denen Glasfaser-Verkabelungen nur in „geeigneten“ Umgebungen wirtschaftlich zu installieren waren, sind vorbei. Die EBO-Technologie (in Singlemode und Multimode) ermöglicht es auch in rauen Umgebungen wie im Industrieumfeld, der Luft- und Raumfahrt oder der Medizintechnik geeignete Komponenten einzusetzen. Neben der hohen Bandbreite sprechen auch Eigenschaften wie galvanische Trennung und Unempfindlichkeit gegen elektromagnetische Störstrahlung für LWL, etwa beim Einsatz in der Bahn- oder Militärtechnik. Mit Size-12-EBO-Steckkontakten, die bis zu 100.000 Steckzyklen überstehen, lassen sich für alle Anwendungen geeignete Stecker entwickeln, die die Anforderungen an Zuverlässigkeit und Wartungsarmut erfüllen. □

**MES** THE CONNECTOR

# Es ist angerichtet...

Frisch zubereitet und liebevoll verfeinert:  
Stecker und Kabel für jeden Geschmack!

[mes-electronic.de](http://mes-electronic.de)



A professional portrait of Dominik Reßing, CEO of Congatec. He is a middle-aged man with short, light-colored hair, wearing a dark grey suit jacket over a white button-down shirt. He is smiling slightly and has his arms crossed. The background is a plain, light-colored wall.

INTERVIEW MIT DOMINIK REßING, CEO BEI CONGATEC

## „Kundennutzen im Fokus“

Dominik Reßing ist seit November 2023 neuer CEO bei Congatec. Seine Leidenschaft ist es, die technischen Möglichkeiten von Embedded- und Edge-Computing-Technologien in einen echten Kundennutzen zu transformieren. Ändert sich damit die Strategie des Computer-on-Modules-Anbieters?

DAS INTERVIEW FÜHRTE: Congatec / Bernhard Haluschak, E&E    BILDER: Congatec

Zur Evaluierung des aReady.COM Angebots stehen Kunden aktuell zwei Computer-on-Modules auf Basis des COM-HPC Standard zur Auswahl: Das COM-HPC-Mini-Modul conga-aCOM/mRLP sowie das performanceorientierte COM-HPC-Client-Size-A-Modul conga-aCOM/cRLP.



### **Herr Reßing, welche Ziele haben Sie sich für die ersten hundert Tage gesetzt?**

Mein Hauptziel war es, Congatec erst einmal näher kennenzulernen. Der Blick auf die internen Prozesse, das Team und die Zusammenarbeit war mir vor allem wichtig. Das zweite Thema ist natürlich, die Strategie voranzutreiben - den Fokus auf applikationsfertige Embedded Computing Ecosysteme weiter zu schärfen.

### **Konnten Sie bereits Veränderungen oder Neuerungen einführen?**

Der Markt ist heute sehr dynamisch. Wir kommen aus einer Allokationsphase. Im Moment dreht sich der Markt wieder in Richtung Kundenorientierung, es ist wichtig viel flexibler auf Kundenwünsche einzugehen. Hier konnte ich sicherlich einen Teil dazu beitragen, diese Flexibilität wieder zu aktivieren.

### **Ist alles wieder beim Alten? Oder hat die Allokationsphase zu Veränderungen geführt, die nachhaltig bleiben?**

Wir haben unsere Produktionskapazitäten in Europa und Asien erweitert und diversifiziert, indem wir neue Fertiger hinzugenommen haben, um unsere Resilienz zu erhöhen. In Zukunft werden wir auch in der Lage sein, in den USA zu produzieren. Dadurch, dass wir diese Aufgaben bereits in der Allokationsphase umgesetzt

haben und Fabless agieren, konnten wir unsere Kapazitäten jetzt noch schneller wieder hochfahren. Embedded-Computer-Hersteller mit eigener Fertigung kämpfen zum Teil heute noch mit Backlogs und Overdue-Orders, während wir bereits ein deutliches Umsatzwachstum realisieren. Vor allem europäische Unternehmen hinken hier deutlich hinterher.

### **Wie resilient ist Ihre Fertigung?**

Als Fabless Manufacturer sind wir viel besser aufgestellt als die meisten Insource Manufacturer, weil wir viel einfacher skalieren können. Wir hatten zum Beispiel überhaupt keinen Stress damit, schnell eine Fertigung in Osteuropa aufzubauen. Das liegt daran, dass die gesamte Methodik für das Hinzufügen neuer Fertiger bereits vorhanden ist. Unsere vollautomatischen Tests können jederzeit an anderen Standorten eingesetzt werden. Wir bedienen auch kleinere Losgrößen und müssen nicht unbedingt selbst fertigen. So können wir unsere Kunden in die Lage versetzen, selbst zu fertigen, wenn sie als Großkunden weitere Skaleneffekte erzielen wollen.

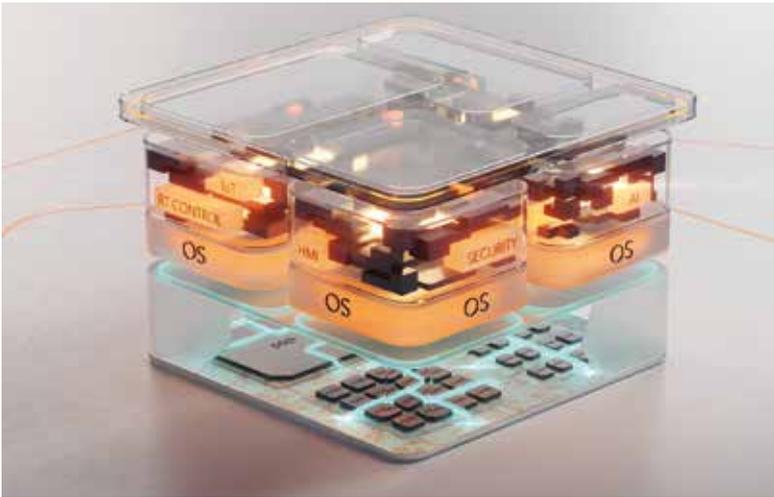
### **Resilienz hat immer ihren Preis. Wie entscheiden Ihre Kunden?**

Sicher spielt auch der Kostendruck eine wichtige Rolle. Nicht jeder konnte oder

wollte die Preissteigerungen weitergeben, weshalb einige Kunden wieder in Asien produzieren wollen. Wer Resilienz fordert, muss dafür ein paar Prozentpunkte am Verkaufspreis investieren sowie eine größere Kapitalbindung akzeptieren, um die Sicherheit zu bekommen, dass bei Lieferengpässen oder Ausfällen eine andere Produktionsstätte nahtlos einspringt. Zudem unterstützt eine verteilte Produktion auch die lokalen Strukturen unserer globalen Kunden.

### **Das sind gute Nachrichten für mehr Resilienz. Wo liegen im Einzelnen die Herausforderungen für Congatec?**

Congatec ist kein alteingesessener Großkonzern, aber immerhin ein 200-Millionen-Euro-Unternehmen, das sich in 20 Jahren eine weltweit führende Position im Computer-on-Modules-Geschäft erarbeitet hat und weiter ausbauen wird. Dieses Wachstum muss strukturell begleitet werden. Ich habe in den letzten 10 Jahren in deutlich größeren Unternehmen Erfahrungen gesammelt mit ganz anderen Strukturen - die zugegebenermaßen nicht immer nur positiv waren. Aber das starke Wachstum - vor allem in den letzten Jahren, in denen congatec seinen Umsatz fast verdoppelt hat - erfordert eine Veränderung in genau diese Richtung. Zum Glück sind wir sehr integrativ aufgestellt



Die aReady.COM Hardware- und Software-Building-Blocks lassen sich nach spezifischen Kundenanforderungen zusammenstellen.

und haben eine hervorragende Unternehmenskultur. Man glaubt gar nicht, wie international und multikulturell dieses Unternehmen aus dem Bayerischen Wald aufgestellt ist. Das erleichtert es natürlich, notwendige Veränderungen auch länderübergreifend anzustoßen.

#### **Wie wollen Sie mehr Umsatz generieren?**

Computer-on-Modules sind nach wie vor ein Wachstumsmarkt und wir sind klarer Marktführer im Bereich der High-Performance Computer-on-Modules. Durch unsere Fokussierung auf COMs sind wir zudem ein hoch spezialisiertes Unternehmen. Alle anderen Marktbegleiter sind durch die Differenzierung ihres Produktportfolios gewachsen, wir durch unseren Fokus auf COMs. Und genau das wollen wir auch weiterhin tun. Wenn man sich die neuen Anforderungen wie Security, AI und Edge Computing anschaut, dann wird das Compute-Element immer zentraler. Es ist der Enabler für all diese Anforderungen. Deshalb werden wir auf unseren COMs die notwendigen Application-Stacks noch besser unterstützen.

#### **Kommt das Wachstum von Congatec nur ausschließlich aus der Software?**

Nicht nur. Wir können auch neue Kunden adressieren, die wir bisher nicht erreichen konnten. Ich denke da an Standard-IPCs mit Motherboards, die eine Langzeit-

verfügbarkeit von meist nur 5 Jahren und höhere Ausfallraten haben. Die Hersteller solcher Lösungen haben bisher aufgrund der standardisierten Plattformen einen besseren Support auf Application-Stack-Ebene. Diesen bieten wir nun ebenfalls an und fügen mit 10 Jahren eine doppelt so hohe Langzeitverfügbarkeit und eine deutlich höhere Ausfallsicherheit hinzu.

#### **Werden Sie auch Ihr aktuelles Angebot an den kundenspezifischen Carrierboard-Designs erweitern?**

Dedizierte Carrierboard-Designs werden wir ausbauen, aber nur in begrenzten Stückzahlen selbst realisieren. Unsere Kernkompetenz sind die Computing-Cores und unsere Kunden sind Experten für dedizierte I/Os. Außerdem sehen wir einen Trend zur Standardisierung der Schnittstellen, so dass das Customizing, also das Weglassen oder Verlegen von Schnittstellen an andere Stellen, eine größere Rolle spielt. Um jedoch das Angebot im Bereich der Carrierboards zu erweitern, arbeiten wir daran, unser Partnernetzwerk für die verschiedenen vertikalen Märkte auszubauen und werden unser Angebot entsprechend erweitern.

#### **Wie entwickelt sich das Segment der COM-HPC Server?**

Designs mit Embedded-Server-CPU finden sich im Bereich des autonomen

Fahrens - unter anderem für die Produktions-, Lager- und Versandlogistik, aber auch im Bereich von Basisstationen für die Telekommunikation. Sie befinden sich in der Entwicklungsphase. Wir erwarten, dass erste Kundenprodukte in ein bis drei Jahren in Serie gehen. Es braucht Zeit, bis der Markt die neue Technologie versteht und anwendet. Etwas schneller sind wir bei den COM-HPC Client Modulen, allen voran COM-HPC Mini.

#### **Gibt es weitere Herausforderungen? Zum Beispiel durch IIoT?**

Ja, natürlich. Unsere Kunden brauchen Updatemechanismen auf jeder Maschine und jedem Gerät, egal wo sie stehen oder fahren. Das Thema Sicherheit ist dabei für viele eine große Hürde. Mit dem neuen Cyber Resilience Act der EU sind noch einmal neue Anforderungen hinzugekommen. Die damit verbundene Normenreihe IEC 62443 setzt OEMs in die Pflicht, für die Cybersecurity ihrer Produkte zu sorgen. Als einer der ersten Anbieter überhaupt werden wir deshalb sicherheitszertifizierte Module auf den Markt bringen. Vor allem für High-Performance x86 und Arm Prozessoren.

**Sie haben mehrfach das Thema High-Performance als besonderes Merkmal hervorgehoben. Sind Small Form Factor Module und Arm weniger relevant?**

„Es braucht Zeit, bis der Markt die neuen Technologien versteht und anwendet.“

Wir konzentrieren uns mit SMARC auf das High-End und die Arm-Prozessorbasierten Module sind stückzahlmäßig eines der wachstumsstärksten Segmente bei Congatec. Das Low-End werden wir nicht bedienen, da hier die vergleichsweise geringen Margen die hohe Qualität unseres Gesamtpakets nicht decken. Wir verfolgen also definitiv weiter die Strategie, alle leistungsfähigen Arm- und x86-Prozessoren als Auswahlmöglichkeit für unsere Kunden anzubieten. Damit entsprechen wir auch der Nachfrage im Markt. Eine architekturfokussierte Strategie wäre hier nicht zielführend.

**Wie wollen Sie in diesem Marktsegment der Computer-on-Modules in Zukunft weiter wachsen?**

Wir entwickeln Embedded und Edge Computer Technologie und machen sie für OEMs verfügbar. Das ist unser Kerngeschäft und Computer-on-Modules sind das Vehikel, das wir dafür nutzen. Dieses Vehikel entwickeln wir weiter, um den steigenden Anforderungen gerecht zu werden. Hier geht es um Themen wie Cybersecurity, KI und Konnektivität. In all diesen Bereichen sind wir aktiv, um neue Mehrwerte zu schaffen. Mit unserem klaren Fokus auf Computer-on-Modules können wir die Integration neuer Software-Stacks natürlich sehr effizient umsetzen. Deshalb sind wir in diesem

Bereich deutlich weiter als breit aufgestellte Anbieter, die sich noch um viele andere Aufgaben kümmern müssen. Die zur Embedded World vorgestellte aReady-Strategie unterstreicht eindrucksvoll diese Positionierung.

**Für welche dedizierten Mehrwerte steht die Congatec-aReady-Strategie konkret und was wurde rückblickend bis heute bereits umgesetzt?**

Wir haben erste Computer-on-Modules mit Firmware-integriertem „Hypervisor-on-Module“ verfügbar gemacht. Diese Virtualization Ready Module erleichtern den OEMs die Konsolidierung von Hardware-Plattformen am Edge enorm. Neben Ubuntu Pro und RT Linux bietet Congatec darüber hinaus mit ctrlX OS von Bosch Rexroth ein Linux-basiertes IEC 62443 konformes Betriebssystem (Cybersecurity) direkt auf seinen Modulen an. Um all das zu realisieren, haben wir deutlich mehr Ressourcen in unsere COMs investiert.

**Als Marktführer mehr Ressourcen in die Kernkompetenz zu stecken, ist ein plausibles Konzept, das den Kunden neue Mehrwerte bietet und das Angebot von der Konkurrenz differenziert!**

Ja, das ist auch ein Grund, warum ich froh bin, bei Congatec und nicht woanders gelandet zu sein! □

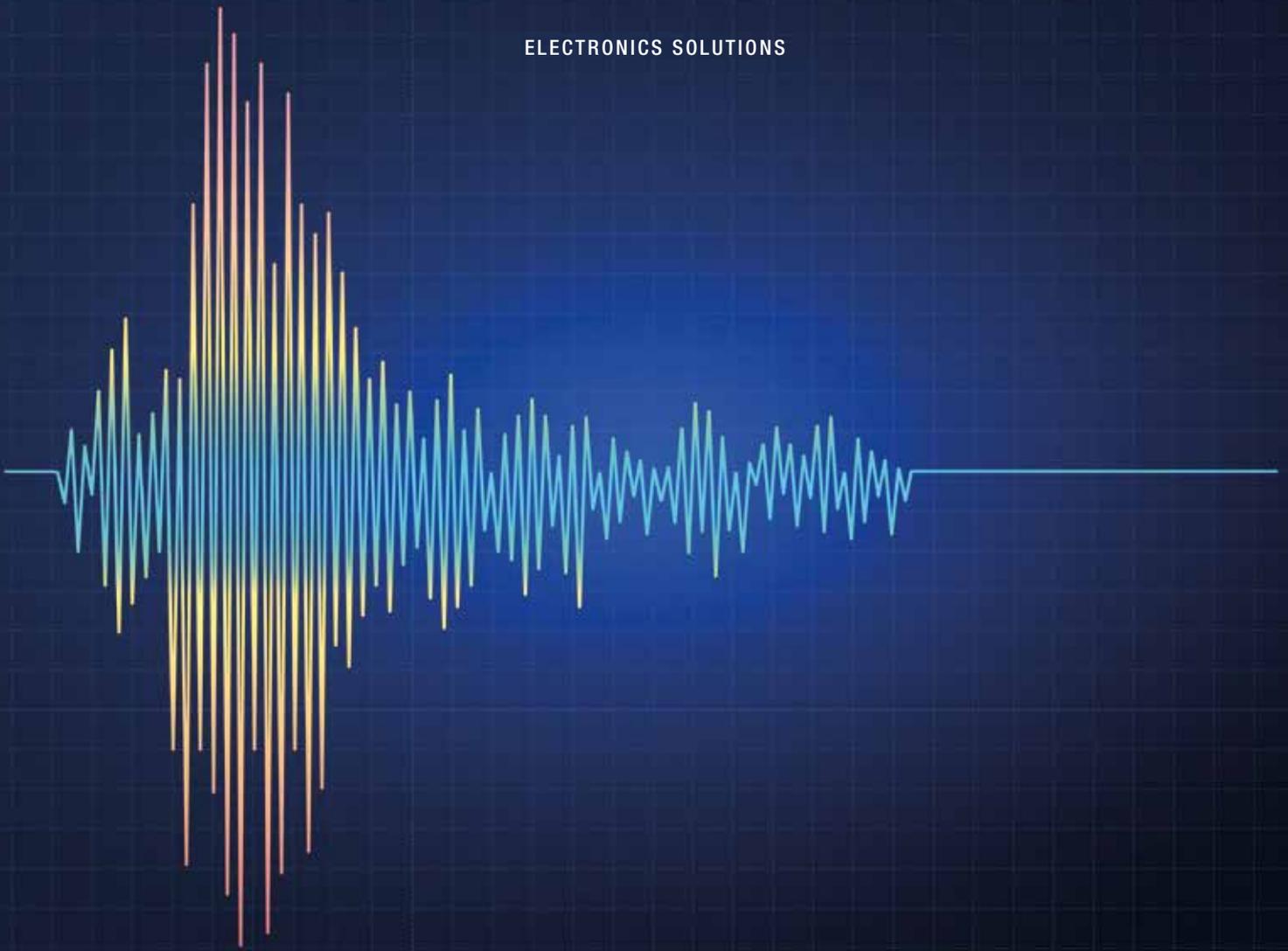
# Höchste Eisenbahn für intelligente Datengenerierung

