AUSGABE NOVEMBER 2026 | 20. JAHRGANG | WWW.INDUSTR.COM

E&E EXPLORE
NEXT TECH ELECTRONICS

NOVEMBER | 2026

electronica
Weltleitmesse und Konferenz der Elektronik
10.–13. November 2026 | Trade Fair Center Messe München

SIE HABEN EIN PROBLEM!

... bei Elektrifizierungs- oder Digitalisierungs-Anwendungen?

Bitte wenden! ... oder mehr ab S. 14

TITELBILD-SPONSOR: PTR HARTMANN

FOKUS: ELECTRONICA
Was die Elektronik jetzt vorantreibt ab S. 20

ELECTRONICS SOLUTIONS
So beschleunigen Sie die Entwicklung von KI-Chips S. 46

SPEZIAL: DISPLAY & HMI
Kleine Industrie-Displays auf dem Prüfstand ab S. 78

part of INDUSTRY.FORWARD

Eine Plattform für alles Technische.

Besuchen Sie uns
auf der electronica.
Halle B5, Stand 241



SIEMENS

Alle Teile des Erfolgs

CONRAD

Explore Next Tech
ELECTRONICS











Direkt eintauchen!

Mehr Wettbewerbsfähigkeit beginnt mit dem richtigen Update

Flexibilität, Resilienz und Nachhaltigkeit bleiben Schlüsselthemen. In der Welt von E&E dreht sich alles um Entwicklung und Elektronik in der Industrie – online, im E-Paper und auf unseren Kanälen LinkedIn @INDUSTR.com und YouTube @INDUSTRY.forward.

Holen Sie sich das Wichtigste direkt ins Postfach: mit unseren Newslettern. Jetzt abonnieren unter industr.com/EuE.

INDUSTR.com | INDUSTRY.ZERO & TRANSFORMATION | NEXT TECHNOLOGY | INDUSTRIAL SOLUTIONS | A&D | E&E | energy | P&A



Bernhard Haluschak, Chefredakteur E&E: Die Messtechnik ist im Wandel. Künstliche Intelligenz (KI) analysiert komplexe Messdaten, erkennt Signalanomalien und liefert Ergebnisse in einer Geschwindigkeit, die vor wenigen Jahren kaum vorstellbar war. Mich faszinieren diese Möglichkeiten. Gleichzeitig frage ich mich, wie zuverlässig solche Ergebnisse tatsächlich sind, wenn die zugrunde liegenden Algorithmen immer komplexer und ihre Entscheidungen schwerer nachvollziehbar werden. Schließlich können bereits geringe Messabweichungen weitreichende Folgen für die Elektronikentwicklung haben. Deshalb stelle ich heute die Frage:

WIE VIEL VERTRAUEN VERDIENT KI IN DER MESSTECHNIK?

Was wäre die Elektronikentwicklung ohne zuverlässige Messtechnik? Für mich ist sie die Grundlage, um Schaltungen zu charakterisieren und komplexe Systeme zu verifizieren. Höhere Frequenzen, Leistungsdichten und kürzere Entwicklungszyklen erhöhen die Anforderungen. Automatisierte Testsysteme liefern immer größere Datenmengen, die KI schneller auswerten kann.

Intelligente Algorithmen erkennen Signalanomalien und unterstützen die Jitter-Analyse sowie die Bewertung der Signalintegrität. Besonders interessant finde ich, dass sich Messdaten aus unterschiedlichen Quellen korrelieren lassen: etwa Temperatur, Versorgungsspannung und elektromagnetische Störungen. Dadurch werden Fehlerursachen sichtbar, die bei isolierter Betrachtung einzelner Messgrößen schwer zu erkennen sind.

Doch wie belastbar sind solche Ergebnisse? Die Qualität einer Messung entsteht nicht erst bei der Auswertung. Bandbreite, Abtastrate, Eigenrauschen, Tastkopfeinflüsse und die Kalibrierung der Messkette bestimmen, was zuverlässig erfasst wird. Ein KI-Modell kann fehlende Signalanteile nicht zurückholen und systematische Messfehler nicht ohne Weiteres erkennen. Seine Aussagekraft hängt zudem von Trainingsdaten und Modellannahmen ab. Ändern sich die Betriebsbedingungen, kann eine plausible Analyse dennoch falsch sein.

Deshalb halte ich Messunsicherheit, Reproduzierbarkeit und Rückführbarkeit für unverzichtbar. Gerade bei sicherheitskritischer Elektronik müssen KI-basierte Befunde durch geeignete Referenzmessungen und klare Prüfkriterien bestätigt werden. Automatisierung darf nicht bedeuten, dass wir die Kontrolle über die Bewertung unserer Messergebnisse abgeben.

Ich sehe in KI eine große Chance, Entwicklungsprozesse zu beschleunigen und komplexe Fehlerbilder besser zu verstehen. Die Verantwortung bleibt jedoch beim Entwicklungsingenieur: Er muss Messaufbau, Randbedingungen und Ergebnisse kritisch einordnen können. Denn entscheidend ist nicht, wie überzeugend eine Software ihre Analyse präsentiert, sondern ob das Ergebnis physikalisch nachvollziehbar und messtechnisch belastbar ist. Vertrauen ist gut – Verifikation bleibt unverzichtbar.

HARTING
Pushing Performance
Since 1945

Effizienteres Crimpen von gedrehten Kontakten.

Die neue Crimp-Wechseleinheit von HARTING ermöglicht eine effiziente Verarbeitung gedrehter Kontakte vom Band.

KOSTENLOSES PRODUKTMUSTER ANFORDERN



- **Taktzeiten von einer Sekunde** pro Crimp (Abisolieren und Crimpen)
- **Zeitersparnis von bis zu 67 %** (abhängig von der individuellen Maschinenkonfiguration)
- **Schnellere Lieferzeiten** für Kabelkonfektionen ohne Qualitätseinbußen
- **Erhöhte Prozesssicherheit** durch den Einsatz hochwertiger Kontakte
- **Return on Invest (ROI) Berechnung** basierend auf Ihrer individuellen Konfiguration möglich

One Range. No Limits:
www.HARTING.com/contacts-on-reel

INHALT

AUFTAKT

06 Bildreportage: SNAP IN von Weidmüller
16 Highlights der Branche
18 Messevorschau: electronica 2026

TITELREPORTAGE

12 Titelstory: Energy for Energy: Energie zur richtigen Zeit bereitstellen
14 Titelinterview: Wachstum und Wandel: „Mut zum Standort Deutschland“

FOKUS: ELECTRONICA

20 Umfrage: Was die Elektronik jetzt vorantreibt
24 Wärme als Systemgröße: Passive und elektromechanische Komponenten im Fokus
28 Thermische Grenzen verstehen: Derating bei Leiterplatten-Steckverbindern
34 Entwärmungslösungen analysieren und optimieren

NEXT ELECTRONICS

38 Komponentendesign und Verbindungstechnik für kritische Anwendungen

RUBRIKEN

03 Editorial
33 Business-Profil: binder
50 Meilensteine: FORTEC
57 Business-Profil: inpotron
65 FREDDIE: Die KI-Champions der Industrie
71 Business-Profil: wts // electronic components
76 Impressum & Firmenverzeichnis
77 Storyboard: Weidmüller
86 Die Zahl

TITELBILD: publish-industry, KI-generiert

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





AB SEITE 12
TITELSTORY
Mit Boost-Drosseln Energie zur richtigen Zeit bereitstellen





AB SEITE 78
SPEZIAL: DISPLAY & HMI
Kleine Superhelden: Schnittstellen für Displays



AB SEITE 20

FOKUSTHEMA

Zukunftsthemen der Elektronikbranche



ELECTRONICS SOLUTIONS

42 Aktiver Überspannungsschutz bis zum Endgerät
46 KI-Chipdesign beschleunigen mit HAV-Methoden
54 Präzise Stromversorgung mit Low-Ripple-Netzteilen
58 So geht intelligentes Thermomanagement in der Hochleistungselektronik
60 Messtechnik mit Zukunft: KI lernt Messen
68 Compliance: Cybersicherheit auf der Schiene
72 Die neue Messe: All About Electronic Solutions
74 CRA-Compliance: Der Weg zu mehr Cyberresilienz

SPEZIAL: DISPLAY & HMI

78 Anforderungen an kleine Industrie-Displays
82 Industrielle HMIs auf dem Prüfstand

NET ZERO ELECTRONICS

84 TIM: Thermal Management und EMV rücken zusammen



46

ELECTRONICS SOLUTIONS

Mehr Tempo für das KI-Chipdesign durch HAV-Methoden



DETAKTA

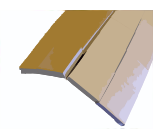
Wärmeleitfolien -60 bis +200°C





Silikon Soft Pads
SBC Serie 1,5 / 3 / 5 / 7 / 12 W/mK
Weiche gelartige Pads: 2 - 10° ShA,
beidseitig haftend. Stärke: 0,5 bis 5,0 mm

Silikon Soft Pads mit Gewebe
SB-V0 Serie 0,9 / 1,3 / 3 / 7 W/mK
Glasgewebe Deckfolie und weiche gelartige
Unterseite. 2 - 20° ShA., einseitig haftend.
Stärke: 0,5 bis 5,0 mm





Silikon Glasgewebe Folie
SB-HIS Serie 1 / 2 / 3 / 4 / 5 W/mK
Optional: einseitig haftend oder klebend
ca. 80° ShA., Stärke: 0,15 bis 0,8 mm

Verarbeitungsmethoden: Plotten, Stanzen, Wasserstrahlschnitt

DETAKTA
Isolier- und Messtechnik GmbH & Co. KG
Hans-Böckler-Ring 19
22851 Norderstedt

Tel: +49 40 529547 0
eMail: info@detakta.de
Web: www.detakta.de

electronica 10.-13.11.2026 Stand B3-357


CL

So beschleunigt moderne Verbindungstechnik Prozesse

LICK

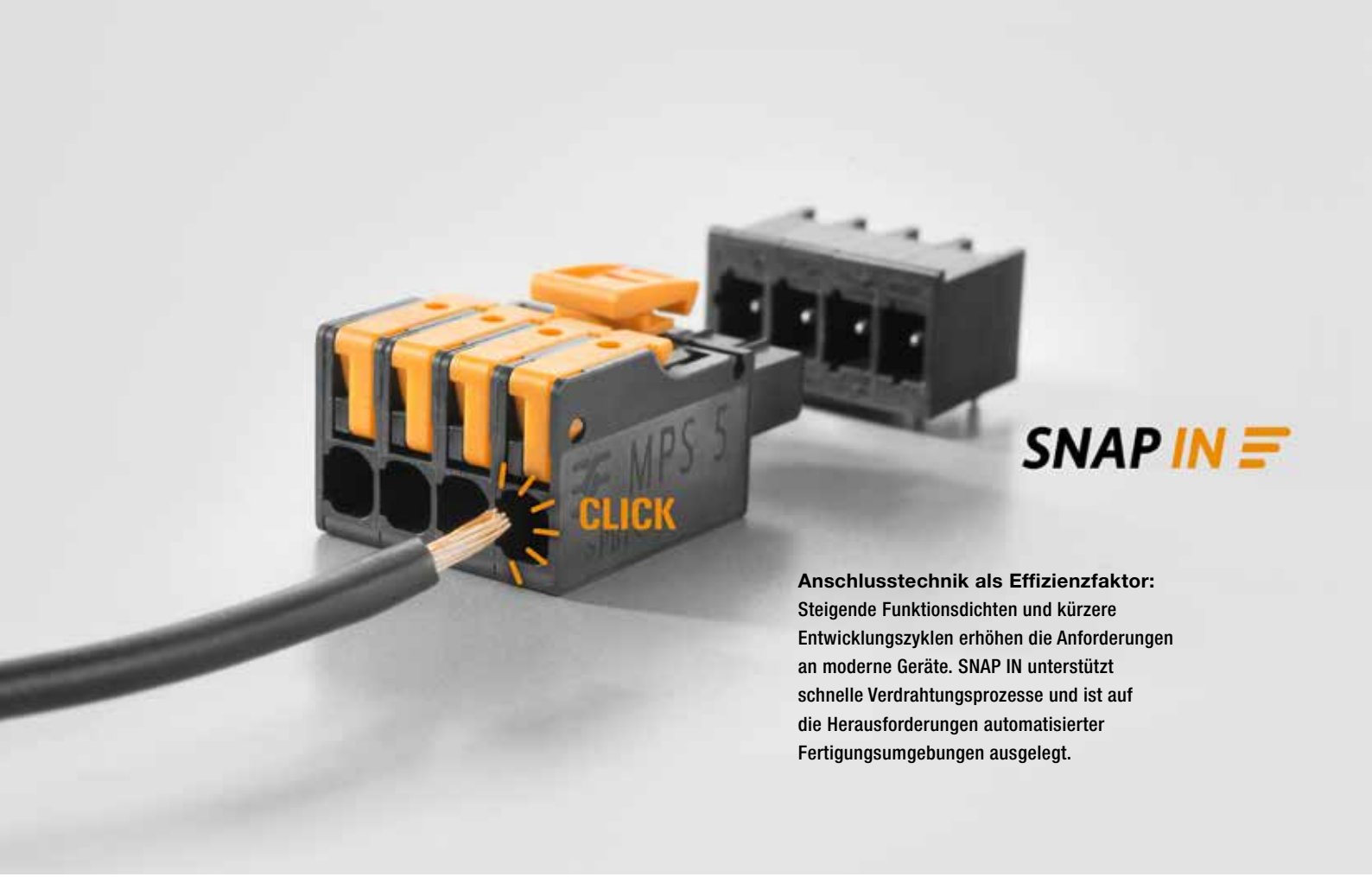
Einfach stecken, sicher verbinden

Schneller verdrahten, Prozesse vereinfachen und Produktivität steigern: Mit SNAP IN hat Weidmüller eine Anschlusstechnologie entwickelt, die den Anforderungen moderner Industrieanwendungen gerecht wird. Seit ihrer Markteinführung im Jahr 2021 hat sich die Technologie von einer Innovation zu einer breit etablierten Lösung entwickelt und findet heute in unterschiedlichsten Branchen Anwendung. Ob im Schaltschrankbau, Maschinenbau, in der Energieversorgung oder der Gebäudeinfrastruktur – SNAP IN unterstützt Unternehmen dabei, Verdrahtungsprozesse effizienter, sicherer und zukunftsfähiger zu gestalten. Die folgenden Bilder zeigen, wie die Technologie neue Maßstäbe in der Verbindungstechnik setzt und das klare Versprechen von SNAP IN mit Leben füllt: mehr Effizienz in der Verdrahtung.

TEXT: Weidmüller **BILDER:** Studio Hesterbrink, Weidmüller



Einfach stecken, sicher verbinden:
SNAP IN ist die werkzeuglose Anschlusstechnologie von Weidmüller. Der abisolierte Leiter wird einfach in die offene Anschlussstelle gesteckt. Ein hörbares Klicken und eine optische Anzeige bestätigen die sichere Verbindung.
SNAP IN-Anschlusstechnologie | Invented by Weidmüller.



Anschlusstechnik als Effizienzfaktor: Steigende Funktionsdichten und kürzere Entwicklungszyklen erhöhen die Anforderungen an moderne Geräte. SNAP IN unterstützt schnelle Verdrahtungsprozesse und ist auf die Herausforderungen automatisierter Fertigungsumgebungen ausgelegt.

Ausgelegt für effiziente Prozesse: Die offene Klemmstelle und die klare Leitungsführung unterstützen prozesssichere Arbeitsschritte. Dadurch eignet sich die Technologie sowohl für die manuelle Verdrahtung als auch für automatisierte Anwendungen.

Von der Leiterplatte bis in den Schaltschrank: Die SNAP IN-Technologie kommt in unterschiedlichen Bereichen der Geräte- und Verbindungstechnik zum Einsatz. Weidmüller hat die SNAP IN-Technologie bereits in die Klippon® Connect Reihenklemmen, die schweren Steckverbinder RockStar®, die Steckverbinder OMNIMATE®, die Push Pull Power-Steckverbinder und die Stromversorgungen PROeco II integriert.



Weltrekord für effiziente Verdrahtung:
Der offiziell anerkannte Guinness World Records™-Titel von Weidmüller zeigt eindrucksvoll, was moderne Anschlusstechnik leisten kann. Entscheidend ist das Zusammenspiel aus intelligentem Produktdesign und vereinfachten Arbeitsabläufen: Verdrahtungsschritte werden reduziert, Prozesse beschleunigt und die Handhabung konsequent vereinfacht.

Automatisierte Verdrahtung:
Die TeSys-Reihe von Schneider Electric setzt auf SNAP IN-Anschlusstechnologie als Grundlage für automatisierte Verdrahtungsprozesse.



Automatisierung mitgedacht: Durch die offene Anschlussstelle und die eindeutige Positionierung des Leiters erfüllt SNAP IN wichtige Voraussetzungen für die robotergestützte Verdrahtung und automatisierte Fertigungsprozesse. SNAP IN ist ready-to-robot und schon jetzt bereit für den Schaltschrankbau der Zukunft.

Boost-Drosseln sichern Rotorblattverstellung in Windkraftanlagen

Energy for Energy – Energie zur richtigen Zeit bereitstellen

Wenn Windkraftanlagen bei Sturm sicher und effizient reagieren müssen, entscheidet präzise Leistungselektronik über Verfügbarkeit, Anlagensicherheit und Lebensdauer. Genau hier setzt PTR HARTMANN mit kundenspezifischen induktiven Bauelementen an: Dank hoher Fertigungstiefe, hauseigenem Werkzeugbau sowie modernen Technologien in Wickeltechnik, Vakuumverguss und Kunststoffspritzguss entstehen einbaufertige Subsysteme für anspruchsvolle Applikationen in der Elektromobilität, der regenerativen Energieerzeugung, der Automatisierung und der Gebäudetechnik.

TEXT: PTR HARTMANN **BILDER:** PTR HARTMANN; publish-industry, KI-generiert



Seit über zwei Jahrzehnten liefert PTR HARTMANN Induktivitäten an einen führenden europäischen Spezialisten für zukunftsweisende Automatisierungslösungen. Das Technologieunternehmen genießt insbesondere in den Wachstumsfeldern der Elektromobilität und der regenerativen Energiegewinnung für seine Ladeinfrastrukturen und anspruchsvolle Windkraft-Steuerungstechnik einen exzellenten Ruf.

Maßgeschneiderte Energiespeicher für Notfall- und Regelzyklen

Für den Serienhochlauf einer neuen Generation von Pitch-Systemen zur Blattverstellung suchte der Automatisierer nach einem Entwicklungspartner, der die anspruchsvollen Anforderungen an eine hochintegrierte Boost-Drossel präziser, prozesssicherer und skalierbarer realisieren konnte als bisherige Lieferanten.

Die Boost-Drossel fungiert als dynamischer Zwischenspeicher: Sie stellt kurzfristig die benötigte elektrische Spitzenleistung bereit, um die Rotorblätter moderner Multi-Megawatt-Windenergieanlagen (Onshore-Klasse bis 10 MW) im Bedarfsfall extrem schnell und zuverlässig zu verstellen. Damit unterstützt die Komponente ein sicherheitsrelevantes, zertifiziertes Gesamtsystem: Bei Starkwind oder Netzausfall werden die Rotorblätter verzögerungsfrei aus dem Wind gedreht, um mechanische Belastungsspitzen abzufangen und das Lebenszyklusmanagement der Gesamtanlage zu optimieren.



Das neue Werk in Baiersdorf zeigt: PTR HARTMANN investiert in Deutschland, in moderne Fertigung und in nachhaltige Energienutzung.

Ausschlaggebend für die Vergabe an PTR HARTMANN waren die langjährige Fertigungserfahrung und das fertigungstechnische Know-how der Entwickler.

Plug-and-Play: Einbaufertig vergossene Funktionsbaugruppe

Die von PTR HARTMANN entwickelte Lösung geht weit über eine Standard-Drossel hinaus:

- Hohe Funktionsintegration: Anschlusstechnik, exakte Montage- und Zentrierpunkte sowie vorkonfektionierte Kabelschuhe sind direkt in das Bauteil integriert.
- Robuste Aufbau- und Verbindungstechnik: Die Drossel arbeitet in einer hocheffizienten DC/DC-Wandlerstufe und wird als komplettes, in ein Kunststoffgehäuse vergossenes Bauteil geliefert.
- Prozesssicherer Vakuumverguss: Durch den Verguss unter Vakuum werden Lufteinschlüsse zuverlässig vermieden. Dies gewährleistet eine hohe Teilentladungsfestigkeit sowie dauerhaften Schutz gegen Feuchtigkeit und aggressive Umwelteinflüsse.
- Effizientes Thermomanagement: Eine gezielte Entwärmungsgeometrie in Kombination mit integrierter Hochspannungsisolation stellt den verlässlichen Betrieb auch unter extremen thermischen Lastwechseln sicher.

Aus ersten Bemusterungen entwickelte sich rasch ein beachtlicher Serienerfolg: Heute liefert PTR HARTMANN die Boost-Drosseln für die Pitch-Systeme von jährlich mehr als 1.000 Windenergieanlagen. Parallel arbeiten beide Partner bereits an der Folgegeneration.

„Die partnerschaftliche Zusammenarbeit ist exemplarisch für unsere Ausrichtung auf ganzheitliche Kundenlösungen", betont Geschäftsführer Ralf Klein. „Dank hochautomatisierter Fertigungsprozesse verbinden wir Wirtschaftlichkeit bei hohen Stückzahlen mit der Flexibilität, hochspezifische Kundenanforderungen umzusetzen."

Breites Portfolio für die Elektrifizierung

Diese Systemkompetenz spiegelt sich auch in weiteren anspruchsvollen Geschäftsfeldern wider: So entwickelte PTR HARTMANN für einen weltweit führenden Technologiekonzern maßgeschneiderte Drehcodierschalter nach individuellen Vorgaben an Farbe, Form und Funktion. Die Komponenten werden in umspritzten Leistungsschaltern für Industrieanlagen, Gebäudetechnik und Rechenzentren verbaut. Sie dienen der präzisen Schwellenwert-Parametrierung und leisten einen zentralen Beitrag zum Schutz vor Überlast, Kurzschluss, Phasenasymmetrien und Erdschlüssen.

Dabei stützt sich PTR HARTMANN auf gebündeltes Entwicklungs-Know-how in Deutschland sowie einen internationalen Fertigungsverbund mit Standorten in Tunesien, China, Mexiko und Deutschland. Dies sichert Kostenvorteile, Kundennähe und Lieferkettensicherheit in volatilen Märkten.

Eine Schlüsselrolle nimmt der neue Produktionsstandort in Baiersdorf ein – die bislang größte Einzelinvestition der Unternehmensgeschichte. Das Werk setzt moderne energetische Standards konsequent um und wird vollständig mit regenerativ erzeugtem Strom betrieben.

„Das ist für uns immer eine Frage der unternehmerischen Glaubwürdigkeit", so Ralf Klein abschließend. „Wer Schlüsselkomponenten für die Energiewende entwickelt und fertigt, muss diesen Anspruch auch in der eigenen Produktion vorleben."



Interview: So setzt PTR HARTMANN auf Wachstum und Wandel

„Mut zum Standort Deutschland“

Technologischer Wandel und globale Unsicherheiten: Wie bleibt ein Mittelständler trotzdem flexibel und wettbewerbsfähig? PTR-HARTMANN-Geschäftsführer Ralf Klein spricht mit der E&E über kundennahe Innovation, präzise Komponenten und Prüftechnik sowie den Wandel in der Industrie. Es geht um Vertrauen in die Mitarbeitenden, internationale Zusammenarbeit und darum, warum überzeugende Lösungen für den langfristigen Unternehmenserfolg entscheidend sind.

DAS INTERVIEW FÜHRTE: Bernhard Haluschak, E&E **BILD:** Tim Luhmann für PTR HARTMANN

Herr Klein, Sie sind seit Mai 2025 Geschäftsführer bei PTR HARTMANN. Was hat Sie persönlich an diesem Unternehmen gereizt – und was hat Sie in den ersten Monaten am meisten beeindruckt?

PTR HARTMANN ist Teil der Phoenix Mecano Gruppe mit Sitz in der Schweiz. In meinen ersten Gesprächen mit der Konzernleitung begeisterten mich die Wertschätzung und das Vertrauen, das ich erfahren habe, und das unternehmerische Denken. Die Freiheitsgrade haben mich gereizt und ich hatte unheimlich Lust, mit den Menschen, die ich kennengelernt hatte, zusammenzuarbeiten. Am meisten beeindruckt hat mich in den ersten Monaten das familiäre Wir-Gefühl an allen unseren Standorten. Man hilft sich gegenseitig, wenn Not am Mann ist, ohne sich an Stellenbeschreibungen festzuhalten.

Sie haben angekündigt, neue Impulse setzen und Innovationen gezielt fördern zu wollen. Wie definieren Sie Innovation – und wie wollen Sie eine Unternehmenskultur schaffen, in der genau das gelingt?

Der Begriff Innovation wird sehr unterschiedlich benutzt und zum Teil auch überstrapaziert. Unser Ziel ist vor allem, den Kunden zufriedenzustellen und von unseren Lösungen zu überzeugen. Das ist nicht immer eine spektakuläre Innovation, aber für mich das Wichtigste für langfristigen Unternehmenserfolg. Für entscheidend halte ich, den Menschen Vertrauen zu schenken, kreativ und mutig zu sein. Nicht jeder neue Weg führt zum Erfolg und niemand wird bestraft, weil er etwas Neues ausprobiert hat, das am Ende nicht funktioniert hat.

PTR HARTMANN investiert derzeit in ein neues, nachhaltiges Betriebsgebäude in Baiersdorf. Was bedeutet dieser Schritt für Sie und welchen Einfluss wird der neue Standort auf das Unternehmen haben?

Das war ein großer Schritt für uns, denn wir wollen wachsen. Und wir haben dafür Platz geschaffen. Mit einer Grundstücksfläche über 13.000 m² und einer Produktionsfläche, von der zu Beginn noch ein Drittel frei ist. „Fill the fab“ – das ist unser klares Ziel. Dieses Projekt war ein Meilenstein. Mit einem Investitionsvolumen von 15 Millionen Euro ist das ein klares Bekenntnis zum Standort Deutschland und ein starkes Signal des Vertrauens in unser Unternehmen.

Mut für den deutschen Mittelstand?

Wir leben in einer Zeit globaler Unsicherheiten. Und gerade in Deutschland kennen wir auch ein Phänomen sehr gut: die berühmte „deutsche Angst“. Diese Investition ist ein klares Zeichen für Zuversicht, für Zukunft – und ja, auch für ein bisschen Optimismus. Denn während viele gerade restrukturieren, gehen wir bewusst einen Schritt nach vorne: Wir investieren. Wir bauen aus. Wir wachsen.

Was tun Sie, um als mittelständisches Unternehmen in einer zunehmend deglobalisierten Welt wettbewerbsfähig zu sein?

PTR HARTMANN steht auf einem starken Fundament: drei Standorte in Deutschland – perfekt positioniert in wichtigen Industrieclustern, internationale Präsenz mit Standorten in Tunesien, China und Mexiko sowie die Fähigkeit, unsere Kunden weltweit zu bedienen. Gerade in Zeiten von „local for local“ oder „in the region for the region“, wie es in vielen Unternehmen heißt, wird diese Aufstellung immer wichtiger. Wir investieren viel Aufmerksamkeit und Energie, um unser globales Teamplay zu sichern und weiter auszubauen. Das beginnt im internationalen Management-Team mit dem Ziel, dies in der gesamten Organisation vorzuleben und zu unterstützen. Für mich spielen Unternehmen hier eine wichtige Rolle, um Brücken zwischen verschiedenen Ländern und unterschiedlichen Kulturen zu bauen, während die Politik häufig das Gegenteil bewirkt.

„Während viele gerade restrukturieren, gehen wir bewusst einen Schritt nach vorne: Wir investieren. Wir bauen aus. Wir wachsen.“

Sie feiern hier auf der Messe electronica Ihr 65. Firmenjubiläum?

Das ist richtig. PTR HARTMANN ist über die Jahre durch mehrere Firmenverschmelzungen zu dem Unternehmen geworden, das wir heute sind. Unsere älteste Wurzel reicht bis ins Jahr 1961 zurück, als Fritz Hartmann die Firma Hartmann Codier gründete, auf die unser Standort in Baiersdorf zurückgeht. Wir sind sehr stolz auf dieses Jubiläum und darauf, dass wir ein kleines bisschen deutsche Industriegeschichte mitschreiben durften. Viele Unternehmen vergessen ihre Vergangenheit. Das halte ich für falsch. Sie ist die Basis für die Zukunft. Gleichzeitig darf man sich natürlich nicht auf den Lorbeeren der Vergangenheit ausruhen. Das verzeiht unsere schnelllebige und teils chaotische Gegenwart nicht.

Es findet seit einigen Jahren ein starker struktureller Wandel in der Industrie statt. Welche Herausforderungen sehen Sie hier für das Unternehmen?

Die größte Herausforderung liegt wahrscheinlich darin, dass Planbarkeit nicht mehr möglich ist. Die Veränderungen durch regionale Verschiebungen, durch Wandel in den Branchen und verschiedenste Krisen lassen Unternehmen nur eine Wahl: flexibel bleiben. Das kostet Kraft. Traditionelle Branchen wie die Automobilindustrie verlieren an Bedeutung, gehypte Branchen wie zum Beispiel die E-Mobilität entwickeln sich anders als von vielen erwartet. Unser Ziel ist es, flexibel und anpassungsfähig zu sein. Gleichzeitig wollen wir an Wachstumstreibern wie künstlicher Intelligenz oder erneuerbaren Energien partizipieren.

Wenn Sie fünf Jahre vorausblicken: Was wären für Sie wichtige Meilensteine bei PTR HARTMANN – technisch, strategisch, aber auch ganz persönlich?

Wichtige Meilensteine wären, den eingeschlagenen Weg fortgesetzt zu haben und weiter vorangekommen zu sein. Dies zeigt sich vor allem in unserer Geschäftsentwicklung, der Auslastung unserer getätigten Wachstumsinvestitionen, einem weiteren Portfolioausbau und Internationalisierung und am wichtigsten: zufriedenen Kunden. Für mich ganz persönlich: Wenn irgendwann jemand zu mir sagt: „Ralf, du warst ein guter Chef“ oder „Herr Klein, das war eine gute Zeit mit Ihnen“, dann bin ich stolz, glücklich und zufrieden.

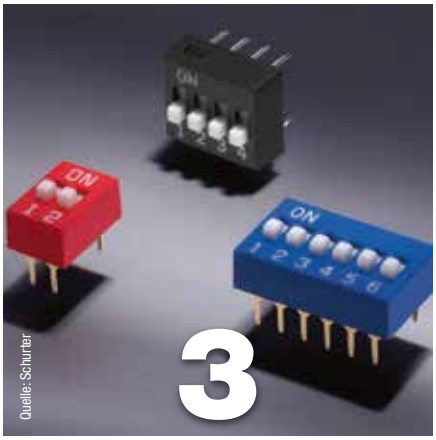
electronica
Halle A3.300

6 HIGHLIGHTS

Fakten, Trends und Neues: Was hat sich in der Branche getan? Swissbit feiert 25-jähriges Bestehen und Forschende des KIT zeigen, wie stromfreie Festkörperkühlung möglich wird. Schneider Electric tätigt mit der Übernahme von PTC die größte Geschäftsübernahme der Konzerngeschichte und Littelfuse stellt neue FlatSuppressX-TVS-Dioden für den Überspannungsschutz vor.













Memtransistor passt sich Daten an

KI-Chamäleon

Wie ein Chamäleon passt sich ein programmierbarer **KAIST**-Memtransistor an unterschiedliche Datenraten an: Sein Zeitansprechverhalten lässt sich einstellen und speichern. Er verarbeitet zeitabhängige Signale direkt in der Hardware und verringerte in Tests die Vorhersagefehler um Faktor 40. Die Technologie könnte Echtzeit-KI in Robotern und Wearables verbessern.

Erfahren Sie mehr: industr.com/2919033

1

Speicher, Security und Souveränität aus Europa

25 Jahre Swissbit

Swissbit blickt auf 25 Jahre Unternehmensgeschichte zurück. Seit der Gründung im Jahr 2001 hat sich der Anbieter klassischer Speichermodule zu einem Spezialisten für industrielle Speicher- und Security-Lösungen entwickelt. Speichertechnologien, die lange im Hintergrund arbeiteten, sind heute ein strategischer Baustein digitaler Systeme in Industrie, Edge- und KI-Anwendungen.

Erfahren Sie mehr: industr.com/2921076

2

Hardware direkt und zuverlässig konfigurieren

Robuster THT-Schalter

Der DSTH-DIP-Schalter von **Schurter** bringt Ordnung in die Hardware-Konfiguration: RS485- und Modbus-Adressen, BIOS-/CMOS-Parameter sowie Betriebsmodi lassen sich direkt am Gerät einstellen. Die robuste THT-Bauweise mit 2,54-mm-Rastermaß, SPST-Kontakten und einem Temperaturbereich von -40 bis +85 °C eignet sich für SPS, Industrieserver, Robotik und Medizintechnik.

Erfahren Sie mehr: industr.com/2921195

3

Schneider Electric übernimmt PTC

Geschäftsübernahme

Schneider Electric übernimmt **PTC** für 23,7 Milliarden US-Dollar – die größte Übernahme der Konzerngeschichte. Mit dem Anbieter von CAD-, PLM-, ALM- und SLM-Lösungen erweitert Schneider Electric sein Software-Portfolio und stärkt die Verbindung von Produktdesign, Engineering, Betriebsdaten und KI. Der Abschluss der Geschäftsübernahme ist im dritten Quartal 2027 geplant.

Erfahren Sie mehr: industr.com/2923943

4

Stromfreie Festkörperkühlung

Wärme rein, Kälte raus

Der weltweite Kühlbedarf steigt, doch Kühlschränke, Klimaanlagen und Rechenzentren verbrauchen viel Strom. Forschende des **KIT** und der **Universität Tsukuba** zeigen nun eine Alternative: Zwei hauchdünne Formgedächtnisfolien wandeln Wärme in mechanische Arbeit und anschließend in Kälte um. So könnten Abwärme und Sonnenenergie künftig die Festkörperkühlung antreiben.

Erfahren Sie mehr: industr.com/2920477

5

Überspannungsschutz für die Luftfahrt

TVS-Dioden

Littelfuse stellt mit der AK-FL-Serie neue FlatSuppressX-TVS-Dioden für den Überspannungsschutz in Hochspannungs-Gleichstromsystemen der Luftfahrt vor. Durch ihre Foldback-/Snapback-Kennlinie bieten sie bei energiereichen Transienten eine stabile und niedrige Klemmspannung. So schützen sie SSPC-Module und Halbleiter vor Latch-up – bei 270 bis 800 V Gleichspannung.

Erfahren Sie mehr: industr.com/2922812

6

Power.
Certified.



MEAN WELL

MEAN WELL MSP-1600: 1600 W für Medizin und Industrie

- Medizinzulassung mit 2 × MOPP und BF-Eignung
- Ausgangsspannung von 15-115 % programmierbar
- CANBus-Kommunikation für Überwachung und Steuerung
- Bis zu 92 % Wirkungsgrad bei –40 bis +85 °C
- 5.000 m Betriebshöhe / OVC III

Distribution by Schukat electronic

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

Onlineshop mit stündlich aktualisierten Preisen und Lagerbeständen

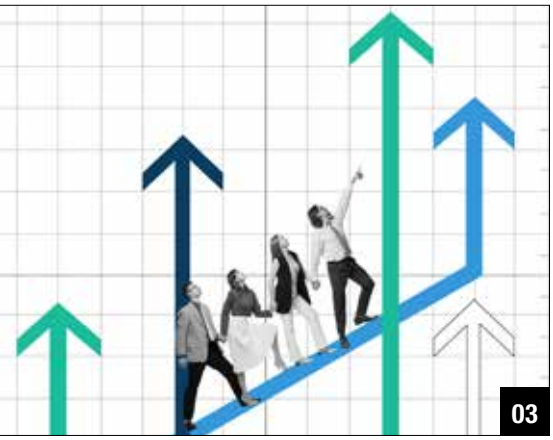
schukat.com

Direkt zur Serie:

SCHUKAT electronic









Quellen: 01, 06, 08 | Messe München, 02 | iStock, blackred, 03 | iStock, Anton Vierietin, 04 | iStock, MURAT GOCMEN, 05, 07 | iStock, gremlin

electronica 2026

Die electronica öffnet vom 10. bis 13. November in München ihre Tore. Fachbesucher und Elektronikfans sollten folgende „Places to be“ auf keinen Fall verpassen.

01 Foren

Die verschiedenen electronica-Foren beschäftigen sich in praxisnahen Vorträgen mit Themen wie Automotive, Cybersecurity, gedruckter Elektronik, Embedded Systems, IIoT, Konnektivität, Leiterplatten, Leistungselektronik, Komponenten, Messtechnik und Sensorik. Aber auch Start-ups und ethikbezogene Themen in der Elektronik finden auf den Foren der Messe ihre Bühne.

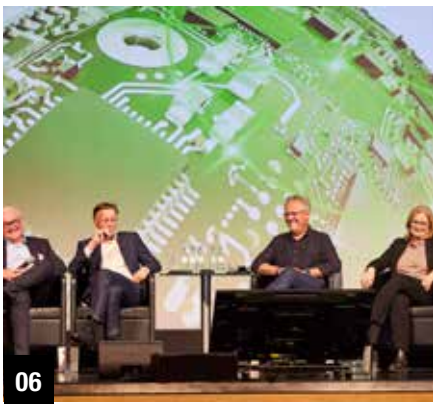
02 edge lab LIVE!

Das neue edge lab LIVE! ist eine vernetzte Highlight-Fläche zum Thema Edge Computing. Hier treffen sich technische Führungskräfte, Systemarchitekten, Engineering-Manager sowie Entwickler, um Einsatzszenarien für Open-Source- und Standardtechnologien zu entdecken. Das Programm umfasst über 30 Technologie-Sessions und mehr als zehn interaktive Workshops.

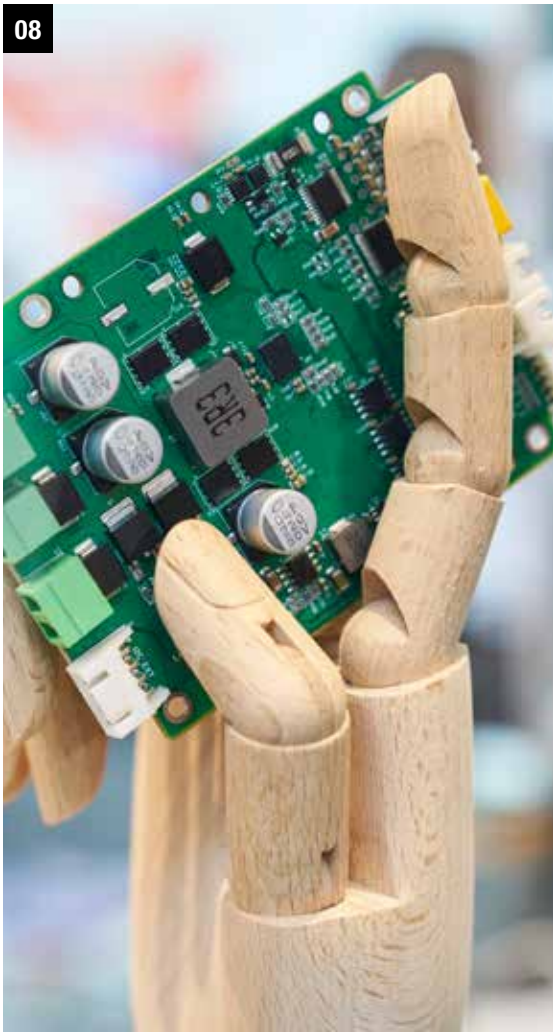
03 Startups

Mit agilen Mindsets, Ideen und unkonventionellen Methoden bringen Startups frischen Wind in die Branche. Bei Pitches, Vorträgen und Workshops treffen junge Unternehmen auf Investoren, Abnehmer und potenzielle Partner. Hier beginnen jene Kooperationen, die in dem Miteinander aus Startup-Spirit und Strukturen etablierter Unternehmen eine besondere Dynamik entfalten.









04 Awards

Neue Ideen und Lösungen mit Zukunft: Entdecken Sie bei den electronica-Awards, welche Produkte und Entwicklungen überzeugen – von studentischen Ideen über Startups bis zu neuen Technologien der Elektronikbranche.

05 Women in Tech Forum

Das Women in Tech Forum bietet neue Perspektiven zur Inklusion in der Branche. Es beleuchtet Herausforderungen, regt den Dialog an und zeigt, wie Zusammenhalt eine stärkere Zukunft für die Tech-Branche gestalten kann.

06 Executive Event

Das Executive Event bringt Vertreter aus Industrie, Politik und Forschung zusammen. Sie diskutieren technologische und wirtschaftliche Entwicklungen, die die Branche künftig prägen werden.

07 Automotive Conference

Die electronica Automotive Conference präsentiert ein Programm, das aktuelle Herausforderungen und Innovationen im Bereich Elektronik- und Mobilitätslösungen für die Zukunft beleuchtet. Die electronica Automotive Conference findet 2026 am 9. November im ICM der Messe München statt und stimmt mit aktuellen Branchenthemen auf die electronica ein.Sie bringt die internationale Automobil-und Elektronikbranche zusammen. Als Schwerpunkte werden Elektrifizierung in allen Fahrzeugklassen, softwarebasierte E/E-Architekturen, ganzheitliche Entwicklungsprozesse, autonomes Fahren und Fahrzeugkonzepte sowie geopolitische Auswirkungen der Halbleiterkrise thematisiert.

08 Obsolescence Day

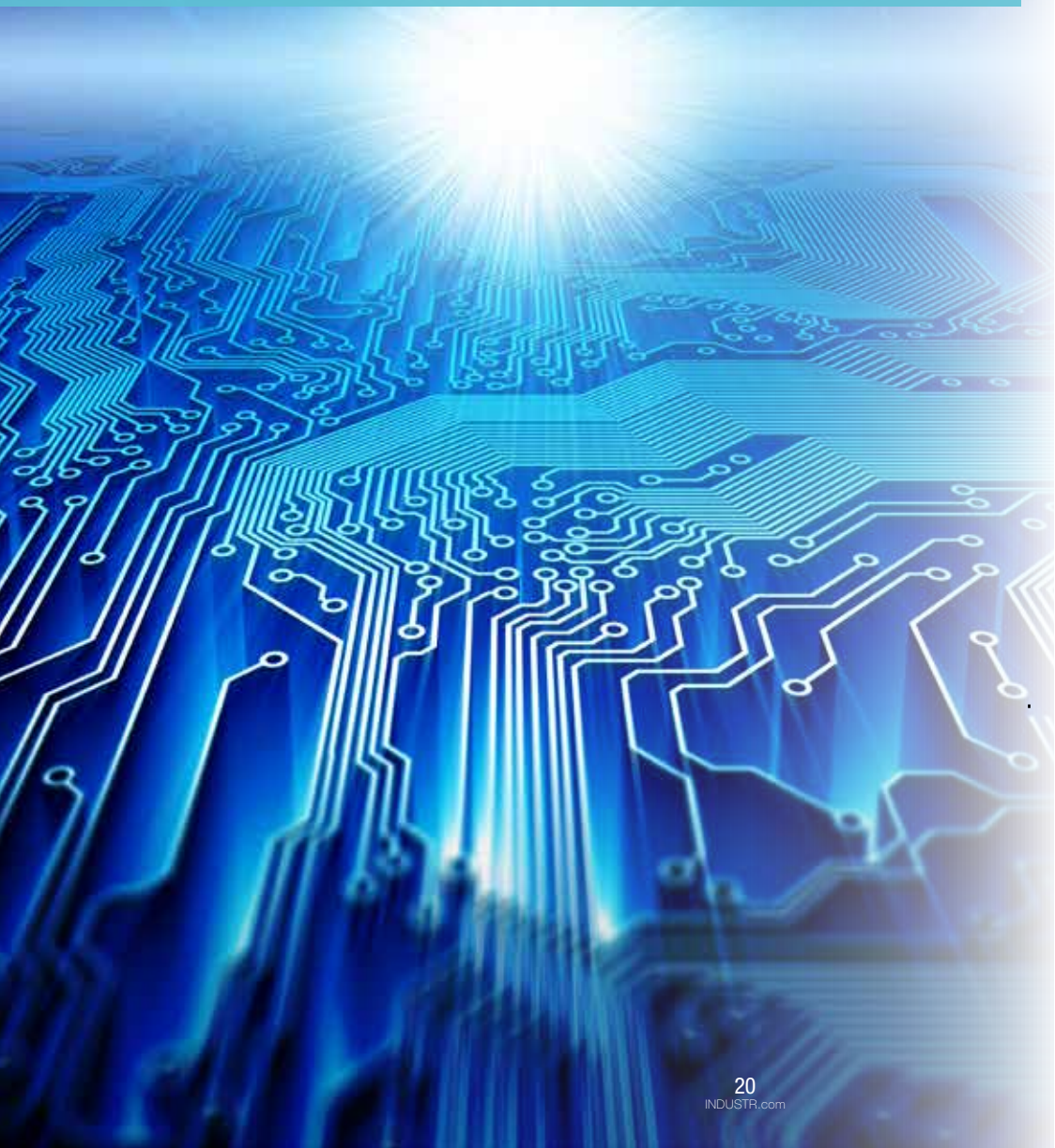
Wenn für die Fertigung oder Reparatur langlebiger Anlagen und Geräte dringend benötigte Schlüsselkomponenten plötzlich nirgends mehr erhältlich sind, kann das weitreichende wirtschaftliche Folgen haben. Dabei sind nicht nur elektronische Bauteile von Obsoleszenz betroffen, sondern immer öfter auch Leiterplattenmaterialien, Hilfsstoffe, Software-Tools etc. Der vom COGD in Kooperation mit der Messe München veranstaltete 6. Obsolescence Day informiert darüber, wie man sich am besten vor Obsoleszenz schützt, was es bei der Implementierung eines Obsoleszenz-Managements zu beachten gilt und welche Werkzeuge für ein effizientes Risikomanagement unentbehrlich sind.

ZUKUNFTSTHEMEN DER ELEKTRONIKBRANCHE

WAS DIE ELEKTRONIK JETZT VORANTREIBT

Künstliche Intelligenz, Cyber-Resilienz und Energieeffizienz bilden die zentralen Leitthemen der electronica 2026. Gleichzeitig treiben neue Entwicklungen bei Halbleitern, Embedded Systems, Leistungselektronik, Sensorik, Konnektivität und Automotive den technologischen Wandel voran. Die Messe zeigt, welche Technologien derzeit an Relevanz gewinnen und wo neue Lösungsansätze entstehen. Deshalb die Frage: Welche neuen Technologien oder Innovationen stellen Sie auf der electronica 2026 vor?

UMFRAGE: Bernhard Haluschak, E&E **BILDER:** teilnehmende Unternehmen; iStock, Henrik5000





BORIS BARDOUKAS

Unter dem Motto „Unveiling tomorrow's technologies" zeigt Arrow auf der electronica KI-, Robotik- und Edge-Anwendungen. Wir haben eine Technology Zone eingerichtet, in der Besucherinnen und Besucher unter anderem ein intelligentes autonomes Erntefahrzeug, eine Demonstration eines Roboterarms mit elektrostatischem Greifer, eine KI-Brille zur Unterstützung blinder Personen sowie einen Pico-Satelliten vorfinden. Vertikale Innovationen aus den Bereichen Automotive & Transport, Luft- & Raumfahrt und Verteidigung, Fabrikautomation sowie dem Gesundheitswesen stehen dort im Mittelpunkt. Besucher erleben ein Gesamtpaket aus Halbleiter- sowie IP&E-Technologien in Kombination mit Engineering und Supply Chain Services.

Vice President Sales Central, Nordics, UKI, Arrow Electronics

electronica
Halle C4.420



BIRGIT PUNZET

Unser Messeauftritt steht im Zeichen von E-Mobility, erneuerbaren Energien, Industrieautomation und Robotik sowie Embedded und Edge AI. Im Mittelpunkt stehen praxisnahe Lösungen für die Elektronikentwicklung. Die QCA ChargeBridge von Pionix trennt sicherheitskritische Ladefunktionen auf einem Mikrocontroller von intelligenten Funktionen unter Linux. Die vibrationsfesten FX31-Board-to-Board-Steckverbinder von Hirose ermöglichen es, verschraubte Stromschienen in elektrischen Antrieben zu ersetzen. Das Ag401-Modul von Silvertel kombiniert Power over Ethernet mit USB-C Power Delivery und kann bis zu 70 W über PoE beziehen. Weitere Einblicke bieten technische Demonstrationen, darunter ein humanoider Roboter. Ergänzend widmen wir uns in einer Vortragsreihe mit Synaptics den Themen Edge AI, Physical AI und Robotik.

Head of Marketing & Communications, Codico

electronica Halle C3.558



RALF BÜHLER

Siemens, Tektronix, Fluke, Voltcraft, Phoenix Contact, Weller, True Components und Arduino: Sie alle sind am Conrad-Stand mit von der Partie. Doch unsere Plattform ist nicht nur wegen ihres breiten und tiefen Sortiments in den Bereichen Automation und Messtechnik die ideale Anlaufstelle für alles Technische. Auf der electronica 2026 stellen wir auch unser neues Loyalitätsprogramm Conrad PRO und unsere neue Lösung „Invoice by Conrad“ vor: Ab sofort müssen unsere Kunden nur noch einen Rechnungssteller verwalten. Wir agieren als zentraler Ansprechpartner für alle Bestellungen. Das spart Zeit und Geld – gleichgültig, ob im Shop oder per E-Procurement bei uns beschafft wird.

CEO, Conrad Electronic

electronica Halle B5.241



THOMAS WINDECK

Auf der electronica 2026 zeigt CTX Thermal Solutions, wie moderne Kühllösungen mit steigenden Leistungsdichten Schritt halten. Im Fokus stehen kundenspezifische Thermal-Management-Lösungen – von leistungsfähigen Kühlkörpern und Skiving-Technologien über Heatpipes bis hin zu Flüssigkeitskühlkörpern. Entscheidend ist für uns dabei nicht die einzelne Technologie, sondern das optimale Zusammenspiel von thermischer Performance, Bauraum, Gewicht und wirtschaftlicher Fertigung. Gemeinsam mit unseren Kunden entwickeln wir passgenaue Lösungen für Leistungselektronik, Industrieanwendungen und weitere anspruchsvolle Elektroniksysteme.

Leiter Vertrieb, CTX Thermal Solutions

electronica Halle B3.237



FRANK HELLER

Innovative Elektronik braucht mehr als eine gute Idee: Sie muss im Praxistest überzeugen. Auf der electronica 2026 zeigen wir, wie Entwickler Schwachstellen an Prototypen erkennen und gezielt beheben können. Mit Oszilloskopen und Signalgeneratoren namhafter Hersteller lassen sich Signale untersuchen und Schaltungen unter definierten Bedingungen testen. Entwicklungsbegleitende EMV-Messungen machen Störquellen sichtbar, Boundary Scan hilft, Verbindungsfehler auf dicht bestückten Leiterplatten aufzuspüren. Unser Impuls: diese Methoden passend zur Messaufgabe zusammenzubringen. Gemeinsam mit unseren Experten für Mess- und Prüftechnik finden wir für Ihre Anforderungen die passende Lösung. Frag dataTec.

Business Development Management, dataTec

electronica Halle A4.207

DISPLAY ELEKTRONIK

Wir erweitern unser Portfolio an Displaylösungen für Industrieanwendungen um die Memory-in-Pixel-Technologie (MIP). Dabei werden Bildinformationen direkt im jeweiligen Pixel gespeichert. Statische Inhalte müssen deshalb nicht fortlaufend neu aufgebaut werden; die Anzeige wird erst bei Änderungen aktualisiert. Das senkt den Energieverbrauch und ermöglicht lange Betriebszeiten bei guter Ablesbarkeit. MIP-Displays eignen sich insbesondere für industrielle Geräte, die Mess- und Steuertechnik sowie batteriebetriebene und mobile Systeme. Damit steht Entwicklern eine zusätzliche energieeffiziente Option für HMI- und Anzeigeanwendungen zur Verfügung. Darüber hinaus zeigen wir Displaytechnologien und erläutern ihre Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten.

Display Elektronik

electronica
Halle B6.402



AXEL GENSLER

Jauch erweitert sein Portfolio um Real-Time-Clock-Module (RTC) und präsentiert die neue Produktfamilie erstmals auf der electronica 2026. Die kompakten Module vereinen RTC-IC und Quarz in einer Lösung und ermöglichen eine zuverlässige Zeit- und Datumsverwaltung bei geringem Energieverbrauch. Sie reduzieren Entwicklungsaufwand, Bauteilanzahl und Platzbedarf. Ausgewählte Varianten bieten hohe Zeitgenauigkeit und Zusatzfunktionen wie Zeitstempel, Alarm- und Event-Funktionen. Die RTC-Familie umfasst fünf Varianten für Industrie-, IoT- und Medizintechnik-Anwendungen.

Product Manager Frequenzbauteile, Jauch Quartz

electronica
Halle B6.201



SVEN KRUMPEL

Discrete Solutions: Zur electronica 2026 zeigt Recom, wie sich Stromversorgungsdesigns flexibel und mit kurzer Time-to-Market realisieren lassen. Neben vollständig integrierten DC/DC-Modulen erweitert Recom sein Portfolio um Power ICs, Transformatoren und diskrete Stromversorgungslösungen. Anwender entscheiden je nach Applikation zwischen Integrationskomfort und Designfreiheit: einem vollständig qualifizierten, vormontierten Standardmodul oder einer flexibel anpassbaren diskreten Lösung. Vorabqualifizierte IC- und Transformator-Kombinationen reduzieren den hohen Entwicklungsaufwand. Damit bietet Recom beide Ansätze aus einer Hand.

Project Manager, Recom Power ICs and Solutions

electronica
Halle A5.302



ANDREAS THAMM

Auf der electronica zeigen wir, wie moderne Halbleitertechnologien die zentralen Zukunftstrends unserer Branche vorantreiben: Künstliche Intelligenz, Elektromobilität und intelligente Industrieanwendungen. Im Fokus stehen leistungsstarke Stromversorgungslösungen für KI-Server, die den steigenden Anforderungen moderner Rechenzentren hinsichtlich Effizienz, Leistungsdichte und Zuverlässigkeit gerecht werden. Darüber hinaus präsentieren wir innovative Lösungen für E-Antriebsstränge, ADAS- und Beleuchtungssysteme, die die nächste Generation von Fahrzeugen unterstützen. Mit Solist-AI™ demonstrieren wir, wie Edge-KI direkt auf Endgeräten für intelligente Zustandsüberwachung und vorausschauende Wartung eingesetzt werden kann. Ein weiteres Highlight sind unsere Terahertz-Demonstrationen, die neue Möglichkeiten für industrielle Inspektions- und Analyseverfahren aufzeigen.

Marketing Director Industrial and Automotive, Rohm Semiconductor

electronica
Halle C3.520



HAUKE SCHÜTT

Wir setzen technologische Impulse überall dort, wo Daten, Signale und Energie schnell, sicher und zuverlässig übertragen werden müssen. Unsere Kompetenz reicht von High-Speed- und Optical Connectivity über Automotive-Lösungen und leistungsfähige Verbindungstechnologien für Robotik, autonome Systeme und Physical AI bis hin zu hochpräzisen Komponenten und Connectivity-Lösungen für Quantum und Test & Measurement. Mit Single Pair Ethernet, kontaktloser Übertragung und Smart Engineering verbinden wir zudem die physische mit der digitalen Welt und schaffen die Verbindungen für die Technologien und Anwendungen von morgen.

CTO, Rosenberger Hochfrequenztechnik

electronica
Halle B2.356



NORBERT BLUM

Auf der electronica 2026 zeigt Schurter Lösungen für vier zentrale Anwendungen: In der Energieverteilung und in Rechenzentren sorgen der neue EMV-Filter FMES und das neue Type F/J Kombi-Outlet für einen zuverlässigen und wirtschaftlichen Betrieb. Für die indus-trielle Automation präsentieren wir den Taster MSS-IO mit IO-Link sowie ein industrielles HMI. In der Medizinaltechnik stehen der Gerätestecker 5180 mit Filter, der neue MSM II XP mit Polymergehäuse und ein eigens entwickeltes HMI für Labor- und Diagnostikgeräte im Fokus. Im Bereich Mobilität zeigen wir die schnell auslösende Pyrofuse APO sowie innovative TrenoLux-LED-Beleuchtungslösungen für verschiedene Schienenfahrzeuge.

Head Group Marketing, Schurter

electronica
Halle B3.502



THOMAS ROTTACH

Wir setzen innovative Impulse, indem wir neue Messtechnologien für aktuelle Herausforderungen der Elektronikentwicklung präsentieren. Gezeigt wird ein Querschnitt durch unser gesamtes Portfolio mit besonderem Fokus auf Lösungen für die Leistungselektronik und die Verifikation optischer Übertragungstechnik. Gleichzeitig geben wir einen Ausblick auf kommende Technologien und Produkte für den europäischen Markt, darunter Oszilloskope mit hoher Bandbreite und VNAs für besonders hohe Frequenzbereiche. Für einen interaktiven Akzent sorgt zudem unser „Think. Measure. Win.“-Quiz, bei dem ein Oszilloskop im Wert von rund 4.000 Euro als Hauptpreis winkt.

Sales & Marketing, Siglent

electronica
Halle A4.161



MARTIN SCHREIBER

Speicher wird angesichts des KI-Booms, knapper werdenden Legacy-Technologien und langen Industriezyklen zum strategischen Faktor. Mit 25 Jahren Erfahrung im Bereich industrieller Speicherlösungen ist Swissbit dafür bestens aufgestellt: Wir sichern Migrationspfade und Langzeitverfügbarkeit für etablierte Formfaktoren und Interfaces über 2030 hinaus, entwickeln zugleich unser PCIe-Portfolio konsequent weiter und adressieren mit zuverlässigem Industrial Storage die wachsenden Anforderungen von KI-Infrastrukturen. Auf der electronica zeigen wir, wie sich Kontinuität, Versorgungssicherheit und technologische Weiterentwicklung für Industrieanwendungen verbinden lassen.

Head of Product Management & Technical Marketing Memory Solutions, Swissbit

electronica
Halle C6.261

Warum passive und elektromechanische Komponenten in mobilen Leistungsdesigns thermisch mitentscheiden

Wärme als Systemgröße

Ein Bauteil kann im Datenblatt passend aussehen und trotzdem kann es in der Baugruppe thermisch knapp werden. Der Widerstandswert stimmt, der vorgesehene Strom ist spezifiziert, der Kühlkörper scheint ausgewählt – und trotzdem entscheidet am Ende nicht der Einzelwert, sondern der gesamte Strom- und Wärmepfad.

TEXT: Falko Ladiges, WDI **BILDER:** WDI; iStock, Tomas Ragina



In mobilen und transportnahen Leistungsbaugruppen ist diese Betrachtung besonders wichtig. Der Bauraum ist knapp, die Leistungsdichte hoch, die Umgebung nicht immer konstant. Hinzu kommen je nach Anwendung Temperaturwechsel, Vibration, kompakte Gehäuse, eingeschränkter Luftstrom und lange Betriebszeiten.

Der thermische Blick richtet sich oft zuerst auf Leistungshalbleiter, Wandlerstufen oder Kühlkörper. Doch auch passive und elektromechanische Komponenten prägen das Systemverhalten mit. Widerstände, Shunts, Induktivitäten, Steckverbinder, Federkontakte, Leiterplatte und Montageflächen sind Teil des Strom- und Wärmepfads.

Genau hier wird Wärme zur Systemgröße. Sie entsteht im Strompfad, verteilt sich über Lötstellen, Kontakte und Kupferflächen, wird über Gehäuse, Montageflächen und Kühlkörper weitergeführt und an die Umgebungsluft oder ein Kühlmedium abgegeben. Der elektrische Nennwert ist deshalb nur der Anfang. Entscheidend ist, wie Bauteil, Verbindung, Leiterplatte und Wärmepfad zusammenarbeiten.

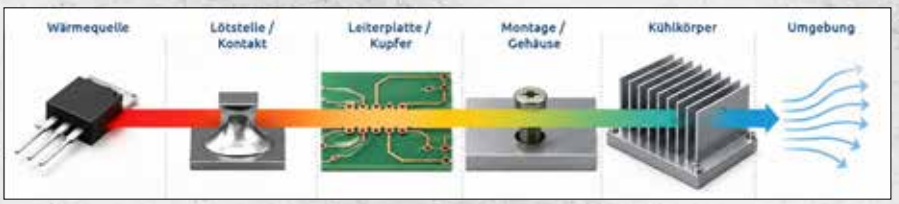
Verlustleistung sitzt nicht nur im Halbleiter

In vielen Leistungsdesigns richtet sich der thermische Fokus zunächst auf aktive Bauelemente. Doch auch passive Komponenten setzen Leistung um. Strommesswiderstände, Shunts, Leistungswiderstände, Induktivitäten, Drosseln oder Schutzbauelemente sind reale Bauteile mit Material, Geometrie, Anschlussflächen und thermischer Kopplung an ihre Umgebung.

Strommesswiderstände zeigen das besonders deutlich: Sie liegen direkt im Strompfad. Genau das macht sie für die Messung nützlich, aber zugleich thermisch relevant. Ähnliches gilt für andere Komponenten: Leistungswiderstände wandeln elektrische Energie gezielt in Wärme um, magnetische Bauelemente erwärmen sich je nach Aufbau und Betriebsbedingungen, und Steck- oder Federkontakte führen Strom über definierte Übergänge. Der elektrische Nennwert beschreibt deshalb immer nur einen Teil der Anwendung.

Wenn die Messung warm wird

Besonders deutlich wird das bei Strommesswiderständen. In mobilen Leistungsdesigns sind sie häufig Teil von Überwachungs-, Regelungs- oder Schutzfunktionen. Sie sollen kleine Spannungsabfälle erfassen und daraus einen Strom ableiten. Gleichzeitig erwärmen sie sich durch den Strom, den sie messen. Damit rücken Temperaturkoeffizient und Eigenerwärmung in den Vordergrund. Ändert sich die Temperatur des Bauteils, kann sich auch der Widerstandswert verändern.



Wärme entsteht in elektronischen Bauteilen und wird über Kontaktierung, Leiterplatte, Montageflächen und Kühllösungen an die Umgebung abgeführt.

Bei präziser Strommessung zählt deshalb nicht nur der Nennwert, sondern auch die Frage, wie stabil dieser Wert unter realen Betriebsbedingungen bleibt.

Hinzu kommt das Layout. Im niederohmigen Bereich endet die Messkette nicht am Widerstandskörper. Leiterbahnen, Lötpads, Kontaktflächen und Sense-Leitungen wirken mit. Bei sehr kleinen Widerstandswerten können Anschluss- und Leiterbahnwiderstände messrelevant werden. Deshalb ist die Kelvin-Anbindung keine akademische Feinheit, sondern ein praktisches Mittel, um Strompfad und Messpfad sauberer zu trennen.

Auch die Symmetrie der Sense-Führung kann wichtig werden. Fließt der Strom ungleichmäßig durch Anschlussflächen oder Kupferbereiche, entstehen Spannungsanteile, die nicht zum eigentlichen Shunt-Wert gehören. Wird an der falschen Stelle gemessen, sieht die Auswertung nicht nur den Widerstand, sondern auch Teile des Layouts. Thermisch verschärft sich dieser Effekt, da Kupfer und Kontaktstellen temperaturabhängig sind.

Ein geeigneter Strommesswiderstand allein garantiert also noch keine stabile Strommessung. Bauteil, Layout, Anschlussgeometrie und thermische Umgebung müssen zusammenpassen.

Kontaktierung als thermische Schnittstelle

Elektromechanische Komponenten werden häufig zuerst mechanisch gedacht. Sie verbinden Leiterplatten, Baugruppen, Kabel, Module oder stromführende Kontakte. Sie müssen passen, halten, stecken, federn, verriegeln oder Service ermöglichen. In Leistungsdesigns übernehmen sie aber zusätzlich eine elektrische und thermische Rolle.