Das JetSys-2010 bringt die volle KI-Power von Nvidia AGX Orin in anspruchsvollere Industrieumgebungen - rüttelfest und vibrationsfest nach EN50155



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





EINE NEUE ÄRA IN DER ELEKTROCHEMISCHEN SENSORTECHNIK

## Sensible Sensoren

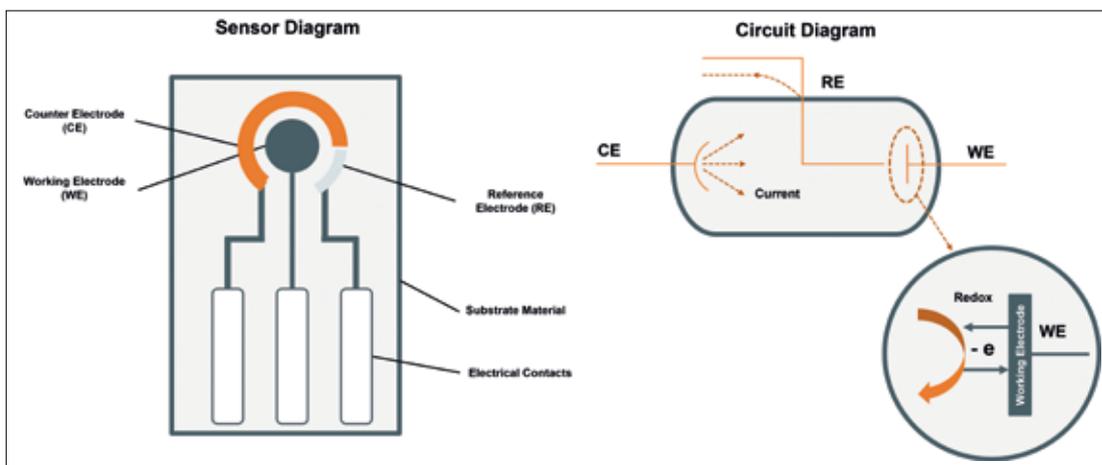
An der Spitze der wissenschaftlichen Forschung ist die elektrochemische Sensorik eine unverzichtbare und anpassungsfähige Technik, die sich auf viele Branchen auswirkt. Von der Bio- und Umweltwissenschaft bis hin zur industriellen Material- und Lebensmittelverarbeitung gibt die Fähigkeit, Chemikalien zu quantifizieren, einen besseren Einblick und erhöht die Sicherheit, Effizienz und das Bewusstsein.

TEXT: Hideo Kondo, Onsemi BILDER: Onsemi; iStock, SvitDen

Im Zeitalter fortschrittlicher vernetzter Technik kann die Bedeutung stromsparender und hochpräziser elektrochemischer Sensoren gar nicht hoch genug eingeschätzt werden. In unseren Häusern können wir mit vernetzten Geräten die Qualität der Luft, des Wassers und des Bodens für unsere Pflanzen überwachen. In der Industrie ist der Bedarf sogar noch größer. Intelligente medizinische Geräte, einschließlich Wearables, ermöglichen die Gesundheitsversorgung des 21. Jahrhunderts,

indem sie eine kontinuierliche Echtzeit-Überwachung der Vitalwerte von Patienten innerhalb und außerhalb klinischer Einrichtungen sicherstellen. Damit verbessern sich die medizinischen Erkenntnisse sowie die Versorgungsqualität.

In ähnlicher Weise hat die Industrie 4.0 in der Fertigung und Automatisierungstechnik dazu geführt, dass viele Branchen umfangreiche Netzwerke von Sensorknoten einsetzen,



Aufbau eines elektrochemischen Sensors

um ihre Effizienz und Sicherheit zu verbessern. Sensoren können giftige Gase überwachen, die bei verschiedenen industriellen Prozessen entstehen, und ermöglichen Rückmeldesysteme in Industrieanlagen. In der Lebensmittelverarbeitung ist die Erkennung von Verderb und allergenen Stoffen unerlässlich. Elektrochemische Sensoren helfen hier, die Geschmacksprüfung vor dem Kochen zu automatisieren, pH-Werte zu melden und Histamine zu erkennen.

Ob es um die Überwachung des Blutzuckerspiegels bei Diabetikern, die Bewertung von Umweltschadstoffen, das Gewährleisten der Lebensmittelsicherheit oder das Charakterisieren von Materialien auf atomarer Ebene geht – elektrochemische Sensoren spielen eine zentrale Rolle, wissenschaftliche Erkenntnisse weiterzuentwickeln und unsere Lebensqualität zu verbessern.

Dieser Beitrag befasst sich mit den Grundsätzen der elektrochemischen Sensorik, den Anforderungen an eine effektive Sensorleistung, mit der Frage, wie ein analoges Frontend (AFE) eine Brücke für die Strommessung und -analyse sein kann, sowie mit konkreten Beispielen für den Einsatz dieser Sensoren in der Medizintechnik, beim Umweltschutz, in der Lebensmittelindustrie und in der Materialwissenschaft.

## Elektrochemische Messungen verstehen

Der Aufbau eines elektrochemischen Sensors umfasst ein System mit drei Elektroden – eine Anordnung, die auch bei vielen anderen Sensortypen zu finden ist. Im Inneren des Sensors befindet sich ein Substratoberflächenmaterial, das als Schutzschicht für die Sensorelektrode dient. Die Hauptfunktion dieses Materials besteht darin, die Menge der Moleküle zu regulieren, die auf die Elektrodenoberfläche gelangen. Zudem soll es alle unerwünschten Partikel herausfiltern, die die Genauigkeit des Sensors beeinträchtigen könnten.

## Aufbau eines Sensors

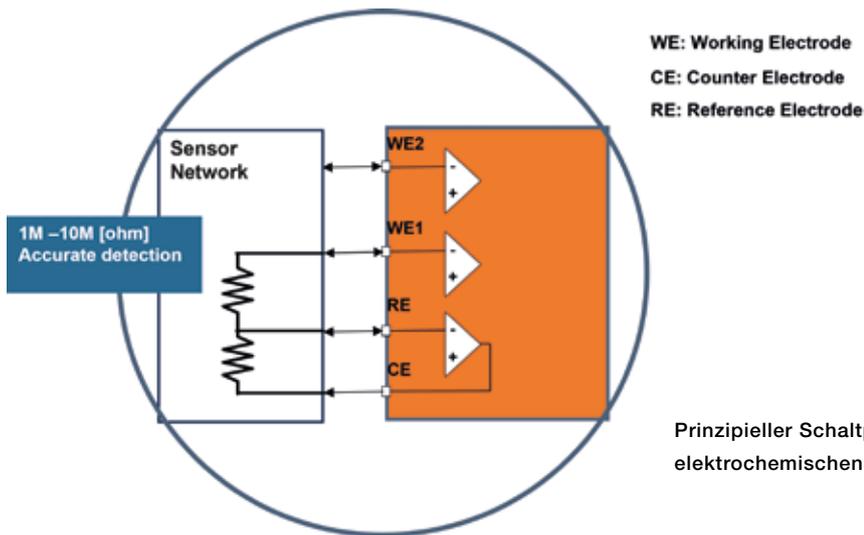
Das Herzstück des Sensors besteht aus drei Hauptteilen. Die Arbeitselektrode (WE) ist der Ort, an dem die elektrochemische Reaktion stattfindet. Treffen Partikel auf WE, findet eine Reaktion statt, die zu einem Verlust oder einer Zunahme von Elektronen führt, was einen Elektronenfluss und damit eine Stromerzeugung zur Folge hat. Das Aufrechterhalten eines konstanten Potentials an der WE ist entscheidend, da dies eine genaue Messung des durch Redoxreaktionen erzeugten Stroms ermöglicht.

Die Gegenelektrode (CE) liefert ausreichend Strom, um die an der WE ablaufenden Redoxreaktionen auszugleichen und ein komplementäres Paar zu bilden. Die Referenzelektrode (RE) dient zur Messung des Potentials der WE und bietet eine Rückmeldung, um die CE-Spannung zu ermitteln.

Der High-Side-Widerstand in einem elektrochemischen Sensor ist ein unerwünschter Faktor, der minimiert werden sollte. Dafür wird RE in der Nähe von WE platziert. Der Strom, der durch den Low-Side-Widerstand fließt, zeigt den Ausgang der elektrochemischen Messung an und wird daher verwendet, um die Ausgangsspannung des Sensors abzuleiten.

## Anforderungen an Sensoren

Unabhängig davon, ob ein elektrochemischer Sensor in Consumer-, Gesundheits- oder Industrieanwendungen zum Einsatz kommt, muss er eine Reihe festgelegter technischer Anforderungen erfüllen. Hohe Genauigkeit und geringes Rauschen sind selbstverständlich, aber daneben muss er einfach zu kalibrieren sein, um dem breiten Anwendungsspektrum gerecht zu werden. Denn die Gehäuseart oder die Betriebsumgebung können die Kalibrierung sofort oder im Laufe der Zeit beeinflussen.



Prinzipieller Schaltplan für einen elektrochemischen Sensor

Da viele elektrochemische Sensoren in tragbaren oder stromsparenden Lösungen zu finden sind, zum Beispiel in Wearables der Medizintechnik oder in industriellen Prozessknoten, gibt es eine Reihe von Anforderungen. Gefragt sind Lösungen, die stromsparend arbeiten und batteriebetriebene Anwendungen unterstützen, die miniaturisiert und flexibel sind, sodass sie verschiedene Sensorkonfigurationen und eine einfache Systemintegration ermöglichen. Intelligente Vorverarbeitung ist ein weiteres wichtiges Merkmal, da damit eine anspruchsvollere Kalibrierung und Rauschfilterung möglich ist und genauere Daten bereitgestellt werden.

## Gängige Sensoranwendungen

Elektrochemische Sensoren kommen in der Biowissenschaft und im Gesundheitswesen für verschiedene Zwecke zum Einsatz, so zur Erkennung des Blutalkoholspiegels und zur bequemen kontinuierlichen Überwachung des Blutzuckerpiegels (CGM; Continuous Glucose Monitoring). Dieser ist wichtig bei der Behandlung von Diabetes, einer chronischen Krankheit, von der weltweit 1 von 11 Personen betroffen ist. Der Markt für CGM-Geräte soll im Zeitraum 2023 bis 2032 eine jährliche Wachstumsrate (CAGR) von 9 Prozent erreichen.

Der CEM102 von Onsemi etwa ist ein miniaturisiertes Analog-Frontend (AFE), das für die genaue Messung elektrochemischer Ströme entwickelt wurde und auf neue klinische und tragbare medizintechnische Geräte ausgerichtet ist. Sein Betrieb verbraucht nur 50 nA im deaktivierten Modus, 2 µA im Sensor-Bias-Modus und 3,5 µA im aktiven Messmodus, wobei der 18-Bit-A/D-Wandler kontinuierlich wandelt und zwei Batteriespannungen von 1,3 bis 1,65 V und von 2,375 bis 3,6 V unterstützt. Damit ergibt sich eine Betriebsdauer von 14 Tagen mit nur einer 3-mAh-Batterie. Der Sensor unterstützt ein bis vier Elektroden, und sein kompaktes Gehäuse von

1,88 mm x 1,85 mm ermöglicht kleinere Produkte mit längerer Batterielebensdauer, was ihn ideal für den Betrieb im IoT-Umfeld macht. Die Kombination aus niedrigem Stromverbrauch, flexibler Konfiguration und geringer Größe macht ihn zu einer idealen Lösung, wo immer ein elektrochemischer Sensor erforderlich ist.

Neben der Medizintechnik eignen sich elektrochemische Sensoren auch für den Nachweis toxischer Gase in industriellen Anwendungen oder für die Messung von Verschmutzung und Luftqualität in Umweltanwendungen. Sie beruhen auf einer chemischen Reaktion zwischen dem Zielgas und einer Elektrode, wobei ein elektrischer Strom erzeugt wird, der proportional zur angegebenen Gaskonzentration ist. Elektrochemische 20-mm-Sensoren sind weit verbreitet, für mehrere giftige Gase erhältlich, darunter Kohlenmonoxid, Schwefelwasserstoff, Stickstoff- und Schwefeloxide, und sie lassen sich einfach austauschen. Die Sensoren kommen in Anwendungen zum Einsatz, die von Luftqualitätssensoren in städtischen Umgebungen bis hin zu intelligenten landwirtschaftlichen Anwendungen zur Überwachung des Pflanzenwachstums reichen.

In ähnlicher Weise sind elektrochemische Sensoren wie Potentiostat- oder Korrosionssensoren in Umgebungen wie Laboren, im Bergbau und in der Materialproduktion von Bedeutung. Sie dienen für die Rückmeldung innerhalb von Produktionssystemen und für den Umgang mit gefährlichen Stoffen, um die Sicherheit des Betriebs zu gewährleisten.

Für mehr Ausbeute und Produktionseffizienz setzt nun auch die Lebensmittelindustrie elektrochemische Sensoren ein. Hier werden tragbare Handgeräte oder auch größere Automaten zur Qualitätskontrolle von Lebensmitteln eingesetzt, um den Geschmack sicherzustellen und Verderb, Allergene oder gefährliche Chemikalien zu erkennen. □



## NEUE VNA-PLATTFORM

# SIGLENT'S NEUER PERFORMANCE ANALYZER

Siglent präsentiert seinen leistungsstärksten Vektor-Netzwerkanalysator. Die neuen Modelle beeindrucken durch hohe Dynamik und flexible Erweiterungsmöglichkeiten und sind daher ideal für anspruchsvolle Messanforderungen geeignet.

Die rasante Weiterentwicklung der Funktechnologien steigert den Bedarf an leistungsstarker Messtechnik. Die neue VNA-Serie SNA6000A von Siglent erfüllt diese Anforderungen mit beeindruckenden Spezifikationen und zahlreichen hilfreichen, leistungsstarken Funktionen. Die Serie umfasst insgesamt acht Modelle, die in Bandbreiten von 13,5 GHz und 26,5 GHz erhältlich sind. Für jede Bandbreite stehen sowohl ein 2-Port- als auch ein 4-Port-Modell zur Verfügung. Alle Modelle sind sowohl in einer Standardausführung als auch in einer erweiterten Version mit Direct-Receiver-Access (DRA) erhältlich.

Der SNA6000A überzeugt mit einem großen Dynamikbereich von über 135 dB, was ihn ideal für die detaillierte Analyse des Sperrbereichs eines Filters macht, ohne den Durchlassbereich aus den Augen zu verlieren. Neben der Messung von Single-Ended S-Parametern können auch differentielle S-Parameter erfasst werden. Der VNA lässt sich zudem erweitern, um gepulste Messungen durchzuführen. Mit der Option SNA5000-TDR (Time Domain Reflectometry) sind Analysen im Zeitbereich möglich,

einschließlich der Darstellung von Augendiagrammen und der Messung von Jitter. Optional steht auch eine Spektrumanalysator-Funktionalität zur Verfügung.

Nicht immer können alle externen Einflüsse durch Kalibration eliminiert werden. Für diese Fälle ist es wichtig, dass entsprechende Möglichkeiten vorhanden sind Einflüsse von z.B. Kabeln und Testfassungen zu eliminieren. Die SNA6000A Serie bietet dafür die Funktion der anpassbaren Referenzebene, das Entfernen von Adaptern sowie Embedding/De-Embedding. Ein integrierter Formeleditor und Maskentest unterstützen Entwickler bei der Analyse des Testobjekts und beschleunigen die Auswertung. Der große 12-Zoll-Touchscreen ist flexibel konfigurierbar und ermöglicht eine übersichtliche Darstellung mehrerer Fenster mit unterschiedlichen Messungen.

Zusammengefasst, ist die SNA6000A Serie eine leistungsstarke und vielseitige Lösung für präzise Messungen und umfassende Analysen. □

NACHHALTIGER SCHIENENVERKEHR MIT SiC-HOCHLEISTUNGSMODULEN

## HIGHSPEED MIT HYBRIDANTRIEB

Auf dem Weg zu einer Zukunft mit Netto-Null-Emissionen werden Dieselmotoren durch Züge mit Hybridantrieb ersetzt. Diese können mithilfe von Strom aus Oberleitungen oder – wo eine Elektrifizierung der Strecke nicht möglich ist – aus Bordbatterien oder Brennstoffzellen betrieben werden. Für solche Hybridzüge sind Energieeffizienz und Gewichtsoptimierung essentiell. Beides kann man mit Leistungsmodulen aus Siliziumkarbid erreichen.