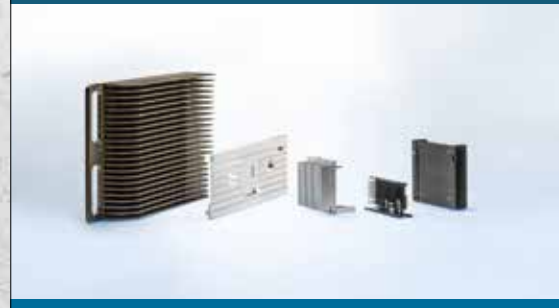
Jede Kontaktstelle besitzt einen Übergang. Wo Strom durch eine Verbindung fließt, können Kontaktwiderstand und Temperaturanstieg relevant werden. Hohe Ströme, enger Bauraum oder eingeschränkte Wärmeabfuhr können diese Frage verschärfen. Stromtragfähigkeit ist deshalb kein abstrakter Einzelwert. Sie hängt von Kontaktgeometrie, Material, Kontaktkraft, Umgebungstemperatur, Einbausituation, Leiterquerschnitt, Luftführung und Prüfbedingung ab.

Mobile Anwendungen bringen weitere Randbedingungen ins Spiel. Bewegung, Vibration, Steckzyklen, Temperaturwechsel und Alterung können Kontaktstellen belasten. Was im Neuzustand unkritisch erscheint, kann unter Lebensdauer- und Umgebungsbelastung an Reserve verlieren. Verbindungstechnik sollte deshalb nicht nur nach Rastermaß, Bauhöhe oder Polzahl ausgewählt werden. Eine Verbindung transportiert Strom, Kraft und Wärme. Wird sie thermisch zur Engstelle, hilft es wenig, wenn das eigentliche Leistungsbauteil ausreichend dimensioniert ist. Bei der Spezifikation müssen Kontaktwiderstand, zulässiger Temperaturanstieg, Stromtragfähigkeit, Kontaktmaterial, Federkraft, Steckzyklen, mechanische Belastung und Umgebung

CTX THERMAL SOLUTIONS

Effiziente Kühllösungen für industrielle Elektronikanwendungen





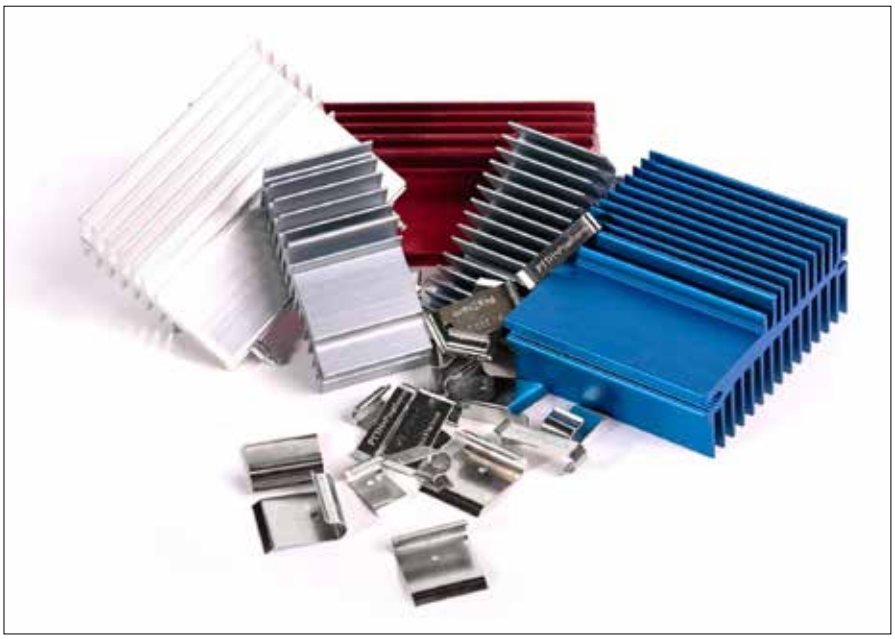


KEEP IT COOL

electronica 2026

TALK TO US @ MÜNCHEN
10.–13.11.26
HALLE B3, STAND 237

www.ctx.eu



Kühlkörper wirken nur dann zuverlässig, wenn Bauteil, Montagefläche, Luftführung und Umgebung als gemeinsamer Wärmepfad betrachtet werden.

gemeinsam betrachtet werden. Konkrete Werte müssen aus dem Datenblatt und den dortigen Prüfbedingungen kommen.

Kühlung beginnt vor dem Kühlkörper

Wenn eine Baugruppe zu warm wird, liegt die Versuchung nahe, zuerst an den Kühlkörper zu denken. Das greift zu kurz. Ein Kühlkörper kann nur die Wärme abführen, die ihn auch erreicht. Dazwischen liegen Bauteilgehäuse, Lötstellen, Anschlussflächen, Leiterplatte, Wärmeleitmaterialien, Montageflächen, Schraubpunkte, Gehäuseteile und oft mehrere thermische Übergänge. Der Kühlkörper ist also nicht die nachträgliche Lösung am Ende, sondern ein Abschnitt des Wärmepfads. Seine Wirkung hängt davon ab, wie gut dieser Pfad vorbereitet ist. Eine große Oberfläche nützt wenig, wenn der thermische Übergang schlecht ist; Einbaulage, Luftstrom, Montagefläche und Prüfaufbau bestimmen die Aussagekraft thermischer Kennwerte.

In der Praxis wird kundenspezifisches Wärmemanagement oft dann relevant, wenn eine Baugruppe bereits weit entwickelt ist und Standardkühlkörper mechanisch oder thermisch nicht ausreichen. Dann rückt die gesamte Einbausituation in den Fokus: Leiterplatte, Montagefläche, Luftführung oder Kühlmedium. Anbieter wie Priatherm sind hier ein Beispiel für kundenspezifische luft- oder flüssigkeitsgekühlte Lösungen.

Die Leiterplatte gehört zum Wärmepfad

Zwischen Bauteil und Kühllösung sitzt häufig die Leiterplatte. Sie verbindet elektrische und thermische Funktionen. Kupferflächen können Wärme verteilen, Leiterbahnen aber auch Engstellen bilden. Lötpads, Vias, Lagenaufbau, Kupferdicke und Bauteilanordnung beeinflussen, wie Wärme in der Baugruppe wandert.

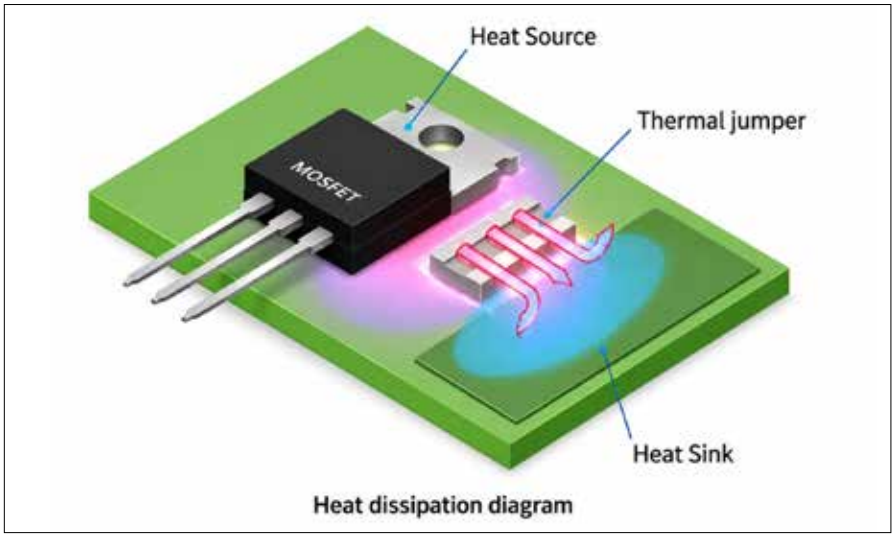
Das zeigt sich bei Strommesswiderständen ebenso wie bei Leistungswiderständen oder Magnetics. Ein Bauteil mit geeigneter Nennleistung kann im konkreten Layout trotzdem kritisch werden, wenn die vorgesehene Wärmeabfuhr nicht erreicht wird. Umgekehrt kann ein durchdachtes Layout helfen, thermische Engstellen zu entschärfen.

Bleibt kein Bauraum für zusätzliche Kühlkörper, können je nach Layout und Bauteilfreigabe auch wärmeleitende SMD-Bauelemente oder thermische Brücken geprüft werden, um Wärme aus Hotspot-Bereichen in geeignete Kupfer- oder Montageflächen zu führen. Solche Lösungen ersetzen keine thermische Auslegung; entscheidend bleiben Datenblatt, Layout und Prüfbedingungen.

Wer Datenblattwerte bewertet, muss prüfen, ob die zugrunde liegende Einbausituation der eigenen Anwendung ähnelt. Ein Shunt neben einer warmen Spule, ein Steckverbinder neben einem Hotspot oder ein Widerstand in einem geschlossenen Gehäuse sieht thermisch eine andere Umgebung als das einzelne Bauteil im Datenblatt.

Spezifikation statt thermischem Bauchgefühl

Eine belastbare thermische Bauteilauswahl beginnt nicht mit dem Vergleich einzelner Maximalwerte. Sie beginnt mit den Randbedingungen der Anwendung. Dazu gehören Stromprofil, Einschaltdauer, Lastwechsel, Umgebungstemperatur, zulässige Bauteiltemperatur, Bauraum, Leiterplattenaufbau, Kupferfläche, Kontaktierung, Einbaulage, Luftstrom, Montagefläche und Prüfbedingungen.



Thermische Brücken können helfen, Wärme aus einem Hotspot-Bereich in besser angebundene Kupfer- oder Montageflächen zu führen. Ob das im konkreten Design funktioniert, hängt von Layout, Bauteilfreigabe und Prüfbedingungen ab.

Gerade bei mobilen Leistungsdesigns ist das Stromprofil oft aussagekräftiger als ein einzelner Maximalstrom. Kurze Pulse, Dauerlast, zyklische Belastung und Standby-Betrieb führen zu unterschiedlichen thermischen Situationen. Auch die Umgebung ist nicht statisch; Schaltschrank, mobile Maschine, Transportanwendung oder kompaktes Modul stellen unterschiedliche Randbedingungen.

Für die Bauteilauswahl bedeutet das: Die Spezifikation muss mehr leisten als eine Liste elektrischer Nennwerte. Sie muss zeigen, unter welchen Bedingungen ein Bauteil arbeitet, wie es thermisch angebunden ist und welche Größen seine Funktion begrenzen. Derating, Temperaturkoeffizient und Eigenerwärmung bei Widerständen, Kontaktwiderstand und Temperaturanstieg bei Verbindungen sowie Montagefläche, Luftstrom und Prüfbedingungen bei Kühllösungen werden so zu entscheidenden Auswahlkriterien.

Erst wenn diese Angaben zusammenliegen, lassen sich Datenblattwerte sinnvoll vergleichen. Ohne diesen Kontext kann ein Bauteil auf dem Papier passen und in der Anwendung trotzdem thermisch eng werden.

Thermik ist Teamarbeit

Wärme lässt sich nicht an eine einzelne Disziplin delegieren. Sie entsteht elektrisch, wird mechanisch geführt, über Materialien übertragen, über Kontakte beeinflusst und über Gehäuse oder Kühlkörper abgegeben. Deshalb ist sie im Leistungsdesign ein Querschnittsthema.

Für Entwickler bedeutet das: Passive und elektromechanische Komponenten sollten nicht nur nach elektrischen Eckdaten oder mechanischer Passform bewertet werden. Entscheidend ist, wie sie in den Strom- und Wärmepfad der Baugruppe eingebunden sind. Für Konstruktion, Prüffeld, Qualitätssicherung und technischen Einkauf bedeutet dies: Ein scheinbar passender Datenblattwert muss zu den realen Einsatzbedingungen passen. In der Bauteilauswahl hilft deshalb ein anwendungsnaher Blick auf passive und elektromechanische Komponenten. Gerade dort, wo elektrische Daten, mechanische Integration und thermische Randbedingungen zusammenkommen, wird früh sichtbar, ob ein Bauteil nur auf dem Papier passt oder auch im System sinnvoll eingebunden ist.

electronica
Halle A6.439

W+P®
WE CONNECT IT
Kundenspezifische Rundsteckverbinder
- Internationale Standards M8 und M12
- Individuelle Längen
- Offene Kabel-Enden nach Kundenvorgabe bearbeitet
- Für alle standardmäßigen Codierungen



Besuchen Sie uns!
Halle B2
Stand 404
electronica 2026
10.–13. November 2026 I Messe München
W+P PRODUCTS GmbH
www.wppro.com

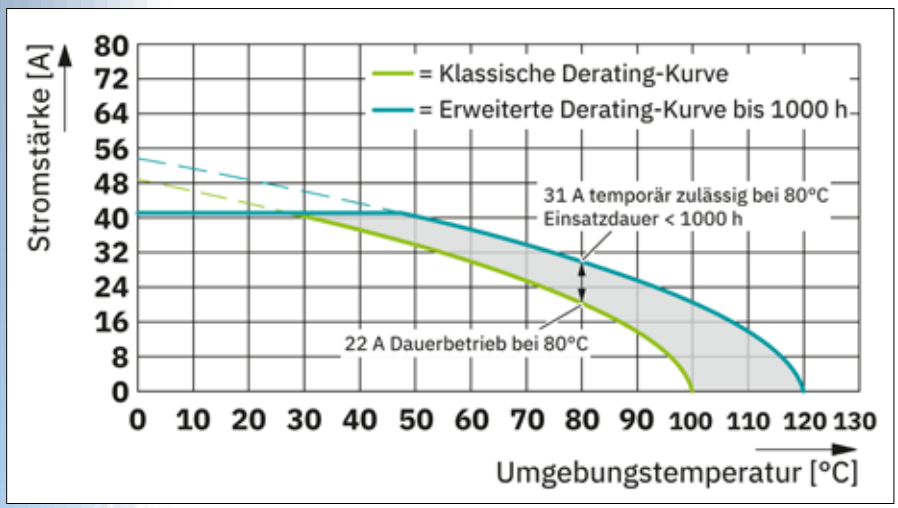
Temperaturverhalten und Derating-Kurven von Leiterplatten-Steckverbindern

Thermische Grenzen verstehen – Geräteausfälle vermeiden

Elektronische Geräte müssen heute mehr leisten und gleichzeitig weniger Bauraum beanspruchen. Dadurch steigen die thermischen Anforderungen an Leiterplatten-Steckverbinder. Für Entwicklungsteams ergibt sich daraus die Frage, wie stark sie Komponenten unter realen Einsatzbedingungen sicher belasten können. Entscheidend sind dabei Derating-Kurven, die Einordnung zeitlich begrenzter Lastspitzen und die transparente Bewertung thermischer Einsatzgrenzen bis 120 °C.

TEXT: Andre Gorell, Phoenix Contact **BILDER:** publish-industry, KI-generiert; Phoenix Contact





Erweiterte Derating-Kurve des Leiterplatten-Steckverbinders LPC 6

Leiterplatten-Steckverbinder dienen der Übertragung von Energie, Signalen und Daten. Während des Betriebs erzeugt der durch die Kontakte fließende Strom aufgrund elektrischer Widerstände Wärme. Gleichzeitig werden Steckverbinder häufig in Umgebungen mit erhöhten Temperaturen eingesetzt oder befinden sich in unmittelbarer Nähe zu wärmeerzeugenden Komponenten auf der Leiterplatte. Die daraus resultierende Gesamttemperatur belastet sowohl die Kunststoff- als auch die Metallkomponenten.

Für einen sicheren Dauerbetrieb wird die zulässige Strombelastbarkeit in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur definiert. Mit steigender Umgebungstemperatur muss die Strombelastbarkeit reduziert werden, damit die maximal zulässige Betriebstemperatur des Gesamtsystems nicht überschritten wird. Diesen Zusammenhang zwischen Strombelastbarkeit und Umgebungstemperatur stellt die sogenannte Basiskurve dar.

Um aus der Basiskurve die Derating-Kurve abzuleiten, wird bei Leiterplatten-Steckverbindern ein Derating-Faktor von 0,8 angewendet. Dieser Sicherheitsfaktor dient dazu, Messunsicherheiten, Fertigungstoleranzen sowie anwendungsspezifische Randbedingungen angemessen zu berücksichtigen.

Die konservative Auslegung stellt den sicheren und zuverlässigen Betrieb des Steckverbinders über die gesamte Lebensdauer sicher. Zudem unterstützt sie Anwender bei der thermischen Auslegung ihrer Anwendung.

Herausforderung in der Praxis

In der technischen Praxis gewinnen Derating-Kurven für höhere Einsatztemperaturen zunehmend an Bedeutung. Anwenderapplikationen fordern immer häufiger auch Temperaturbereiche bis 120 °C. Für eine sichere technische Auslegung ist jedoch entscheidend, diese Temperaturangaben stets im Zusammenhang mit den zugrunde liegenden Prüfbedingungen, der zulässigen Einwirkdauer, den verwendeten Materialien sowie den jeweiligen normativen und zulassungsrelevanten Randbedingungen zu bewerten.

Unter welchen Bedingungen und für welche Dauer ist ein Betrieb oberhalb

ICT SUEDWERK
TIM Solutions & Services



INSPIRED CUSTOMIZED T.I.M. SOLUTIONS

COOL BLEIBEN
WENN'S HEISS
HERGEHT

- SPEZIALFOLIEN
- TECHNISCHE KERAMIKEN
- WÄRMELEITMATERIALIEN
- EMV-SCHIRMUNGSPRODUKTE

Ihre T.I.M.-Lösung ist nur einen Klick entfernt
www.ict-suedwerk.de

Besuchen Sie uns auf der electronica:
10. bis 13.11.2026, Halle B3.149

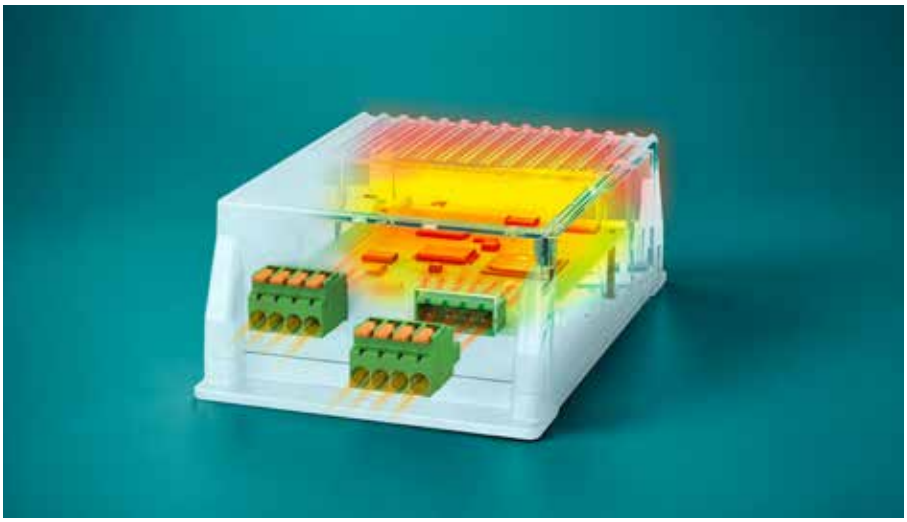
Besucherkarten erhalten Sie
unter info@ict-suedwerk.de

Wir freuen uns auf Ihren Besuch!

ICT SUEDWERK GmbH
Bajuwarenring 12a ■ 82041 Oberhaching
T +49 (0)89 21 23 102-0 ■ info@ict-suedwerk.de



ALL YOU NEED
TO MANAGE YOUR HEAT



Thermische Belastungen von Leiterplatten-Steckverbindern müssen bereits bei der Systemauslegung berücksichtigt werden.

der klassischen Derating-Kurve beziehungsweise oberhalb des bisherigen Temperaturbereichs technisch möglich? Voraussetzung ist, dass die physikalischen Materialgrenzen sowie bestehende normative Anforderungen und Zulassungsbedingungen unverändert bleiben.

Ein langfristiger Betrieb außerhalb des regulären Dauerbetriebsbereichs kann zu beschleunigten Alterungsprozessen führen. Dazu zählen insbesondere die Alterung von Kunststoffen sowie Veränderungen an metallischen Kontaktteilen und Oberflächenbeschichtungen. Um solche zeitlich begrenzten Betriebszustände zu bewerten, stellt Phoenix Contact für ausgewählte Produkte eine erweiterte Derating-Kurve zur Verfügung. Diese ist auf eine Höchsttemperatur von 120 °C und eine kumulierte Einsatzdauer von maximal 1.000 Stunden begrenzt. Untersuchungen belegen, dass bei längerer Exposition eine erhöhte Materialalterung und daraus resultierende Funktionsbeeinträchtigungen nicht ausgeschlossen werden können.

Temperaturerhöhung und Strombelastbarkeit

Die thermische Belastbarkeit eines Leiterplatten-Steckverbinders wird durch das Zusammenspiel verschiedener Einflussgrößen bestimmt. Dazu gehören insbesondere Umgebungstemperatur, Eigenerwärmung durch Stromfluss, Werkstoffeigenschaften, Anzahl der Kontaktstellen, Leiterquerschnitt, Leiterlänge, Kontakt- und Übergangswiderstände sowie Einbausituation und Wärmeabfuhr. Eine zentrale Rolle spielen dabei die eingesetzten Kunststoffe. Deren Langzeitverhalten wird unter anderem durch den Relative Temperature Index (RTI) gemäß UL 746B beziehungsweise den Temperature Index (TI) nach IEC 60216 beschrieben.

Der Bemessungsstrom beschreibt den Strom, den ein Steckverbinder unter definierten Bedingungen dauerhaft führen kann, ohne die festgelegte Grenztemperatur zu überschreiten. Die Ermittlung erfolgt unter normierten Prüfbedingungen für Leiterplatten-Steckverbinder nach IEC 61984, IEC 60947-7-4 oder UL 1059.

Aufgrund dieser Einflussfaktoren stellt Phoenix Contact unter anderem Derating-Kurven für unterschiedliche Bemessungsströme bereit. Einen wesentlichen Einfluss haben dabei die Polzahl bzw. die Anzahl der stromführenden Kontaktstellen. Mit steigender Anzahl belasteter Pole erhöht sich die Eigenerwärmung innerhalb des Steckverbinders, wodurch die zulässige Strombelastbarkeit bei gleicher Umgebungstemperatur reduziert werden muss. Umgekehrt können Leiterplatten-Steckverbinder mit einer geringeren Anzahl stromführender Pole bei identischen Umgebungsbedingungen höhere Ströme übertragen.

Ein Beispiel hierfür ist die Produktfamilie Connexis von Phoenix Contact. Abhängig von der Polzahl sind unterschiedliche Nennströme zulässig. Dies ermöglicht dem Anwender eine anwendungsorientierte und flexible Auslegung seines Systems. Die entsprechenden Zusammenhänge sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

Aufgrund der thermischen Masse des Steckverbinders steigt seine Temperatur nicht sprunghaft, sondern zeitverzögert. Kurzzeitige Stromspitzen sind daher in vielen Fällen thermisch unkritisch. Dies gilt auch deutlich oberhalb des Bemessungsstroms. Voraussetzung ist, dass der zeitlich wirksame Effektivstrom und die daraus resultierende Gesamtbeanspruchung innerhalb der zulässigen Grenzen liegen.

Für die Bewertung ist nicht allein der Spitzenstrom maßgeblich. Entscheidend sind auch die über die Betriebsdauer eingebrachte thermische Energie sowie die Fähigkeit des Systems, sich wieder unterhalb seiner maximalen Betriebstemperatur

abzukühlen. Anwendungen mit wiederkehrenden oder besonders hohen Stromspitzen sollten dennoch produktspezifisch bewertet werden.

Erweiterte Derating-Kurve für mehr Flexibilität

Grundlage für die erweiterte Derating-Kurve sind Untersuchungen zum Alterungsverhalten von Kunststoffen und metallischen Komponenten bei erhöhten Temperaturen. Die Ergebnisse zeigen, dass die kritischen Alterungsmechanismen nicht unmittelbar beim Überschreiten der maximal zulässigen Stromstärke oder Temperatur einsetzen, sondern von der Einwirkdauer abhängig sind. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, Steckverbinder für begrenzte Zeiträume oberhalb des klassischen Dauerbetriebsbereichs einzusetzen. Für ausgewählte Steckverbinder hat Phoenix Contact diesen erweiterten Betriebsbereich auf eine Höchsttemperatur von 120 °C und eine kumulierte Nutzungsdauer von maximal 1.000 Stunden begrenzt. Diese Begrenzung ergibt sich aus den später aufgeführten Alterungsversuchen. Für den Anwender bedeutet dies eine höhere Flexibilität bei temporären Lastspitzen oder besonderen Betriebszuständen. Gleichzeitig wird die Langzeitzuverlässigkeit des Produkts sichergestellt, sofern die definierten Einsatzgrenzen eingehalten werden.

Anwendung der Derating-Kurve

Für die Auslegung eines Leiterplatten-Steckverbinders werden die vorhandene Umgebungstemperatur und der auftretende Strom mit der jeweiligen Derating-Kurve abgeglichen. Liegt der Betriebspunkt unterhalb der jeweiligen Derating-Kurve, ist ein Betrieb innerhalb der definierten Einsatzgrenzen möglich. Befindet sich der Betriebspunkt oberhalb der klassischen Derating-Kurve, kann gegebenenfalls die erweiterte Derating-Kurve herangezogen werden, sofern die festgelegten Grenzen von maximal 120 °C und einer kumulierten Betriebsdauer von maximal 1.000 Stunden eingehalten werden.

Die oben dargestellte Abbildung verdeutlicht das Potenzial der erweiterten Derating-Kurve. Als Beispiel zeigt sie den Leiterplatten-Steckverbinder LPC 6 von Phoenix Contact als typisches Produkt für Motor- und Drive-Applikationen.

Wird ein Leiterplatten-Steckverbinder mit der gezeigten Derating-Kurve bei einer Umgebungstemperatur von 80 °C betrieben, lässt die klassische Derating-Kurve etwa 22 A zu.

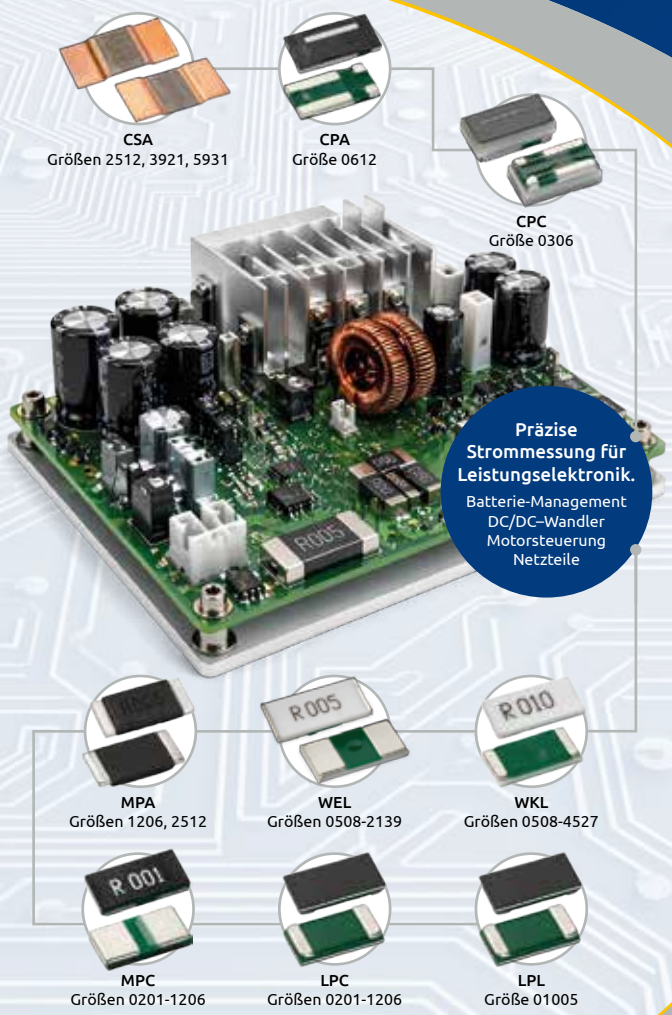
TFT – THIN FILM TECHNOLOGY

Strommesswiderstände
für Leistungselektronik

Hochleistungs-Widerstände von TFT für maximale Genauigkeit, höchste Stabilität und dauerhafte Zuverlässigkeit in besonders anspruchsvollen Power-Management-Systemen.

TFT®

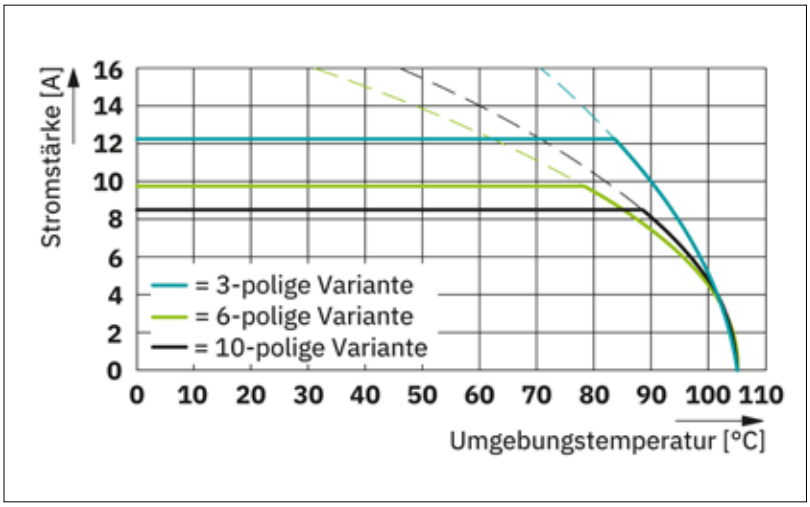
Besuchen Sie uns auf der electronica
10. – 13. November 2026 · Messe München
Halle A6, Stand 439



Strommesswiderstände von TFT stehen für exakte Messwerte, hohe Leistungsdichte und stabile elektrische Eigenschaften – auch unter thermischer und elektrischer Dauerbelastung.

weltronic
Technology Excellence since 1968.

+49 89 492 066 info@weltronic.de www.weltronic.de
Weltronic GmbH · Kronstadter Straße 4 · 81677 München



Stromtragfähigkeit eines Connexis-Steckverbinders in Abhängigkeit von Polzahl und Umgebungstemperatur

Unter definierten Bedingungen sind im zeitlich begrenzten erweiterten Betriebsbereich hingegen bis zu 31 A zulässig.

Die festgelegte kumulierte Einsatzdauer von 1.000 h darf dabei nicht überschritten werden. Nach der zeitlich begrenzten Belastung muss die Anwendung mit dem eingesetzten Steckverbinder wieder auf das klassische Betriebsniveau abkühlen. Alternativ muss der Strom entsprechend reduziert werden.

Alterungsmechanismen

Die Begrenzung der Betriebsdauer oberhalb der klassischen Derating-Kurve basiert auf bekannten Alterungsprozessen in Kunststoff- und Metallwerkstoffen. Bei Kunststoffen können mit steigender Temperatur und Einwirkdauer Farbänderungen, Versprödung, eine Verringerung der Schlagzähigkeit, eine Reduzierung mechanischer Festigkeit, Veränderungen elektrischer Eigenschaften sowie eine erhöhte Rissanfälligkeit auftreten. Diese Effekte sind typischerweise irreversibel und nehmen mit Temperatur und Expositionsdauer zu. Neben den optischen Veränderungen treten zusätzlich Veränderungen der technischen Eigenschaften auf, die die Funktion der Komponenten beeinflussen können. Auch metallische Komponenten unterliegen einer thermischen Alterung. Betroffen sind insbesondere Strombalken, Kontaktfedern und Oberflächenbeschichtungen. Mögliche Auswirkungen sind die Relaxation von Federwerkstoffen, eine daraus resultierende Verringerung der Kontaktkraft, das Wachstum intermetallischer Phasen, ein erhöhter Übergangswiderstand, beschleunigte Korrosion sowie Veränderungen an Zinn- und weiteren Oberflächenbeschichtungen. Diese Effekte können den Übergangswiderstand erhöhen und langfristig sowohl die elektrische als auch die mechanische Leistungsfähigkeit beeinträchtigen.

Fazit

Leiterplatten-Steckverbinder können unter definierten Betriebsbedingungen zeitlich begrenzt auch oberhalb der klassischen Derating-Kurve betrieben werden. Die physikalischen Grenzen der eingesetzten Werkstoffe sowie die Anforderungen aus Normen und Zulassungen bleiben dabei unverändert. Untersuchungen von Phoenix Contact zeigen, dass erhöhte Temperaturen und Ströme für begrenzte Zeiträume technisch zulässig sind. Für diesen Anwendungsfall wurde eine erweiterte Derating-Kurve entwickelt. Sie berücksichtigt Betriebstemperaturen bis 120 °C für eine kumulierte Nutzungsdauer von maximal 1.000 Stunden. Die thermische Belastbarkeit eines Steckverbinders wird dabei nicht allein durch kurzzeitige Lastspitzen bestimmt, sondern maßgeblich durch die über die Zeit wirkende thermische Gesamtbelastung. Aufgrund der thermischen Trägheit des Systems führen kurzzeitige Stromspitzen häufig nicht unmittelbar zu kritischen Bauteiltemperaturen.

Maßgeblich für die Lebensdauer sind vielmehr die Höhe und Dauer der tatsächlichen thermischen Beanspruchung. Daher sollte die Eignung eines Steckverbinders für erhöhte thermische Belastungen stets applikationsspezifisch bewertet werden. Durch ausreichend große Leiterquerschnitte, eine fachgerechte Kontaktierung und eine thermisch günstige Auslegung von Leitungen und Leiterplattenanbindungen lässt sich die Lebensdauer zusätzlich unterstützen. Damit wird die erweiterte Derating-Kurve zu einem praxisnahen Werkzeug, um temporäre thermische Belastungen sicher zu bewerten und die Zuverlässigkeit der Anwendung langfristig abzusichern.

electronica
Halle B3.103


Bild: binder

Hauptsitz Neckarsulm: Logistik- und Produktionsgebäude

Kontakt
Franz Binder GmbH & Co. Elektrische Bauelemente KG
Rötelstrasse 27
74172 Neckarsulm, Germany
T +49 (0) 7132 325-0
F +49 (0) 7132 325-150
info@binder-connector.de
www.binder-connector.de

Gründungsjahr
1960

Mitarbeiterzahl
Rund 2.000 weltweit, davon 800 am Standort Neckarsulm.

Standorte
Headquarter mit Produktion in Neckarsulm sowie neun Vertriebsniederlassungen auf sechs Kontinenten.

binder Gruppe – Verbindungslösungen von der Anforderung bis zur Serie
Wenn eine Anwendung mehr verlangt als einen Standardsteckverbinder, entwickelt binder gemeinsam mit dem Kunden eine passende Lösung. Entwicklung, Konstruktion, Werkzeugbau und Fertigung liegen dabei in einer Hand, von der ersten Anforderung bis zur Serienfertigung.
Die binder Gruppe ist ein international tätiges Familienunternehmen in dritter Generation für industrielle Verbindungstechnik. Die 1960 von Franz Binder gegründete Gruppe mit Hauptsitz in Neckarsulm bietet Entwicklung, Konstruktion und Fertigung von Standard- und kundenspezifischen Steckverbindern. Ergänzt wird das Portfolio durch elektronische Baugruppen, präzisionsgefertigte Bauteile und individuelle Gesamtlösungen. Am Hauptsitz bündelt binder Produktentwicklung, kundenspezifische Lösungen, Kunststoffteilefertigung, Werkzeugbau, Messtechnik mit Computertomographie sowie ein Labor für Qualitätssicherung.

Produktportfolio
binder ist Spezialist für Rundsteckverbinder. Das Steckverbinderportfolio umfasst die Produktbereiche Subminiatur, Miniatur, Medizinische Anwendungen, Datenübertragung, Sensorik & Aktorik, Power, Spannungs- und Leistungsversorgung sowie Magnetventil. Zu den meistgefragten Serien zählen M8, M12-A, M16 IP67, NCC und Snap-In.

Steckverbinderarten
Flanschsteckverbinder mit Litzen-, Crimp-, Löt-, Tauchlöt, SMT- oder THT/THR-Anschluss, feldkonfektionierbare Kabelsteckverbinder, umspritzte Anschluss- und Verbindungsleitungen sowie Kabel, Verteiler, Kabelsplitter, Adapter und Schaltschrankdurchführungen.

Zielmärkte
binder fokussiert sich auf Branchen wie Medizintechnik, smarte Kommunikation, Automatisierung sowie Robotik und realisiert weltweit Projekte mit höchstem Spezifikationsgrad.

Qualitätsmanagement
Die Franz Binder GmbH & Co. Elektrische Bauelemente KG ist nach ISO 9001:2015, ISO 14001 und ISO 13485 zertifiziert. Alle Gesellschaften der Gruppe sind nach ISO 9001 zertifiziert, mehrere zusätzlich nach ISO 14001.

KOMPETENZBEREICHE

Für Projekte, die über den Steckverbinder hinausgehen, bündelt die binder Gruppe weitere Kompetenzen unter einem Dach:

- binder solutions: kundenspezifische Systemlösungen von der Idee über die Konstruktion bis zur Serienfertigung
- binder ems: elektronische Baugruppen und Systeme
- binder mpe: Stanz- und Biegeteile, Sondersteckverbinder, Kabelkonfektionen, Stift- und Buchsenleisten
- binder precision parts: Drehteile
- binder diecast: Druckgussteile
- binder galvanic surfaces: Oberflächenveredelung
- binder Innovations- und Technologiezentrum (ITZ): Forschung, unter anderem im Bereich gedruckte Elektronik



Klein, robust, leistungsstark: das breite Spektrum der binder Rundsteckverbinder.

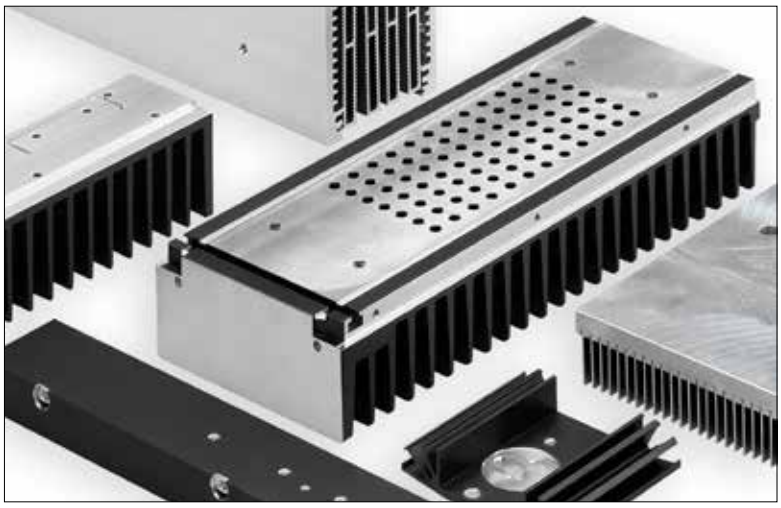
Entwärmungslösungen analysieren und mechanisch optimieren

Innere Werte, die zählen

Entwärmungslösungen aus dem Material Aluminium in Form von Frästeilen, Strang- oder Hochleistungskühlkörpern, Lüfteraggregaten und Flüssigkeitskühlkörpern bedürfen neben der thermischen Performance auch einer genauen Betrachtung ihrer geometrischen Aspekte. Diese ebenfalls funktionsbestimmenden Eigenschaften müssen in der Gesamtapplikation genaustens analysiert und berücksichtigt werden.

TEXT: Jürgen Harpain, Fischer Elektronik **BILDER:** Fischer Elektronik; iStock, FabrikaCr



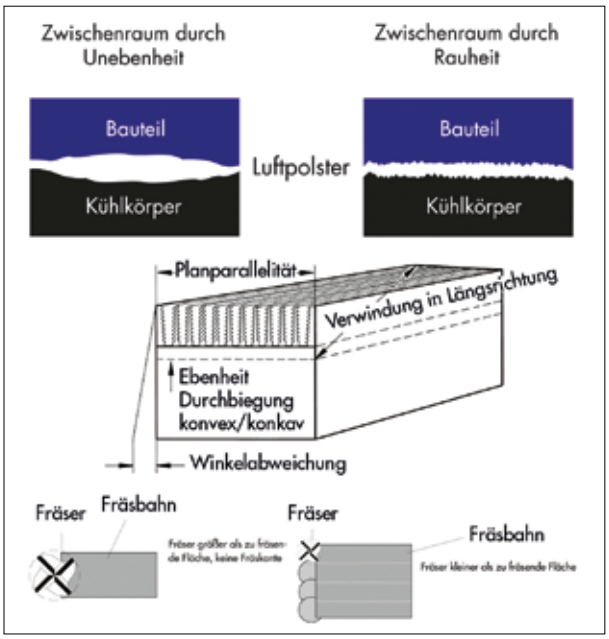


Klassische Strangkühlkörper unterliegen internationalen DIN-Normen und müssen vor der Verwendung stets auf ihre mechanische Tauglichkeit überprüft werden.

Die wichtigste Aufgabe eines thermischen Managements ist es, dass dieses durch die richtige Auswahl und Anpassung an die Applikation funktioniert. Elektronische Bauteile werden hierdurch in einem vom Hersteller spezifizierten Temperaturfenster langfristig betrieben. Des Weiteren wird die Lebensdauer der verwendeten Komponenten garantiert und Funktionsausfälle, gar eine Zerstörung einzelner Bauteile oder kompletter Funktionseinheiten, werden vermieden. In vielen elektronischen Applikationen verbessern bereits die künstliche Intelligenz und eine zustandsorientierte Wartung das thermische Management durch eine vorausschauende Fehlererkennung und adaptive Steuerung. Vielzählige Sensoren überwachen die auftretenden Temperaturen, die Durchflussraten bei Lüftermotoren und Flüssigkeitskühlkörpern in Echtzeit. Des Weiteren optimieren KI-Algorithmen Lüfterdrehzahlen und Pumpenleistung, verlängern dadurch gleichfalls die Komponentenlebensdauer. Digitale Zwillinge ermöglichen simulationsgestützte Prognosen unter variierenden Umgebungsbedingungen und vereinfachen Tests neuer Entwärmungsdesigns ohne vollständige physische Prototypen. So weit die Theorie. In der Praxis werden Entwärmungslösungen allerdings oftmals als im Gerät verbaute Komponenten im Zusammenspiel mit anderen Bauelementen betrachtet. Daher gilt es, herstellungsbedingte Toleranzfelder der jeweiligen Entwärmungslösung in der Gesamtapplikation über Musteraufbauten zu analysieren und anzupassen. Die klassischen Strangkühlkörper oder auch Profilkomponenten aus Aluminium für Lüfteraggregate werden im Extrusionsverfahren (Strangpressverfahren) hergestellt. Hierbei wird das erwärmte Aluminiummaterial bei ca. 470 bis 490 °C in Bolzenform durch eine Werkzeugmatrize mit eingebrachter Wunschgeometrie im Negativ gepresst. Die beim Strangpressen zugrunde gelegten Toleranzfelder unterliegen internationalen DIN-Normen und richten sich nach Größe des umschreibenden Kreises des Strangpressproduktes. Strangkühlkörper, welche einen umschreibenden Kreis von ≤350 mm besitzen, werden in der Fachsprache als Präzisionsprofile bezeichnet und deren zulässige Abweichungen sind in der DIN EN 12020-2 spezifiziert. Toleranzabweichungen für Strangprofile mit einem umschreibenden Kreis von >350 mm sind in der DIN EN 755 aufgeführt. Zusammengefasst gilt es, stets die Größe des Pressproduktes zu beachten, denn je größer die hergestellte Geometrie ist, desto größer sind die zulässigen Toleranzen. Gemäß den genannten DIN-Normen liegen diese in einem Bereich von einigen Zehnteln bis hin zu einigen Millimetern. Diese Tatsache wird leider oftmals in der Vorplanung des thermischen Managements unterschätzt und vernachlässigt, führt mitunter im Nachhinein zu teuren sowie umfangreichen Anpassungen.

Individuelle Anpassungen

Als Komponente im Gesamtkonzept verbaut, ist nicht nur die mechanisch bearbeitete Kühlkörperlänge, sondern ebenfalls die Profilbreite und -höhe, die Winkelabweichung, die Verwindung und Planparallelität sowie die Wanddickentoleranz oder Wölbung (konvex/konkav) des Querschnittes kritisch zu betrachten und zu berücksichtigen. Um die verwendeten Entwärmungskomponenten effizient zu nutzen, ist meistens eine Anpassung an die Einbausituation durch eine mechanische CNC-Bearbeitung erforderlich. Als Beispiel sei hier der Kühlkörperboden zu nennen, der in den meisten kundenseitigen Anwendungsfällen als Halbleitermontagefläche fungiert. Die optimale wärmetechnische Kontaktierung bzw. Montage elektronischer Bauelemente auf dem Kühlkörper-



Mechanische CNC-Nachbearbeitungen jeglicher Art sollten im Vorfeld mit dem Kunden im Detail geklärt und auf der Fertigungszeichnung spezifiziert werden.

boden oder der Montagefläche auf einem Lüfteraggregat wird durch die bereits beschriebene Durchbiegung der Profile erschwert. Zur Gewährleistung eines guten Wärmeübergangs, zum Beispiel für große IGBT-Module, werden gemäß Herstellerangaben häufig Ebenheiten von <0,02 mm gefordert. Exakt plane Halbleitermontageflächen sind presstechnisch nicht herzustellen und müssen frästechnisch umgesetzt werden. Mithilfe von modernen, effizienten und hochpräzisen CNC-Bearbeitungszentren, so wie diese bei Fischer Elektronik zum Einsatz kommen, lassen sich Halbleitermontageflächen für Strangkühlkörper und Lüfteraggregate mit besonderer Güte im Hinblick auf die Ebenheits- und Rauheitswerte fertigen. Was in der Theorie bekannt ist und einfach klingt, bringt in der Praxis allerdings einige Herausforderungen mit sich und will ebenfalls gelernt sein. Im Montagebereich des elektronischen Bauteils dürfen durch die Fräsarbeit keine Fräskanten oder sogar Fräsabsätze entstehen. Diese treten typischerweise auf, wenn die zur Verfügung stehende Montagefläche größer ist als das verwendete Fräswerkzeug, sodass die Gesamtfläche in mehreren Bahnen plangefräst werden muss. Die entstehenden und visuell sichtbaren Absatzkanten liegen im Tausendstel-, maximal im Hundertstel-Millimeterbereich, können im schlimmsten Fall aber einen negativen Einfluss auf die Funktion des Wärmeüberganges oder gar auf die Montage des Bauteils haben. Zur Vermeidung solcher Fräsbahnen im Montagebereich ist es zweckmäßig, diese Bereiche in der fertigungstechnischen Zeichnung inklusive der Bauteilposition und -größe sowie erforderlicher Ebenheit zu spezifizieren. Innovative, eigens hierfür entwickelte Werkzeug- und Bearbeitungsstrategien bieten ebenfalls die Möglichkeit, auch größere Kühlkörperbodenflächen in einem Arbeitsgang plan zu fräsen. Hierbei ist die Anzahl der einzelnen Schneiden und das Gewicht des Messerkopfes im Verhältnis zur Tragkraft der CNC-Spindel von entscheidender Bedeutung. Das Aufbringen einer speziellen Schutzfolie verhindert darüber hinaus das Zerkratzen der bereits bearbeiteten Oberflächen bei weiteren Bearbeitungsschritten.

Die Qualität liefert Zuverlässigkeit

Präzise Fräsbearbeitungen jeglicher Art zur Adaption der ausgewählten Entwärmungskomponente an die Elektronik, wie zum Beispiel in Form von Durchbrüchen, Taschen, planen Auflageflächen, Bohrungen und Gewinden, sind die Schnittstelle zu der in der Applikation verbauten Elektronik. Eine perfekte und toleranzgenaue Bearbeitungsqualität ist daher unabdingbar, um die Passgenauigkeit der jeweiligen Entwärmungskomponente in der Einbausituation zu gewährleisten. Der eigentliche Qualitätsanspruch beginnt allerdings bereits bei der Lagerung der verschiedenartigen Strangpressprofile. Bei nicht sachgerechter Lagerung können die Profile je nach Umgebung korrodieren. Korrosion bezeichnet dabei die Reaktion des Grundwerkstoffs mit seiner Umgebung. Das Material wird sozusagen zerfressen und kann zu einer Beeinträchtigung der Funktion eines elektronischen Bauteils oder Systems führen.

Die sogenannte Vorkorrosion ist allerdings im Vorfeld auf Strangpressprofilen nicht immer sichtbar, sondern wird erst ersichtlich, wenn das Material zum Beispiel nach der mechanischen Bearbeitung zusätzlich eloxiert wird. Die Vorkorrosion erzeugt auf der eloxierten Kühlkörperoberfläche Defekte und führt letztendlich zum Ausschuss der produzierten Komponente. Eigens



Passend zur jeweiligen Kühlkörperbreite angepasste Fräswerkzeuge gibt es nicht von der Stange zu kaufen und müssen speziell angefertigt werden.

zur Vermeidung von Korrosionsdefekten lagert die Fischer Elektronik sämtliche Strangpresserzeugnisse in einem innovativen Wabenlager, in dem ebenfalls zur Vermeidung von Kondenswasser die Lagertemperatur und -luftfeuchtigkeit stets überwacht und im grünen Bereich konstant gehalten werden.

Herstellungsbedingte Streifen im Strangpressprodukt entstehen je nach Beschaffenheit der Geometrie, mal mehr oder weniger an der Oberfläche des Endproduktes. Genauer gesagt entstehen diese Verunreinigungen, meist in Streifenform, beim Strangpressen durch die Reibung des Aluminiummaterials in der Werkzeugmatrize und können ohne jegliche Nacharbeit nicht vollständig entfernt werden. Die anodische Oxidation verbessert zwar das Gesamterscheinungsbild, liefert allerdings keine hundertprozentige Lösung. Erfordert die Anwendung keinerlei Oberflächenfehler, wie zum Beispiel Verformungen, Kratzer, Riefen oder Fräs- und Sägespuren, so sind nachgeschaltete Oberflächenbehandlungen, wie Schleifen oder Strahlen, oftmals das Mittel der Wahl.

Umfangreiche mechanische Bearbeitungsmöglichkeiten sind heutzutage aus dem Service-Angebot eines Kühlkörperherstellers nicht mehr wegzudenken. Unterstützt werden die genannten Bearbeitungsprozesse im Hause Fischer Elektronik durch eine stetige Produktionsüberwachung und Qualitätsüberprüfung mittels moderner 3D-Messmaschinen oder 3D-Geometriescanner für einen aussagekräftigen SOLL/IST-Vergleich. Dieses rundet in Summe das Bearbeitungsportfolio ab und gewährleistet in puncto Qualität darüber hinaus reproduzierbare Kundenwünsche und -anforderungen.

Die aufgeführten Erläuterungen zeigen, dass die Zu- und Einordnung von Press- und Fertigungstoleranzen durchaus unproblematisch ist, wenn die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten der Einflussnahme kenntnisreich genutzt und kritisch begutachtet werden. Eine detaillierte Zusammenstellung der in der Applikation benötigten mechanischen Kriterien, bezogen auf den jeweiligen Einsatzbereich, reduziert darüber hinaus die Herstellkosten und erspart des Weiteren eine kostspielige sowie oftmals aufwendige Nacharbeit.

electronica
Halle B3.243



Kühlkörper, Gehäuse

Steckverbinder

Wir stehen für innovative Kühlkörper, leistungsfähige Wärmeleitmaterialien, funktionale Gehäuse und zuverlässige Steckverbinder.

Unser umfangreiches Standardsortiment sowie unsere hohe Fertigungstiefe ermöglicht es uns Ihnen sämtliche Artikel auch als individuelle Sonder-bearbeitungen nach Ihren Vorgaben zu bieten – bereits ab einem Stück.

Mehr erfahren Sie unter:
www.fischerelektronik.de/kgs

fischer elektronik
kühlen schützen verbinden



Hochzuverlässige Elektroniksysteme für Luft-/Raumfahrt und Verteidigung

Eng vernetzt: Komponentendesign und Verbindungstechnik

Lösungen für hochkritische Anwendungen können Tausende oder sogar Millionen elektronischer Bauteile umfassen, die alle auf Steckverbinder angewiesen sind, um zu kommunizieren und als integriertes System zu funktionieren. Durch die zuverlässige Übertragung von Daten, Signalen und Strom spielt die Verbindungstechnik eine entscheidende Rolle dabei, ob alle Komponenten erfolgreich arbeiten.

TEXT: George Dubniczki, Molex **BILDER:** Molex; iStock, Raycat



Präzises Komponentendesign und robuste Verbindungstechnik sichern die Funktion unter extremen Bedingungen.

Die Luft- und Raumfahrtindustrie sowie die Verteidigungsindustrie stehen an der Spitze der technologischen Entwicklung. Ihre Raumfahrzeuge, Bodenfahrzeuge und Verteidigungssysteme loten die Grenzen des Machbaren aus. Hohe Standards sind unerlässlich, wenn Menschenleben vom Ergebnis abhängen, da selbst kleinste Fehler schwerwiegende Folgen haben können. Die effektive Konzeption, Entwicklung und Fertigung von Elektroniksystemen für diese Kunden erfordern Qualität und Zuverlässigkeit in jeder Phase, was eine erhebliche Herausforderung darstellt.

Jedes einzelne System muss unter extremen Umgebungsbedingungen einwandfrei funktionieren, darunter Stöße und G-Kräfte, Strahlenbelastung, Vakuum des Weltraums, Vibrationen, Temperaturwechsel, Feuchtigkeit und Staub. Hinzu kommt, dass sich die Lebenszyklen oft in Jahrzehnten und nicht in Jahren bemessen lassen. Systeme müssen daher Tausende von Steckzyklen ohne Ausfall überstehen.

Gleichzeitig werden die Formfaktoren immer kleiner, während die Datenübertragungsraten steigen. Mit jeder neuen Generation nimmt die Komponentendichte zu, was die Herausforderungen in den Bereichen Wärmemanagement, Signalintegrität und elektromagnetische Störungen (EMI) verschärft. Systementwickler und Fertigungsteams müssen sich jeder dieser Herausforderungen direkt stellen und dabei strenge Qualitätsstandards in der Fertigung einhalten sowie die Anforderungen an Größe, Gewicht, Leistungsaufnahme und Kosten (SWaP-C) in Einklang bringen.

Systematischer Ansatz: Qualität durch Design

Um dieses hohe Qualitätsniveau zu erreichen, ist ein „Quality-by-Design"-Ansatz erforderlich, der auf einer engen funktionsübergreifenden Zusammenarbeit über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg basiert. Dies umfasst die Koordination zwischen Designteams, Fertigungsingenieuren, Materialwissenschaftlern, Qualitätsspezialisten sowie Lieferketten- und Beschaffungsteams, gepaart mit umfangreichen Testverfahren und Feedbackschleifen, um Schwachstellen zu identifizieren und zu beheben.

Die Wahl des falschen Materials aufgrund von Gewichtsbeschränkungen kann zum Beispiel zu Korrosion durch Salznebel und Oxidation führen, was die Integrität beeinträchtigt und Komponenten bisher abgeschirmten Umgebungseinflüssen aussetzt. All dies hat erhebliche Auswirkungen auf vor- und nachgelagerte Entwicklungsprozesse.

Die Vorteile dieses ganzheitlichen Ansatzes gehen weit über eine verbesserte Zuverlässigkeit und Langlebigkeit hinaus. Er ermöglicht Effizienzsteigerungen in der Fertigung und im Kostenmanagement, verbessert die Sicherheit und trägt letztlich zu einem größeren Missionserfolg bei.

Form und Funktion: Abwägen von Designkompromissen und Prioritäten

Aufträge im Luft-/Raumfahrt- und Verteidigungsbereich sind fast ausnahmslos maßgeschneidert. Die Entwicklung elektronischer Systeme für jeden Anwendungsfall bringt eine Reihe von Anforderungen an Form und Funktion mit sich. Auch wächst der Druck hinsichtlich SWaP-C, da Entwickler immer mehr Funktionen auf immer kleinerem Raum bereitstellen müssen.

Dies ist nicht zu unterschätzen. Jeder Einzelfall erfordert eine sorgfältige Abwägung von Leistungsfähigkeit und Designkompromissen. Sowohl die EMI-Abschirmung als auch die Aufrechterhaltung der Signalintegrität wirken sich direkt auf die Formfaktoren aus. Eine verbesserte Abschirmung kann häufig die Größe, das Gewicht und die Kosten von Steckverbindern erhöhen. Sie



Präzise Messungen sichern engste Toleranzen und damit die Zuverlässigkeit elektronischer Komponenten.



Elektronik und Verbindungstechnik in Flugzeugturbinen müssen Vibrationen und extremen Belastungen standhalten.

kann zudem die Wärmeableitung beeinträchtigen und die Montage erschweren. Gleichzeitig können strengere Anforderungen an die Signalimpedanzsteuerung die Packungsdichte von Kontaktsystemen einschränken – beides hat erhebliche Auswirkungen auf eine gewünschte Miniaturisierung.

Viele Designs erfordern ein ausgefeiltes Routing, um Übersprechen und Signalverschlechterung über lange Distanzen zu reduzieren. Andere müssen etwa mehrere Eingänge in einem einzigen Steckverbinder zusammenführen, die sowohl Standardsignale als auch HF verarbeiten können. Daher sind Lösungen wie die „Molex AirBorn SInergy Mini-Modular High-Speed Hybrid Connectors“ entstanden, die Mixed-Signal- und Leistungsmodule in einer einzigen, kompakten Schnittstelle integrieren.

Kontaktsysteme: Das Herzstück des Steckverbinders

In jedem Steckverbinder befindet sich ein Kontaktsystem. Es ist für die Aufrechterhaltung der elektrischen Leitfähigkeit verantwortlich und ermöglicht den Strom- oder Signalfluss zwischen verbundenen Schaltkreisen oder Geräten. Daher spielen Kontaktsysteme eine entscheidende Rolle für die Leistungsfähigkeit des Steckverbinders und die Gesamtzuverlässigkeit des Systems.

Die Entwicklung eines leistungsfähigen Kontaktsystems erfordert eine Kombination aus Maschinenbau und Elektrotechnik, Signalintegritätsdesign und Materialwissenschaft. Zahlreiche Faktoren sind involviert: die Kontaktgeometrie, Federkonstruktion/-spannung, Wahl des Grundmaterials und der Beschichtung sowie Leitfähigkeit, Härte und Korrosionsbeständigkeit. Jeder Kontakt ist auf ein bestimmtes Maß an Normalkraft angewiesen, um seine Verbindungen aufrechtzuerhalten – abhängig von der jeweiligen Anwendung. In den meisten Fällen sind Signalverschlechterungen und mechanischer Verschleiß auf eine ungleichmäßige Kraftverteilung oder falsch ausgerichtete Kontakte zurückzuführen. Dies stellt insbesondere in der Luft-/Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie eine Herausforderung dar, da die Systeme großen Kräften und Vibrationen standhalten müssen.

Hier bieten Steckverbinder mit bis zu vier Kontaktpunkten, wie die High-Density-Serie AirBorn verSI von Molex, eine höhere Stabilität und Signalintegrität. Da diese Kontaktsysteme mechanische Belastungen bei Vibrationen und Stößen über redundante Kontaktpfade verteilen, sind sie besser in der Lage, eine unterbrechungsfreie Funktion zu gewährleisten. Dieser Fokus auf Zuverlässigkeit ist zu einem wesentlichen Aspekt des Steckverbinderdesigns im Luft-/Raumfahrt- und Verteidigungsbereich geworden, wo Ausfälle keine Option sind.

Fertigung: Präzision durch Automatisierung

Herausragendes Design muss mit exzellenter und konsistenter Fertigung einhergehen. Angesichts immer kleinerer Rastermaße, steigender Pin-Zahlen und enger Toleranzen trägt die Automatisierung dazu bei, die Wiederholbarkeit in der Fertigung zu gewährleisten. Sie stellt sicher, dass jede Komponente und jeder Steckverbinder jedes Mal auf die gleiche Weise gefertigt wird, was Schwankungen in der Fertigungsqualität minimiert.

Viele dieser Fertigungsprozesse werden zunehmend datengesteuert. Hersteller setzen immer häufiger auf digitale Zwillinge für die Gestaltung, Validierung und Optimierung von Arbeitsabläufen (noch vor der physischen Produktion) sowie für die vorausschauende Wartung und Fehlererkennung. Zusätzliche Technologien wie Röntgen-/CT-Bildgebung und -Inspektion werden

ebenfalls in der Fehlererkennung eingesetzt und fördern die Fertigungskonsistenz. Die gewonnenen Daten fließen dabei direkt in die Produktionsabläufe mit ein.

Dank solcher Technologien ermöglichen automatisierte Verfahren – wie Zerspanung, Stanzen, Galvanisieren, Formen und robotergestützte Montage – eine schnelle Produktion, senken die Arbeitskosten, optimieren die Materialausnutzung und reduzieren den Ausschuss.

Qualität: Gesichert

Jedes Bauteil, jedes Produkt und jedes System, das in Luft-/Raumfahrt- und Verteidigungsanwendungen zum Einsatz kommt, muss in jeder Phase nachweisbaren Prüfungen unterzogen werden. Es handelt sich um einen strengen Prozess, der von den Entwicklungsteams verlangt, stets auf dem neuesten Stand der entsprechenden Normen und Vorschriften zu bleiben. Und davon gibt es viele: IPC-620 Klasse 3 (einschließlich des Zusatzes für Raumfahrt), MIL-STD-202, MIL-STD-810, MIL-DTL-83513, MIL-STD-1344, NASA-STD-8739.4, NASA ASTM-E595, NASA EEE-INST-002, ECSS-E-ST-10-03C, IPC-A-610 Klasse 3 und AS9100. Die Einhaltung der MIL-SPECs (Spezifikationen) ist zudem mit umfangreichen Anforderungen an die Dokumentation und Rückverfolgbarkeit verbunden – oft bis hinunter zu Chargennummern der Rohmaterialien und einzelnen Fertigungsschritten. Dies ist entscheidend für Qualitätsaudits, Fehleranalysen und das Lebenszyklusmanagement.

Eine vernetzte Zukunft

Von Satelliten und unbemannten Luftfahrzeugen bis hin zu Ausrüstung für Soldaten und moderner Avionik: Luft-/Raumfahrt- und Verteidigungssysteme stellen immer höhere Anforderungen an die ihnen zugrundeliegende Elektronik. In diesen missionskritischen Anwendungen stehen Qualität und Zuverlässigkeit an erster Stelle und erfordern Konsequenz bei Designintegrität, Zusammenarbeit und fortschrittlicher Fertigungsautomatisierung. Letztlich wird die nächste Generation dieser Technologien nicht nur durch die Leistungsfähigkeit des Systems definiert, sondern auch durch die Integrität der verwendeten Komponenten und der Verbindungen, die sie zusammenhalten.

Um diesen steigenden Anforderungen gerecht zu werden, verstärkt Molex seinen Fokus in diesem Bereich weiter – unter anderem durch die kürzlich erfolgte Übernahme von Smiths Interconnect. Das Unternehmen ist auf robuste, kundenspezifische Steckverbinder, Kontakte, HF-Komponenten und optische Transceiver spezialisiert, die für den Einsatz in rauen Umgebungen ausgelegt sind.