TEXT: Dr. Diana Car, Infineon Technologies BILDER: Infineon Technologies; iStock, hxdyl





XHP™ 2 CoolSiC™ MOSFET 3.3kV with .XT	
	<p><b>FF2000UXTR33T2M1</b> – <math>R_{DSon} (25^{\circ}C) = 1.9 \text{ m}\Omega</math> – <math>I_{Dnom} = 1000 \text{ A}</math></p> <p><b>FF2600UXTR33T2M1</b> – <math>R_{DSon} (25^{\circ}C) = 2.5 \text{ m}\Omega</math> – <math>I_{Dnom} = 750 \text{ A}</math></p>
Energy efficiency   Power density   Robustness   Reliability	

Die XHP 2 CoolSiC-MOSFETs mit 3,3 kV und .XT-Technologie sind für die Bereitstellung hoher Leistungen in anspruchsvollen Anwendungen wie der Bahntechnik konzipiert.

Laut der Internationalen Energieagentur (IEA) war der Verkehrssektor im Jahr 2022 für 22 Prozent der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich. Um ein Netto-Null-Klimaziel zu erreichen, muss der öffentliche Verkehr von Fahrzeugen, die mit fossilen Brennstoffen betrieben werden, auf umweltfreundliche Verkehrsmittel umsteigen, zum Beispiel auf elektrifizierte Züge, die mit erneuerbarer Energie betrieben werden.

Die Treibhausgasemissionen bei der Bahn betragen etwa ein Fünftel der Emissionen im Vergleich zu Flugreisen – ein Anteil, der sich bei elektrifizierten Zügen, die mit erneuerbaren Energien betrieben werden, noch weiter senken lässt. Der Ausbau und die Elektrifizierung der Schieneninfrastruktur sind daher unerlässlich, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren und die Klimaziele zu erreichen.

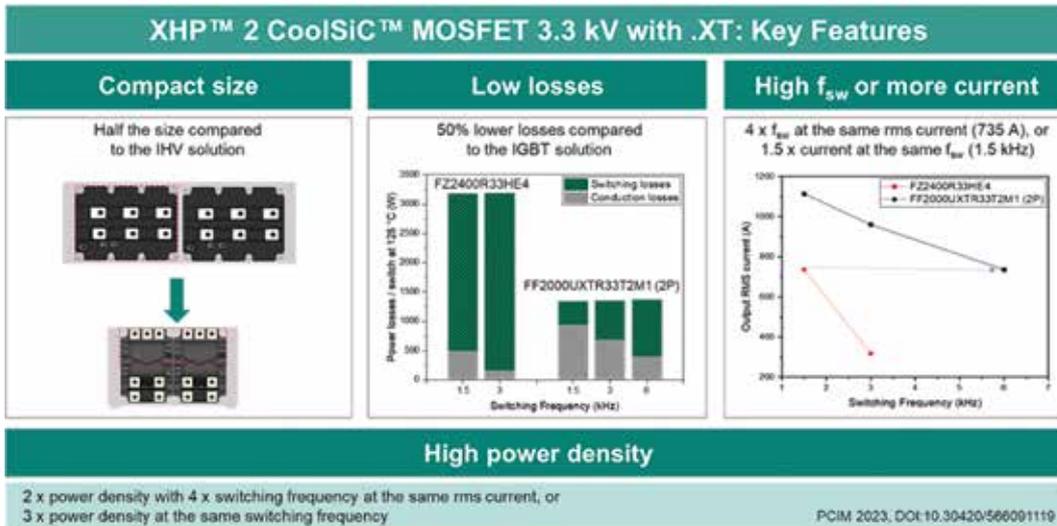
Im Gegensatz zu Elektroautos sind Elektroloks schon seit über hundert Jahren weitverbreitet. Dennoch ist die Elektrifizierung des Schienennetzes bei Weitem noch nicht abgeschlossen. Ein weltweiter Vergleich des Elektrifizierungsgrads der Bahn zeigt erhebliche Unterschiede. Spitzenreiter ist Indien mit einem Elektrifizierungsgrad von etwa 85 Prozent, gefolgt von Japan mit etwa 80 Prozent elektrifizierter Strecken. China, das über das weltweit größte Hochgeschwindigkeits-

Bahnnetz verfügt, holt mit einer Elektrifizierungsrate von etwa 70 Prozent auf. In Europa sind etwa 60 Prozent der Bahnstrecken elektrifiziert. In Amerika hingegen ist die Mehrheit der Züge noch immer mit Dieselantrieb unterwegs.

## Hybridantrieb

Um ein Netto-Null-Szenario zu erreichen, müssen Dieselzüge elektrifiziert werden. Dazu können die Züge über Oberleitungen oder sogenannte Dritte-Schiene-Systeme elektrifiziert werden. Wo die Elektrifizierung von Bahnstrecken nicht sinnvoll ist, werden Züge mit Hybridantrieb benötigt. Dabei handelt es sich um Züge, die auf nicht elektrifizierten Streckenabschnitten mit Bordbatterien oder Wasserstoff-Brennstoffzellen betrieben werden können. Im Mittelpunkt der Umstellung auf einen umweltfreundlichen Zugverkehr stehen energieeffiziente Leistungshalbleiter, da sie zu Energieeinsparungen in verschiedenen Teilen des Zuges beitragen, zum Beispiel:

- Energiewandlung von der Oberleitung zum Motor, das heißt im Leitungsumrichter zwischen Oberleitung/Fahrleitung und Zwischenkreiskondensator sowie im Motorumrichter zwischen Zwischenkreiskondensator und Zugmotor
- Leistungsübertragung von der Batterie oder der Brennstoffzelle



Die Hauptmerkmale der XHP 2 CoolSiC MOSFETs 3,3kV mit .XT-Technologie lassen sich direkt in zahlreiche Systemvorteile umsetzen.

zum Motor, das heißt im DC/DC-Wandler zwischen der Batterie oder der Brennstoffzelle und dem Zwischenkreis-kondensator und im Antriebswechselrichter zwischen dem Zwischenkreis-kondensator und dem Zugmotor

- Stromversorgung von Nebenverbrauchern wie zum Beispiel Klimaanlage, Lüftung und Beleuchtung

Die Energieeffizienz steht zwar häufig im Vordergrund, die Züge müssen aber auch unter extremen Bedingungen mit anspruchsvollen Einsatzprofilen über eine Lebensdauer von 35 Jahren oder mehr betrieben werden können. Raus Klima mit Temperaturen um den Gefrierpunkt, Hitze und Feuchtigkeit sowie die häufigen Beschleunigungs- und Bremsvorgänge können zu thermomechanischen Belastungen und Alterungserscheinungen führen. Daher müssen Leistungshalbleiter nicht nur energieeffizient sein und eine hohe Leistungsdichte bieten, sondern auch eine hohe Qualität und Zuverlässigkeit aufweisen.

### SiC-Power für die Schiene

In diesem Umfeld hat Infineon zwei Siliziumkarbid (SiC)-Module mit 3,3 kV Nennspannung vorgestellt, die hohe Leistungen (~1,5 MW) für Anwendungen mit anspruchsvollen Einsatzprofilen, wie zum Beispiel Schienenfahrzeuge, bereitstellen können. Siliziumkarbid-Leistungshalbleiter haben im Vergleich zu Silizium-Leistungshalbleitern deutlich geringere Leistungsverluste und ermöglichen so energieeffiziente Traktionsumrichter. In einem von Siemens Mobility und den Münchner Verkehrsbetrieben organisierten Feldtest haben die XHP 2 CoolSiC-Leistungs-module im Vergleich zu Siliziummodulen eine um 10 Prozent höhere Energieeffizienz erzielt. Die Siliziumkarbid-Leistungs-module bieten viel Leistung auf kleinem Raum und ermöglichen

so kompaktere Leistungswandler. Vergleicht man die Leistung des 2-stufigen, 3-phasigen Motorumrichters auf Basis der 3,3 kV IGBT IHV-Lösung (zwei FZ2400R33H34 parallel) mit der Leistung des 2-stufigen, 3-phasigen Motorumrichters auf Basis der neuen 3,3 kV SiC XHP 2 Module (zwei FF2000UXTR33T2M1 parallel), so zeigt sich, dass die SiC-basierte Lösung im Vergleich zur IGBT-Lösung 50 Prozent geringere Verluste aufweist, was zu 50 Prozent mehr Ausgangsstrom bei gleicher Schaltfrequenz (1,5 kHz) oder dem gleichen Ausgangsstrom bei einer viermal höheren Schaltfrequenz (6 kHz statt 1,5 kHz) führt. Da die Leistungswandler mit hohen Schaltfrequenzen arbeiten können, ermöglichen Siliziumkarbid-Leistungs-module außerdem eine Verringerung der Größe und des Gewichts der verschiedenen großen magnetischen Komponenten im System.

Energieeffizienz und Gewichtsoptimierung sind für Hybridzüge von entscheidender Bedeutung. Beide Aspekte tragen dazu bei, die Reichweite dieser Züge im Batterie- oder Brennstoffzellenbetrieb zu erhöhen. Falls die oberleitungsfreie Reichweite des Zuges nicht vergrößert werden muss, können die verbesserte Energieeffizienz und die Gewichtsreduzierung genutzt werden, um die Größe der Batterie zu verringern und damit die Kosten zu senken. Das ist besonders wichtig, da die Batterien nach wie vor die Hauptkostenfaktoren für solche Züge sind. Nicht zuletzt tragen Siliziumkarbid-Leistungshalbleiter zu leiseren Zügen bei. Zum einen benötigen die verlustarmen und energieeffizienten Siliziumkarbid-Halbleiter weniger Kühlung, was vereinfachte Kühlsysteme ermöglicht (passive Luftkühlung statt forcierter Luftkühlung). Das bedeutet, dass die Lüfter entfallen können und die Kühlung leiser wird. Andererseits kann durch den Betrieb von Traktionsumrichtern mit höheren Schaltfrequenzen das vom Zugmotor ausgehende hörbare Geräusch reduziert werden.

## Verlängerte Lebenszeit

Neben der Leistungsdichte, der Energieeffizienz und der Gewichtsoptimierung erfordern bestimmte Anwendungen wie der Schienenverkehr auch eine hohe Zyklendifestigkeit der Leistungsmodule. Betrachten wir das am Beispiel eines Regionalzugs. Während seiner Lebensdauer von etwa 30 Jahren wird ein solcher Zug etwa 900.000 Starts und Stopps durchführen. Jedes dieser Ereignisse ist mit einem Temperatur- und Leistungszyklus verbunden, der thermomechanische Spannungen auf den Verbindungsschichten im Leistungsmodul verursacht, beispielsweise an den Bonddrähten des Chips oder an der Die-Attach-Schicht direkt unterhalb des Chips. Diese thermomechanische Belastung führt zur Alterung und verringert die Lebensdauer der Leistungsmodule in der Anwendung.

Die XHP 2 CoolSiC MOSFET-Lösung ist einzigartig, weil sie Hochleistungs-Siliziumkarbid mit der .XT-Verbindungstechnologie kombiniert. Die .XT-Technologie zielt genau auf die Schichten ab, die bei solchen Zyklen am stärksten belastet werden, und macht sie robuster und zuverlässiger. Dadurch wird die Zyklendifestigkeit erhöht und die Lebensdauer des Produkts in der Anwendung verlängert. Um die Leistungsfähigkeit von .XT zu verdeutlichen, wurde eine Lebensdauersimulation anhand des exemplarischen Einsatzprofils eines Leistungswandlers in einem regionalen Hybridzug durchgeführt. Dabei wurde SiC mit Standardverbindungstechnik (Al-Bonddrähte, Al-Frontmetallisierung des Chips, gelöteter Chip auf einem Substrat, Systemlot) und SiC mit .XT (Cu-Bonddrähte, Cu-Frontmetallisierung des Chips, gesinterter Chip auf einem Substrat, Hi-Rel-Systemlot) verglichen. Die Simulationsergebnisse zeigten, dass .XT die Lebensdauer des Produkts von circa 4 Jahren im Falle von SiC mit Standardverbindungstechnik auf 40 Jahre erhöht. Das zeigt, dass .XT entscheidend ist, um die volle Ausnutzung von Siliziumkarbid bei höheren Übergangstemperaturen in anspruchsvollen Anwendungen wie bei der Bahntechnik zu ermöglichen.

## Ausblick

Die Zukunft des Zugverkehrs ist elektrisch. Hochleistungstechnologien wie die XHP 2 CoolSiC MOSFET mit .XT-Verbindungstechnologie von Infineon bahnen den Weg dorthin. Diese Technologien ermöglichen energieeffiziente, kompakte und leise Systeme mit langer Lebensdauer und bringen die Dekarbonisierung des Schienenverkehrs auf den richtigen Weg. □

12.–15. November 2024  
**Sechzig Jahre  
Innovations-  
motor**  
Gemeinsam die All Electric  
Society vorantreiben

**Jetzt Ticket sichern!**

[electronica.de/ticket](https://electronica.de/ticket)



LEISTUNGSELEKTRONIK MIT VIEL POWER -  
ABER COOL BITTE

## Leistungselektronik will entwärmt werden

Stetig steigende Leistungsdichten von elektronischen Bauteilen in der Leistungselektronik, erfordern den Einsatz von wirkungsvollen Entwärmungsmethoden. Eine zielgerichtete Entwärmung der Leistungsbauteile ist notwendig, um die Komponenten in einem vom Hersteller vorgegebenen Temperaturbereich sowie effizient zu betreiben. Effektive Methoden zur Entwärmung von Leistungshalbleitern werden kundenseitig mehr denn je gefragt und gefordert.

TEXT: Jürgen Harpain, Fischer Elektronik BILDER: Fischer Elektronik; iStock, prill

Sogenannte Segmentlüfteraggregate bestehen aus verschiedenartigen Kreis- und Längssegmenten, welche untereinander elektrisch und thermisch isoliert werden können.



Die in der Einleitung angesprochene Leistungselektronik ist ein Teilgebiet der Elektrotechnik und beschäftigt sich im Wesentlichen mit der Wandlung, Steuerung und dem Schalten von elektrischer Energie. Somit wird gewährleistet, dass alle Komponenten eines Systems mit der richtigen Spannung, Strom und Frequenz betrieben werden. Kurz gesagt, die elektrische Energie kommt dort an, wo sie gebraucht wird. Die Bedeutung der Leistungselektronik wird in der Zukunft weiter ansteigen, da sich der Anteil der elektrischen Energie am Primärenergieverbrauch, zum Beispiel durch die Energiewende und auch wachsender Digitalisierung, deutlich erhöht. In der Leistungselektronik spielen insbesondere Bauteile, wie Transistoren, Thyristoren, IGBT, SSR und MOSFETs eine entscheidende Rolle. Deren wesentlichen Einsatzgebiete sind unter anderem, als AC/DC- und DC/DC-Wandler, Wechselrichter und in Schaltnetzteilen zu finden.

Leistungselektronik beginnt bereits mit einigen Milliampere und wenigen Volt, kann aber auch bis zu einigen Kilovolt reichen. Letztendlich steht bei der Umformung der Ströme und Spannungen immer der Wirkungsgrad im Vordergrund. Die Anforderungen an die Leistungselektronik in puncto Zuverlässigkeit und Effizienz wird auch in Zukunft nicht nachlassen, sondern steigen. Gleichzeitig soll die Leistungselektronik intelligenter werden, so dass industrielle

Anwendungen, wie zum Beispiel elektrische Antriebe, bedarfsgerecht gesteuert werden können, anstatt sie unnötig unter Vollast zu betreiben. Die den Leistungshalbleitern zugeführte Energie lässt sich allerdings nicht zu 100 Prozent konvertieren, wobei die auftretenden Verluste hauptsächlich in Form von Wärme abgestrahlt werden. Bekanntermaßen besteht in der Physik ein direkter Zusammenhang zwischen Temperaturstress und Lebensdauer von elektronischen Bauelementen. Eine Überschreitung der in den Herstellerdatenblättern genannten maximalen Betriebstemperatur führt zu Fehlfunktionen, eine Überschreitung der zulässigen Grenztemperatur sogar zu einer Zerstörung des Halbleiters. Effiziente, auf die Bauteile angepasste Entwärmungslösungen sind gefordert, um eine sichere und funktionsgerechte Wirkungsweise der Bauteile langfristig zu gewährleisten.

### Die leise Art der Entwärmung

Die Entwärmung von Leistungshalbleitern erfordert seitens der Anwender eine besondere Betrachtung der in Frage kommenden Lösungsansätze. Die auftretenden Durchlass- und Schaltverluste erzeugen hohe Wärmemengen, wobei wie bereits erwähnt eine dauerhafte Überschreitung der Bauteiltemperatur mitunter einen direkten Einfluss auf die Bauteillebensdauer sowie deren Wirkungsgrad hat. Neben der Effizienz der zum Einsatz kommenden Entwärmungsmethode sind weitere Faktoren, wie

das Gewicht und die damit verbundenen Kosten für das jeweilige Wärmemanagement im Auge zu behalten.

Zur Entwärmung leistungsstarker Bauteilkomponenten sind auf dem Markt bereits etablierte und effektvolle Systeme verfügbar. Diese bedienen sich meistens der physikalischen Wirkprinzipien der freien oder erzwungenen Konvektion, aber auch vielfach der Entwärmung mittels Flüssigkeiten, wie Wasser und Öl. Klassische Strangkühlkörper, wie diese in etlichen elektronischen Systemen eingesetzt werden, sind oftmals als Entwärmungsmethode im Bereich der Leistungselektronik aufgrund ihrer Performance nicht ausreichend. Die sogenannten Hochleistungskühlkörper aus dem Hause Fischer Elektronik sind speziell für die Wärmeabfuhr größerer Verlustleistungen konzipiert und entwickelt. Hochleistungskühlkörper unterscheiden sich im Wesentlichen zu anderen Strangkühlkörpern in deren Aufbau und geometrischen Abmessungen, sind darüber hinaus nicht nur in der Leistungselektronik gerne gesehen und verwendet. Hochleistungskühlkörper finden ihren Einsatz in vielzähligen Applikationen, wie zum Beispiel zur Entwärmung von Umrichtern oder Schaltnetzteilen, in der Antriebstechnik, in Windkraftanlagen und der Steuerung von Solarmodulen.