MES THE CONNECTOR

Meisterliche Kreationen

Ein Genuss für Augen und Sinne: Hier wird nichts dem Zufall überlassen.
JETZT ENTDECKEN!

mes-electronic.de



CONEC · JST · Lumberg · ODU · WEIPU · HTP · DON CONNEX · METZ CONNECT · IMS CONNECTOR SYSTEMS · IRISO

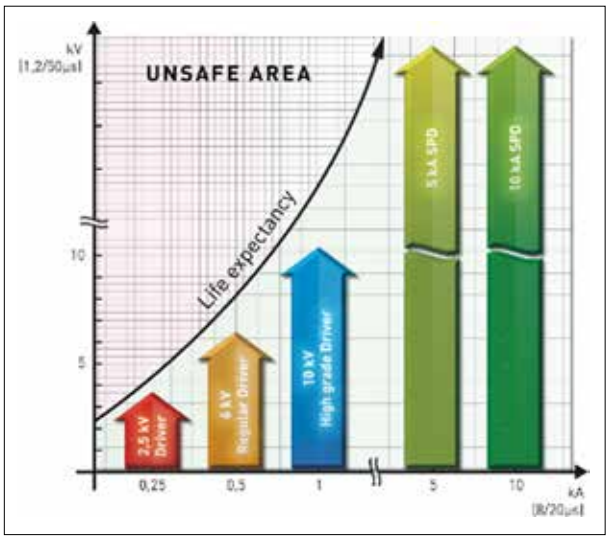
Warum Überspannungsschutz bis zum Endgerät reichen sollte

Schachmatt für Transienten

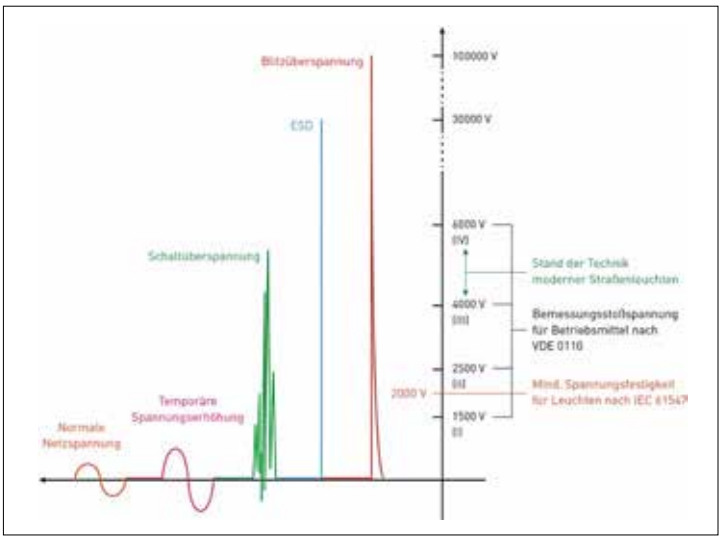
Elektronische Systeme sind heute in nahezu allen Bereichen auf eine zuverlässige Stromversorgung angewiesen. Allerdings können bereits sehr kurze Überspannungsimpulse Bauteile belasten, Fehlfunktionen verursachen oder Geräte vollständig außer Betrieb setzen. Der interne Schutz eines Schaltnetzteils reicht dabei nicht unter allen Bedingungen aus. Überspannungsschutzgeräte (SPDs) können deshalb insbesondere in kritischen Anwendungen eine wichtige zusätzliche Schutzstufe bilden.

TEXT: Frank Stocker, Schukat Electronic **BILDER:** Schukat/Citel; iStock, Olga Yastremska





Ausfallwahrscheinlichkeit von Schaltnetzteilen und SPDs mit einer definierten Surge Capability in Abhängigkeit von der Höhe der Überspannung.



Mögliche Ursachen für Überspannungen und deren Höhe sowie für die Bemessungsstoßspannung nach EN 60664-1 / VDE 0110.

In vielen elektrischen Geräten wandeln AC/DC-Schaltnetzteile die Netzspannung in die benötigte Systemspannung. Ihre Auslegung hinsichtlich Luftstrecken und Impulsfestigkeit bestimmt unter anderem, welcher Überspannungskategorie sie entsprechen und an welcher Stelle einer Elektroinstallation sie eingesetzt werden dürfen. Damit ist jedoch zunächst die Widerstandsfähigkeit gegen einen Spannungsdurchschlag bis zu einer definierten Impulsspannung beschrieben. Ob eine Stromversorgung einmalige oder wiederkehrende Überspannungsimpulse auch ohne elektrischen Defekt übersteht, ist damit nicht automatisch gewährleistet. Hersteller haben die Surge Capability, also die Fähigkeit von Netzteilen, Netztransienten zu widerstehen, zwar kontinuierlich verbessert. Aufgrund des komplexen Aufbaus eines Schaltnetzteils bleibt seine passive Widerstandsfähigkeit jedoch begrenzt. Deshalb lassen sich hohe Impulsenergien nicht in jedem Fall ausreichend ableiten. Hinzu kommt, dass intern als Feinschutz eingesetzte Ableiter auf Varistorbasis permanenten Leckströmen ausgesetzt sind und unter bestimmten Bedingungen vorzeitig altern können.

Kurze Impulse mit weitreichenden Folgen

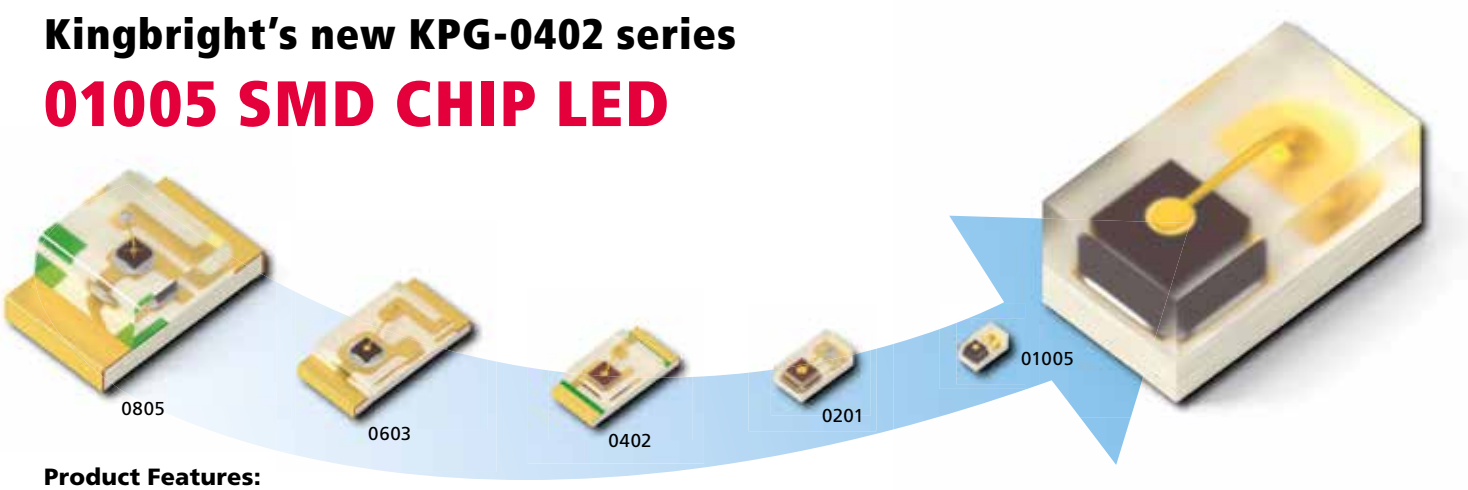
Transiente Überspannungen treten im Niederspannungs- oder Datennetz für wenige Mikrosekunden bis Millisekunden auf und unterscheiden sich erheblich in ihrer Stärke und Energie. Kleine Ereignisse bleiben häufig unbemerkt. Energiereiche Impulse

Kingbright

Quality Efficiency Innovation First-class service

Kingbright's new KPG-0402 series

01005 SMD CHIP LED



Product Features:
• 0.45 mm X 0.25 mm SMD LED, 0.2 mm thickness • Low power consumption • Wide viewing angle
• Compatible with automatic placement equipment • Moisture sensitivity level: level 2 • Halogen-free • RoHS compliant

Kingbright Electronic Europe GmbH • Lindenau 7 / Gewerbegebiet • D-47661 Issum • ✆ +49 (28 35) 44 46-0 • www.kingbright-europe.de



Aufbau des kompakten 2-poligen Typ-3-Überspannungsschutzes von Citel DAC15CS-11
GSG : Gasgefüllte Funkenstrecke
V: Hochleistungs-Varistorblock
Ft: Thermische Sicherung
t°: Thermische Trennvorrichtung
C: Fernsignalisierung
MI: Anzeige im Fehlerfall

können dagegen angeschlossene Geräte beeinflussen, beschädigen oder im schlimmsten Fall ein Sicherheitsrisiko darstellen. Zu den möglichen Folgen zählen Teil- und Komplettausfälle von Anlagen und Systemen. Weitere Folgen sind Durchschläge an Halbleiterübergängen sowie Schäden an Bonddrahtanschlüssen oder Leiterbahnen. Möglich sind außerdem ein undefinierter Betrieb von Logikgattern sowie Programm-, Daten- und Übertragungsfehler oder das Löschen von Speicherinhalten. Auch ohne unmittelbar sichtbaren Schaden ist es möglich, dass belastete Bauelemente eine verkürzte Betriebserwartung aufweisen. Die Ursachen solcher Spannungsspitzen sind vielfältig. Besonders bekannt ist der Blitzschlag. Während der Entladung fließen Impulsströme mit Spitzenwerten zwischen etwa 1.000 und 200.000 Ampere. Potentialanhebungen oder induktive Einkopplungen rufen dadurch Überspannungen von mehreren zehntausend Volt hervor. Bei einem Einschlag in eine Freileitung gelangen Stoßspannungen über die Leitungen bis zu angeschlossenen Geräten. Auch ein Einschlag in das Erdreich kann das Erdpotential anheben und abhängig von Stromstärke und Erdimpedanz elektrische Geräte in einem Radius von bis zu zwei Kilometern beeinträchtigen. Häufiger entstehen Überspannungen jedoch durch Vorgänge innerhalb des Energieversorgungsnetzes oder einer elektrischen Anlage. Dazu gehören beispielsweise das Schalten von Motoren, Transformatoren und anderen induktiven Lasten sowie das Auslösen von Sicherungen und Leitungsschutzschaltern. Zu den weiteren Ursachen zählen etwa auch defekte elektrische Betriebsmittel. Überspannungsereignisse bis 2 kV können durchschnittlich einige hundertmal pro Jahr auftreten; auch Impulse bis 6 kV sind mehrmals jährlich möglich. Gerade für elektronische Geräte und die darin verbauten Schaltnetzteile stellen solche wiederkehrenden Belastungen ein Risiko dar.

Überspannung dort begrenzen, wo sie wirkt

Bei Anwendungen, in denen ein Ausfall vermieden werden soll, sind deshalb zusätzliche Schutzmaßnahmen sinnvoll. Überspannungsschutzgeräte können hohe Impulsenergien ableiten und die Spannung begrenzen, bevor sie das zu schützende System erreicht. Für die Wirksamkeit spielt dabei der Einbauort eine wesentliche Rolle. SPDs sollten möglichst nah am jeweiligen Betriebsmittel installiert werden. Bei einem Netzüberspannungsschutz für eine Systemspannung von 230/400 V AC ist ein möglichst niedriger Schutzpegel von weniger als 1.500 V empfehlenswert. Für Datenleitungen hängt der erforderliche Schutzpegel von der jeweils verwendeten Datenschnittstelle ab.

Bei der Auswahl eines geeigneten SPDs ist nicht allein die Höhe einer möglichen Überspannung ausschlaggebend. Entscheidend ist insbesondere die Energie des Störimpulses und damit die maximale Energieaufnahme des Schutzgeräts. Darüber hinaus sind Typ, Einbausituation sowie die Risiken für Anlagen und Personen zu berücksichtigen. Übersteigt die Impulsenergie die Ableitfähigkeit des eingesetzten Schutzelements, kann dieses überlastet werden. Ist der Schutz anschließend nicht mehr sichergestellt, lösen integrierte Trennvorrichtungen aus. Sie trennen das SPD und abhängig von der jeweiligen Anwendung auch das zu schützende Gerät vom Stromnetz. Zusätzliche Auskunft über den Zustand des SPDs liefern auch Melde- und Signalvorrichtungen.

Mehrere Schutzstufen kombinieren

Je nach zu erwartender Überspannung und Installationsort kommen unterschiedliche SPD-Typen zum Einsatz. Typ 1 übernimmt die Funktion eines Blitzstromableiters. Kombinierte Geräte des Typs 1+2+3 können Blitzströme ableiten und zugleich vor schnell ansteigenden Überspannungen schützen. Typ 2 beziehungsweise Typ 2+3 wird zum Schutz vor Schaltüberspannungen und Feldeinkopplungen eingesetzt. Typ-3-SPDs dienen dem Mindestschutz.

Eine Schutzmaßnahme in der Unterverteilung schafft dabei eine erste Schutzstufe. Sie muss jedoch nicht in jeder Installation

ausreichen. Bei längeren Leitungswegen bis zum Verbraucher oder bei möglichen Störquellen innerhalb der Elektroinstallation empfiehlt sich ein weiterer Schutz unmittelbar am Betriebsgerät oder in dessen Nähe.

Das gilt vor allem dann, wenn ein System oder seine Stromversorgung nicht ausfallen darf, eine möglichst lange Betriebserwartung gefordert ist oder Wartung und Instandhaltung mit hohen Servicekosten verbunden sind. Auch bei Geräten, die im Freien oder in industrieller Umgebung betrieben werden, ist ein zusätzlicher Schutz am Endgerät sinnvoll.

Die passende Lösung finden

Für einen umfassenden Schutz sind neben Netz- auch vorhandene Datenleitungen einzubeziehen, da Überspannungen über beide Wege in ein System gelangen können. Entsprechend stehen SPDs für unterschiedliche Anwendungen und Montagesituationen zur Verfügung. Neben klassischen Geräten für die Hutschienenmontage gibt es Varianten für den Chassis-Geräteeinbau sowie Lösungen zur THT-Platinenmontage.

Eine anwendungsspezifische Lösung erfordert Knowhow und Expertise in der Auswahl und im Zusammenspiel der Komponenten. Hier bieten Partner wie der Distributor Schukat wertvollen Support durch technisch versierte Vertriebsteams, die Kunden mit fundiertem Produktwissen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg begleiten.

Aus einer breiten Auswahl führt Schukat electronic Überspannungsschutzgeräte von Citel für unterschiedliche Einsatzbereiche. Der Hersteller prüft und testet Komponenten wie gasgefüllte Funkenstrecken, Gasableiter und Überspannungsschutzgeräte in eigenen Laboren.

electronica
Halle C6.550

Driving the world

SEW EURODRIVE

**EIN Umrichter.
Viele Förderlösungen.**





NEU: MOVIONE® –
DER Umrichter für Ihre Förderanwendungen

Mit MOVIONE® erweitern wir unser dezentrales Umrichter-Portfolio des modularen Automatisierungsbaukastens MOVI-C®. Die intelligente Antriebseinheit, die den Takt vorgibt – einfach, optimiert, standardisiert.

Was macht MOVIONE® einzigartig?
- vielfältig einsetzbar mit IE3- und IE5-Motoren
- als integrierte Einheit oder wandmontiert
- kosteneffizient und einfach integrierbar

Ob Retrofit oder Neuanlage – MOVIONE® lässt sich nahtlos in bestehende Systeme einbinden.

www.sew-eurodrive.de



Moderne KI-IC-Designs erfordern umfassende HAV-Methoden

MEHR TEMPO FÜR DAS KI-CHIPDESIGN

Da künstliche Intelligenz (KI) immer mehr Daten immer schneller verarbeiten muss, setzen Entwicklungsteams auf hardwaregestützte Verifikation, um die derzeit fortschrittlichsten integrierten Schaltkreise (ICs) als Herzstück von KI-Systemen zu realisieren.

TEXT: Jürgen Jäger, Siemens EDA **BILDER:** Siemens EDA; iStock, Goodboy Picture Company

Mit HAV-Technologien können Anwender SoCs sowie die darauf ausgeführte Software entwickeln und schließlich eine vollständige Systemverifikation und -validierung durchführen. Die Emulation ist eine traditionelle, auf die Hardware-Verifikation ausgerichtete Technologie im Bereich HAV (Hardware-Assisted Verification – hardwareunterstützte Verifikation). Sie ermöglicht die Erstellung von Modellen eines bestimmten IC-Designs in RTL-Code (Register Transfer Level). Mithilfe dieses ausführbaren Modells können die Entwicklungsteams die Funktionalität ihres Designs umfassend analysieren, Fehler beheben und überprüfen, ob der Entwurf den Spezifikationen entspricht, bevor er in die Layout- und Fertigungsphase zur Herstellung des ICs weitergeleitet wird.

Eine neuere HAV-Technologie, die sogenannte FPGA-basierte Prototypenerstellung, verzichtet zugunsten einer höheren Ausführungsgeschwindigkeit auf einen Teil der Möglichkeiten zur Hardware-Analyse, die bei der Emulation gegeben sind. Dank einer 5- bis 10-fachen Leistungssteigerung gegenüber der Emulation ermöglicht das FPGA-Prototyping Software-Teams die Entwicklung von Firmware und sogar von Apps sowie die Durchführung von Systemvalidierungen mit auf dem Hardware-Design ausgeführter Software, noch bevor das IC-Design als Siliziumchip vorliegt. Anschließend können sie das IC-Design anpassen, um die Software- und Systemleistung zu optimieren. Die Ausführung des Designs auf Hardware ermöglicht es den Software-Teams zudem, frühzeitig mit der Entwicklung von Anwendungssoftware zu beginnen. Emulation und FPGA-basiertes Prototyping sind für Unternehmen von unschätzbarem Wert, um zuverlässigere Produkte schneller zu entwickeln. Dies ist besonders wichtig im Zeitalter der KI. Im Folgenden werden einige HAV-Methoden betrachtet, die heute bei den fortschrittlichsten KI-Designs zum Einsatz kommen. Grundlage dafür sind jahrzehntelange Erfahrung mit HAV-Technologien sowie die jüngste Einführung des hochmodernen Veloce CS-Systems von Siemens. Dieses umfasst das Emulationssystem Veloce Strato CS, das Enterprise-Prototyping-System Veloce Primo CS und das FPGA-basierte Prototyping-System Veloce ProFPGA CS.

Unersättlicher Bedarf an schnellerer KI mit größerer Funktionalität

Die Größe von Chip-Designs wird heute von der künstlichen Intelligenz bestimmt – sei es beim Training und bei der Ausführung generativer KI-Modelle, bei der Ansteuerung intelligenter Fahrzeuge oder der allgemeinen Intelligenzforschung. Modernste IC-Fertigungsverfahren und zunehmend auch 3D-ICs stillen den Hunger nach KI und treiben deren Wachstum voran. Der Großteil dieser



umfangreichen Entwicklungsprojekte wird nach wie vor von Unternehmen wie NVIDIA, AMD, Intel, Qualcomm usw. durchgeführt. Sie entwickeln CPUs und GPUs für Systemhersteller wie Cloud-Service-Anbieter, Rechenzentren, Hyperscaler und Automobilhersteller.

Für Chip-Hersteller ist das Produkt der Chip. Wenn dieser den Angaben im Datenblatt entspricht, ist er in Ordnung. Für einen Systemhersteller ist das Produkt das System selbst: der Chip auf einer Platine, auf dem der gesamte Software-Stack, von Treibern und Betriebssystemen bis hin zu Anwendungen, läuft. Systemhersteller müssen das integrierte System testen, nicht nur einzelne Module auf RTL-Ebene. Zum Beispiel muss das Team eines Cloud-Anbieters einen Beschleuniger für das Training generativer KI-Modelle entwickeln. Das Design beinhaltet einen Beschleuniger-ASIC – ein großes Array aus spezialisierten Vektorprozessoren und Speicherinstanzen, CPU- und DSP-Kernen sowie I/O-Schnittstellen mit hoher Bandbreite. Der große 3-nm-Chip verfügt über umgerechnet etwa 20 Milliarden Gatter. Dieser Chip befindet sich auf einer Serverplatine mit Hochgeschwindigkeitsspeicher, optischen Transceivern und einer Systemmanagement-CPU, die von einem Linux-Kernel gesteuert wird und mit KI-Entwicklungsframeworks sowie einem proprietären generativen KI-Tool ausgestattet ist. Der Entwicklungsplan verlangt, dass das RTL-Design des Vektorprozessors, die IP-Integration für den gesamten Chip sowie die Softwareentwicklung und -prüfung alle gleichzeitig beginnen und parallel ablaufen. Dieses Beispiel hebt einige spezifische Anforderungen für die Systeme hervor, bei denen der RTL-Code und die Software entwickelt und getestet werden. Das Ausmaß, in dem diese Bedürfnisse erfüllt werden, bestimmt sowohl die Einhaltung des Zeitplans als auch den Erfolg des Produkts.

apra®
Individuelle Gehäuse und Schränke

aus Metall, Kunststoff oder im Materialmix

für jede Branche & jede Anforderung

www.apra.de
electronica
Halle B3, Stand 363



Die Veloce CS-Suite entspricht dem neuesten Stand der Technik im Bereich der hardwaregestützten Verifikationstechnologie.

Zeit ist Geld

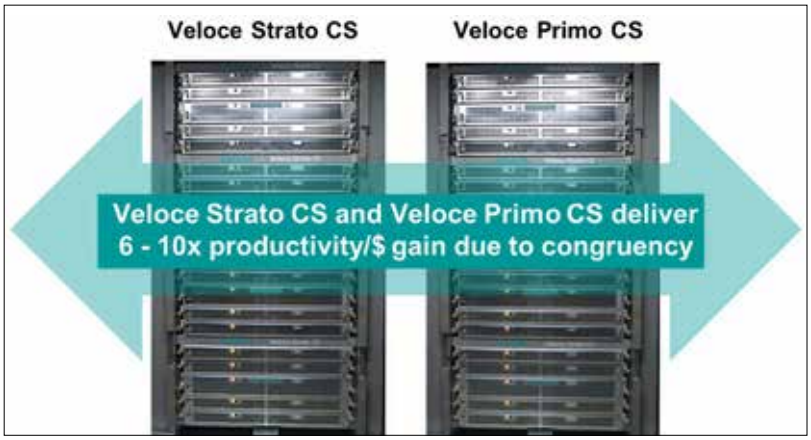
Die Einhaltung der Designpläne ist zwingend erforderlich. Für den Erfolg eines IC-Design-Unternehmens ist es entscheidend, als Erster mit einem hochmodernen KI-IC-Design auf den Markt zu kommen. Ebenso ist die Integration neuer KI-Funktionen für den Erfolg eines Systemherstellers von entscheidender Bedeutung. Ein hochmodernes HAV-System mit kompatibler FPGA-basierter Prototypenentwicklung und Emulation hilft Entwicklungsteams, ihre Effizienz zu maximieren. Der Austausch von Designs zwischen FPGA-Prototyping und Emulation über eine gemeinsame Schnittstelle mit einheitlichem Verhalten erlaubt den Teams die Optimierung ihrer Verifikations- und Validierungsmethoden.

HAV mit voller Designkapazität und feiner Auflösung

Heutige KI-Designs können aus mehreren zehn Milliarden Gattern bestehen. Es ist möglich, das Design zu partitionieren und edes Teilstück separat mit einer eigenen, isolierten Testbench zu testen. Tatsächlich beginnen die meisten Designs die IP-Entwicklung auf diese Weise. Bei der IP-Integration und der RTL-Verifikation auf Chip-Ebene werden die erforderliche Partitionierung und der Entwurf des Testbenchs zu einem riesigen Projekt. Es ist jedoch nicht garantiert, dass die Ergebnisse das Verhalten des gesamten Designs vorhersagen. Ein umfassendes RTL-Code-Debugging des gesamten IC-Designs kann ein Modell des gesamten Designs nicht ersetzen. Das Gleiche gilt für das Software-Team: Es gibt nichts Vergleichbares dazu, den gesamten Code-Stack auf dem vollständigen Chip-Modell ablaufen zu sehen. Emulations- und Prototyping-Systeme müssen daher in der Lage sein, das gesamte RTL-Design zu verarbeiten. Granularität ist ebenso wichtig. Das Hardware-Team könnte zunächst mit der Konzeption eines einzelnen Vektorprozessors beginnen, der nur einige zehn Millionen Gatter umfasst. Der Bedarf an Systemkapazität kann von da an weiter steigen, wenn das Team das Netzwerk aus Vektorprozessoren und Speicherinstanzen aufbaut, IP von Drittanbietern hinzufügt und mit der Verifizierung des Verhaltens des gesamten Chips beginnt. Ein vollständig skaliertes Emulationssystem ist möglicherweise nicht von Anfang an erforderlich. Das Gleiche gilt für ein Enterprise-Prototyping-System für das Software-Team. Im Zuge der Weiterentwicklung dieser Entwürfe wird jedoch ein vollständiges HAV-System erforderlich sein.

HAV-Leistung ist von größter Bedeutung

Leistung ist nicht verhandelbar und besteht aus zwei Komponenten: Ausführungs- und Kompiliergeschwindigkeit. Bei einem Emulationssystem legt die Ausführungsgeschwindigkeit fest, wie lange ein bestimmter Hardwaretest dauert. Diese Zeitverzögerung bestimmt, wie viele Möglichkeiten das Verifikationsteam bei der Erkundung des Verifikationsraums ausprobieren kann. Die Verifikation ist erst dann abgeschlossen, wenn die Zeit des Teams abgelaufen ist; die Ausführungsgeschwindigkeit bestimmt dabei die Tiefe der Verifikationsabdeckung. Beide Faktoren tragen zur Gesamtqualität des Designs und zur Einhaltung des Zeitplans bei. Die Kompiliergeschwindigkeit ist im frühen Teil der Verifikation wichtig, um eine schnellere Durchlaufzeit zu erzielen: kompilieren => ausführen => Fehler finden/beheben => kompilieren => validieren. Beim Enterprise-Prototyping-System ist die Ausführungsgeschwindigkeit entscheidend dafür, ob es praktikabel oder überhaupt möglich ist, vollständige Software-Workloads auf dem vollständigen RTL-Modell auszuführen. Bei extrem großen Designprojekten ist die gemeinsame Nutzbarkeit ebenso entscheidend. HAV-Systeme sollten in der Lage sein, mehrere, über den ganzen Globus verstreute Gruppen zu unterstützen. Logischerweise sollten sie in einem Unternehmensrechenzentrum untergebracht sein, das als Knotenpunkt der schnellsten und sichersten Unternehmensnetzwerke dient. Die Systeme sollten mehrere Designprojekte unterstützen können und für IT-Organisationen einfach in Unternehmensrechenzentren zu installieren und zu betreuen sein. Ein weiterer Aspekt betrifft die Arbeitsweise dieser erweiterten Designteams. In der Praxis arbeiten



Es ist unerlässlich, dass Emulation und Prototyping nicht nur übereinstimmende Ergebnisse liefern, sondern auch eine Schnittstelle bieten, um die Designproduktivität zu optimieren.

RTL-Entwicklungs- und Softwareentwicklungs-Teams interaktiv und parallel zusammen. Wenn das Enterprise-Prototyping-System des Software-Teams einen Fehler entdeckt, können sich die Softwareentwickler mit dem Hardware-Team zusammensetzen, um mithilfe des Emulationssystems die Ursache zu finden. Es ist unerlässlich, dass die Emulations- und Prototyping-Systeme dasselbe RTL-Modell verwenden und dass es sich auf beiden Systemen gleich verhält. Jegliche Diskontinuität in der Benutzeroberfläche, in der Art und Weise, wie Befehle ausgeführt werden, oder in der Darstellung von Daten zwischen den beiden Systemen verursacht Verzögerungen und erhöht die Fehleranfälligkeit. Angesichts der Bedeutung und Schwierigkeit dieser Anforderungen lohnt es sich für Unternehmen, zu prüfen, welcher HAV-Anbieter das umfassendste System hat, das zudem den wachsenden Anforderungen des KI-Marktes gerecht werden kann. So bietet etwa Siemens EDA mit der Veloce CS-Suite einen sehr umfassenden und stark integrierten HAV-Workflow.

electronica
Halle B5.338



PIC18-Q35: Rechenleistung trifft programmierbare Logik

Kein CPU-Overhead, maximale Flexibilität

Die Mikrocontroller der Reihe PIC18-Q35 ermöglichen intelligentere und effizientere Embedded-Systeme, indem sie hohe Rechenleistung mit auf dem Chip integrierter programmierbarer Logik kombinieren. Über den integrierten Configurable Logic Block (CLB) mit 128 grundlegenden Logikelementen lassen sich kundenspezifische Peripherie- und Timing-Funktionen mit einbinden – ganz ohne externe Logik-ICs.

Entlasten Sie Ihre CPU von der Echtzeitsteuerung und erzielen Sie echtes deterministisches Verhalten – selbst in anspruchsvollsten Industrie-, Fahrzeug- und IoT-Anwendungen.

MICROCHIP

microchip.com/pic18-q35

Der Name Microchip und das Microchip-Logo sind eingetragene Marken von Microchip Technology Incorporated in den USA und in anderen Ländern. Alle anderen Marken sind im Besitz der jeweiligen Eigentümer.
© 2026 Microchip Technology Inc. Alle Rechte vorbehalten.
MEC2649A-GER-07-26

Digitaler Wandel mit FORTEC-Lösungen

Die FORTEC Group steht beispielhaft für die erfolgreiche Transformation vom traditionsreichen, mittelständischen Unternehmen zum international ausgerichteten Technologie- und Systemanbieter. FORTEC verbindet Datenvisualisierung und Stromversorgung zu leistungsfähigen, individuellen Gesamtlösungen.

TEXT: FORTEC Group **FOTOS:** FORTEC



Start mit Halbleitern

1984 – Firmengründung
FORTEC wurde 1984 von vier Gründern, darunter Dieter Fischer, in Aschheim gegründet und vertrieb zunächst Halbleiter und Power Supplies in Europa.

1992 – Neue Produkte
Mit der Übernahme der MICROSCAN Vertriebs GmbH wird das Distributionsgeschäft erweitert. Der Schwerpunkt liegt auf Halbleitern und NEC-Displays.


Netzteile, Halbleiter und Panels dominieren das Geschäft


Ausbau der Aktivitäten bei Stromversorgungen



1998 – Ausbau neuer Geschäftsfelder
FORTEC beginnt mit dem Aufbau des Bereichs **Embedded Computing**. Im selben Jahr wird durch die Übernahme von **Emtron** der Einstieg in den Stromversorgungsmarkt deutlich vorangetrieben.

1984 1990 1992 1995 1998 2000



Börsengang 1990

1990 – Börsengang
FORTEC wird in eine Aktiengesellschaft umgewandelt und geht im Mai desselben Jahres an die Börse. Damit wird eine wichtige Grundlage für das weitere Wachstum des Unternehmens geschaffen.

1995 – Distribution NEC-Displays
FORTEC baut das Geschäft mit **NEC-Displays** weiter aus und entwickelt sich in den folgenden Jahren zu einem bedeutenden europäischen Distributor für NEC.


FORTEC entwickelt sich zum größten Distributor von NEC-Displays.

2000 – Strategischer Fokus auf Value Add
Mit der Übernahme der ALTRAC erfolgt eine Markterweiterung in die Schweiz. Der strategische Fokus wird auf Value Add und Systemkonfiguration ausgerichtet.

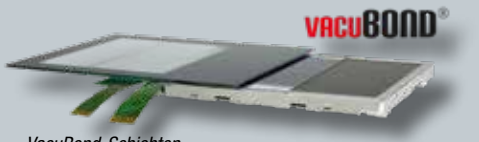
FORTEC bündelt in den Segmenten Datenvisualisierung und Stromversorgungslösungen komplementäre Technologien für anspruchsvolle industrielle Anwendungen. Durch gezielte Verknüpfung von Displays, Touch-Systemen, Embedded Computing, Leistungselektronik und Stromversorgung entstehen skalierbare Subsysteme und integrierte Gesamtlösungen, die exakt auf die Spezifikationen und Einsatzbedingungen der Kunden abgestimmt sind.

Das Leistungsspektrum reicht von der Komponentenauswahl und technischen Beratung über Hardware- und Softwareentwicklung, Konstruktion und Fertigung bis zur Systemintegration. Eigene Engineering-Ressourcen ermöglichen es, standardisierte Technologien kundenspezifisch anzupassen und robuste, serienfähige Lösungen für hochkomplexe Anforderungen zu realisieren.