Die Wärmeaufnahme bei höheren Verlustleistungen erfordert gleichfalls



Effektive Flüssigkeitskühlkörper sind in unterschiedlichen Standardvarianten oder auch nach kundenspezifischen Vorgaben erhältlich und realisierbar.

ein spezielles Kühlkörperdesign, welches aufgrund der geometrischen Abmessungen sowie der Materialverteilung nicht als ein Profil, aus einem Stück, im Strangpressverfahren hergestellt werden kann. Gründe hierfür sind in der größeren Werkzeugmatrize, der Pressengröße und der damit verbundenen Presskraft zu finden. Hochleistungskühlkörper bestehen aufgrund dessen aus zwei stranggepressten Komponenten die miteinander zusammengefügt werden. Die erste Komponente besteht aus einem U-förmigen Basisprofil mit einer massiven Bauteilmontagefläche, je nach Ausführung, mit einer Materialstärke von 15 bis 20 mm. Als Besonderheit besitzt das Basisprofil in der Innenseite eine spezielle Einpressgeometrie, in welche als zweite Komponente verschiedenartige Voll- oder Hohlrippen eingepresst werden. Unterschiedliche breiten der Basisprofile sowie verschiedenartige, je nach Applikation angepasste Rippenstrukturen und -höhen, stehen dem Anwender als Hochleistungskühlkörper im Standardportfolio zur Verfügung. Aufgrund der unterschiedlichen Rippenformen ist diese Art der Hochleistungskühlkörper sowohl für die freie als auch erzwungene Konvektion geeignet und spezifiziert.

Die für die Anwendung benötigte Kühlkörperlänge wird ebenfalls seitens

Fischer Elektronik individuell nach kundenspezifischen Vorgaben ab gelängt. Zur Gewährleistung eines guten Wärmeübergangs, zum Beispiel für große IGBT-Module, werden nach Herstellerangaben häufig Ebenheiten von  $< 0,02$  mm gefordert, welche ohne jegliche mechanische Nacharbeit aufgrund der Herstellung nicht zu erreichen sind. Gleichfalls sind Herstellungstoleranzen in Form von Durchbiegungen in Querrichtung sowie einer Torsion in Längsrichtung sehr gut durch eine frästechnische CNC-Bearbeitung auszugleichen. Innovative CNC-gesteuerte Maschinen mit den dazugehörigen, je nach Oberflächengüte angepassten Fräs Werkzeugen, bieten hervorragende Lösungen für Halbleitermontageflächen mit besonderer Qualität in Hinblick auf die Eben- und Rauheit.

### Luft für mehr Performance

Gelangen Hochleistungskühlkörper an ihre thermischen Grenzen, so ist oftmals eine Performancesteigerung notwendig. Das Kühlmedium Luft führt in Verbindung mit speziellen Aluminiumprofilen zu einer beachtlichen Leistungssteigerung. Die sogenannten Lüfteraggregate unterteilt in verschiedenen Rubriken und Leistungsklassen, besitzen allesamt eine innenliegende umschlossene Wärmetauscherstruktur in Rippenform, durch welche der

mittels Lüftermotoren erzeugte Luftstrom geleitet wird. Die jeweilige Wärmetauscherstruktur der unterschiedlichen Lüfteraggregate ist optimal auf die verwendeten Lüftermotoren und deren Leistungsdaten in Punkto Luftgeschwindigkeit und -volumen abgestimmt. Einseitige oder doppel-seitige Basisplatten sorgen für eine gute Wärmespreizung innerhalb der Lüfteraggregate, sie dienen aber auch gleichzeitig als geeignete Halbleitermontagefläche für die zu entwärmenden elektronischen Komponenten.

In Summe zeichnen sich die verschiedenen Ausführungen der Lüfteraggregate durch exakt plan gefräste Halbleitermontageflächen, strömungsoptimierte Hohlrippengeometrien und Lamellenstrukturen für geringe Strömungsverluste sowie durch den Einsatz qualitativ hochwertiger Lüftermotoren aus. Lüfteraggregate mit ihren unterschiedlichen Aufbauten liefern in allen Bereichen der Leistungselektronik effiziente Lösungsmöglichkeiten der Bauteilentwärmung. Zudem sind diese Entwärmungskonzepte bereits für viele Applikationen als eine erprobte und kostengünstige Technik anzusehen.

### Nach Luft folgt Wasser

Gelangen auch Lüfteraggregate an ihre thermischen Leistungsgrenzen bei der

Wärmeabfuhr, so besteht die Möglichkeit leistungsstarke Flüssigkeitskühlkörper einzusetzen. Nicht alleine durch das Kühlmedium Wasser, stellen Flüssigkeitskühlkörper im Hause Fischer Elektronik die leistungsstärkste Produktgruppe zur Bauteilentwärmung dar. Die spezifische Wärmekapazität mit  $4,182 \text{ kJ/kg} \times \text{K}$  ist gegenüber dem Medium Luft 4-Fach größer, weshalb die hocheffizienten Flüssigkeitskühlkörper im Vergleich zu anderen Entwärmungslösungen deutlich hervorzuheben sind. Die komplett aus Aluminium gefertigten Flüssigkeitskühlkörper werden in unterschiedlichen Abmessungen als I- oder U-Durchströmte Variante auf dem Markt angeboten, wobei ebenfalls Produkte nach kundenspezifischen Vorgaben und Leistungsdaten hergestellt werden.

Als Besonderheit enthalten sämtliche Ausführungen eine dreidimensionale, zueinander versetzte Lamellenstruktur, welche als interne Wärmetauschfläche fungiert. Die genannte Lamellenstruktur ist wärmetechnisch optimal auf den jeweiligen Flüssigkeitskühlkörpertyp angepasst und wärmeleitend mit der Basis- und Bauteilmontageplatte verbunden. Aufgrund dessen wird ein sehr guter Wärmeübergang von dem zu kühlenden Bauteil in die durchströmende Flüssigkeit erzielt.

Des Weiteren besitzen sämtliche Flüssigkeitskühlkörper eine massive Bodenplatte, welche standardmäßig exakt plan gefräst ist und zur Befestigung der Leistungshalbleiter oder Module auf dem Flüssigkeitskühlkörper dient. Bei vielen kundenseitigen Anwendungen im Bereich der Leistungselektronik, fungieren angepasste Flüssigkeitskühlkörper immer häufiger als geeigneter Ansatz für eine effektive Bauteilentwärmung.

## Thermisch richtig kontaktieren

Wie bereits kurz angesprochen, gilt es bei der Auswahl eines thermischen Managements, gleichfalls die herstellungsbedingten Toleranzen der in Frage kommenden Entwärmungskonzepte zu analysieren und zu berücksichtigen. Zur Verbesserung des Wärmeübergangs von einem Bauteil zu einer Wärmesenke liefern Wärmeleitmaterialien (TIM) hervorragende Lösungsansätze, sofern diese richtig ausgewählt und eingesetzt werden. TIM-Materialien, wie häufig zu hören, nur auf ihre Wärmeleitfähigkeit zu beschränken oder diese anhand dessen auszuwählen, führen allerdings nicht zum Ziel. Heutige Wärmeleitmaterialien können durchaus mehr leisten als nur Wärmeleitung und sollten stets auf die Einbausituation, Toleranzparameter und die geforderten Randbedingungen abgestimmt sein.

Einfluss gebende Faktoren für die Auswahl von Wärmeleitmaterialien sind unter anderem der Wärmewiderstand, die thermische Impedanz bei appliziertem Anpressdruck, die Eben- und Rauheit der Kontaktpaarung, die elektrische Isolierung oder Leitung (Isolationswiderstand), der Temperaturbereich, die Spannungsfestigkeit (Durchschlagsfestigkeit), um nur einige Parameter zu nennen. Für die Anwender von TIM-Materialien ist es für die richtige Auswahl empfehlenswert, sämtliche Parameter der Applikation zu analysieren, die in Frage kommenden Materialien in dem Versuchsaufbau zu integrieren und auf Tauglichkeit ausführlich zu untersuchen und zu testen. Fischer Elektronik konfektioniert sämtliche Wärmeleitmaterialien nach Ihren Zeichnungsvorgaben und bietet darüber hinaus einen kostenlosen 24 Stunden Musterservice. □

## Entwärmung für die Bahntechnik

- Hochleistungskühlkörper für freie und erzwungene Konvektion
- verschiedenartige strömungsoptimierte und vibrationsfeste Lüfteraggregate
- ein- oder doppelseitige exakt plangefräste Halbleitermontageflächen
- kundenspezifische Sonderlösungen



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

Fischer Elektronik GmbH & Co. KG

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



Wir stellen aus: Electronica 2024  
 12.-15.11.2024, Messe München  
 Halle B3, Stand 243



KI IM ÖKOsystem SCHIENE

# Mit Intelligenz vorausschauend fahren

Mit Künstlicher Intelligenz assoziiert man Innovation. Sie dringt mittlerweile in alle Bereiche unseres Lebens vor, so auch beim Reisen. Doch wie steht es um die Bahnbranche? Bietet KI die Möglichkeit, den Schienenverkehr zu modernisieren?

TEXT: Dimitrios Koutrouvis, Lütze Transportation BILDER: iStock, CoreDesignKEY / scaliger / wellphoto

Jährlich reisen weltweit Milliarden von Menschen mit dem Zug. Es sind zwar derzeit noch weniger als bei Flugreisen, aber der Bahnverkehr ist keineswegs überholt. Um im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln im Bereich Sicherheit und Komfort konkurrenzfähig zu bleiben, muss sich die Bahnbranche aber weiterentwickeln, insbesondere, was die Digitalisierung betrifft. Innovative Technologien, basierend auf KI und maschinellem Lernen bieten den Bahnen enormes Verbesserungspotenzial. Dazu im Folgenden fünf Möglichkeiten, wie KI den Schienenverkehr verbessern kann.

## Autonome Züge

Die offensichtlichste Anwendung von KI in der Bahnbranche ist die Einführung autonomer Züge. Es existieren bereits funktionierende Prototypen von fliegenden Fahrzeugen, selbstfahrenden Autos und sogar fliegenden selbstfahrenden Fahrzeugen. Während die Welt heute von selbstfahrenden Autos fasziniert ist, betreiben viele Bahnsysteme bereits seit Jahrzehnten erfolgreich autonome Züge. 1968 wurde die Victoria Line der Londoner U-Bahn als erste vollautomatisierte



U-Bahnlinie eröffnet. Heute betreiben Städte wie Paris, Dubai, Tokio oder Barcelona moderne, fahrerlose Stadtbahnen.

Im Bereich des Nicht-U-Bahn-Schienenverkehrs enthüllten Siemens und die größte europäische Eisenbahngesellschaft Deutsche Bahn im Oktober 2021 den weltweit ersten automatisierten fahrerlosen Zug in Hamburg, im Rahmen eines 70-Millionen-Euro-Modernisierungsprojekts. China nahm zur Winter-Olympiade 2022 einen vollständig autonomen Hochgeschwindigkeitszug in Betrieb. Mit 350 km/h befördert er seine

Passagiere von der Innenstadt Pekings in nur 50 Minuten zu den Olympischen Stätten. Ein regulärer Expresszug benötigt im Vergleich dazu drei Stunden.

## Die Technik

Und so funktioniert es: Die voll automatische Zugsteuerung (ATO) kontrolliert das Traktionssystem und die Bremsen des Zuges. Die ATO erhält aktuelle Verkehrsinfos über Funk, um die einzelnen Betriebsabläufe in Echtzeit anzupassen. Die



Digitale Assistenten entlasten den Zugführer bei der Arbeit.

Effizienzsteigerung erfolgt durch Optimierung der Geschwindigkeit und Reduzierung des Bremsens. Das Ergebnis sind pünktlichere Züge, stabilere Fahrpläne, höherer Reisekomfort, geringerer Energieverbrauch und reduzierte mechanische Beanspruchung der Fahrzeuge. Die automatisierte Betriebsweise ist zudem dafür bekannt, dass das Unfallrisiko durch Eliminierung menschlicher Fehler reduziert wird, was uns zum wichtigen Thema Sicherheit im Schienenverkehr führt. Hier kann KI in Kombination mit Videoüberwachung sehr hilfreich sein.

### CCTV für Passagiersicherheit und Service

Wir sind Überwachungskameras in unserer Umgebung zwischenzeitlich gewohnt. Es wird geschätzt, dass weltweit über 1 Milliarde solcher Kameras installiert sind. Das Hauptziel der Videoüberwachung ist die Sicherheit. Mit Hilfe von KI-unterstützter CCTV-Technologie (Closed-Circuit-Television) können Bedrohungen jedoch noch effizienter erkannt und darauf reagiert werden. In der Bahnbranche können an Bahnhöfen installierte Kameras Personen auf den Gleisen erkennen und sofort das Aufsichtspersonal informieren, die den Zug anhalten und so Leben retten können.

Ein Beispiel für diese Technologie ist die Implementierung eines solchen Systems durch die Docklands Light Railway in London. Der Betreiber hat Erkennungszonen entlang des Bahnsteigrands definiert. Wenn eine Person die Zone betritt, ertönt ein Alarm und im Kontrollzentrum wird umgehend ein Live-Video angezeigt. Ähnliche Computer Vision-Technologie erkennt auch auffälliges Verhalten. Sie kann sogar darauf trainiert werden, aggressives Benehmen, Herumlungern, Diebstahl oder unbeaufsichtigtes Gepäck zu identifizieren und Sicherheitsteams zu alarmieren.

### Digitale Assistenten

Eine weitere Anwendung der durch KI verbesserten Videotechnologie ist die Analyse der Passagierdichte in den Waggons. Das System sendet diese Informationen an die wartenden Passagiere am Bahnhof, damit sie zu einem weniger überfüllten Waggon gelenkt werden können, und so kommen wir von der Sicherheit zu Komfort und Servicequalität. Ein weiteres Potenzial für KI-Anwendungen sind digitale Assistenten. Besitzer eines iPhone, sind wahrscheinlich mit dem digitalen Sprachassistenzsystem Siri vertraut. Wer jemals mit einem Smart Home-System zu tun hatte, könnte Alexa oder Google Assistant verwendet haben, und wahrscheinlich gehören die meisten Leser zu den 1,5 Milliarden Menschen, die schon einmal auf einen Online-Chatbot gestoßen sind. All diese Werkzeuge werden durch konversationsbasierte KI betrieben. Diese Technologie kann die natürliche Sprache des Nutzers verstehen und personalisierte Antworten liefern. Hier einige Beispiele digitaler Assistenten in der Praxis:

- Amtrak brachte 2001 seinen virtuellen Assistenten JULIE auf den Markt, um Passagieranfragen zu bearbeiten. Heute beantwortet Julie jährlich 5 Millionen Fragen, bucht Tickets und bietet hilfreiche Informationen wie Fahrpläne, Wegbeschreibungen, Rückerstattungs- und Gepäckrichtlinien und vieles mehr.
- Die indischen Eisenbahnen präsentierten 2018 ihren Chatbot DISHA. Dieser intelligente zweisprachige Assistent verarbeitet täglich etwa 150.000 Passagieranfragen und steigert die Kundenzufriedenheit um 70 Prozent. Gleichzeitig reduzierte er die Nutzung anderer Kommunikationskanäle um 70 Prozent, was die Belastung der Kundenserviceteams verringerte.

Autonom fahrende Züge sind keine Utopie.



- Japan Railways startete ihren mehrsprachigen BEBOT, um Besucher am Bahnhof Tokio zu führen. Er kann Informationen zu Sehenswürdigkeiten, Restaurants, Währungsumtauschbüros und Sehenswürdigkeiten in der Umgebung liefern.

## Routenplanung und Fahrpläne

Eine weitere Möglichkeit, wie KI den Schienenverkehr verbessern kann, ist durch Routenplanung und Fahrpläne. Heute verkehren viele Züge auf jahrhundertealten, nicht mehr optimalen Strecken und verpassen dabei Gebiete mit hoher Nachfrage. KI-Werkzeuge analysieren sowohl historische als auch Echtzeitdaten zu Ticketverkäufen und Reismustern. Auf diese Weise erkennen sie Trends im Passagierfluss und finden Wege zur Optimierung der Zugrouten und Fahrpläne. Darüber hinaus kann KI solche Informationen wie Wetterwechsel, Feiertage oder besondere Ereignisse berücksichtigen, um die Nachfrage vorherzusagen und die Schienenbetriebsabläufe optimal an die tatsächlichen Passagierbedürfnisse anzupassen. Toshiba, ein Technologieanbieter aus Japan, erstellte ein digitales Zwillingmodell für den britischen Bahnbetreiber Greater Anglia, um dessen Betrieb zu optimieren. Digitale Zwillinge sind im Wesentlichen virtuelle Repliken, die reale Umgebungen nachbilden. Diese Technologie hilft dabei, die Systemleistung besser zu verstehen und verschiedene Szenarien auszutesten oder zu simulieren, um das optimale Szenario zu finden. Der von Toshiba erstellte digitale Zwilling ist darauf ausgelegt, das Schienennetz von Greater Anglia zu analysieren und deren Fahrpläne zu verbessern. Was passiert, wenn Verzögerungen auftreten und geplante Fahrpläne gestört werden? Das hybride Verkehrsmanagementsystem von Hitachi ist eine der Lösungen, die entwickelt wurden, um betriebliche Störungen zu be-

wältigen. Es integriert intelligente, ML-basierte Technologie, um Fahrpläne und Zugrouten in Echtzeit automatisch neu zu berechnen und anzupassen.

## Interne Betriebsabläufe

Neben passagierrelevanten Prozessen kann KI die internen Betriebsabläufe erheblich verbessern. Sie spielt eine wesentliche Rolle bei der vorausschauenden Wartung, der Inspektion von Schienen und der Verhaltensanalyse sowie vielem mehr. Heute installieren Bahngesellschaften zahlreiche Sensoren an Gleisen und Eisenbahnfahrzeugen. Dadurch werden Züge zu einer Art rollenden Datenzentren. Leistungsstarke Bordcomputer analysieren die eingehenden Daten und finden Wege, um die Betriebseffizienz, Zuverlässigkeit und Sicherheit zu erhöhen. Der französische Bahnbetreiber SNCF hat über 10 Jahre hinweg Tausende von Sensoren und Übertragungsgeräten in seinem Schienenbestand installiert. Die Ergebnisse dieses anspruchsvollen Projekts sind beeindruckend: Heute analysieren sie über 8.000 Variablen pro Zug, darunter 2.000 in Echtzeit von mehr als 1.000 Zügen gleichzeitig. Mit Fern-Diagnose und vorausschauender Wartung können sie etwa zwei Drittel der Ausfälle vermeiden. Zudem wurden die Wartungskosten um 20 Prozent gesenkt.

Dies sind nur einige wenige Beispiele aus völlig unterschiedlichen Anwendungsbereichen, die eindrucksvoll die große Bedeutung von KI für die Bahntechnologie verdeutlichen. Ganz gleich, ob im Service zur Steigerung des Komforts der Passagiere, bei Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit oder bei der vorausschauenden Wartung, die beschriebenen und bereits im Einsatz befindlichen Anwendungen zeigen schon heute das zukünftig große Potential von KI im Bereich der Bahn. □



ZUKUNFTSORIENTIERTES 5G ENTERTAINMENT IM ZUG

## Have fun – in der Bahn

Egal ob Kurzstrecke oder Fernreise – unabhängig von der Fahrtdauer wollen Passagiere gut unterhalten werden. Ein professionelles Unterhaltungssystem beeinflusst die Zufriedenheit der Fahrgäste maßgeblich. Unabhängig ob Dokumentation, aktuelle News, oder Blockbuster und Serien, die bestmögliche Unterhaltung der Passagiere wiegt schwer im Wettbewerb. Mit 5G sind Verkehrsbetreiber nicht nur für ein zukunftsweisendes Bordentertainment gut aufgestellt, sondern profitieren zudem von weiteren Vorteilen.

TEXT: NetModule BILD: iStock, skynesher

Ein gutes und effektives Entertainment-/Infotainment-System ermöglicht es, den Fahrgästen Echtzeitinformationen, Fahrplanaktualisierungen, wichtige Ankündigungen sowie Werbung und Unterhaltung an Bord bereitzustellen. Voraussetzung dafür ist eine zuverlässige On-Board-Konnektivität.

Genau hier kommt die 5G-Funktechnologie zum Tragen: Sie revolutioniert

die Kommunikation mit ihren deutlich höheren Bandbreiten, einer nahezu verzögerungsfreien Verbindungs-aufbau dank sehr kurzer Latenzzeiten, zugleich einer deutlich sichereren, belastbaren und zuverlässigen Datenübertragung und der Aufteilung des Netzes für unterschiedliche Bedürfnisse – dem sogenannte ‚Network Slicing‘. Davon profitieren Verkehrsbetreiber gleich mehrfach: Grundsätzlich folgen die Kommunikations-

architekturen von Zügen, Bussen und PKWs denselben Prinzipien, nämlich der Trennung sicherheitsrelevanter Kommunikation von Infotainment.

Das mit 5G einhergehende Network Slicing erlaubt es, Anwendungen auf der gleichen Hardware (Router) strikt voneinander zu trennen und unabhängige Leistungsmerkmale zu setzen. Weil nur ein Kommunikationssystem anstelle von



zweien notwendig ist, fällt dabei das Investment in die Geräteausstattung niedriger aus. Dadurch lässt sich das Bordentertainment kosteneffektiver betreiben. Zugleich sind sicherheitsrelevante Funktionen mit kurzen Latenzzeiten und garantierten Leistungsmerkmalen möglich.

Weitere wichtige Vorteile sind: Die selben Kommunikationskanäle können für zusätzliche Dienste für Passagiere genutzt werden, neben Entertainment auch für zusätzliche Fahrgast- und/oder allgemeine Informationen, Passagier-WLAN, und der lokalisierten Werbung. Letztere erleichtert wiederum die Finanzierung eines Netzwerks mit eingebundenen 5G-Routern über moderne Vermarktungsmodelle (etwa Coop-Werbung). Die hohe Bandbreite ermöglicht auch echtzeitkritische Sicherheitsanwendungen zeitgleich mit der Betriebsdatenübermittlung sowie E-Ticketing oder Video-Überwachung. Davon profitieren präventive Wartung/Instandhaltung, Unterstützung des ferngesteuerten Fahrens und mehr.

Auch wenn die Netz-Abdeckung entlang der Fahrstrecken noch optimiert werden muss, sollten Verkehrsbetreiber ihre Systeme auf die Zukunft ausrichten, sofern noch nicht passiert. Kompetente Beratung und Umsetzung leisten erfahrene Kommunikationsspezialisten, beispielsweise NetModule, dessen 5G-Train-Router der Serie NB3800 die Leistungsmerkmale von 5G voll ausschöpfen. Sie sind speziell für den öffentlichen Nah- und Fernverkehr entwickelt und zertifiziert (EN 50155, EN 45545), CE-konform (RED) und ITxPT-konform. Je nach Modell kommen sie mit 5G, mehreren LTE-Modulen und verschiedensten Technologien wie Ethernet, WLAN, CAN, IBIS, GSM-R, Voice sowie GNSS und bieten so die jeweils passende Konnektivätslösung. Damit lassen sich auch bestehende Züge effizient nachrüsten.

Dank der verschiedensten Möglichkeiten zur Netzwerkanbindung - 5G, 4G/LTE - kann das Infotainment-System im Depot oder während der Fahrt in Echtzeit

über das Mobilfunknetz mit den neuesten Informationen versorgt werden. Viele Schnittstellen wie CAN, RS-232, RS-485 und digitalen I/O gewährleisten eine zuverlässige und robuste Interaktion mit der Bordelektronik. Dadurch eignen sich diese Geräte auch für Passagierdatenanalysen, wie beispielsweise Fahrgastzählungen. Als wesentlichen Vorteil bieten die NB2800 Router einen internen Speicher von bis zu 1 TB (SSD), mit dem Verkehrsbetreiber Inhalte wie Videos, Bilder oder ganze Webseiten auch offline bereitstellen können. Damit können die Anwender beziehungsweise Verkehrsbetreiber ein durchgängiges und sicheres Entertainment für die Passagiere zur Verfügung stellen und das sogar mit einem garantiertem Mehrfachnutzen.

Nicht nur Verkehrsbetreiber, die ihren Bahn-Passagieren ein kurzweiliges Fahrerlebnis bieten möchten, sollten auf 5G-fähige Infrastruktur setzen, mit rundum verbesserter Netzwerkfunktionalität dank moderner Technologie. □



MIT MODULAREN HARDWARE-ARCHITEKTUREN ZUR ZUKUNFTSSICHEREN FUNKTIONALEN SICHERHEIT

## Functional Safety inklusive

Die funktionale Sicherheit minimiert das Risiko von Verletzungen und Beschädigungen im Zusammenwirken von Mensch und Technik; Redundanz und mehrkanalige Datenverarbeitung gewährleisten Hochverfügbarkeit und verhindern katastrophale Fehlfunktionen. Während die Zertifizierung sicherheitsrelevanter Steuerungssysteme weiterhin Sache der Hersteller der Gesamtsysteme bleibt, bietet der Markt bereits zertifizierungsfreundliche System-on-Modules und eine einbaufertige Hardwareplattform.

TEXT: Peter Kemptner, Fachredakteur aus Salzburg BILDER: Microsys; iStock, indigolotos

Geräte, Fahrzeuge, Maschinen oder Anlagen sind heute oft hoch automatisiert, tauschen Daten aus und interagieren miteinander, teilweise auch vollkommen autonom. Das Internet der Dinge (IoT) beschleunigt diesen Trend zunehmend. Dennoch erfolgt in den meisten Fällen immer auch eine direkte oder indirekte Interaktion zwischen Mensch und Maschine.

### Fehlfunktionen verhindern

Eine wesentliche Voraussetzung für die Nutzung automatisierter Systeme ist deren sicherer Betrieb. In allen technischen Branchen, von Kraftwerken und Verkehrsmitteln über Industrieanlagen und Medizintechnik bis zu Haushalts- und Unterhaltungsgeräten, spielt deshalb die

funktionale Sicherheit (engl. Functional Safety; FuSa) eine zentrale Rolle.

Um das Risiko von Verletzungen und Beschädigungen zu minimieren, muss FuSa Fehlfunktionen infolge von Konstruktions-, Produktions- oder Dokumentationsfehlern, betrieblichen Ausnahmesituationen und Fehlbedienungen verhindern



und das System in einen sicheren Zustand versetzen. Um das Verletzungsrisiko zu minimieren, entziehen Maschinen- und Anlagenhersteller die beweglichen Komponenten komplexer Maschinen dem menschlichen Zugriff. Eine Schutzverletzung durch ungewolltes Öffnen von Türen oder Abdeckungen führt ebenso wie das Betätigen eines Notausschalters zum absoluten Stillstand der Anlage.

### Mit Sicherheit produktiver

Dazu wurden Sicherheitsschaltungen lange Zeit durch harte Verdrahtung in Relais-technik realisiert. Diese waren von der Steuerungselektronik unabhängig und erschwerten flexible, über eine plötzliche Systemabschaltung hinausgehende Reaktionen. Zudem erschwerte deren geringe Flexibilität Aus- und Umbauten an den zu schützenden Anlagen. Immer komplexere, häufig modular aufgebaute und im Betrieb veränderliche Maschinen und Anlagen machen eine differenziertere Reaktion auf unterschiedliche Schutzverletzungen erforderlich. Auch ist es nicht immer einfach möglich, Maschinen oder Anlagen einzuzäunen. Speziell bei mobilen Arbeitsmaschinen oder Transportsystemen entfällt

diese Option, während deren zunehmender Automatisierungsgrad die Sicherheitsanforderungen an ihre Steuerungssysteme weiter steigen lässt.

Deshalb sind mittlerweile die frei programmierbare Sicherheitssteuerungen Standard. Gemeinsam mit diesen bildet eine fortschrittliche sicherheitsgerichtete Sensorik die Basis für eine zugleich anwendungsfreundliche und effektive Gestaltung der Sicherheitstechnik. So ermöglichen zum Beispiel 360°-Laserscanner und Time-of-Flight (ToF) Kameras die sichere Gegenstands- und Personenerfassung. Diese Technologien dienen als Grundlage eines sicheren Betriebs von fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF/AGV) und autonomen mobilen Robotern (AMR).

Der Datenaustausch mit IO-Baugruppen, Sensoren und Aktoren erfolgt in modernen FuSa-Konzepten über Datenbusse. Dabei kommt, zumindest in Ethernet-basierten Netzwerken, meist das „Black Channel“ Prinzip zu Anwendung, bei dem die potentiellen Fehlerquellen der Übertragungsstrecke über Safety-Datenprotokolle abgefangen werden. Auf der Telegrammebene sind beispielsweise Daten

mehrfach vorhanden und durch Prüfsummen oder kryptografisch geschützt. So können Nachrichten bestätigt und die Übertragungsstrecke periodisch auf Funktion geprüft werden.

### Mit Sicherheit mehr Freiheit

Dadurch lassen sich sicherheitsgerichtete Steuerungen und I/O-Baugruppen zur Anbindung der Sensoren an beliebiger Stelle im System platzieren. Zudem bieten elektrische Antriebe heute mit sicherheitsgerichteten Funktionen nach EN 61800-5-2 wie sicher abgeschaltetes Moment (STO), sichere Bewegungsrichtung (SDI), sichere Geschwindigkeit (SLS) oder sicher begrenzte Beschleunigung (SLA) zahlreiche Alternativen zur bloßen Abschaltung.

Der Einsatz dieser sanfteren Mechanismen zum Schutz des Personals hilft unter anderem, Beschädigungen durch abrupte Sicherheitsabschaltungen zu vermeiden. Ein sicherer Zustand ohne vollständigen Stillstand erleichtert den Einrichtebetrieb und ermöglichte die Entwicklung kollaborativer Industrieroboter, sogenannter Cobots. Diese sind auch ohne trennende Schutzeinrichtung ausreichend sicher, um



Die einfach zu integrierenden System-on-Module (SoM) auf Basis moderner Multicore-Prozessoren von NXP eignen sich durch deren Architektur und ihr zertifizierungsfreundliches Design bestens für die Entwicklung sicherer Steuerungssysteme.

mit dem menschlichen Kollegen zeitgleich Hand in Hand zu arbeiten.

Über den gemeinsamen Bus kann die nicht sichere Steuereinheit auch den aktuellen Zustand der Sicherheits-Sensorik abfragen. Das ermöglicht die einfache Inbetriebnahme oder Diagnose bei Fehlerzuständen. Zudem lassen sich bei sicherheitsbedingten Stillständen durch entsprechende Prozessanpassungen problematische Anlagenzustände im Vor- oder Nachlauf verhindern. Eine parametrierbare und damit modifizierbar gestaltete FuSa-Programmierung kann darüber hinaus auch bedarfsgerechte Veränderungen der Konfiguration modularer Maschinen oder Anlagen zulassen, um diesen die Eignung für die Herausforderungen von Industrie 4.0 zu verleihen.

### Sicherheit durch Verfügbarkeit

Während es bei Industriemaschinen und -anlagen gute Praxis ist, sie in einen definierten Zustand mit reduziertem Gefahrenpotenzial zu bringen, gibt es einen solchen bei anderen Anwendungen oft überhaupt nicht. Man denke an einen Trieb- oder Leitwerksausfall im fliegenden Flugzeug, an ein Bremsversagen im Eisenbahnzug oder an eine Fehlfunktion der Lenkung im Automobil.

Diese Fälle erfordern eine andere Form der Sicherheit, nämlich einen Schutz vor Systemausfall durch hohe Verfügbarkeit.

Hergestellt wird die sogenannte Ausfallsicherheit meist durch redundant aufgebauten Computersysteme. Dies kann von einer einfachen Verdoppelung der Rechenkanäle mit Informationsredundanz (beide haben Zugriff auf Ein-/Ausgangsdaten) bis hin zu mehrfach redundant-dissimilaren Systemen mit 5-15 Steuerungsrechnern, mit diversen Rückfallebenen und Notbetriebsmodi im Luftfahrtbereich reichen.

Besonders gefragt ist die Dissimilarität der Berechnungskanäle in Anwendungen mit sehr hohem Gefährdungspotential, etwa in der Luftfahrt, aber auch für Anwendungen der höchsten Sicherheitslevel (SIL3, SIL4) in Industrie- und Bahnanwendungen. Um Single-Event-Upsets, Speicherfehlern oder besonders schwer aufzulösenden Fehlerkaskaden sowie Common-Cause-Failures zu begegnen, kommen dabei zumeist unterschiedliche Prozessoren in den redundanten Rechenkanälen zum Einsatz. Dies schützt auch vor Chargenfehlern eines Herstellers, die bei Ziel-Ausfallraten unterhalb von 10<sup>-9</sup> beziehungsweise 10<sup>-10</sup> pro Betriebsstunde ebenfalls zu betrachten sind.

### Modulare Sicherheit

Für die sicherheitsgerichtete Ausgestaltung von Maschinen oder Anlagen für die industrielle Produktion bieten sich handelsübliche, nach IEC 61508 zertifizierte Safety-Systeme arrivierter Automatisierungssystemhersteller an. Dagegen für

zahlreiche andere Aufgaben, aber auch für Entwicklung und Herstellung dieser Safety-CPU's ist es erforderlich, hardwareseitig auf einer anderen Ebene anzusetzen.

Dafür bietet sich als oft wirtschaftlichere und risikoärmere Alternative zur völligen Neuentwicklung vom Halbleiter weg die Verwendung von System-on-Modules (SoMs) an. Diese haben den Vorteil, dass sich Systemhersteller bei der Entwicklung von Elektronikbaugruppen nicht mit den komplexen prozessornahen und bei heutigen Taktraten tief in die Physik reichenden Themen herumschlagen müssen. So können sie sich bei der Systementwicklung auf die Entwicklung der Software und die Bedienung handhabbarer Schnittstellen an den Modulgrenzen konzentrieren.

Die miriac SoMs von Microsys etwa bringen alle Voraussetzungen mit, um bei entsprechender Außenbeschaltung und Software auf dem Weg zur Zertifizierung nicht auf hardwareseitige Hürden zu stoßen. Dazu gehören Merkmale wie zum Beispiel eine separate Überwachung der Stromversorgung, die auch das Realisieren eines unabhängigen Watchdog Timers ermöglicht. Auch verbaut MicroSys in den miriac-SoMs nach der strengen Automobilnorm AEC-Q100 qualifizierte Bauteile, um erhöhte Anforderungen an die Fertigungsqualität der Halbleiter mit abzudecken. Wesentlichen Einfluss auf die Zertifizierbarkeit von Rechnersystemen hat allerdings die anwendungsspezifische

Die aufgaben-, aber nicht kundenspezifisch entwickelte Autonomous Control Unit ist eine einbaufertige, modular ausbaufähige Hardwareplattform für die sichere Automatisierung.