Unsere Kunden profitieren besonders vom breiten Technologieportfolio, kurzen Entwicklungswegen und durchgängiger Kompetenz entlang des Produktlebenszyklus. Schnittstellen, elektrische und

2007 – Awards
Spätere Meilensteine der Zusammenarbeit mit NEC sind: **2007** - größter NEC-Distributor in Europa; **2012** - Distribution Award; **2013** - „Best Performing Long Term Distributor".



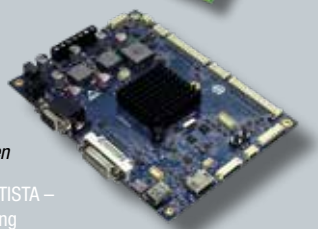


VacuBond-Schichten

2013 – VacuBond startet
Gemeinsam mit der japanischen Taica-Gruppe entwickelt FORTEC den eigenen VacuBond® Optical-Bonding-Prozess. Vakuum-Bonding erzielt eine optisch besonders hochwertige, nahezu fehlerfreie Verbindung und gewährleistet langfristige Materialstabilität ohne Vergilbung. Etablierung in den USA und Deutschland bei Distec.


VacuBond-Effekt


Inhouse entwickelte Mediaplayer in Verbindung mit Raspberry Pi – IoT-Karte


Inhouse entwickelte Video-Controller-Karten in vielen Ausprägungen für diverse Anwendungen

2015 – PRISMA und ARTISTA – eigene Kartenentwicklung
Die FORTEC Integrated GmbH entwickelt seit 2002 ein weites Spektrum an **Lösungen zur einfachen Ansteuerung von TFT-Displays:** TFT-Controller und passende Software sowie Netzwerk- und USB-fähige Mediaplayer. Die Produktion erfolgt in Deutschland und den USA ausschließlich auf industriellem Qualitätsniveau.

2007

2007 – Einstieg bei Railway Stromversorgungen
AUTRONIC wird 1973 gegründet, 1996 um Alltronic/CZ erweitert und ist ab 2007 Teil der FORTEC-Gruppe. Ausbau der **Entwicklungskompetenz** für Stromversorgungen sowie Einstieg in den **Railway-Markt**.

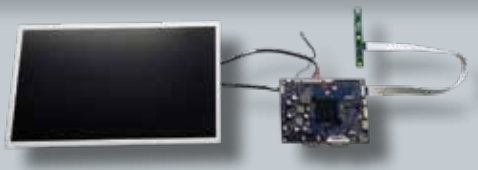

Einstieg bei Railway-Stromversorgungen

2013


Inhouse entwickelte Monitorserien wie POS-PRO



2015


Display Kits von Distec und Embedded Micro-ITX Board von Asus

2015 – Stärkung der Datenvisualisierung
Mit der Übernahme von **50 % der DATA DISPLAY GROUP** stärkt FORTEC ihre Position im Bereich Datenvisualisierung. Die Gruppe bringt umfassende Kompetenzen in **Displays, TFT-Controllern, Optical Bonding und kundenspezifischen Systemlösungen** sowie Standorte in Deutschland, Tschechien, Großbritannien und den USA ein.

mechanische Architektur, thermisches Management sowie funktionale Anforderungen werden frühzeitig aufeinander abgestimmt. Das reduziert Integrationsrisiken und erhöht Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Systeme. Die technologische Verzahnung der beiden Segmente schafft eine Plattform für modulare und anwendungsspezifische Lösungen aus einer Hand. FORTEC adressiert damit insbesondere regulierte und sicherheitskritische Märkte wie Medizintechnik, Verteidigung, Bahn- und Verkehrstechnik sowie maritime Anwendungen. Im Fokus stehen hohe Leistungsdichte, präzise Datenvisualisierung, Langzeitverfügbarkeit, normgerechte Auslegung und belastbare Funktion unter anspruchsvollen Bedingungen.

Interdisziplinäre Engineering-Teams übersetzen Kundenanforderungen in tragfähige Systemarchitekturen und begleiten Projekte von der Spezifikation bis zur Serienproduktion. So verbindet FORTEC technologische Exzellenz mit zuverlässiger Umsetzung und schafft zukunftsfähige Lösungen, die sich flexibel weiterentwickeln lassen.

2017 – Vollständige Übernahme

FORTEC übernimmt die DATA DISPLAY GROUP und integriert die Unternehmensgruppe vollständig in den Konzern. Damit stärkt FORTEC den Geschäftsbereich Datenvisualisierung und erweitert seine Kompetenzen in den Bereichen Displays, Touch-Lösungen, Optical Bonding und industrielle Monitore.



FORTEC-4K-Industrie-Monitore mit direkt angesteckter PC-Box, Inhouse-Entwicklung



FORTEC Konzept-Monitor für kundenspezifische Projekte im Bereich Medical



FORTEC Box-PC mit Single-Kabel-Lösung USB-C, Inhouse-Entwicklung



Fortec Development Center Egypt in Kairo mit einem Team von Ingenieuren

2024 – Technologiecluster in Kairo

Gründung von FORTEC Egypt bei Kairo. Der neue Standort stärkt die Hard- und Softwareentwicklung und unterstützt zugleich den Marktzugang in der MENA-Region.

2017 2019 2024 2025

2019 – BLO-Line®

Die unabhängige Prüfung durch ein Ingenieurlabor bestätigt: **FORTEC Brandschutz-Monitore** erfüllen die Anforderungen der höchsten Brandschutzklasse A1. Unsere BLO-Line-Monitore erzeugen im Brandfall keine Rauchgase und erhöhen nicht die Brandlast – ihre Eigenschaften sind damit vergleichbar mit Baustoffen wie Beton, Stahl und Ziegel.



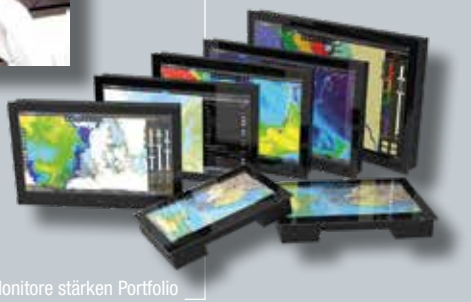
zertifizierter Brandschutzmonitor 4K, 55“



zertifizierte Brandschutz-Stele 4K, 55“



Beispiel für Multi-Display-Lösung mit Ein-Glas-Front



Zertifizierte und geprüfte Monitore für harte Einsatzbedingungen in Marine, Defence und Industrie

2025 – Marine-Monitore stärken Portfolio

Mit der Übernahme des niederländischen Herstellers Nottrot B.V. steigt FORTEC in den maritimen Markt für Datenvisualisierung ein. Gleichzeitig wird das Portfolio um robuste Monitorlösungen für maritime, militärische und industrielle Anwendungen erweitert.



Interview: Strategien für nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit

One Partner – Unlimited Technology Solutions

Technologische Kompetenz allein reicht heute nicht mehr aus. Kunden erwarten Partner, die ihre Anforderungen verstehen, unterschiedliche Technologien zusammenbringen und Lösungen über den gesamten Produktlebenszyklus begleiten. Michael Spatny, Vorstand und COO der FORTEC Elektronik AG, spricht darüber, wie sich FORTEC vom Produktspezialisten zu einem internationalen System- und Lösungspartner weiterentwickelt.

DAS INTERVIEW FÜHRTE: Bernhard Haluschak, E&E **BILD:** FORTEC

FORTEC blickt auf mehr als 40 Jahre Unternehmensgeschichte zurück – vom Produktspezialisten hin zum System- und Lösungspartner. Wie hat sich in dieser Zeit der Anspruch an das Unternehmen verändert und was ist gleich geblieben?

Was gleich geblieben ist, sind unser technologischer Anspruch und die Nähe zum Kunden. FORTEC steht seit jeher für technische Kompetenz, Qualität und Verlässlichkeit. Verändert hat sich vor allem die Komplexität der Anforderungen. Heute geht es stärker darum, unterschiedliche Technologien miteinander zu verbinden und daraus Gesamtlösungen zu entwickeln. Kunden suchen einen Partner, der ihre Anwendung versteht, Verantwortung übernimmt und sie von der ersten Idee über Entwicklung und Integration bis zur Serienfertigung und langfristigen Versorgung begleitet. Dafür bringen wir unser Know-how in den Bereichen Power, Display und Embedded Computing konsequenter zusammen. So entstehen aus einzelnen Technologien integrierte Lösungen. Entscheidend ist dabei, für den Kunden die technologisch und wirtschaftlich richtige Lösung zu realisieren.

Kunden erwarten heute nicht nur innovative Produkte, sondern zunehmend komplette Lösungen, kurze Entwicklungszeiten und langfristige Versorgungssicherheit. Wie stellt sich FORTEC auf diese neuen Anforderungen ein?

Innovation allein reicht heute nicht mehr aus. Entscheidend ist, wie schnell und zuverlässig daraus eine marktfähige und langfristig verfügbare Lösung wird. Gerade in Märkten wie Medizintechnik, Industrie oder Transportation sind die Produktlebenszyklen häufig lang. Deshalb betrachten wir den gesamten Lebenszyklus einer Kundenlösung und bringen unsere Erfahrung möglichst früh in die Entwicklung ein. Wenn Display, Embedded Computing und Power aus einer Hand gedacht werden, reduzieren wir Schnittstellen und Komplexität. Ebenso wichtig sind aktives Supply-Chain-Management, vorausschauende Komponentenstrategien, Second-Source-Konzepte und eine langfristige Lifecycle-Betrachtung. Unser Ziel ist, Lösungen zu schaffen, die funktionieren, verfügbar bleiben und sich über viele Jahre erfolgreich einsetzen lassen.

Internationalisierung bedeutet für FORTEC sowohl neue Kunden und Märkte als auch global aufgestellte Liefer- und Wertschöpfungsketten. Welche Rolle spielt diese internationale Aufstellung für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit?

Internationalisierung ist für uns mehr als die Erschließung neuer Absatzmärkte. Unsere Kunden sind zunehmend global aufgestellt und erwarten, dass ihre Technologiepartner ihnen folgen können. Europa bleibt unsere starke Basis, gleichzeitig sehen wir insbesondere in Nordamerika weiteres Potenzial. Die internationale Aufstellung stärkt zudem unsere Resilienz. Verteilen sich Beschaffung, Produktion und technologische Kompetenz sinnvoll über mehrere Regionen, können wir flexibler auf Lieferengpässe oder geopolitische Veränderungen reagieren. Entscheidend ist dabei, Wissen und Technologien international besser zu vernetzen. So verbinden wir die Agilität und Kundennähe eines mittelständischen Technologieunternehmens mit den Möglichkeiten einer international aufgestellten Gruppe.

STROMVERSORGUNG: LOW-RIPPLE-NETZTEILE STEIGERN KLANGNATÜRLICHKEIT

Höchste Präzision gefragt

High-End-Audio ringt seit Jahrzehnten um die letzten Details, um Konzertsaal-Magie oder Rock'n'Roll-Energie ins Wohnzimmer zu holen. Lyravox zeigt, dass selbst die Stromversorgung dabei entscheidend ist, und setzt auf präzise Low-Ripple-Netzteile.

TEXT: Dr. Götz Martin von Laffert, Lyravox & Roman Reimer, Burger Engineering **BILDER:** Burger Engineering; iStock, spukkato

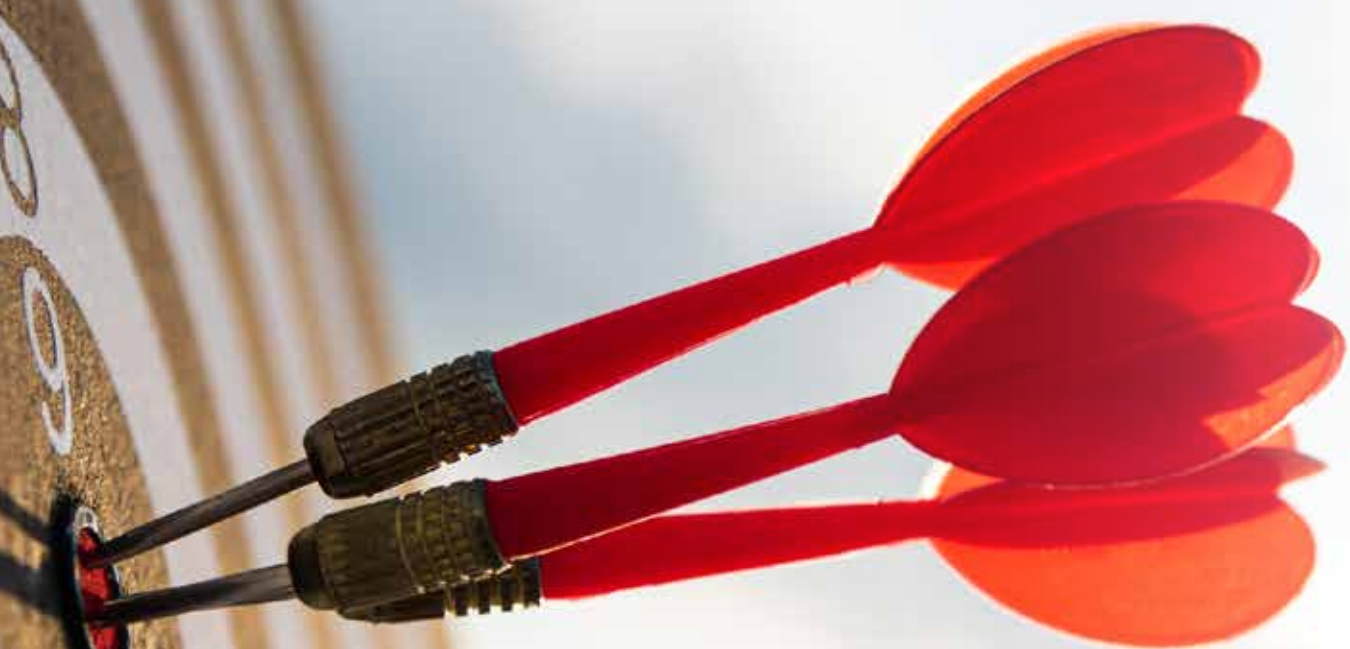
Von Wandler-Topologien über Taktarchitekturen und Leiterplattenlayouts bis hin zu monokristallinen Kabeln wird im High-End-Audio auf einem Niveau entwickelt, das an Grundlagenforschung erinnert. Lyravox, ein Hamburger Hersteller von vollintegrierten, aktiv betriebenen Audiosystemen, bewegt sich in diesem Umfeld der stetigen Verfeinerung, in dem jedes technische Detail zählt. Ein Bereich blieb jedoch lange traditionsgebunden: die Stromversorgung. Linearnetzteile galten lange als einzige Option für besonders saubere, störarme Spannungen. Moderne Schaltnetzteile erreichen jedoch inzwischen vergleichbar niedrige Störpegel bei höherer Effizienz und kompakterer Bauweise.

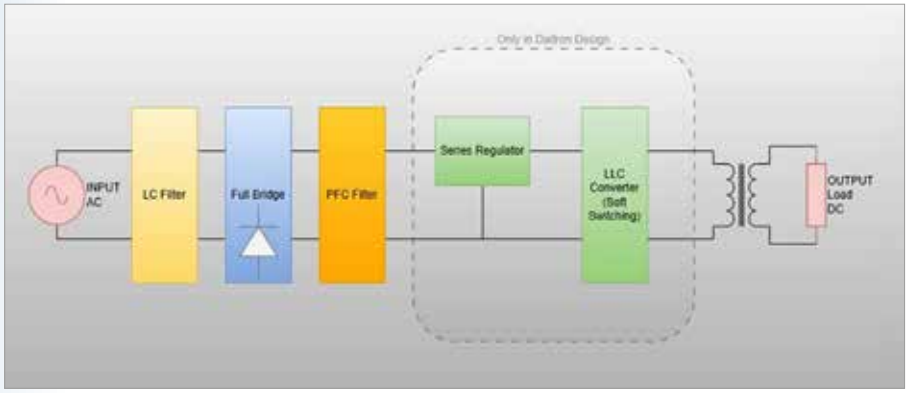
Viele Hersteller halten dennoch bis heute an den klassischen Konzepten fest, nicht aus technischer Überzeugung, sondern weil ein großer Trafo im Zentrum des Geräts als Symbol für Qualität galt und mitunter noch immer gilt. In der Rückschau zeigt sich: Dieses Festhalten war weniger physikalisch begründet als kulturell – Ausdruck von Gewohnheit und Symbolik, nicht von technischer Notwendigkeit. Mit der zunehmenden Komplexität in Industrie und Forschung haben sich auch Schaltnetzteile deutlich weiterentwickelt. Heute kommen spezialisierte Low-Ripple-Versorgungen in zahlreichen Präzisionsbereichen zum Einsatz, etwa bei der Synchronisation von Lasersignalen oder der Versorgung von Computertomographen.

Das Entwicklerteam griff diese Entwicklung früh auf und übertrug die bewährte Low-Ripple-Technologie auf seine Streamer- und Phono-Konzepte, mit Fokus auf Ruhe, Dynamik und feinste Detailauflösung. Mittlerweile wird bei Lyravox die Stromversorgung sogar als eigenständige Disziplin verstanden und im Zusammenspiel mit Signalpfad und EMV gezielt optimiert.

Von klassischen Konzepten zur Low-Ripple-Architektur

Bevor Lyravox sich endgültig auf ein neues Konzept der Stromversorgung





Topologie-Vergleich: Hard-Switching im klassischen Schaltnetzteil gegenüber Soft-Switching mit LLC-Resonanz und seriellem Post-Regler im Daitron-Design.

festlegte, wurden verschiedene Netzteiltypen systematisch miteinander verglichen, intern im Labor und mit externen Hörern in unterschiedlichen Setups. Das Ziel war keine ideologische Abkehr vom Linearnetzteil, sondern eine hör- und messbare Verbesserung im Gesamtsystem. In den Tests standen klassische Linearnetzteile, herkömmliche Schaltnetzteile und spezialisierte Low-Ripple-Schaltnetzteile mit nachgeschalteter LC- oder LDO-Regelung gegeneinander – darunter auch Netzteile von Daitron, die ursprünglich für Präzisionsanwendungen entwickelt wurden und sich durch besonders rauscharme, laststabile und thermisch konstante Eigenschaften auszeichnen.

Die Messungen und Hörvergleiche zeigten, dass Low-Ripple-Schaltnetzteile mit zusätzlicher Nachregelung insbesondere bei drei Kriterien Vorteile bieten: einem breitbandig geringeren Störpegel, einem stabileren Verhalten bei Lastsprüngen sowie einer höheren thermischen Konstanz. Diese Faktoren sind entscheidend für eine stabile Signalverarbeitung in empfindlichen Systemen und gaben letztlich den Ausschlag für die Umstellung der Stromversorgungsplattform.

Während klassische Linearnetzteile vor allem durch ihre einfache Struktur und geringe hochfrequente Störungen überzeugen, stoßen sie bei Dynamik und Regelgeschwindigkeit an Grenzen. Moderne Low-Ripple-Schaltnetzteile mit nachgeschalteter linearer Regelung kombinieren hingegen schnelle Regelung mit sehr niedrigen Reststörungen und ermöglichen so eine stabilere Versorgung auch unter dynamischen Lastbedingungen.

Ringkerntrafo und Low-Ripple-SMPS

Ringkerntransformatoren sind im High-End-Audiobereich aus gutem Grund weit verbreitet. Ihr geschlossener Magnetkreis hält das Streufeld gering, der niedrige Innenwiderstand und die geringe Streuinduktivität sorgen für eine gute Spannungsregulation unter dynamischer Last, und das Störspektrum konzentriert sich im Wesentlichen auf die Netzfrequenz und deren Oberwellen - ein Bereich, der sich mit konventionellen Siebmitteln gut beherrschen lässt. In sorgfältig ausgelegten Linearnetzteilen mit nachgeschalteter Regelung lassen sich so sehr saubere Versorgungsspannungen realisieren.

Hier setzt der Vergleich an. Es geht nicht darum, den Ringkerntrafo grundsätzlich infrage zu stellen, sondern darum, beide Topologien anhand der im Signalpfad relevanten Parameter zu bewerten: breitbandiges Rauschverhalten, Verhalten bei Lastsprüngen, thermische

FRIZLEN
LEISTUNGSWIDERSTÄNDE
POWER RESISTORS

MASCHINE STOP!



ENERGIE RAUS.

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

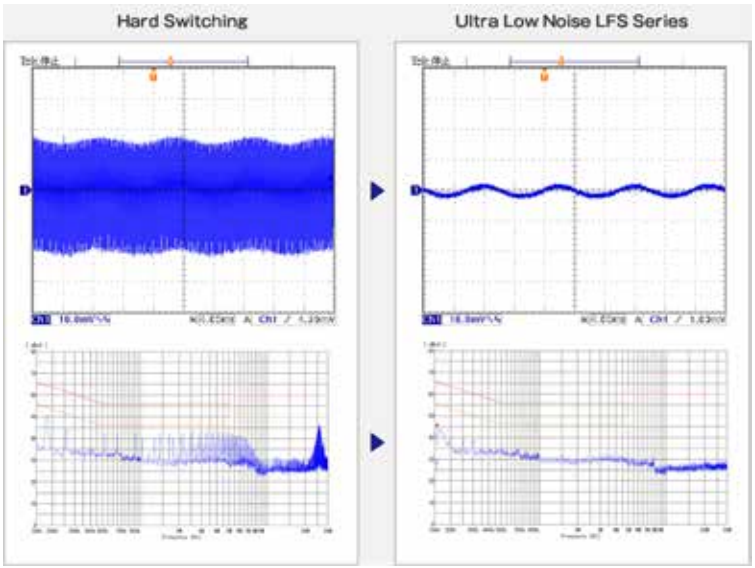
- Leistungen von 10 W bis 500 kW
- Bis IP67, mit UL / CE

FRIZLEN Leistungswiderstände

- Belastbar
- Zuverlässig
- Made in Germany

100 JAHRE DYNAMIK DURCH WIDERSTAND

Tel. +49 7144 8100-0
www.frizlen.com



Vergleich Ausgangsripple: Klassisches Schaltnetzteil (links) und Daitron RFS50A (Superior Ultra Low Noise) (rechts), gemessen unter vergleichbaren Bedingungen.

Stabilität sowie Common-Mode-Anteile. Ein klassisches Schaltnetzteil ist in dieser Betrachtung nur bedingt vergleichbar. Seine harten Schaltflanken führen zu Ringing und damit zu einem breiten Störspektrum bis in den MHz-Bereich, das sich insbesondere in empfindlichen Signalpfaden negativ auswirken kann. Die im Anwendungsfall eingesetzten Daitron-Netzteile arbeiten hingegen mit einer LLC-Resonanztopologie und Soft Switching nahe dem Spannungs- bzw. Stromnulldurchgang (ZVS/ZCS). Ein zusätzlicher serieller Post-Regler unterdrückt verbleibende Restwelligkeit bzw. Ripple. Dadurch entstehen weiche Schaltflanken, ein deutlich reduziertes Ringing und Ripple-Werte, die je nach Modell bei rund 10 mV (LFS-Serie) bzw. unter 1 mV (RFS-Serie) liegen und damit in der Größenordnung gut ausgelegter Linearnetzteile.

In den Lyravox-internen Vergleichstests zeigten sich daraus drei praxisrelevante Unterschiede zugunsten des Low-Ripple-SMPS-Konzepts mit zusätzlicher LDO- oder LC-Nachregelung: ein über einen breiteren Frequenzbereich niedrigerer Störpegel und ein stabileres Verhalten bei schnellen Lastsprüngen sowie eine höhere thermische Konstanz, da die Verlustleistung deutlich geringer ausfällt. Der Ringkerntrafo bleibt im engen Netzfrequenzband eine sehr saubere Lösung, zeigt jedoch bei hochfrequenten Lastwechseln und in der thermischen Stabilität systembedingte Grenzen. Die Entscheidung für die Low-Ripple-Plattform ist daher kein grundsätzlicher Ersatz des Ringkerntrafos, sondern das Ergebnis einer systematischen Abwägung über das für die Audiowiedergabe relevante Frequenzspektrum und Lastprofil hinweg.

Typische Einsatzumgebungen für Low-Ripple-Schaltnetzteile

Für die Feinanpassung und Integration des Daitron-Netzteils arbeitete Lyravox eng mit Burger Engineering zusammen, seit Jahren spezialisiert auf Low-Noise-Schaltnetzteile und kundenspezifische Stromversorgungslösungen. Ziel war es, die rauscharme und laststabile Versorgung optimal in die Audioarchitektur einzubinden und auf klangliche Aspekte wie Ruhe, Dynamik und Detailauflösung abzustimmen.

Daitron-Netzteile wurden speziell für Einsatzumgebungen entwickelt, in denen Timing-Stabilität, Referenzruhe und EMV-Sauberkeit nicht optional, sondern zwingend sind, etwa in Takt- und PLL-Stufen von Messgeräten oder bildgebenden Systemen. Sie werden typischerweise in Bereichen wie Lasermesstechnik oder bildgebender Diagnostik eingesetzt, wo maximale Referenzruhe und Gleichtaktunterdrückung essenziell sind – und genau diese Parameter sind im High-End-Audio entscheidend für Klangruhe, Mikrodynamik und Raumabbildung.

In der praktischen Anwendung zeigte sich, dass die Topversion der Daitron-Netzteile – die 1-mV-Variante – in der Phono-Vorstufe klangliche Vorteile bringt, während sie bei Serveranwendungen keinen zusätzlichen Nutzen bietet, da dort ohnehin eine weitere Aufbereitung der Versorgungsspannung erfolgt. Mit dem neuen Low-Ripple-Konzept überträgt Lyravox Technologien aus Forschung und Messtechnik auf das audiophile Umfeld und schafft damit die Grundlage für mehr Natürlichkeit, Ruhe und Präzision im Klangbild.

Den vollständigen Beitrag finden Sie über den Link im QR-Code oder unter: industr.com/2924266

inpotron
activates your best



inpotron Geschäftsleitung am Hauptsitz in Hilzingen

Kontakt
inpotron Schaltnetzteile GmbH
Hebelsteinstraße 5
78247 Hilzingen, Germany
T +49 7731 9757-0
info@inpotron.com
www.inpotron.com

GRÜNDUNGSJAHR

1997

MITARBEITER

rund 235

STANDORTE

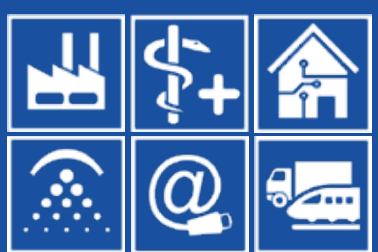
- D-78247 Hilzingen (Hauptsitz)
- D-09112 Chemnitz (Niederlassung)

PORTFOLIO

- AC/DC, DC/DC, UPS, Ladegeräte
- PCB, open frame, komplett montiert
- 0,5 W – 3 KW
- Zertifiziert nach DIN ISO 9001 / ISO 14001

BRANCHEN

- Industrie
- LED-Beleuchtung
- Datentransfer und Kommunikation
- Gebäudesystemtechnik
- Medizin
- Transport und Verkehr



Märkte und Branchen

Stromversorgungslösungen: maßgeschneidert.
inpotron entwickelt und fertigt seit über 25 Jahren kundenspezifische Schaltnetzteile und Stromversorgungslösungen – 100 % Made in Germany. Rund 235 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter verbinden umfassendes Fachwissen in der Leistungselektronik mit langjähriger Entwicklungserfahrung und moderner Fertigungstechnologie. So entstehen Lösungen, die exakt auf die technischen, mechanischen und wirtschaftlichen Anforderungen der jeweiligen Anwendung abgestimmt sind. Mehr als zwölf Millionen gefertigte Netzteile seit der Unternehmensgründung stehen für Erfahrung und Kontinuität.

Zusammenarbeit: partnerschaftlich.
Im Mittelpunkt steht der konkrete Bedarf des Kunden. Von der ersten Idee über Beratung und Entwicklung bis zur Serienfertigung arbeiten die Experten von inpotron eng mit ihren Kunden zusammen. Kurze Wege und die Bündelung wesentlicher Kompetenzen unter einem Dach ermöglichen effiziente Abläufe und Lösungen mit echtem Systemnutzen.

Leistungselektronik: individuell.
Ob AC/DC- oder DC/DC-Stromversorgung, USV oder Ladegerät - als PCB, Open Frame oder Komplettgerät: inpotron entwickelt individuelle Lösungen für unterschiedlichste Anwendungen. Beratung, Entwicklung, Konstruktion, Einkauf, Produktion, Prüfung und Logistik werden aus einer Hand angeboten. Hohe Fertigungstiefe und umfassende Prüfungen sichern Qualität und langfristige Verfügbarkeit.

Entwicklung und Fertigung: aus einer Hand.
Die Fertigung in Deutschland, eine hohe Fertigungstiefe und umfassende Qualitätsprüfungen unterstützen eine gleichbleibend hohe Produktqualität und langfristige Verfügbarkeit. Ein eigenes EMV-Labor und die frühzeitige Berücksichtigung technischer und normativer Anforderungen begleiten die Entwicklung bis zur Serienreife.

Qualität und Sicherheit: konsequent.
Ein zertifiziertes Qualitäts- und Umweltmanagement sowie die Berücksichtigung relevanter Normen, Richtlinien und Zulassungsanforderungen begleiten Entwicklung und Fertigung. Je nach Anwendung und Zielmarkt unterstützt inpotron seine Kunden auch bei erforderlichen Prüf- und Zulassungsverfahren.

Ihr Anspruch: activates your best.
Komplexe Anforderungen versteht inpotron als Ansporn für individuelle Lösungen. Technisches Know-how, partnerschaftliche Zusammenarbeit und eine konsequente Ausrichtung auf den konkreten Kundennutzen bilden dabei die Grundlage – vom ersten Konzept bis zur zuverlässigen Serienlösung.

Intelligentes Thermomanagement in der Hochleistungselektronik

Kühlung entscheidet, wie viel Rechenleistung nutzbar ist

Steigende Wärmelasten verlangen Kühlkonzepte, die über klassische Luftführung hinausgehen. Flüssigkeitsgestützte Ansätze führen Wärme näher an den leistungsstarken Komponenten ab und schaffen zusätzliche thermische Reserve – ohne zwangsläufig mehr Rack-Fläche zu beanspruchen. Wann reicht eine optimierte Luftführung, und wie kann das Easy Swap LFT von nVent Schroff die Kühlung kompakter Systeme erweitern? Diese Fragen gehören schon bei der Systemauslegung auf den Tisch.

TEXT: nVent Schroff **BILDER:** nVent Schroff; iStock, Irina Shilnikova

Lange galt die Rechenleistung als begrenzender Faktor elektronischer Systeme: Mehr Leistung bedeutete schnellere Prozessoren, zusätzliche Beschleuniger oder eine höhere Packungsdichte im Rack. Inzwischen kommt ein zweiter Engpass hinzu. Das zeigt sich in KI-Infrastrukturen, der Verteidigungselektronik, Telekommunikation und Hochleistungsrechnern: Eine sichere Stromversorgung ist nur die halbe Voraussetzung. Selbst wenn genügend elektrische Leistung bereitsteht, entscheidet häufig die Kühlung, ob sie tatsächlich nutzbar ist. Denn Strom, Stellfläche und Rack-Plätze allein reichen nicht: Lässt sich die Verlustwärme nicht effizient abführen, bleibt Rechenleistung ungenutzt. Thermische Infrastruktur wird damit neben der Stromversorgung zur Voraussetzung für weiteres Wachstum – und nicht nur zu einer nachgelagerten Schutzmaßnahme.

Dichte als thermische Herausforderung

Moderne Prozessoren liefern enorme Rechenleistung, erzeugen dabei aber deutlich höhere Wärmelasten. In Systemen, die bisher mit konventioneller Luftführung auskamen, stecken heute oft KI-Beschleuniger, leistungsstarke GPUs, FPGAs oder Signalverarbeitungskomponenten – mit einem Vielfachen der Verlustleistung früherer Generationen. Für Systementwickler reicht es deshalb nicht mehr, nur zu fragen, ob die Stromversorgung für das System beziehungsweise das Subrack ausreicht. Ebenso entscheidend ist, ob sich die Verlustwärme der vorgesehenen Komponenten zuverlässig abführen lässt. Skaliert die Kühlung nicht mit, entsteht eine unsichtbare Leistungsgrenze – selbst wenn Strom und Infrastruktur verfügbar sind.