Software. Deshalb sind SoMs im Gegensatz etwa zu sicherheitsgerichteten Sensoren nicht als vorzertifizierte generische Sicherheitselemente verfügbar.

### Application Ready Plattform

Die Mehrkern-Prozessorarchitektur moderner Prozessoren lässt sich nicht ohne weiteres dazu nutzen, sichere und nicht-sichere Applikationen (Mixed-Criticality) auf einem einzigen Prozessor parallel abzuarbeiten. Noch weniger eignet sie sich aufgrund der vielfältigen Common-Cause-Fehlerpotentiale und der generellen Basisausfallrate der komplexen Halbleiter für den Aufbau von redundanten Systemen oder gar eines mehrkanaligen

Systems für hoch sichere Anwendungen auf Basis eines einzigen Prozessors.

Deshalb entwickelte Microsys die Hardware für eine aufgaben-, aber nicht kundenspezifische Steuerungsplattform als einbaufertiges Gesamtsystem, zunächst in erster Linie für mobile Arbeitsmaschinen. Kernprodukt ist ein Carrierboard, das neben dem zentralen miriac MPX-LX2160A über drei M.2 Slots verfügt, die für bis zu drei SSD-Speichermodule oder ein bis zwei Hailo-8 KI-Prozessormodule genutzt werden können. Optional ist die Erweiterung mit einem miriac MPX-S32G274A oder miriac MPX-S32G399A angedacht. Auf diese Weise kann es eine sehr hohe Rechenleistung für komplexe

Aufgaben erlangen, alternativ aber auch einen unabhängigen, dissimilaren internen Rechenkanal. Damit lässt sich die Sicherheitsstufe SIL 3 erzielen.

Neu entwickelt wurde auch das Gehäuse, das die Elektronik erst zu einem einbaufertigen Gesamtsystem macht. Staub- und wasserfest nach Schutzart IP 68, dient es neben dem Schutz der verbauten Elektronik der Wärmeableitung. Da es dem Unternehmen gelungen ist, die Leistungsaufnahme der voll bestückten Einheit trotz der extrem hohen Verarbeitungsleistung und der Vielfalt an Schnittstellen auf 60 W zu begrenzen und vollständig passiv abzuführen, kommt das Gerät ohne Lüfter oder andere aktive Kühlung aus. □

# Kingbright

Quality Efficiency Innovation First-class service

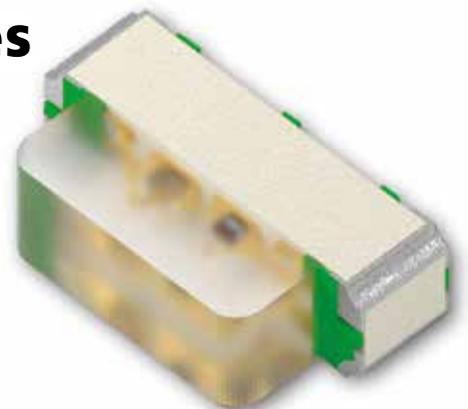
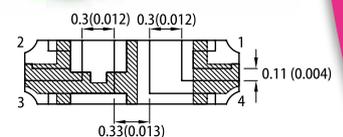
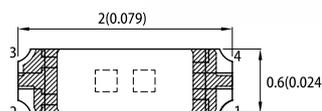
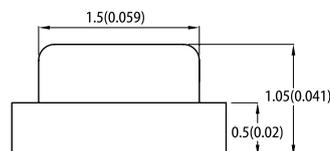
## Kingbright's new KPBA-2006 series 2.0 mm x 0,6 mm Right Angle SMD Chip LED

### Product Features:

- Side Looking Dual Color Chip LED, 0,6 mm thickness
- Low power consumption
- Viewing angle: 140°
- Moisture Sensitivity Level: 3
- RoHS Compliant

### Applications:

- Backlight
- Status Indicator
- Home & smart appliances
- Wearable and portable devices
- Healthcare applications



TELECHIRURGIE BRAUCHT EINE ZUVERLÄSSIGE NETZWERK-ARCHITEKTUR UND MEHR

# Schnell, sicher und störungsfrei

Aktuelle Beispiele von Telechirurgie zeigten heute schon das Potenzial der Fernoperationen. Der Ausbau dieser Technologie kann den Zugang zu hochqualifizierten chirurgischen Eingriffen revolutionieren, besonders in abgelegenen Regionen. Doch um dies zu ermöglichen, müssen Herausforderungen wie eine latenzarme und sichere Datenübertragung sowie die Integration von Künstlicher Intelligenz gemeistert werden.

TEXT: Bob Leigh, RTI BILDER: RTI; iStock, Olga Zuevskaya

Remote-Operationen bieten ein enormes Potenzial: Das zeigt die jüngste Demonstration der Telechirurgie von Monogram Orthopedics, bei der ein Chirurg ein Modell aus einer Entfernung von 2.700 km operierte. Durch den Fernzugriff auf erfahrene Chirurgen können die Patienten von kollektivem Wissen und den Erfahrungen der Spezialisten, die vor Ort möglicherweise nicht verfügbar sind, profitieren. Dieser Zugang zu erstklassigem, chirurgischem Fachwissen kann die Erfolgsquoten komplexer Eingriffe deutlich erhöhen, Komplikationen verringern und die Qualität der Behandlung insgesamt verbessern.

Bis zur breiten Einführung von Fernoperationen sind einige Herausforderungen zu bewältigen: Um diese Art von Verfahren in Zukunft praktikabel zu machen, muss ein hochzuverlässiger, latenzarmer und sicherer Datenaustausch gewährleistet sein. Zunächst aber sollten wir uns überlegen, warum diese Technologie zur Rettung von Menschenleben notwendig sein kann. Es ist vielleicht für diejenigen, die in Gegenden mit hochwertiger Gesundheitsversorgung leben, nicht sofort ersichtlich - doch für viele Menschen in abgelegenen Gebieten ist eine moderne, medizinische Versorgung nur eingeschränkt oder gar unzureichend vorhanden.

Der wichtigste Beitrag der Telechirurgie liegt in ihrem Potenzial, den Zugang zu hochqualifizierten operativen Eingriffen zu demokratisieren. Traditionell konzentrieren sich Chirurgen von Weltrang und spezialisierte medizinische Einrichtungen auf städtische Zentren, so dass Menschen in ländlichen und abgelegenen Gebieten benachteiligt sind. Die Telechirurgie schließt diese Lücke. Patienten in unterversorgten Regionen können auf das Fachwissen erstklassiger Chirurgen remote zugreifen, ohne dass sie lange Wege zurücklegen müssen. Die Vorteile, die spezialisierte Einrichtungen aus der Ferne bieten, können gar nicht hoch genug eingeschätzt werden, insbesondere in Notfallsituationen wie der Fernbehandlung von Schlaganfällen.

Auch die Zusammenarbeit und -schulung zwischen medizinischen Fachkräften profitiert von der Bereitstellung einer Plattform für die Telechirurgie. Chirurgen können sich in Echtzeit mit Kollegen und Experten austauschen, unabhängig von ihrem Aufenthaltsort. Dieser Wissensaustausch ist ein wertvolles Instrument für die Ausbildung der nächsten Generation, die ortsunabhängig von erfahrenen Mentoren lernen kann.

Welche Voraussetzungen werden benötigt, um diese neue Technologie bereitzustellen? Um erfolgreich zu sein, braucht die Telechirurgie künstliche



Bei Fernoperationen profitieren Patienten von dem Fernzugriff durch erfahrene Spezialisten.

Intelligenz (KI) und eine zuverlässige Kommunikation über große Entfernungen mit geringer Latenz. Beide Anforderungen sind schwierig zu erfüllen.

Ein gewisses Maß an Autonomie des Chirurgieroboters ist erforderlich, um die Latenzzeit und den Jitter zu bewältigen und auf unerwartete Veränderungen in der lokalen Umgebung zu reagieren. Dieses Beispiel zeigt, wie es in der Praxis funktionieren könnte: Das System von RMC MiroLabs berücksichtigt automatisch die Bewegung und Veränderung des schlagenden Herzens, ohne dem operierenden Arzt die Entscheidungsgewalt zu entziehen. Die künstliche Intelligenz kann die Lücke zwischen den Absichten des Chirurgen - der die Operation so durchführt, als ob das Herz still stünde - und der tatsächlichen Bewegung des Herzens schließen. Mit dem richtigen Maß an Automatisierung und dem Einsatz von KI hat die Telechirurgie das Potenzial, die Vorteile der Roboterchirurgie auf eine Vielzahl von klinischen Verfahren und Umgebungen für die Fernbehandlung auszudehnen.

Damit die Telechirurgie praktikabel ist, muss sie über bestehende öffentliche Netzwerke funktionieren. Ferngesteuerte chirurgische Systeme, die ein spezielles Netz mit niedriger Latenz benötigen, können nur in dichten städtischen Gebieten eingesetzt werden. Dies ist jedoch nicht

der Bereich, in dem die größten Vorteile der Telechirurgie zum Tragen kommen. Zwar werden öffentliche Netze immer zuverlässiger und leistungsfähiger, dennoch sind sie sehr dynamisch und weisen unterschiedliche Leistungsniveaus auf. Der Unterschied liegt auf der Hand: Je mehr Unwägbarkeiten ein System verkraften kann, desto breiter kann die Anwendung und Akzeptanz der Fernoperation sein, speziell in abgelegenen Gebieten.

Hierzu muss aber nicht nur die physikalische Schicht des Netzwerks als Ausgangspunkt eine ausreichende Leistungsfähigkeit bieten, sondern auch die Netzwerktechnologie, auf der die Teleoperation basiert. Sie muss in der Lage sein, die Kommunikation in der Form zu optimieren, dass die bestmögliche Latenzzeit in einem gegebenen Netz erreicht wird und so den praktischen Nutzen erhöht. Chirurgen brauchen ein operatives Umfeld, das während des gesamten Eingriffes ein gleichbleibendes Leistungsniveau aufweist. Unterbrochene Verbindungen können zur Katastrophe führen. Die Zuverlässigkeit ist also nicht nur ausschließlich Thema des Netzwerkes - sie umfasst das gesamte Ökosystem der Hard- und Software, von den chirurgischen Roboterinstrumenten bis hin zu den Datenübertragungsprotokollen.

## FIRMEN UND ORGANISATIONEN IN DIESER AUSGABE

Firma	Seite	Firma	Seite
Arrow Electronics .....	18	Lütze .....	46
Congatec.....	30	MES Electronic Connect.....	29
Conrad Electronic .....	04	Messe Berlin .....	14
CTX Thermal Solutions.....	18	Messe München .....	41
Detakta.....	5	Netmodule .....	50
Duagon.....	3	Microsys .....	52
Elma.....	33	ODU.....	24
eSystems .....	18	Onsemi .....	34
ETAS.....	18	Panduit.....	15
Finder.....	25	Rosenberger OSI.....	26
Fischer Elektronik.....	42, 45	RTI Automation.....	56
Harting.....	13	Rutronik .....	18
Hy-Line.....	62	SAB Bröckskes.....	23
Infineon.....	38	Schurter.....	12
Inpotron.....	59	Siglent.....	37
Jauch Quartz.....	12	Syslogic.....	12
KBA.....	66	Traco.....	12
Kinexon.....	12	TZ Graz.....	12
Kingbright.....	55	Weco Contact.....	20
Lapp Mobility.....	6		



Für Telechirurgie ist eine Systemarchitektur, die auf hochzuverlässiger Kommunikation basiert, essentiell.

Um diese Schwierigkeiten zu bewältigen, ist eine Systemarchitektur, die auf hochzuverlässiger Kommunikation basiert, der Schlüssel zum Erfolg. Hier kommt RTI Connexx ins Spiel, das Entwicklern und Architekten die Lösung für diese grundlegende Herausforderung bietet. Connexx wurde entwickelt, um die Aufgaben der autonomen und teilautonomen Robotik zu lösen. Mit seiner zusätzlichen Unterstützung für öffentliche Wide-Area Networks (WAN) bietet diese Lösung Architekten über jedes beliebige Netzwerk eine zuverlässige Verbindung und die Fähigkeit, selbst in unzuverlässigen Umgebungen eine sichere Kommunikation aufrechtzuerhalten. Darüber hinaus bieten Tools, wie Cloud Discovery, eine ganzheitliche, ausfalltolerante Architektur, die speziell für die Anforderungen der chirurgischen Robotik entwickelt wurden.

Die Innovationen, die Unternehmen wie Monogram Orthopedics und andere erreicht haben, und die Kreativität, mit der die Branche die mit der Telechirurgie verbundenen Netzwerkprobleme angeht, sind beeindruckend. Um eine breite Adoption der modernen Technologie in der Gesellschaft zu erzielen und den chirurgischen Erfolg zu gewährleisten, muss man sich der Komplexität von Latenz, Zuverlässigkeit, Sicherheit und nahtloser Integration in die sich ständig verändernde Netzwerklanschaft stellen. Während sich die Grenzen der Medizintechnik immer weiter verschieben, darf man nicht vergessen: Der Erfolg der Telechirurgie hängt letztlich davon ab, diese Herausforderungen zu meistern und den Chirurgen das Werkzeug an die Hand zu geben, die sie brauchen, um Leben zu retten - auch aus der Ferne. □

## IMPRESSUM

**Herausgeber** Kilian Müller  
**Head of Content Manufacturing** Christian Fischbach  
**Redaktion** Bernhard Haluschak (Managing Editor/verantwortlich/-928), Matej Gavranovic (-927), Ragana Iser (-898), Carina Kein (-922), Dana Neitzke (-930)  
**Newsdesk** newsdesk@publish-industry.net  
**Head of Sales** Kilian Müller  
**Anzeigen** Saskia Albert (Director Sales/verantwortlich/-918), Beatrice Decker (-913), Caroline Häfner (-914), Ilka Gärtner (-921), Alexandra Klasen (-917); Anzeigenpreislise: vom 01.01.2024  
**Inside Sales** Patricia Dachs (-935), Sarah Fuchs (-929); sales@publish-industry.net  
**Verlag** publish-industry Verlag GmbH, Machtfinger Straße 7, 81379 München, Germany  
 Tel. +49.(0)151.58 21 1-900, info@publish-industry.net, www.publish-industry.net  
**Geschäftsführung** Kilian Müller, Martin Weber  
**Leser- & AboService** Tel. +49.(0)61 23.92 38-25 0, Fax +49.(0)61 23.92 38-2 44; leserservice-pi@vuservice.de  
**Abonnement** Das Abonnement enthält die regelmäßige Lieferung der E&E (derzeit 6 Ausgaben pro Jahr inkl. redaktioneller Sonderhefte und Messe-Taschenbücher) sowie als Gratiszugabe das jährlich erscheinende Jahrbuch der Industrie, INDUSTRY.forward HAKAHAKA.  
**Jährlicher Abonnementpreis**  
 Ein JAHRES-ABONNEMENT der E&E ist zum Bezugspreis von 64 € inkl. Porto/Versand innerhalb Deutschland und MwSt. erhältlich (Porto Ausland: EU-Zone zzgl. 10 € pro Jahr, Europa außerhalb EU zzgl. 30 € pro Jahr, restliche Welt zzgl. 60 € pro Jahr). Jede Nachlieferung wird zzgl. Versandkosten und MwSt. zusätzlich berechnet. Im Falle höherer Gewalt erlischt jeder Anspruch auf Nachlieferung oder Rückerstattung des Bezugsgeldes. Studentenabonnements sowie Firmenabonnements für Unternehmen, die E&E für mehrere Mitarbeiter bestellen möchten, werden angeboten. Fragen und Bestellungen richten Sie bitte an leserservice-pi@vuservice.de  
**Marketing & Vertrieb** Anja Müller (Head of Marketing)  
**Herstellung** Veronika Blank-Kuen  
**Gestaltung & Layout** Schmucker-digital, Lärchenstraße 21, 85646 Anzing, Germany  
**Druck** F&W Druck- und Mediencenter GmbH, Holzhauser Feld 2, 83361 Kienberg, Germany  
**Nachdruck** Alle Verlags- und Nutzungsrechte liegen beim Verlag. Verlag und Redaktion haften nicht für unverlangt eingesandte Manuskripte, Fotos und Illustrationen.  
 Nachdruck, Vervielfältigung und Online-Stellung redaktioneller Beiträge nur mit schriftlicher Genehmigung des Verlags.  
**ISSN-Nummer** 1869-2117  
**Postvertriebskennzeichen** 30771  
**Gerichtsstand** München  
**Der Druck der E&E erfolgt auf PEFC™-zertifiziertem Papier, der Versand erfolgt CO<sub>2</sub>-neutral.**





ZUVERLÄSSIGKEIT BESTIMMEN, LEBENSDAUER VERLÄNGERN

## Statistische Betrachtungen zur Zuverlässigkeit

Elektronische und technische Produkte sind vielfältigen Einflüssen ausgesetzt, die ihre Funktionsfähigkeit gefährden. Mit Hilfe statistischer Werkzeuge kann ihre Zuverlässigkeit abgeschätzt und verbessert werden.

TEXT: HermannPüthe, Inpotron BILDER: Inpotron; iStock, Abdo Hamza

**1**

## Begrifflichkeiten

**MTBF = Mean Time Between Failure**

Der Erwartungswert der Betriebsdauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ausfällen

$$MTBF = \frac{10^9}{FIT} [h]$$

**FIT = Failure in Time**

gibt es von den Bauelement-Herstellern

Für Netzteile kann auch die Bezeichnung **MTTF** verwendet werden, da der erste Ausfall häufig zu einer Funktionslosigkeit führt.

Mit „Mean Time Between Failures“ (MTBF) lässt sich die Zuverlässigkeit von technischen Geräten abschätzen.

Die Kunden wünschen sich Geräte, die möglichst lange zuverlässig funktionieren, dabei aber nur geringe Kosten verursachen, sowohl in der Anschaffung als auch im Betrieb. Um in diesem Spannungsfeld eine greifbare und möglichst realistische Abschätzung zu finden, bedient man sich in der Technik verschiedener statistischer Methoden.

Die „Mean Time Between Failures“ (MTBF), zu Deutsch „Mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen“ ist ein Maß für die Zuverlässigkeit technischer Systeme. Unter „Betrieb“ wird dabei die Zeitspanne zwischen der Inbetriebnahme, etwa bei Produkteinführung oder nach einer Reparatur, und dem Ausfall eines Gerätes verstanden. Dividiert man die Summe der Betriebszeiten durch die Anzahl der Ausfälle, erhält man die MTBF. Je größer diese ist, desto zuverlässiger arbeitet das System. Ein Gerät mit einer MTBF von 100 Stunden fällt beispielsweise häufiger aus als ein Gerät mit einer MTBF von 1.000 Stunden. Kann ein technisches Gerät nach einem Ausfall nicht mehr repariert werden, spricht man von „Mean Time To Failure“, kurz MTTF. Gleiches gilt für den ersten auftretenden Fehler.

Die MTBF eines Geräts kann anhand der Ausfallraten der verwendeten Komponenten abgeschätzt werden. Diese geben die Hersteller für ihre Komponenten

als „Failure In Time“, kurz FIT, an. Dabei entspricht 1 FIT =  $10^{-9}$  Ausfälle pro Stunde. Eine Sammlung von FITs verschiedener Komponenten ist zum Beispiel in der Siemens Werksnorm SN29500 zusammengestellt. Für die MTBF einer Baugruppe oder des gesamten Gerätes werden die FITs der einzelnen Komponenten entsprechend ihrer Beanspruchung gewichtet und addiert. Die MTBF ergibt sich dann aus dem Kehrwert der Summe der gemeinsamen FIT. Die sich ergebenden großen Zahlen müssen allerdings immer in Relation zur Lebensdauer gesehen werden. Hat beispielsweise ein Netzteil eine MTBF von 750.000 Stunden und ist rund um die Uhr in Betrieb, bedeutet dies immer noch eine Ausfallwahrscheinlichkeit von gut 1,2 Prozent im Jahr.

### MTBF und Lebensdauer

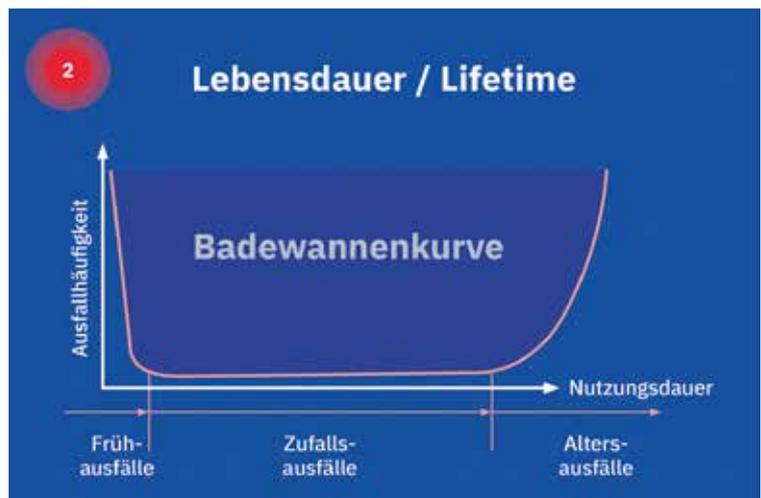
Bei Zukunftsprognosen mittels MTBF ist allerdings zu beachten, dass sich damit nur die Zuverlässigkeit von Geräten beurteilen lässt, die ihre Kinderkrankheiten schon hinter sich haben. Betrachtet man die Ausfallhäufigkeit einer Geräteserie über ihre gesamte Lebensdauer so ergibt sich ein charakteristisches Bild, sofern eine statistisch relevante Menge dieser Serie in Umlauf ist. Insbesondere sind alterungsgefährdete Bauteile wie Elektrolythkondensatoren bekannt, die bei der Lebensdauerprognose berücksichtigt

werden müssen. Grundsätzlich sind heute sehr gute, extrem langlebige Elektrolythkondensatoren der führenden Hersteller im Markt, die eine Gerätelebensdauer von mehr als 10 Jahren im Dauerbetrieb problemlos ermöglichen.

Betrachtet man für eine Modellreihe mit statisch relevanter Stückzahl die Anzahl der Ausfälle über die geplante Lebensdauer, so entsteht bei der graphischen Auswertung eine Kurve, die dem Querschnitt einer Badewanne ähnelt. Innerhalb dieser Kurve lassen sich drei typische Abschnitte isolieren: Zu Beginn eine kurze, aber merkliche Spanne von Frühausfällen, gefolgt von einer relativ langen Zeit mit wenigen Zufallsausfällen und am Ende der Lebensdauer wieder ein deutlicher Anstieg der Altersausfälle.

### Design- und Produktionsfehler

Zu Beginn einer neuen Geräteserie am Markt ist die Ausfallrate am höchsten. Konstruktions-, Material- oder Fertigungsfehler machen sich meist gleich zu Beginn der Nutzung bemerkbar, weshalb man hier auch von sogenannten Kinderkrankheiten spricht. Ursachen für solche Ausfälle können hier beispielsweise neue Bauteile sein, über deren Langzeitverhalten unter den vorgesehenen Betriebsbedingungen noch sehr wenig bekannt ist. Oder es werden etwa aus Gründen der



Die sogenannte Badewannenkurve beschreibt die Ausfallrate einer Geräteserie über die gesamte Lebensdauer.

Kosteneinsparung Komponenten mit zu geringen Belastungsreserven gewählt.

Auch das Design der Anwendung kann noch Schwachstellen aufweisen. Beispielsweise wenn die zukünftigen thermischen und elektrischen Belastungen oder die Einflüsse durch Schock und Vibrationen zu niedrig angesetzt werden. Vor allem komplexe Schaltungen mit hoher Verschachtelung und schwierigem Wärmemanagement sind hier gefährdet. Deshalb sind schlank aufgebaute Lösungen immer zu bevorzugen. Auch die Serienfertigung muss sich in so einem Fall erst einspielen. Anfangs besteht immer die Gefahr unzureichender Lötverbindungen, schwacher Kontakte oder ungewollter thermischer Kopplungen durch unsachgemäße Montage.

Frühhausfälle können nicht vollständig vermieden, aber durch geeignete Maßnahmen deutlich reduziert werden. Bei elektrischen Geräten ist die Einhaltung der IPC-Normen dafür eine solide Basis. Bei der Konstruktion sind, wie bereits erwähnt, schlanke Lösungen anzustreben. Auch wenn die Auswahl der Bauteile nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfolgen muss, sollten sie trotzdem den zu erwartenden Belastungen über die geplante Nutzungszeit standhalten können. Wobei die besten Bauteile nicht die teuersten sein müssen. Hierzu ist es aber

notwendig, den späteren Einsatzzweck und die dort herrschenden Betriebsbedingungen möglichst genau zu kennen.

Sogenannte "Run-In-Tests" ermöglichen es, Frühhausfälle herauszufiltern. Material- und Bauteilschwächen werden durch künstliche Alterung mittels Langzeit Burn-In-Tests, die bei deutlich höheren Temperaturen, höheren Betriebsspannungen und Vibrationstests durchgeführt werden, zuverlässig aufgedeckt. Mangelnde Wärmeabfuhr und Hotspots machen Infrarotaufnahmen sichtbar. Gegen Fehler in der Produktion hilft nur ein konsequentes Qualitätsmanagement. Dazu gehören auch detaillierte Fehler- und Einflussanalysen, auf Englisch „Failure Mode and Effects Analysis“ oder kurz FMEA. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Service und Entwicklung hilft zudem, die Phase der Frühhausfälle so kurz wie möglich zu halten.

### Schonender Betrieb & Nutzung

Ist die Phase der Kinderkrankheiten überstanden, beginnt für die Geräte eine stabile Nutzungszeit mit relativ geringen Ausfällen. Sogenannte Zufallsausfälle entstehen in dieser Zeit vor allem durch Verschleiß aufgrund permanenter mechanischer Belastung durch Vibrationen oder Stöße. Dadurch können etwa Kontaktstellen oder Vergussmedien brüchig

werden. Ebenso fordern thermischer Stress, der Kontakt mit korrosiven Medien oder der Einsatz außerhalb der vorgesehenen Betriebsbedingungen ihre Opfer. Steigt die Zahl der Ausfälle während dieser Phase plötzlich signifikant an, lässt dies unter Umständen auch auf die Verwendung einer Charge minderwertiger Bauteile schließen.

Gegen Ende der geplanten Lebensdauer steigt die Zahl der Ausfälle durch Verschleiß und Alterung wieder stark an. Vor allem eine dauerhaft hohe Umgebungstemperatur beschleunigt diesen Prozess. Gemäß der Arrhenius-Formel vermindert schon eine Temperaturerhöhung von 10 Kelvin die Lebensdauer von Elektrolytkondensatoren um die Hälfte. Aber auch an Halbleitern und nicht zuletzt elektrischen Verbindungen nagt der Zahn der Zeit bei widrigen Betriebsbedingungen umso heftiger.

Das Ende der geplanten Lebensdauer muss jedoch nicht zwangsläufig das Ende der Nutzung bedeuten. Wird das Gerät ordnungsgemäß gewartet, keinen unnötigen Belastungen durch Erschütterungen ausgesetzt und werden elektrische und thermische Belastungen bis an die Grenzwerte im Betrieb konsequent vermieden, kann die Nutzungsdauer deutlich über die statistisch zu erwartende Lebensdauer hinaus verlängert werden. □

## ENERGIESPARENDE DISPLAYS

# Genügsam trotzdem leistungsstark

Besonders bei portablen Geräten kommt es auf eine Unabhängigkeit vom Netz und ein kompaktes Design an. Die Elektronik darf dabei nur wenig Energie konsumieren. Im Vergleich zur Displaylogik nimmt das Backlight eine relativ hohe Leistung auf. Was also tun, wenn es gleichzeitig energiesparend, aber trotzdem auch unter hellen Umgebungsbedingungen wie im Freien gut ablesbar sein soll?

TEXT: Rudolf Sosnowsky, Hy-Line BILDER: Hy-Line; iStock, Andrii Shelenkov

Dieser Artikel beschränkt sich auf die Betrachtung elektronischer Displays der drei gängigen Technologien LCD, OLED und E-Paper. Bistabile mechanische und exotische Display-Technologien bleiben dabei unberücksichtigt.

Obwohl sich die Akku-Technologie so weit entwickelt hat, dass Geräte einen ganzen Arbeitstag ohne Nachladen durchhalten, ist der Energiebedarf für das Backlight eines Displays so hoch, dass er besonders im Betrieb unter Sonnenlicht im Außenbereich schnell zum größten Verbraucher wird.

Es liegt also nahe, sich über Technologien Gedanken zu machen, bei denen dieser Bedarf minimiert wird. Hinter dem umgangssprachlichen Begriff „Ablesbarkeit“ verbirgt sich der technische Begriff „Kontrast“. Je höher dieser, umso besser ist das Display ablesbar. Das bedeutet, dass der dargestellte Inhalt sich vom Hintergrund deutlich unterscheidet. Eine Maßnahme dafür ist, die vom Display ausgehenden Reflexionen durch spezielle Oberflächen wie anti-reflective coating oder des Gesamtaufbaus durch Optical Bonding zu minimieren. Zum anderen wird dies mit einem Backlight hoher Helligkeit („High Brightness-Display“) erreicht. Leider verringert sich mit steigender Helligkeit der Umgebung die auf der Netzhaut des menschlichen Auges auftreffende Lichtenergie. Die Iris als Blende verkleinert die Öffnung, durch die Licht eintritt.

Doch es gibt andere Display-Technologien als die des konventionellen TFT-Displays, das im Büromonitor eingebaut ist. Im Folgenden werden die Technologien vorgestellt und ihre Vor- und Nachteile je nach Einsatzgebiet erläutert.

## Klassifizierung nach Beleuchtung

Nachdem die Beleuchtung des Displays mit Abstand einer der größten Verbraucher ist, soll für eine Applikation eine

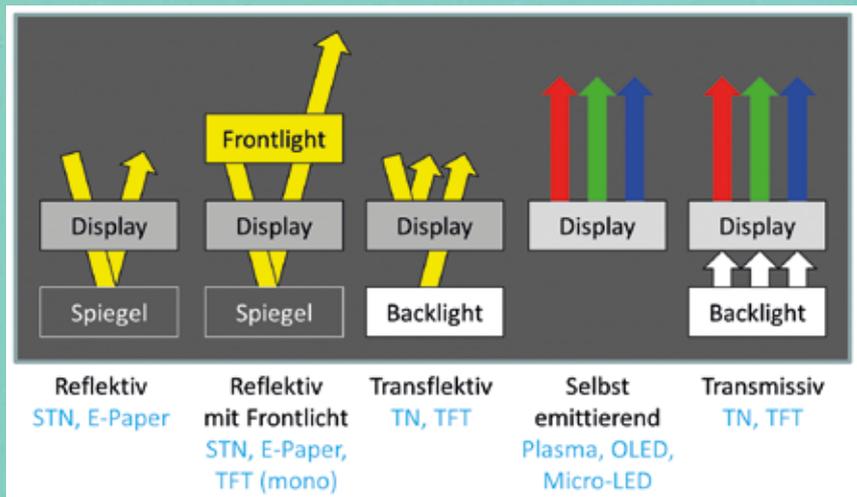
Technologie ausgewählt werden, die möglichst wenig Energie verbraucht. In der Abbildung sehen Sie die hier vorgestellten Technologien im Vergleich.

Reflektive Displays werden primär in einem hellen Umfeld eingesetzt. Das Umgebungslicht fällt auf einen rückseitigen Spiegel und wird reflektiert. Je nach Orientierung des Flüssigkristalls wird es absorbiert (dunkles Segment) oder passiert (helles Segment beziehungsweise Hintergrund). Vertreter dieser Technologie sind TN/STN- und ePaper-Displays. Möchte man ein solches Display im Dunklen ablesbar machen, ohne einen besonderen Anspruch an Kontrast und Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung zu haben, kann das Umgebungslicht durch ein zuschaltbares Frontlight ersetzt werden. Ein Frontlight kann bei TN/STN- ePaper und reflektiven TFTs eingesetzt werden. Eine Sonderstellung nehmen transflektive Displays ein, deren Technologie weiter unten beschrieben ist. Sie nutzen sowohl ein Backlight als auch das Umgebungslicht aus. Selbst emittierende Displays wie ehemals Plasma, jetzt OLED und Micro-LED benötigen keine zusätzliche Lichtquelle. Transmissive Displays wie TN und TFT sind auf das Backlight angewiesen. Ohne dies bleiben sie dunkel. Für den Einsatz in einer hellen Umgebung muss das Backlight ausreichend hell sein.

## Reflektive Displays

Eine Herausforderung bei der Herstellung eines Displays ist die Transmission. Herkömmliche TFT-Displays weisen eine Transmission von kleiner 10 Prozent auf, das heißt dass nur ein Bruchteil des Lichts von hinten nach vorne durchstrahlt. Betrachtet man den Aufbau eines TFTs, wird dies verständlich, denn ein Teil der Fläche wird für die Verdrahtung, also die Anbindung der Zeilen und Spalten innerhalb des Displays verwendet, und das Licht muss den rückseitigen Polfilter, die Rückelektrode, den Flüssigkristall, den Farbfilter und den

Die einzelnen Display-Technologien im Überblick



Frontpolfilter passieren, bevor es auf das Auge des Betrachters trifft und dort das Bild wahrgenommen wird.

Transparente Displays wie zum Beispiel das T-OLED von LG Display setzen auf spezielle Pixelstrukturen, die nur mit aktiv leuchtenden Materialien möglich sind, spezielle Pixel-Formationen (RGBW) und hochtransparente Verdrahtungsebenen. Dazwischen bleibt Raum für die Transmission, so dass das gesamte Display in den Bereich von 40 Prozent kommt.

Das Prinzip reflektiver LCDs ist schon lange etabliert, wurde aber hauptsächlich bei einfachen TN und STN-Displays wie zum Beispiel Taschenrechner und Energiezähler verwendet. Im Unterschied zu TFT handelt es sich um Passiv-Matrix-Displays, die mit zunehmender Zeilenzahl (Multiplexrate) schlechteren Kontrast bieten. Beim reflektiven TFTs ist die Ansteuerung aktiv, d.h. jedem Pixel ist ein Transistor zugeordnet.

## Transmissive Displays

Ein transmissives Display moduliert die Helligkeit des dahinter liegenden Backlights. Es eignet sich gut in Umgebungen mit mäßiger Helligkeit. Es erzielt einen hohen Kontrast und ist hervorragend ablesbar. Mit zunehmender Umgebungshelligkeit muss die Intensität des Backlights zunehmen, damit es ablesbar bleibt. Damit steigt die Stromaufnahme des Backlights, der gegenüber der Leistung zum Betrieb des Displays und der Ansteuer-Logik klein ist. Bei einem typischen TFT-Display (LG Display, 7" Diagonale) benötigt die Logik 0,9 W, das Backlight bei 450 cd/m<sup>2</sup> hingegen 3 W.