Wo Luftkühlung an ihre Grenzen stößt

Luftkühlung bleibt für viele Anwendungen leistungsfähig. Mit steigender Leistungsdichte wächst aber der erforderliche Luftdurchsatz. Das bedeutet oft einen höheren Energiebedarf der Lüfter und mehr Geräuschentwicklung, dazu größere Druckverluste, ungleichmäßige Temperaturen und sinkende Kühleffizienz bei dichter Bestückung. Ab einem bestimmten Punkt wird es ineffizient, immer größere Luftmengen zu bewegen – besonders dann, wenn möglichst viele Rechenressourcen auf engem Raum untergebracht werden sollen. Wer die Rechenleistung pro Rack maximieren will, braucht deshalb Kühlkonzepte, die mehr Wärme abführen, ohne den Luftdurchsatz im gleichen Maß zu erhöhen.

Mehr Rechenleistung im vorhandenen Rack

Ein Ansatz ist, die Kühlleistung im vorhandenen Bauraum zu erhöhen. So können Betreiber leistungsfähigere Elektronik in der bestehenden Infrastruktur einsetzen, ohne zusätzliche Räume zu schaffen oder die Bestückungsdichte zu reduzieren. Das ermöglicht eine höhere Rechendichte und bessere Auslastung der Infrastruktur, senkt den Bedarf an Erweiterungen der Gebäudetechnik und beschleunigt die Integration neuer Hardwaregenerationen. Auch die Wirtschaftlichkeit bereits getätigter Investitionen kann steigen. Damit ändert sich die Rolle der Kühlung: Sie ist nicht länger nur eine unterstützende Versorgungsfunktion, sondern bestimmt gemeinsam mit dem Strombudget, wie viel Rechenkapazität sich tatsächlich betreiben lässt.

Luftkühlung gezielt besser nutzen

Bevor Flüssigkeitskühlung nötig wird, lässt sich thermische Reserve häufig schon durch eine bessere Luftführung im Gehäuse erschließen. Denn die Kühlleistung hängt nicht allein von den Lüftern ab: Entscheidend ist auch, ob die konditionierte Luft die wärmeerzeugenden Bauteile erreicht. Rückströmung, Bypass-Luft und lokale Hotspots können thermische



Reicht die Kühlleistung in einem hochperformanten System nicht aus, helfen Kühllösungen wie Easy Swap LFT für das 3-HE-Eurokartenformat oder der 4U LHX Liquid-to-Air Heat Exchanger für den Rack-Einsatz.

Engpässe verursachen, lange bevor der maximale Luftdurchsatz ausreichend ausgeschöpft ist. Mechanische Lösungen zur Optimierung der Luftführung wie AirBenders und Air Inlet Modules sollen kühle Luft gezielt zu den Komponenten leiten. Sie können Rückströmungen und Hotspots reduzieren und die Temperaturverteilung im System verbessern. Ein optimierter Luftstrom ist daher für viele Anwendungen der naheliegende erste Schritt zu mehr thermischer Reserve: Leistungsfähigere Elektronik lässt sich so gegebenenfalls ohne zusätzlichen Rack-Platz oder komplexere Kühltechnik integrieren.

Flüssigkeitskühlung als Kapazitätsmultiplikator

Reicht Luft allein nicht mehr aus, können flüssigkeitsgestützte Kühltechnologien Wärme effizienter und näher an der Quelle aufnehmen. Dadurch lässt sich die abführbare Wärmemenge erhöhen, ohne dass das System zwangsläufig deutlich mehr Bauraum benötigt. Statt bestehende Infrastruktur zu ersetzen, erweitern moderne Konzepte häufig installierte Systeme und erschließen zusätzliche nutzbare Rechenleistung aus dem verfügbaren Strombudget.

Easy Swap LFT: mehr Kühlleistung im 3-HE-Eurokartenformat

Ein Upgrade ohne umfassende Neukonstruktion bietet etwa das Easy Swap LFT (Liquid Flow Through) von nVent Schroff für Standard-3-HE-Eurokarten-Systeme. Je nach Ausführung lassen sich ein bis drei Kühlplatten in einen integrierten Flüssigkeitskreislauf einbinden. Laut Hersteller führt das System eine Wärmeleistung von mehr als 200 W je Kühlplatte und insgesamt über 600 W pro System ab – bei Umgebungstemperaturen bis 50 °C. Die Wärmeabfuhr direkt an leistungsstarken Bauteilen senkt den thermischen Widerstand. Laut Hersteller lassen sich dadurch Hotspot-Temperaturen um mehr als 30 K reduzieren; das schafft thermische Reserve für leistungsintensive Elektronik.

4U LHX: mehr Kühlleistung im 19-Zoll-Schrank

Bei noch höheren Wärmelasten ist zusätzliche Wärmeübertragungsleistung nötig. Der 4U LHX Liquid-to-Air Heat Exchanger erhöht die Kühlleistung in standardisierten 19-Zoll-Schränken, ohne deren Grundfläche zu vergrößern. Über den Flüssigkeit-Luft-Wärmetauscher wird Wärme abgeführt, sodass höhere Rack-Leistungsdichten möglich werden und zugleich geeignete Betriebsbedingungen für anspruchsvolle Rechenplattformen erhalten bleiben. Die Lösung ist in Standard- und Ruggedized-Ausführungen erhältlich und richtet sich unter anderem an KI- und HPC-Systeme sowie an Verteidigungs- und andere missionskritische Elektronik. Mehr Kühlleistung im Rack schafft Spielraum für weiteres Wachstum.

Strombudget und thermische Reserve

Wie stark digitale Systeme künftig wachsen können, hängt für viele Betreiber nicht allein von verfügbarer elektrischer Leistung, Stellfläche oder freien Rack-Einheiten ab. Ebenso wichtig ist die thermische Reserve. Zukunftsfähige Systeme müssen heutige Verlustwärme abführen und zugleich Reserven für kommende Leistungsgenerationen bieten. Kühlung schützt die Elektronik – und bestimmt, welcher Anteil des Leistungsbudgets tatsächlich in Rechenleistung umgesetzt werden kann. Das Strombudget schafft die Voraussetzung; wie viel davon tatsächlich nutzbar wird, entscheidet das thermische Design.

electronica
Halle B3.343

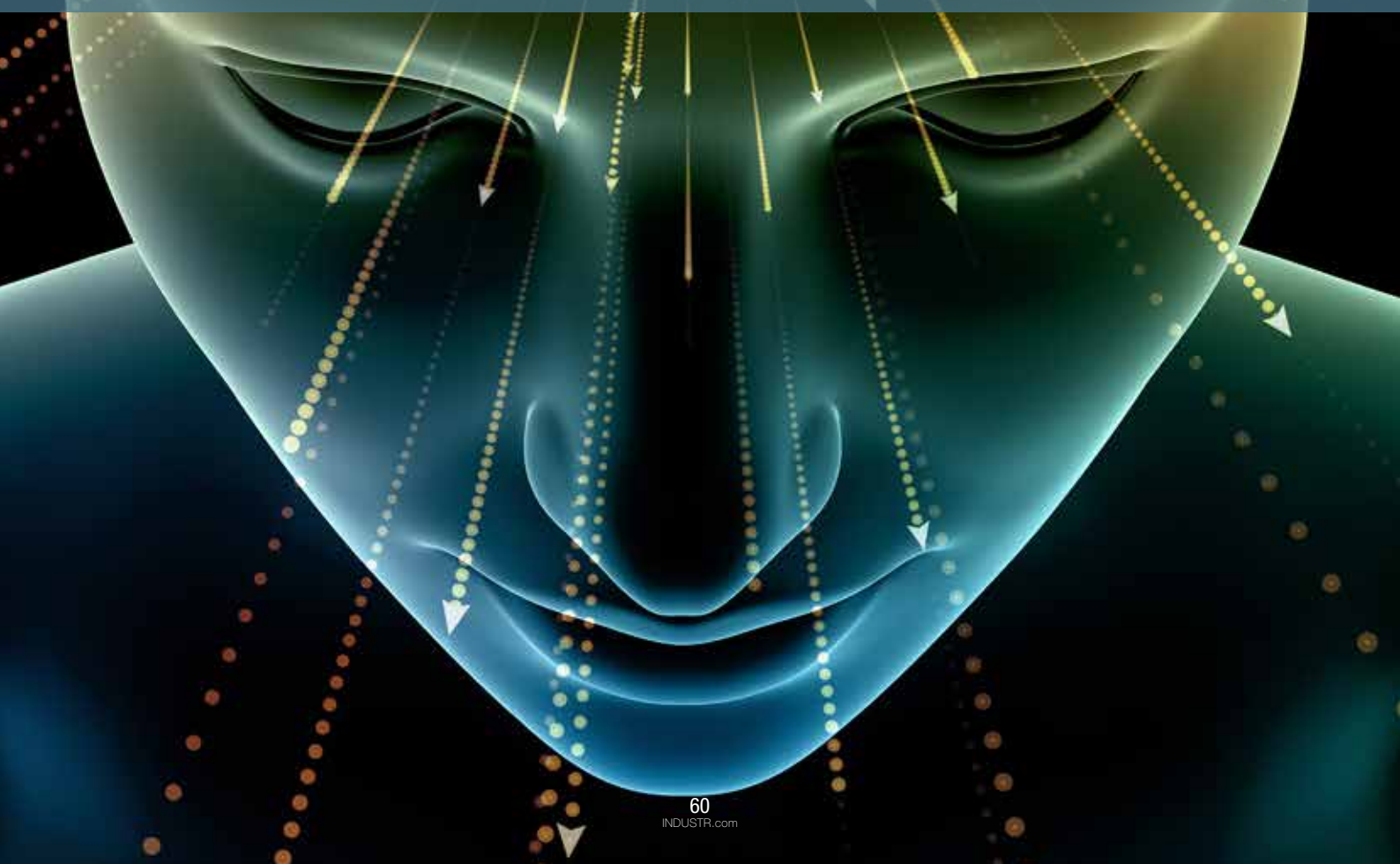


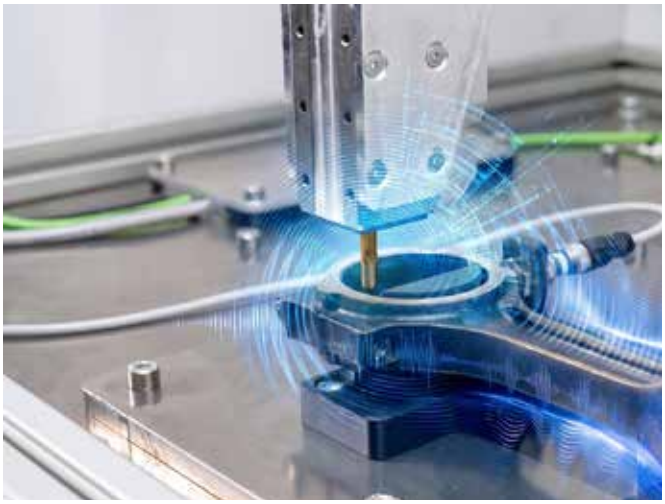
Messtechnik mit Zukunft

Künstliche Intelligenz lernt Messen

Künstliche Intelligenz verändert die industrielle Messtechnik: Sie beschleunigt die Auswertung großer Datenmengen, erkennt bislang verborgene Fehler und macht neue Zusammenhänge sichtbar. Die Anwendungen reichen von der akustischen Bauteilprüfung bis zur automatisierten CT-Analyse innerer Strukturen – für eine präzisere und effizientere Qualitätssicherung.

TEXT: Antje Stohl im Auftrag von VDMA Mess- und Prüftechnik **BILDER:** VDMA; iStock, agsandrew





Die akustische Prüftechnik mit KI senkt Ausschuss erheblich.

Ein Bauteil kann äußerlich makellos sein und dennoch einen folgenreichen Fehler in sich tragen. Während optische und taktile Verfahren primär die Oberfläche erfassen, regt Resoniks ein Werkstück mit einem definierten Impuls an und analysiert dessen Resonanz. Denn Poren und Risse verändern den akustischen Fingerabdruck – auch wenn sie von außen kaum erkennbar sind. Die Methode ist nicht neu. Neu ist die Verbindung mit künstlicher Intelligenz. Bei dieser Lösung regt ein Präzisionshammer das Bauteil an, Mikrofone erfassen Schall von 10 Hertz bis 80 Kilohertz. Ein Deep-Learning-Modell übersetzt das Signal sofort in eine Gut-Schlecht-Entscheidung. „Die KI versteht die Sprache der Klangresonanz“, sagt Fabian Oberndorfer, CTO von Resoniks.

Der wirtschaftliche Reiz dieser Lösung liegt im Tempo und Automatisierung: eine bis zu 60-fach höhere Geschwindigkeit und 86 Prozent niedrigere Investitionskosten. Das Unternehmen liefert dafür die komplette Kette aus Anregung, Sensorik und Auswertung. Bei einem Kunden etwa ging es um geschmiedete Schaufeln für Generatoren. Fehler wurden dort traditionell erst nach der Bearbeitung sichtbar. Der Ausschuss entsprach nach Angaben des Kunden dem Wert eines Kleinwagens pro Woche. „Unser System spart diesen Kleinwagen jetzt pro Woche ein“, berichtet Oberndorfer. Dass der Ansatz nicht nur ein Versprechen ist, zeigt der Gewinn des VDMA Startup-Awards 2025. In der Start-up-Arena der AMB 2026 konnten sich Interessierte von der akustischen Prüftechnik überzeugen.

Sparringspartner KI

Bei einer Lösung von Hexagon geht es vor allem darum, aus der Fülle vorhandener Messdaten bessere Entscheidungen abzuleiten. KI soll in der Messtechnik nicht den Experten ersetzen, sondern ihm bessere Grundlagen für Entscheidungen liefern. „Darin liegt der Nutzen“, sagt Dr. Martin Peterek, Managing Director, Division Stationary Metrology bei Hexagon



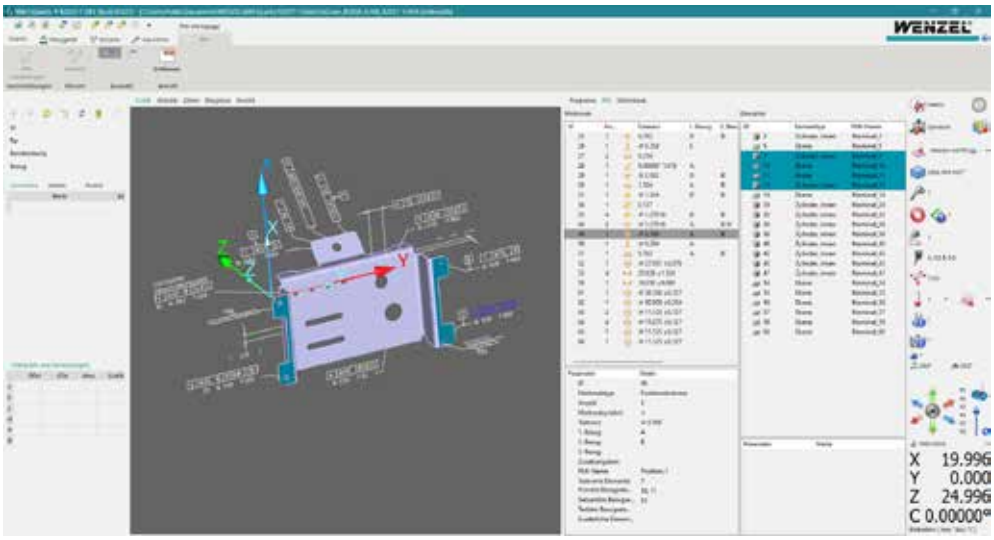
WIE MISST MAN DAS GERÄUSCH EINES REGENTROPFENS?
Frag dataTec.

Wie laut der Regen fällt, kann man nicht genau hören. Aber sehr gut messen. Mit Mess- und Prüftechnik von dataTec. Wie genau? Hier steht's: **datatec.eu/regen**



Zum Beispiel messen mit FLUKE

dataTec
Mess- und Prüftechnik. Die Experten.



Blick in die Messsoftware: Der Computertomograph stellt Abweichungen von den vorgegebenen Maßen und Toleranzen auch im Inneren des Bauteils dar.

Metrology. „Der Mehrwert entsteht, wenn ich wirklich verstehe, warum es die Abweichung gibt – und nicht nur feststelle, dass an einem Messpunkt etwas schlecht ist." Hierfür betrachtet die Softwarelösung des Unternehmens nicht allein Messprogramme und Ergebnisse. Sie führt Informationen über die Messmaschine, das Bauteil und Messroutinen mit Umgebungsdaten wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit zusammen. KI kann in diesen Datenmengen Muster und Korrelationen erkennen, die mit klassischen Messverfahren nicht dargestellt werden können. Das reicht von der Stabilitätsbewertung eines Messprozesses bis zur Analyse der Maschinenauslastung. Eingesetzt wird die Software vor allem in Koordinatenmessgeräten, aber auch in Werkzeug- und anderen Fertigungsmaschinen.

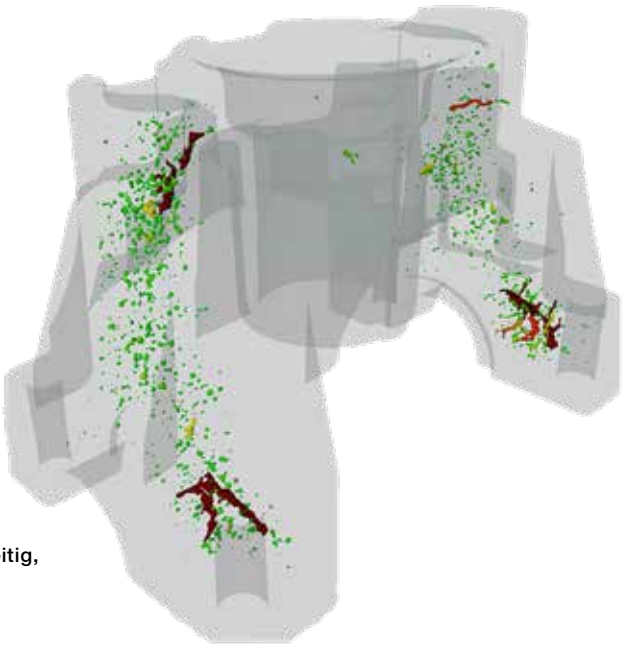
Dennoch bleibe die letzte Entscheidung beim Menschen. „Wir sprechen von Entscheidungsunterstützung", erklärt Peterek. KI bereitet Informationen auf und weist auf Zusammenhänge hin. Die fachliche Interpretation der Messdaten erfordere weiterhin Erfahrung. Das Human-in-the-Loop-Prinzip bleibt Peterek zufolge damit zentral. So wird KI zur Assistenz im Fertigungsprozess – mit Potenzial für Zeitersparnis, Ausschussreduktion und bessere Entscheidungen.

Der Praktikant im Messraum

Auch bei der Wenzel Group soll KI den Messtechnik-Experten nicht ersetzen, sondern unterstützen. Doch mit Blick auf den Fachkräftemangel sieht Beiratsvorsitzender Prof. Dr. Heiko Wenzel-Schinzer den aktuellen Stand eher nüchtern: „Die KI ist derzeit auf dem Stand eines Praktikanten. Sie erkennt Auffälligkeiten schnell und gut." Wie gravierend ein Fehler ist, ob sich ein Bauteil nachbearbeiten lässt oder das Werkstück Ausschuss ist, muss ihm zufolge noch der erfahrene Messtechniker entscheiden. Doch die werden knapp: Wissen, das sich Messtechniker früher über Jahrzehnte aneigneten, fehlt zunehmend. Zudem fallen die heute während des Messens erzeugten, immer größeren Datenmengen ins Gewicht. Beim Einsatz einer CT etwa generiert ein Scan viele Gigabyte an Daten. Diese Messtechnik ist für Branchen wie die Medizintechnik oder Luftfahrt zentral, da sie den Blick ins Innere von Bauteilen wie Spritzen oder Triebwerkskomponenten freigibt und damit eine zerstörungsfreie 100-Prozent-Prüfung garantiert. Zur Auswertung dieser Daten bräuchte der Mensch unverhältnismäßig viel Zeit. KI liefert sie quasi per Knopfdruck. Den größten Hebel für KI sieht Wenzel-Schinzer aktuell in der automatischen Erstellung von Messprogrammen. „Wir liefern den Kunden die Software gepaart mit KI. Der Kunde kann anhand seiner spezifischen Anforderungen künftig selbst Messprogramme erstellen, die exakt auf seinen Bedarf zugeschnitten sind." Noch werde dies nicht überall genutzt, aber in drei bis fünf Jahren könnte das üblich sein, schätzt Wenzel-Schinzer. Und wie automatisierte CT-Technik funktioniert, präsentierte das Unternehmen im VDMA-Technologieforum auf der AMB 2026.

Wenn die Qualitätssicherung dazulernt

Wo die KI konkrete Prüfaufgaben für die Qualitätssicherung übernimmt, zeigt auch der Ansatz von ZEISS Industrial Quality Solutions – mit einem Schwerpunkt auf der automatisierten Auswertung von CT-Daten: Prüfprozesse sollen schneller werden, Ausschuss noch mehr senken und möglichst nah an die Fertigung rücken. Auch hier ist KI vor allem dort interessant, wo große Datenmengen bislang mit erheblichem Zeitaufwand ausgewertet wurden. Integriert in die CT-Auswertung kann sie innere Defekte etwa in Gussbauteilen noch effizienter erkennen. Über eine cloud-basierte Plattform von Zeiss trainiert der Anwender sein KI-Modell selbst. Hierfür stellt er eigene CT-Daten



Die industrielle CT-Prüfung mit KI erkennt frühzeitig, schnell und zuverlässig versteckte Defekte.

bereit und annotiert sie: Dafür markiert er im Bild, welche Merkmale die KI später erkennen soll – beispielsweise Poren. Eine Assistenzfunktion unterstützt den Anwender dabei, sodass er nicht jeden einzelnen Pixel markieren muss. Bereits nach der Annotation weniger Bilder kann das erste Training gestartet werden. Sobald das anwendungsspezifische Modell bereitsteht, kann es im Prüfprozess eingesetzt werden, um erste Prüfungen durchzuführen und zusätzliche Trainingsdaten zu identifizieren. Durch mehrere Iterationen lässt sich der Prüfprozess so meist weitgehend automatisieren. „Der Trainingsprozess ist einfach und kann schnell erlernt werden", sagt Dr. Christian Wojek, Head of Artificial Intelligence bei Zeiss Industrial Quality Solutions. Der Ansatz sei ihm zufolge ein Lernprozess für die Unternehmen: „Sie bauen eigenes Wissen auf und können ihre Modelle selbst weiterentwickeln." Wie groß der Effizienzgewinn sein kann, zeigt ein Beispiel aus dem Bereich Guss: Durch den Einsatz der KI-gestützten Lösung konnten Gießereikunden ihre Zykluszeiten um 75 Prozent verkürzen. Früher prüften sie ein Gussteil binnen 15 Minuten, heute zwei Teile in nur sieben Minuten. Dennoch ist die Technologie bei Anwendern noch längst nicht selbstverständlich. „Insgesamt sind wir mit Sicherheit noch am Anfang", sagt Wojek. Grenzen sieht er derzeit vor allem beim Vertrauen in die KI, Validierung und Regulierung. Doch in den kommenden drei bis fünf Jahren erwartet er deutlich leistungsfähigere Modelle, die sich mit vergleichsweise wenigen Daten an neue Aufgaben anpassen lassen. Auf der AMB 2026 konnten sich Besucher des Unternehmens über KI-Lösungen für die industrielle Qualitätssicherung informieren.



90 Jahre publizistische Leidenschaft.

Es gibt Wettbewerber.

Und es gibt Wegbegleiter.

Die Vereinigten Fachverlage haben über neun Jahrzehnte Fachmedien geprägt, Themen gesetzt und Menschen in ihren Branchen miteinander verbunden. Mit Sachverstand, Haltung und einem Gespür für das, was ihre Leserinnen und Leser bewegt.

2026 endet dieses Kapitel.

Wir bedauern das sehr und verneigen uns vor einem verlegerischen Lebenswerk, das Generationen von Leserinnen und Lesern, Branchen und Unternehmen begleitet hat.

Machen Sie es gut,
Vereinigte Fachverlage.

In Anerkennung
und mit herzlichen Grüßen



Kilian Müller
CEO & Founder
sowie das gesamte Team von publish-industry



FREDDIE
DER INDUSTRIAL AI AWARD

Die KI-Champions der Industrie

Spannung, Applaus und echte Aufbruchsstimmung: Am 16. September 2026 wurde zum zweiten Mal FREDDIE – Der Industrial AI Award – verliehen. In sechs Kategorien zeichnet der Award die Champions der produzierenden Industrie aus – für herausragende KI-Anwendungen mit echtem Mehrwert. Aus über 70 Einreichungen wählte die unabhängige Fachjury sechs starke Gewinner-Cases. publish-industry und UnternehmerTUM gratulieren allen Siegern! Die industrielle Zukunft ist keine Vision – sie findet bereits statt.

BILDER: Foto Vogt GmbH

www.industrial-ai-award.de



Customer Experience

DEHN SE

Generative Bildmodelle machen visuelle Inhalte für viele Märkte skalierbar

Wie lassen sich hochwertige visuelle Inhalte für unterschiedliche Märkte schneller, konsistenter und nachhaltiger erzeugen? DEHN SE beantwortet diese Frage mit IMAG. Die KI-Lösung nutzt moderne generative Bildmodelle und effizientes Fine-Tuning, um visuelle Inhalte skalierbar, konsistent und nachhaltig zu erzeugen. Durch die systematische Abbildung unternehmensspezifischer Design- und Produktmerkmale als generative Konzepte können Inhalte flexibel für unterschiedliche Szenarien, Zielgruppen und Märkte erstellt werden – ohne aufwendige Fotoshootings. Die Lösung reduziert Kosten, verkürzt die Time-to-Market und senkt gleichzeitig CO_2-Emissionen durch den Wegfall von Reisen und physischen Produktionen. Sie bildet die Grundlage für eine skalierbare, datengetriebene Content- und Visualisierungsplattform.

Erfahren Sie mehr: www.industr.com/2922069





Process Excellence

GEA

Technische Dokumentationen werden automatisch für Angebote und Spezifikationen nutzbar

Mit Diagram Genius entwickelte der Anlagenbauer GEA eine KI-Lösung zur Digitalisierung der Abwicklung industrieller Großprojekte im Bereich der Prozessindustrie. Die Lösung verarbeitet technische Dokumentationen automatisiert und erzielt in der Angebots- und Spezifikationsphase eine Zeitersparnis von mehr als 30 Prozent. Für GEA bedeutet der Rollout in den größten Entwicklungszentren bereits heute eine Senkung der Projektierungsaufwände um mehr als 9.000 Stunden. Die automatisierte Verarbeitung macht technische Informationen schneller nutzbar und unterstützt eine effizientere Projektierung. Diagram Genius zeigt, wie KI nicht einfach einen weiteren digitalen Arbeitsschritt ergänzt, sondern einen bestehenden Prozess grundlegend leichter macht.

Erfahren Sie mehr: www.industr.com/2922071





NextGen Industrial AI

UHLMANN PAC-SYSTEME

Historisches Maschinen- und Projektwissen unterstützt die Maschineneinrichtung

Wenn Erfahrungswissen nicht dokumentiert ist, geht es schnell verloren. Genau hier setzt SmartAssist von Uhlmann Pac-Systeme an. Die intern genutzte, KI-gestützte Assistenzlösung unterstützt die Maschineneinrichtung in der pharmazeutischen Verpackung. Dafür greift sie auf historische Maschinen- und Projektdaten zurück, um Techniker bei der Parametrierung komplexer Verpackungsmaschinen gezielt zu unterstützen. Dabei wird wertvolles Erfahrungswissen systematisch erfasst, strukturiert aufbereitet und für das gesamte Team verfügbar gemacht. SmartAssist hilft, manuelle Prozesse zu beschleunigen, Wissen über Generationen hinweg zu sichern und Mitarbeitende im Shopfloor-Alltag zu entlasten. Die Lösung zeigt, wie Künstliche Intelligenz im industriellen Umfeld praxisnah als unterstützendes Werkzeug eingesetzt werden kann.

Erfahren Sie mehr: www.industr.com/2922074









Sustainability by AI

PHOENIX CONTACT

KI prüft fallende Kleinstteile und sortiert Fehler direkt aus

HyperStream Vision AI von Phoenix Contact ermöglicht die vollständige Qualitätsprüfung fallender Kunststoffkleinstteile im Schüttgut. Die variantenunabhängige, KI-basierte Lösung prüft Bauteile von circa fünf bis zehn Millimetern. Synchronisierte Kameras erfassen die Bauteile während des Falls, unterstützt durch optimierte, leistungsfähige KI-Modelle. Das Stand-alone-System ermöglicht eine 100-Prozent-Prüfung: Die Teile werden direkt im Fall in Gut- und Schlechtteile sortiert. Bei Durchsätzen von mehr als 600 Teilen pro Minute ersetzt die Lösung manuelle Kontrollen und steigert Qualität sowie Effizienz. Statt vollständige Transportmittel mit wenigen fehlerhaften Teilen auszusondern, werden nur fehlerhafte Einzelteile ausgeschleust. So wird Ausschuss reduziert.



Erfahren Sie mehr: www.industr.com/2922076

Transformation Mindset

HARTING

KI-Kompetenz aufbauen und Expertenwissen global verfügbar machen

KI-Kompetenz aufbauen und Expertenwissen global verfügbar machen: Mit dem HARTING AI Belt Program wurde ein skalierbares Enablement-Modell geschaffen, das Künstliche Intelligenz nachhaltig im Unternehmen verankert. Statt isolierter Pilotprojekte befähigt das Programm Mitarbeitende weltweit, KI aktiv im Arbeitsalltag einzusetzen und eigene Lösungen zu entwickeln. Über ein Qualifizierungskonzept von Grundlagen bis hin zu AI Champions entsteht ein wachsendes Netzwerk aus Anwendern, Entwicklern und Multiplikatoren. Der Digital Knowledge Twin wurde entwickelt, um Expertenwissen strukturiert zu erfassen, langfristig zu sichern und global verfügbar zu machen. Auf Basis generativer KI werden Erfahrungswissen, Dokumente und Best Practices in intelligente Knowledge Bots überführt, die Mitarbeitende über natürliche Sprache unterstützen.

Erfahren Sie mehr: www.industr.com/2922079

Game Changer

VACOM

Ein KI-Agent verzahnt Fertigungsplanung, Materialfluss und Intralogistik

Die KI-gestützte Fertigungsplanung von VACOM verbindet Produktionsaufträge, Materialverfügbarkeit und Intralogistik zu einem durchgängigen digitalen Regelkreis. Statt manueller Planung berechnet ein KI-Agent automatisch einen kapazitätsrealistischen Gesamtplan über alle Arbeitsplätze hinweg und stößt daraus Materialdisposition, Reservierungen und fahrerlose Transporte an. So werden Planung und physische Ausführung eng verzahnt. Die Lösung reduziert Durchlaufzeiten, erhöht die Transparenz und steigert die Liefertreue deutlich. Innerhalb von zwei Jahren stiegen die abgearbeiteten Fertigungsaufträge um mehr als 31 Prozent, die Zahl der Arbeitsschritte um rund 29 Prozent; zugleich erhöhte sich die Liefertreue von etwa 70 auf über 90 Prozent. Damit zeigt VACOM, wie KI Produktionsplanung und physische Ausführung enger miteinander verzahnen kann.