## Transflektive Displays

Transflektive Displays hingegen nutzen das einfallende Licht, um den Kontrast damit zu erhöhen. Ein Teil der inneren

Struktur reflektiert das Licht, während ein anderer Teil das Licht des Backlights passieren lässt. Das Wort „transfektiv“ setzt sich aus „transmissiv“ und „reflektiv“ zusammen und beschreibt damit beide Eigenschaften. Transfektive Displays sind als LCD in TN und TFT verfügbar. Sie werden dort eingesetzt, wo das Display sowohl bei viel als auch bei wenig Umgebungslicht ablesbar sein muss.

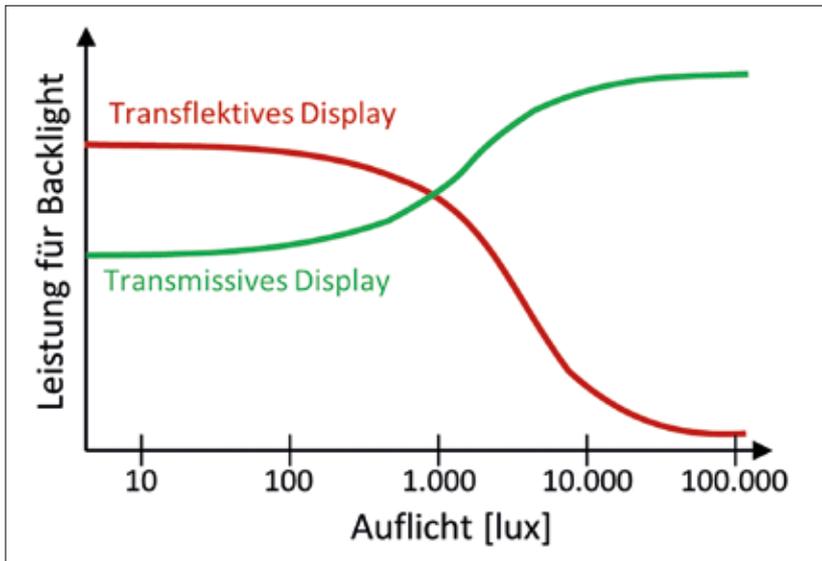
Das Backlight hierfür stellt einen Kompromiss dar: Es darf nur wenig Leistung aufnehmen, muss aber dennoch für einen ausreichenden Kontrast sorgen. Beim Betrieb mit aktivem Backlight sind sie gegenüber transmissiven Displays leistungsmäßig im Nachteil, denn die Flächen, die das einfallende Licht reflektieren, sind für das Backlight nicht transparent, es muss also mehr Energie aufgewandt werden. Ihre Stärke spielen sie erst im reflektiven Betrieb in heller Umgebung aus.

## Technologien im Detail

Als Lichtventil emittieren LCD selbst kein Licht, sondern nutzen das vorhandene Licht, sei es vom Backlight oder einer externen Lichtquelle kommend. Wegen der geringen Transparenz von weniger als 10% muss das Backlight eine hohe Helligkeit liefern, was eine hohe Energieaufnahme bedeutet. Der Betrieb des LCD-Controllers benötigt nur wenig Leistung, daher sollten Einsparmaßnahmen bei der Beleuchtung ansetzen. Im Gegensatz dazu sind OLED Lichtquellen. Sie emittieren Licht und benötigen kein Backlight. Die Leistungsaufnahme wird hauptsächlich von der Anzahl der aktiven Pixel bestimmt.

## TN

Die älteste LCD-Technologie TN ist in verschiedenen Varianten (STN, H-TN etc.) weit verbreitet. Sie ist auch die Grundlage für TFT, bei denen die Ansteuerung der Bildpunkte



Die elektrische Leistung für zwei Backlights im Detail

durch einen lokalen Transistor unterstützt wird. TN zeichnet sich durch eine sehr niedrige Leistungsaufnahme aus, da nur im Moment des Umladens der LC-Moleküle ein Strom von nur wenigen  $\mu\text{A}$  fließt. Für die Ansteuerung eines Displays kann je nach Anzeigebereich entweder ein im Mikrocontroller eingebauter LCD-Controller-Treiber eingesetzt werden, der automatisch die Kurvenformen für die Multiplex-Ansteuerung erzeugt, oder ein externer Controller mit eingebautem Speicher, der das Display unabhängig von der CPU auffrischt.

Vorteile sind die geringen Stückpreise und Kosten für ein kundenspezifisches Design im Vergleich zu anderen Technologien. Daher werden sie in kostensensitiven Applikationen wie Verbrauchszählern eingesetzt. TN-Displays beginnen bei einfachen segmentierten Displays wie etwa beim Wasseraufbereiter, gehen über Siebensegment-Anzeigen mit kundenspezifischen Icons bis hin zu Punktmatrixanzeigen. Für die Beleuchtung gibt es verschiedene Möglichkeiten: Vom rein reflektiven Display, das die Umgebungshelligkeit ausnutzt über transflektive Varianten, die im Dunkeln von einem Backlight unterstützt werden, bis hin zu transmissiven Varianten, die ohne Backlight nicht abzulesen sind. Hier sollen die reflektiven TN-Displays betrachtet werden.

## Reflektives TFT

Die Bezeichnung TFT, „Thin Film Transistor“ deutet bereits darauf hin, dass bei diesem Displaytyp eine Halbleitertechnologie eingesetzt wird. Zeilen und Spalten des Displays werden nicht über spezielle Kurvenformen von extern angesteuert. Jeder einzelne Bildpunkt wird von einem Transistor und Kondensator unterstützt. Diese halten bis zum nächsten

Frame, der in 1/60s folgt, den Ansteuerungspegel. Dadurch können Displays höherer Auflösung, besserem Kontrast und weiterem Ablesewinkel als mit TN-Technologie gebaut werden. Die Leistungsaufnahme ist höher als bei TN, aber immer noch gering. Wie reflektive TN-Displays sind sie auf eine Beleuchtung von vorne angewiesen.

## Transflectives TFT

Den Nachteil reflektiver Displays, nämlich der schlechten Ablesbarkeit bei fehlendem Auflicht, löst die transflektive Technologie. Ein transflektives TFT kann bei allen Lichtsituationen eingesetzt werden. Im Dunkeln leuchtet das Backlight durch TFT und Farbfilter. In heller Umgebung überwiegt der reflektive Anteil.

## MIP

Bei der MIP-Technologie (Memory In Pixel) handelt es sich um ein TFT-Display, bei dem parallel zum Schalttransistor für das Pixel eine Speicherzelle geschaltet ist. Solange die Versorgungsspannung anliegt, behält diese den eingespeicherten Wert. Das Display muss also nicht periodisch aufgefrischt werden; lediglich zur Umpolung der Flüssigkristallzelle ist ein Takt erforderlich, um Elektrolyse zu vermeiden. Die Frequenz dazu kann bis herunter zu 1 Hz gehen und ist extrem energiesparend, weil nur beim Umschalten Strom fließt. Die TFT-Technologie erlaubt feine Pixel und damit eine hohe Auflösung. MIP eignen sich für Anwendungen, die lange mit einer begrenzten Energie auskommen müssen, wie zum Beispiel Wearables. MIP-Display können reflektiv oder transflektiv realisiert werden, so dass für die Ablesbarkeit im Dunkeln ein

Vergleich energiesparender Display-Technologien

Eigenschaft	TN	Ref. TFT	Transf. TFT	MIP (TFT)	PM OLED	E-Paper
Leistungsaufnahme	+	0	0 <sup>1</sup>	+ <sup>2</sup>	0 <sup>3</sup>	+
Ablesbarkeit im Dunkeln	- <sup>4</sup>	- <sup>4,5</sup>	+	- <sup>4</sup>	+	- <sup>4,5</sup>
Ablesbarkeit im Hellen	+	+	0 <sup>6</sup>	+	-	+
Max. Größe	-	0	+	-	-	0
Farben	-	- <sup>7</sup>	+	0	0	-
Schaltzeiten	0	0	0	0	+	-
Dicke	+	+	0 <sup>1</sup>	+	+	+
Varianten	+	-	0	0	+	0
Kosten	+	0	-	-	0	+
Anpassbarkeit	+	-	-	-	+	0
Temperaturbereich	0	+	+	0	+	-
Interface	- <sup>8</sup>	0	0	+	+	+

Frontlight oder Backlight integriert werden kann. Mit kurzen Schaltzeiten eignet sich ein MIP-Display anders als ePaper sogar für die Wiedergabe von Animationen und Video-Sequenzen.

## Passiv-Matrix OLED

Die OLED-Technologie ist mittlerweile weit verbreitet. Sie wird in High-End-Mobiltelefonen und TV-Geräten eingesetzt, weil sie dort ihre Vorteile in Kontrast und Farbraum ausspielen kann. Allerdings werden dort Aktiv-Matrix-OLED (AMOLED) verwendet, die für den Einsatz in industriellen Anwendungen nicht geeignet sind: Die Auswahl der Display-Größen beschränkt sich auf Handheld einerseits und TV andererseits. Zwischengrößen von 7 Zoll bis 24 Zoll, wie sie in der Industrie eingesetzt werden, sind schwer erhältlich oder gar nicht in Produktion. Die Auflösung der kleinen Displays ist dabei so hoch, dass sie von CPUs, wie sie im hier vorgestellten Einsatzgebiet vorkommen, eine hohe Rechenleistung erwarten, die wiederum mit erhöhter Leistungsaufnahme einhergeht.

OLEDs sind selbst emittierend. Liegt an einem OLED-Pixel eine Spannung in richtiger Höhe an, leuchtet es. Die Farbe wird von den verwendeten Materialien bestimmt. Energiesparend sind OLED besonders dann, wenn die Bildinhalte nur dünn besetzt sind, also bei der Anzeige von Text im „Dark Mode“ mit dunklem Bildhintergrund und heller Schrift. Die Helligkeit von OLED ist eher gering, durch den dunklen Hintergrund ist der Kontrast jedoch sehr hoch und damit die Ablesbarkeit besonders gut. OLED kommen prinzipbedingt ohne Polfilter aus, trotzdem befindet sich an der Oberseite ein Polfilter, der Reflexionen minimiert.

## E-Paper

Die E-Paper-Technologie verwendet bistabile, polarisierte eingefärbte Kügelchen, die in einem Kunststoffträger eingebettet, aber frei beweglich sind. Der Träger wiederum ist auf einem Substrat angeordnet, dessen Spannungspegel die Orientierung der Kügelchen beeinflusst. Für den besten Kontrast muss die Höhe der Spannung in Abhängigkeit von der Temperatur genau eingehalten werden. Haben die Elemente ihre Position eingenommen, behalten sie diese ohne Energie bis zum nächsten Wechsel bei. Bei Displays mit Zusatzfarben ist der Refresh etwas komplexer, das Prinzip ist aber identisch. Allerdings steigt mit höherer Farbzahl die Update-Zeit deutlich.

## Fazit

Im Zuge der Nachhaltigkeit steigt auch der Bedarf an energiesparenden Komponenten. Auf der diesjährigen „Embedded World“-Messe in Nürnberg konnte man zum Beispiel eine deutliche Anzahl an Anbietern für e-Paper-Displays sehen. Während bei vielen stationären Anwendungen das Display nur einen kleinen Anteil am Gesamtverbrauch des Gerätes hat (zum Beispiel Haushaltsgeräte), kommt es bei portablen Geräten mit einer Batterie oder Solarzelle als Energiequelle auf jedes Milliwatt an. Transflektive Displays überstreichen einen weiten Bereich an Umgebungshelligkeiten, da im Dunkeln das Backlight und im Hellen der reflektive Anteil überwiegt. Gänzlich ohne Energiezufuhr kommen im stationären Betrieb E-Paper-Displays aus. Bei der Auswahl der am besten geeigneten Display-Technologie spielen jedoch viele Parameter eine Rolle, zum Beispiel auch die Fähigkeit, Videos wiederzugeben oder das Interface zum System. □

2,9  
PROZENT

QUELLE: KRAFTFAHRT-BUNDESAMT  
(STAND: 01. JANUAR 2024)

beträgt der Anteil von E-Autos (BEV) an der Gesamtzahl aller in Deutschland zugelassenen PKWs. Der Anteil von Plug-in-Hybrid-Fahrzeugen (PHEV) liegt bei 1,9 Prozent.

Zweifelsohne wird die Elektromobilität in Zukunft weiter wachsen. Deshalb steht fest: Von leistungsstarken Batteriemanagementsystemen bis hin zu intelligenten Steuerungen – innovative Elektroniklösungen machen Elektrofahrzeuge effizienter, sicherer und nachhaltiger. Lesen Sie mehr zur Elektronik für die E-Mobility ab Seite 15.

# Auf dem Weg zur Klimaneutralität

Expertenmedium für Energie-Verantwortliche in der Industrie

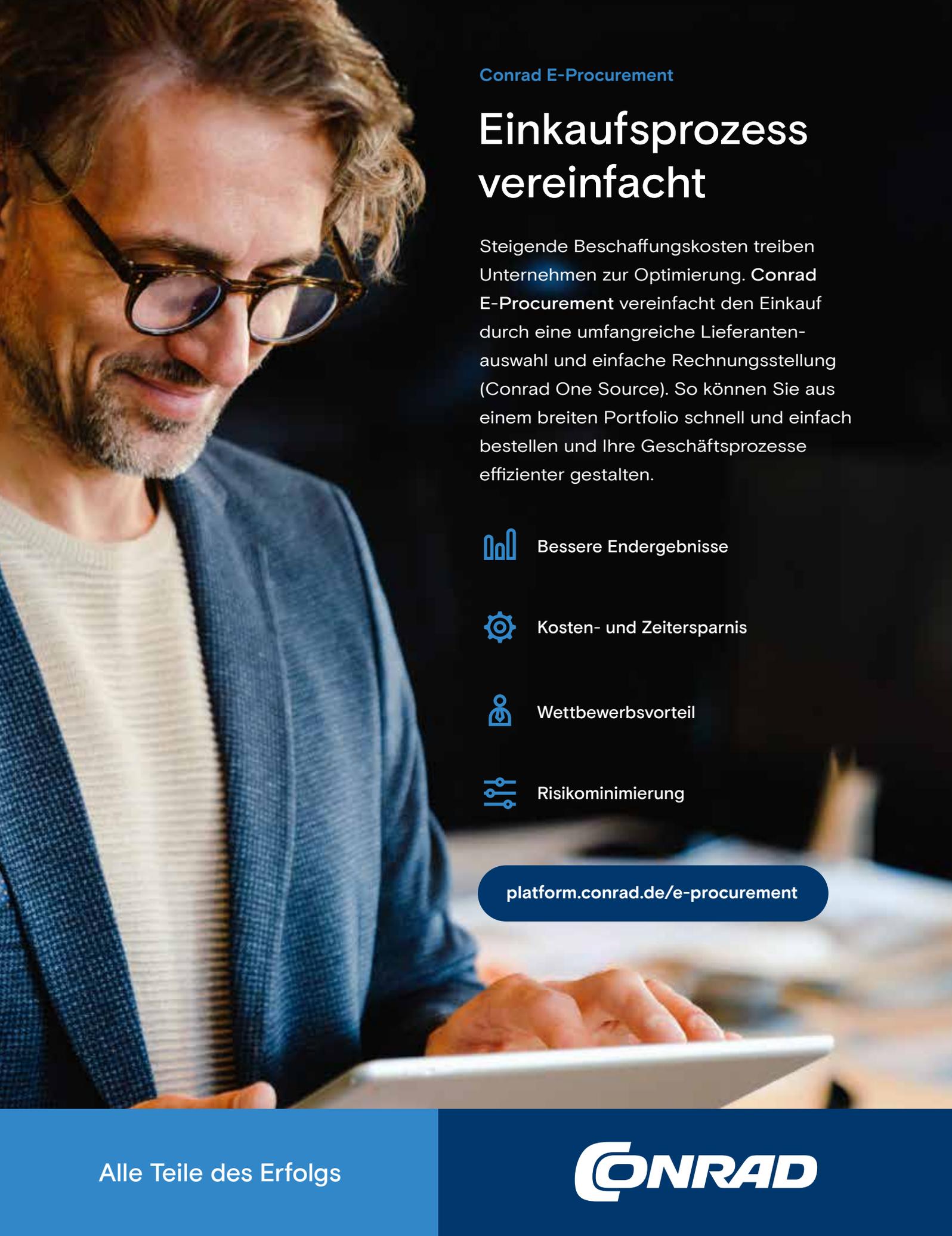
JETZT 4 WOCHEN  
UNVERBINDLICH TESTEN!

energy.prime ist das Informationsangebot für Energieverantwortliche in der produzierenden Industrie. In einem Segment, in dem das Hintergrundrauschen immer lauter wird, fasst energy.prime zusammen, was wirklich wichtig ist.

**energy**  
**prime**  
EMPOWER NET ZERO INDUSTRY

part of **INDUSTRY.FORWARD**

Jetzt testen: [www.energy-prime.de/probeabo-energy](http://www.energy-prime.de/probeabo-energy)



Conrad E-Procurement

# Einkaufsprozess vereinfacht

Steigende Beschaffungskosten treiben Unternehmen zur Optimierung. Conrad E-Procurement vereinfacht den Einkauf durch eine umfangreiche Lieferantenauswahl und einfache Rechnungsstellung (Conrad One Source). So können Sie aus einem breiten Portfolio schnell und einfach bestellen und Ihre Geschäftsprozesse effizienter gestalten.



Bessere Endergebnisse



Kosten- und Zeitersparnis



Wettbewerbsvorteil



Risikominimierung

[platform.conrad.de/e-procurement](https://platform.conrad.de/e-procurement)

Alle Teile des Erfolgs

**CONRAD**