Erfahren Sie mehr: www.industr.com/2922081







Cybersicherheit auf der Schiene

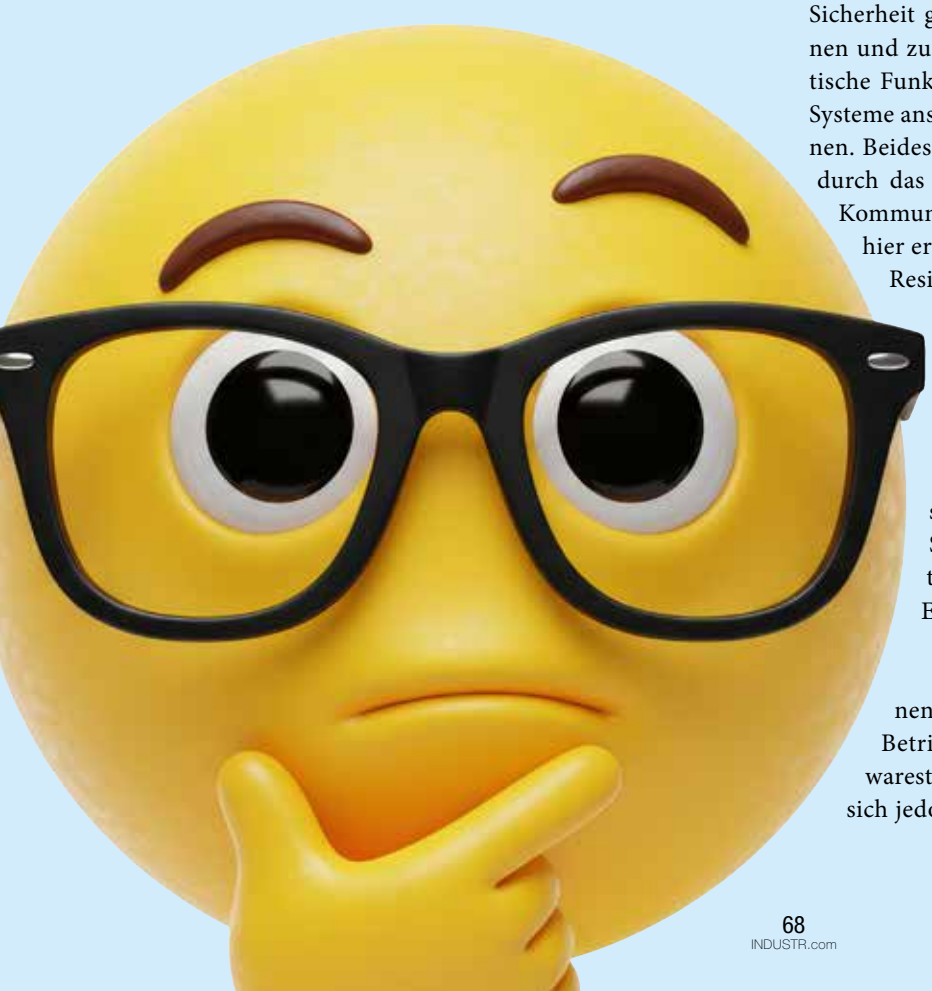
COMPLIANCE WEITERGEDACHT

IEC 62443 schafft eine wichtige Grundlage für sichere Bahnkomponenten. Doch mit zunehmender Vernetzung und Digitalisierung von Bahnsystemen entscheidet nicht die Sicherheit eines einzelnen Geräts über die Widerstandsfähigkeit des Systems. Entscheidend ist, wie Komponenten miteinander kommunizieren, wie Zugriffe kontrolliert werden und wie sich die Architektur über Jahrzehnte an neue Bedrohungen anpassen lässt.

TEXT: Laurent Liou, Moxa Europe **BILDER:** Moxa; iStock, Bogdan Nicolaescu

Cybersicherheit im Bahnsektor wurde lange vor allem unter einer Frage betrachtet: Erfüllt ein Produkt die geforderten Standards? Mit der IEC 62443 steht dafür ein etabliertes Rahmenwerk zur Verfügung. Insbesondere eine Zertifizierung nach IEC 62443-4-2 Security Level 2 (SL2) gibt Betreibern, Systemintegratoren und Beschaffungsverantwortlichen eine nachvollziehbare Grundlage dafür, dass Netzwerkkomponenten definierte Sicherheitsanforderungen erfüllen.

Mit der zunehmenden Vernetzung von Schienenfahrzeugen greift diese Betrachtung jedoch zu kurz. Ethernet Consist Network (ECN), Ethernet Train Backbone Nodes (ETBN), Train-to-Ground-Kommunikation (T2G), Steuerungs- und Diagnosesysteme sowie weitere Subsysteme bilden gemeinsam eine komplexe Kommunikationsarchitektur. Die einzelnen Komponenten können normgerecht abgesichert sein – Schwachstellen können trotzdem dort entstehen, wo Identitäten, Daten und Zugriffsrechte zwischen Geräten, Subsystemen und teilweise auch verschiedenen Herstellern ausgetauscht werden.



Vom sicheren Gerät zum resilienten System

Damit erweitert sich die zentrale Frage von „Sind wir compliant?“ zu „Ist unser System sicher und resilient?“. Bei Sicherheit geht es darum, Angriffe zu verhindern, zu erkennen und zu begrenzen. Resilienz entscheidet darüber, ob kritische Funktionen auch im Angriffsfall aufrechterhalten und Systeme anschließend geordnet wiederhergestellt werden können. Beides entsteht nicht durch ein einzelnes Gerät, sondern durch das abgestimmte Zusammenspiel von Komponenten, Kommunikationswegen und Schutzmechanismen. Genau hier ergänzen sich IEC 62443 und der europäische Cyber Resilience Act (CRA). Während die IEC 62443 technische und organisatorische Methoden für die Entwicklung und den Betrieb sicherer industrieller Systeme beschreibt, macht der CRA Cybersicherheit für Produkte mit digitalen Elementen zu einer verbindlichen Aufgabe über den Produktlebenszyklus. Security by Design, Schwachstellenmanagement und die Bereitstellung von Sicherheitsupdates werden damit von einzelnen technischen Maßnahmen zu einem langfristigen Entwicklungs- und Supportthema.

Das ist für die Bahn besonders relevant. Schienenfahrzeuge und ihre Infrastruktur sind für lange Betriebszeiten ausgelegt. Die Bedrohungslage, Softwarestände und bekannte Schwachstellen entwickeln sich jedoch deutlich schneller als die eingesetzten Systeme

erneuert werden können. Ein System, das bei der Inbetriebnahme ein hohes Sicherheitsniveau erreicht, muss deshalb so ausgelegt sein, dass dieses Niveau auch Jahre später noch aufrechterhalten werden kann.

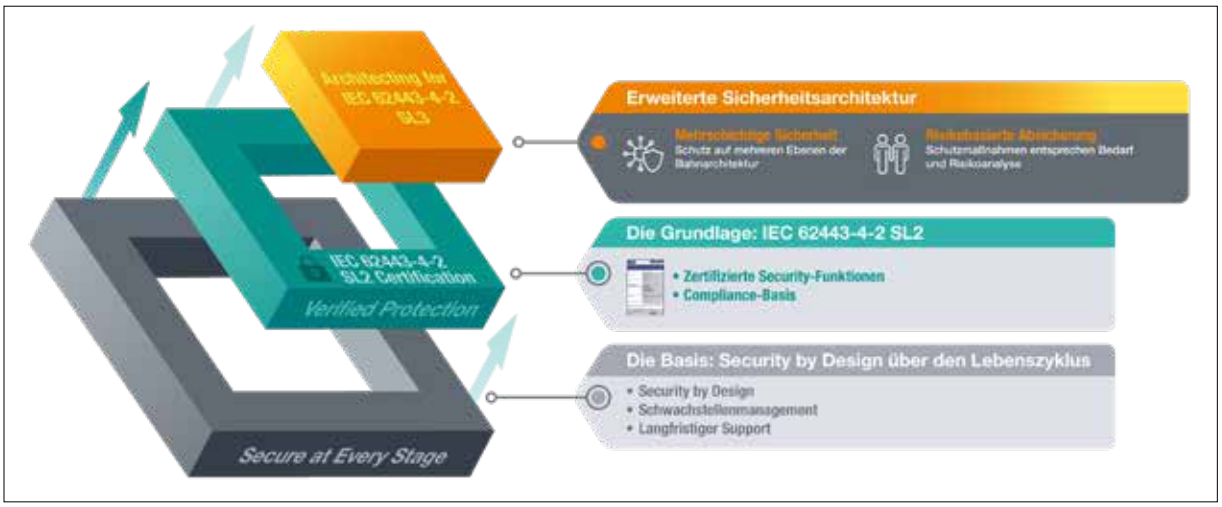
Security by Design beginnt bei der Architektur

Eine sichere Bahnarchitektur muss bereits in der Entwicklungsphase festlegen, wie Kommunikation und Zugriffe über Systemgrenzen hinweg kontrolliert werden. Gleichzeitig muss sie so ausgelegt sein, dass sich ein Sicherheitsvorfall nicht ungehindert auf weitere Systeme ausbreiten kann. Ein Zug kann beispielsweise über ein T2G-Gateway mit dem Betriebszentrum kommunizieren, Daten über Layer-3-Router zwischen Subsystemen übertragen und über Layer-2-Switches zahlreiche Endgeräte anbinden. Jeder dieser Kommunikationspfade besitzt ein eigenes Risikoprofil. Sicherheitszonen und klar definierte Kommunikationskanäle helfen dabei, diese Komplexität beherrschbar zu machen. Segmentierung begrenzt die Ausbreitung möglicher Angriffe, während rollenbasierte Zugriffskontrollen, Authentifizierung und definierte Kommunikationsbeziehungen verhindern, dass ein kompromittierter Zugang automatisch Zugriff auf weitere Teile des Systems ermöglicht. Ergänzend schaffen Monitoring und Protokollierung die notwendige Transparenz über sicherheitsrelevante Ereignisse. Dieser Defense-in-Depth-Ansatz entspricht auch den Grundprinzipien der IEC 62443: Nicht eine einzelne Schutzmaßnahme soll sämtliche Risiken abdecken, sondern mehrere aufeinander abgestimmte Sicherheitsebenen. Damit kann die Architektur auch Risiken auffangen, die sich zum Zeitpunkt der Entwicklung noch nicht vollständig vorhersehen lassen.

Wenn Security Level 2 allein nicht mehr genügt

IEC 62443-4-2 SL2 bildet für zahlreiche Projekte eine sinnvolle technische Grundlage. Gleichzeitig nimmt mit Cloud-Anbindungen, Fernzugriffen und Multi-Vendor-Architekturen die Zahl potenzieller Angriffspunkte zu. Dadurch gewinnen Schutzmechanismen an Bedeutung, die über die Mindestanforderungen hinausgehen. Dazu zählen beispielsweise hardwarebasierte Vertrauensanker, eine stärker identitätsbasierte Zugriffskontrolle





Mehrstufiges Sicherheitskonzept: Von Security by Design über IEC 62443-4-2 SL2 bis zu erweiterten Schutzmechanismen für resiliente Bahnsysteme..

oder besonders robuste Authentifizierungsmechanismen. Funktionen dieser Art werden häufig mit höheren Sicherheitsniveaus wie SL3 in Verbindung gebracht. Sie pauschal für jedes Subsystem vorzuschreiben wäre allerdings ebenso wenig zielführend wie grundsätzlich bei SL2 stehenzubleiben. Entscheidend ist die konkrete Risikoanalyse: Welche Systeme sind erreichbar? Welche Auswirkungen hätte ihre Kompromittierung? Und welche Schutzmaßnahmen sind erforderlich, um den Betrieb auch bei einem gezielten Angriff aufrechtzuerhalten? Cybersicherheit wird damit zunehmend zu einer klassischen Engineering-Aufgabe. Schutzbedarf, Systemarchitektur, Verfügbarkeit, Wartbarkeit und Lebenszyklus müssen gemeinsam betrachtet werden.

Sicherheit braucht Zusammenspiel aller Beteiligten

Technische Architektur allein reicht jedoch nicht aus. In Bahnprojekten arbeiten Fahrzeughersteller, Betreiber, Systemintegratoren und zahlreiche Technologieanbieter zusammen. Werden Sicherheitsanforderungen erst spät in Ausschreibungen oder bei der Integration berücksichtigt, lassen sie sich oft nur mit hohem Aufwand ergänzen. Fließen sie dagegen bereits in die Systemarchitektur und die Auswahl der Komponenten ein, werden sie zu einer planbaren Systemeigenschaft.

Hinzu kommt das langfristige Schwachstellenmanagement. Hersteller müssen Sicherheitslücken identifizieren, bewerten und geeignete Maßnahmen bereitstellen können. In Bahnanwendungen lassen sich Updates jedoch in der Regel nicht unmittelbar einspielen. Sie müssen zunächst geprüft und getestet werden, bevor sie kontrolliert auf die betroffenen Fahrzeuge und Systeme ausgerollt werden können. Während dieses Zeitraums muss die Architektur das Risiko einer Ausnutzung der Schwachstelle durch Segmentierung, Zugriffskontrollen, Monitoring oder kompensierende Schutzmaßnahmen begrenzen. Langfristige Sicherheit kann deshalb nicht allein auf Patchmanagement beruhen, sondern muss durch geeignete architektonische Maßnahmen ergänzt werden.

Compliance ist der Ausgangspunkt

Normen und regulatorische Vorgaben bleiben für den Bahnsektor unverzichtbar. Sie schaffen ein gemeinsames Sicherheitsniveau und erleichtern es Betreibern und Integratoren, Anforderungen gegenüber Lieferanten eindeutig zu formulieren. Zertifizierte Komponenten bilden deshalb eine wichtige Grundlage für sichere Systeme. Entscheidend ist jedoch, wie diese Komponenten ausgewählt, konfiguriert und in die Gesamtarchitektur integriert werden. Ergänzende Beratungs- und Engineering-Leistungen können Betreiber und Systemintegratoren dabei unterstützen, den erforderlichen Schutzbedarf zu bestimmen, geeignete Sicherheitszonen zu definieren und eine Architektur für höhere Sicherheitsanforderungen zu entwickeln.

Die entscheidende Aufgabe beginnt jedoch dort, wo die Zertifizierung des einzelnen Produkts endet: an den Schnittstellen zwischen Geräten, Subsystemen und Organisationen. Genau dort muss eine moderne Cybersecurity-Architektur dafür sorgen, dass Zugriffe kontrolliert, Kommunikationswege begrenzt und Angriffe möglichst früh erkannt und eingedämmt werden. Für langfristig betriebene Bahnsysteme lässt sich Cybersicherheit deshalb nicht als einmal erreichter Zertifizierungsstatus verstehen. Sie ist eine kontinuierliche Aufgabe. Compliance schafft die Grundlage. Resilienz entscheidet darüber, wie gut ein Bahnsystem auf das vorbereitet ist, was danach kommt.

WTS // ELECTRONIC COMPONENTS GMBH



Anschrift
wts // electronic components GmbH
Langer Acker 49
30900 Wedemark, Germany
T +49/5130/58 45 0
F +49/5130/37 50 55
info@wts-electronic.de
www.wts-electronic.de

BEZEICHNUNG
Design-In orientierter Fachdistributor

GRÜNDUNGSJAHR
1992

HEADQUARTER
Wedemark

EUROPÄISCHES ZENTRALLAGER
Wedemark

ZIELMÄRKTE
Automotiv-, Medical-, Industrie-, Home,- Energie- und Umweltanwendungen

QUALITÄTSMANAGEMENT
ISO 9001: 2015, RoHs konforme Komponenten

Firmenprofil

Die wts // electronic components GmbH ist seit über 30 Jahren ein Design-In orientierter Distributor für passive- und elektromechanische Bauelemente und bietet einen durchgängigen Support über das gesamte Spektrum passiver- und elektromechanischer Komponenten. Als inhabergeführter Distributor, in privater Hand, agiert die wts // electronic components GmbH unabhängig.

Zielmärkte

Alternativenergien, Automotive, Industrielektronik, Konsumgüterindustrie, Lighting, Medizintechnik sowie Tele- und Datenkommunikation.

Produktportfolio

wts //electronic liefert den Kunden ein großes Produktspektrum passiver- und elektromechanischer Komponenten: Kondensatoren, Schalter, Trimmer,- Potentiometer, Transformatoren, Sicherungen, Verbindungstechnik und Widerstände.

Logistikleistungen

Mit unseren Logistikleistungen bieten die wts // electronic eine größtmögliche Flexibilität bei höchstmöglicher Produkt- und Lieferqualität. Persönliche Bereuung, kompetente Beratung und die Bereitschaft, individuell auch auf spezielle Anforderungen des Kunden zu reagieren, kennzeichnet unser logistisches Angebot. Flexible Logistik- und Supply Chain Management Lösungen bieten daher eine sichere und bedarfsgerechte Belieferung.

Dienstleistungsportfolio

Als Design-In orientierter Distributor haben wir ein umfangreiches produkt- und herstellerbezogenes Fachwissen. Unsere Produktspezialisten bieten Unterstützung und Beratung bei allen Projekten – auch in Zusammenarbeit mit den Herstellern - von der Entwicklungsphase bis zur Serienfertigung. Der Information-Service zu Produktneuheiten, Datenblättern, PCN Änderungen, Obsoleszenz-Management und die Suche nach alternativen Artikeln und Herstellern ergänzt unser Portfolio.

Umweltaspekte

Die wts // electronic denkt beim Thema Nachhaltigkeit über die eigenen Grenzen hinaus und setzt auf eine starke Partnerschaft mit Lieferanten und Kunden. wts // electronic akzeptiert ausschließlich CMR -konforme Lieferketten (Conflict Minerals Reporting). Wir unterstützen und beraten unsere Kunden bei der Beschaffung von „Green Components“ wie: RoHs Compliant, REACH VDA 6.3, Lead (Pb) und Halogen Free, Anti-Sulfur Bauelemente.

electronica 2026
Halle A6, Stand 438



Interview: Technik, Know-how und Partner an einem Ort

„Elektronikentwicklung braucht die richtigen Partner“

Elektronikentwicklung wird komplexer: Hardware, Software, Embedded Systems, Messtechnik, Engineering und Fertigung greifen immer enger ineinander. Genau hier will die neue Messe all about electronic solutions ansetzen und Technologien, Know-how und Projektpartner in einem kompakten Messeformat zusammenbringen. Im Interview erläutert Tanja Waglöhner, COO von Easyfairs DACH, wie die Messe Entwicklungsprojekte voranbringen will.

DAS INTERVIEW FÜHRTE: Bernhard Haluschak, E&E **BILD:** Easyfairs Deutschland

Welche Lücke im aktuellen Messeangebot für Elektronikentwicklung soll die all about electronic solutions (aaes) schließen?
Deutschland verfügt mit electronica und embedded world über hervorragend etablierte internationale Leitmessen. Die all about electronic solutions ergänzt dieses Angebot um einen anderen Ansatz: internationale Elektronikkompetenz trifft auf regionale Entwicklungsprojekte. Im Mittelpunkt stehen konkrete Entwicklungsprojekte und der direkte Zugang zu Technologien, Kompetenzen und Partnern. Dafür geht die aaes in starke deutsche Entwicklungsregionen. Kompakte Veranstaltungen und ein standardisiertes Beteiligungskonzept halten zudem Aufwand und Kosten für Aussteller überschaubar.

Für welche konkreten Aufgabenstellungen bietet die aaes Entwicklern, Hard- und Softwareingenieuren, Systemarchitekten, Projektleitern und technischen Entscheidern einen Mehrwert?
Die Aufgaben sind so vielfältig wie die Elektronikentwicklung selbst: eine passende Komponente für eine neue Baugruppe, Unterstützung bei der Integration einer Embedded-Lösung, ein Entwicklungspartner mit Know-how oder Alternativen für eine technische Herausforderung. Die aaes bietet die Möglichkeit, solche Fragen ohne großen Reiseaufwand mit Experten zu diskutieren, Lösungswege auszuloten und sich mit Fachkollegen aus der Region auszutauschen.

Die Messe deckt den Entwicklungsprozess von Komponenten und Embedded Systems über Software und Messtechnik bis zu Engineering Services, Zertifizierung und EMS ab. Wie profitieren die unterschiedlichen Verantwortungsbereiche von dieser Ausrichtung?
Elektronische Produkte und Systeme entstehen im Zusammenspiel vieler Technologien und Kompetenzen. Entscheidungen in einem Bereich wirken sich oft auf andere Entwicklungsschritte aus. Die Wahl einer Komponente beeinflusst etwa Hardwaredesign, Softwareintegration, Testbarkeit und Industrialisierung. Deshalb bildet die aaes ein breites Spektrum entlang des Entwicklungsprozesses ab und bringt unterschiedliche Fachdisziplinen zusammen.

Wie tief können Besucher technische Fragestellungen vor Ort diskutieren – von einzelnen Komponenten bis hin zu kompletten System- und Entwicklungslösungen? Welche Formate stehen hierfür zur Verfügung?
Ein Messegespräch ersetzt keinen Entwicklungsworkshop. Es kann aber der entscheidende Einstieg sein, um technische Fragen zu klären, Lösungsansätze zu diskutieren und eine Zusammenarbeit anzustoßen. Aus unserer Erfahrung mit der all about automation wissen wir, dass kurze Wege und eine persönliche Atmosphäre mit angenehmem Service auf der Messe gute Voraussetzungen für intensive Fachgespräche schaffen. Ergänzend sind Vortragsforen und Networking-Möglichkeiten geplant. Fachmedien, Verbände und weitere Multiplikatoren werden in die Gestaltung einbezogen.

Die all about electronic solutions setzt auf ein kompaktes, regionales Format mit kurzen Wegen. Welchen Vorteil bietet dieses Konzept gerade für Projektverantwortliche und technische Entscheider, die gezielt Lösungen und geeignete Partner suchen?
Entwicklungsprojekte stehen oft unter Zeit- und Kostendruck. Ein Messebesuch muss sich daher gut in den Arbeitsalltag integrieren lassen. Die regionalen Standorte ermöglichen vielen Besuchern An- und Abreise an einem Tag. Gleichzeitig ist räumliche Nähe zu Technologieanbietern und Entwicklungspartnern gerade bei komplexen Projekten wertvoll: Sie erleichtert persönliche Abstimmungen, kurzfristige Treffen und eine Zusammenarbeit über den Messetag hinaus.

Nach welchen Kriterien wird das Ausstellerportfolio zusammengestellt, damit sowohl Spezialisten als auch Zuständige für komplette Entwicklungsprojekte relevante Ansprechpartner finden?
Wir gewinnen Aussteller gezielt entlang der Kompetenzfelder der Elektronikentwicklung – vom Komponentenhersteller über Embedded- und Softwareanbieter bis zu Engineering- und EMS-Dienstleistern. So soll ein ausgewogenes Portfolio entstehen, das Spezialisten ebenso wie Verantwortlichen für komplette Entwicklungsprojekte passende Ansprechpartner bietet. Dabei denken wir branchenübergreifend, denn viele Technologien und Kompetenzen sind in unterschiedlichen Anwendungsfeldern gefragt. Gerade dieser Blick über Branchengrenzen hinweg kann neue Lösungsansätze eröffnen.

Mit welchem konkreten Nutzen sollten Entwickler, Projektleiter oder technische Entscheider idealerweise nach einem Messetag die aaes verlassen?
Im Idealfall verlassen Besucher die aaes mit einer konkreten Lösungsidee, neuen Impulsen oder dem Kontakt zu einem Partner, der bei einer aktuellen Herausforderung unterstützen kann. Ebenso wichtig sind persönliche Begegnungen mit Menschen, die sich mit ähnlichen Aufgabenstellungen beschäftigen. Wenn daraus neue Ideen, Kontakte und konkrete Schritte entstehen, hat sich der Messebesuch gelohnt. Genau dafür steht unser Claim: Where projects move forward.

STECKBRIEF

all about electronic solutions

Fachmesse für die Entwicklung elektronischer Produkte und Systeme

Auftaktveranstaltung:
29. und 30. September 2027

Veranstaltungsort: Messe Ulm

Weitere Informationen: www.aaes.de

CRA-Compliance in der Praxis

So gelingt der Weg zur Cyberresilienz

Viele Unternehmen haben sich noch nicht ausreichend auf die Veränderungen eingestellt, die der Cyber Resilience Act (CRA) ab Ende 2027 bringt. Software-Entwicklungsprozesse werden formaler, die Dokumentation auch im Open-Source-Umfeld anspruchsvoller. Besonders die geforderte Update-Fähigkeit stellt viele Hersteller vor Herausforderungen. „CRA-ready"-Betriebssysteme, Software und Hardware-Komponenten können den Weg zur Compliance erheblich verkürzen.

TEXT: Stefan Eberhardt, Kontron **BILDER:** Kontron; iStock; asbe

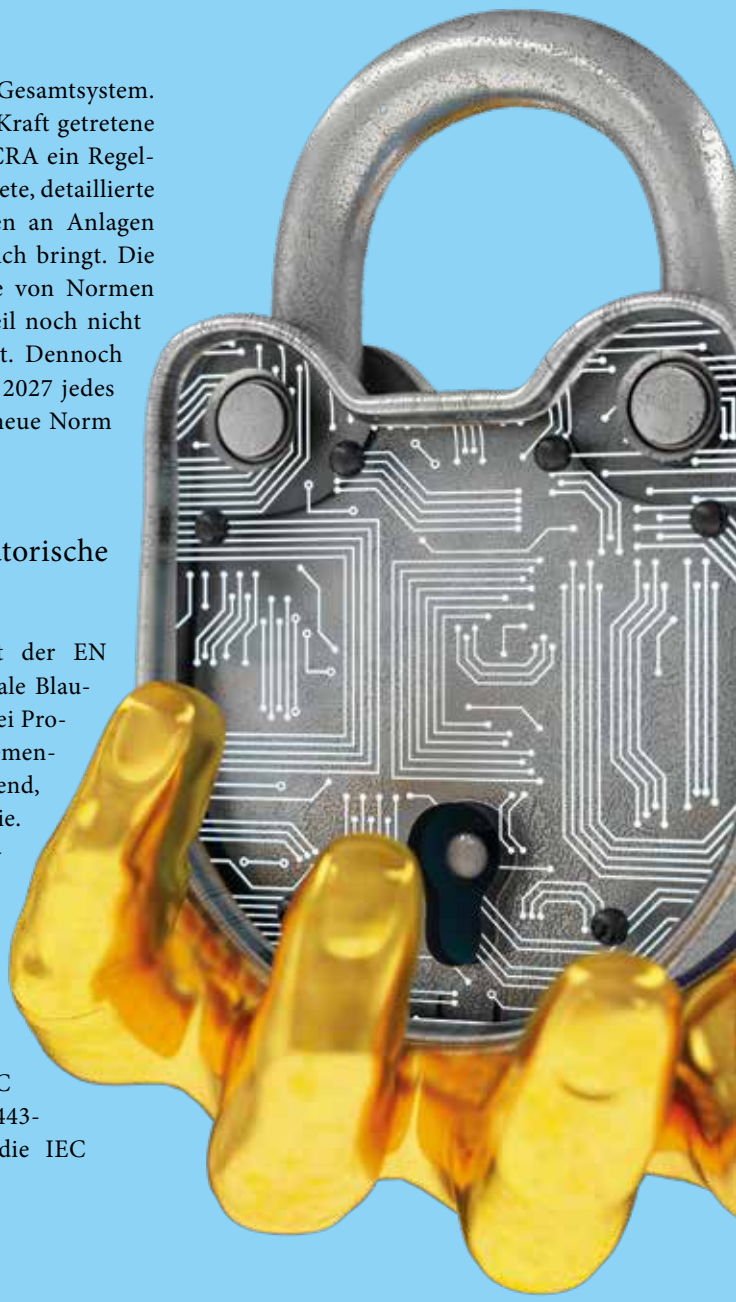
Der Cyber Resilience Act soll angesichts der zugespitzten Lage im Bereich Cybersicherheit dazu beitragen, Schaden von Europa abzuwenden. Ziel der EU-Gesetzgebung ist ein höheres Cybersecurity-Schutzniveau für vernetzte Produkte. Dafür muss die Sicherheit – auch für Produkte, die schon länger auf dem Markt sind – systematisch durch Maßnahmen wie die Verankerung von Security im Produktdesign, Update-Fähigkeit und das wirksame Schließen von Schwachstellen erhöht werden.

Jetzt Prioritäten setzen

Unternehmen müssen alle in den Verkehr gebrachten Produkte ab dem Stichtag 11.12.2027 entsprechend zertifiziert haben, um (weiter) das CE-Kennzeichen tragen zu dürfen. In einer ersten Stufe greift seit 11.09.2026 die Meldepflicht nach Artikel 14 und verpflichtet zur Meldung von ausgenutzten Schwachstellen und schwerwiegenden Sicherheitsvorfällen. Die Einhaltung des CRA hat damit einen starken Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit, doch viele Unternehmen machen sich das noch nicht ausreichend bewusst. Es funktioniert nicht mehr, das Thema an die eigenen Lieferanten weiterzureichen, denn derjenige, der das Produkt in Verkehr bringt, haftet für das Gesamtsystem. Anders als die bereits in Kraft getretene NIS-2-Richtlinie ist der CRA ein Regelwerk, das auch sehr konkrete, detaillierte technische Anforderungen an Anlagen und Komponenten mit sich bringt. Die EU gibt dazu eine Reihe von Normen heraus, von denen ein Teil noch nicht letztgültig ausdefiniert ist. Dennoch drängt die Zeit, wenn ab 2027 jedes ausgelieferte System die neue Norm erfüllen soll.

Der CRA erfordert aufwendige organisatorische Anpassungen

Der CRA bildet mit der EN 40000-Reihe die horizontale Blaupause für Cybersecurity bei Produkten mit digitalen Elementen – branchenübergreifend, nicht nur für die Industrie. Für den industriellen Bereich entsteht ergänzend die EN 50770-Reihe, die ausdrücklich auf der IEC 62443 aufbaut – darunter auch auf bereits bestehenden, bislang freiwilligen Normen wie IEC 62443-4-1 und IEC 62443-4-2. Unternehmen, die die IEC





KontronGrid: Der Schutz vernetzter Systeme beginnt mit einer robusten und konsequent abgesicherten Softwarebasis.

62443 schon heute anwenden, sind entsprechend gut auf den CRA vorbereitet. Bereits gültige Normen wie die EN 18031, die im Rahmen der Radio Equipment Directive (RED) die Cybersicherheitsanforderungen für Funkanlagen konkretisiert, werden durch den CRA nicht abgelöst: Für vernetzte Funkprodukte gelten RED und CRA künftig parallel, wobei der CRA zusätzliche, produktübergreifende Pflichten – etwa SBOM, Update-Zeiträume und Meldewesen – ergänzt. Wer heute noch nicht mit der IEC 62443 oder der RED vertraut ist, muss sich jetzt damit auseinandersetzen: Ein rascher Einstieg ist unabdingbar.



Je nachdem, nach welcher Sicherheitsklasse das Produkt gelistet ist, muss eine Prüforganisation wie etwa der TÜV die Lösung prüfen. Das bedeutet häufig einen immensen Mehraufwand. Zugleich ist davon auszugehen, dass sich die Standardisierung durchsetzen wird – und bei Ausschreibungen bald die CRA-Regelkonformität eingefordert wird. Für international agierende Unternehmen, die den europäischen Markt bedienen, bedeutet das in aller Regel, dass sie die Thematik für ihre jeweiligen Lösungen gleich für alle Märkte adressieren. Zunächst geht es vor allem darum, ein Verständnis für die Risikoeinschätzung zu entwickeln, daraus technische Maßnahmen für das Produkt abzuleiten und die eigenen Lieferanten einzubeziehen.

Neue Anforderungen für Embedded-Hard- und Software

Gefragt sind zum einen architektonische Aspekte wie zum Beispiel ein Sicherheitsanker im Produkt: Eine Hardware Root of Security/Trust bedeutet, dass ein System vor dem Start überprüfen können muss, ob Bootloader, Firmware und Betriebssystem genau in der für das Produkt vorgesehenen Version vorliegen und nicht manipuliert oder verändert wurden. Dadurch ist es künftig nicht mehr möglich, Software oder zusätzliche Programme „einfach nachträglich aufzusetzen", um die Lauffähigkeit sicherzustellen: Jede Änderung muss in das Sicherheitskonzept integriert und freigegeben werden. Teilweise werden Updates von Herstellern noch als Link auf der Homepage zur Verfügung gestellt und die Kunden per E-Mail darüber informiert. Nun muss das System also selbst „verstehen", dass ein Software-Update passt und nicht manipuliert wurde. Das neue Gesetz verlangt darüber hinaus ein kontinuierliches Schwachstellen-Monitoring und einen Überblick über potenzielle Risiken, die in Zwischenkomponenten oder im Zusammenspiel von Komponenten im Gesamtsystem entstehen können. Die Frequenz von Updates und Releases ist je nach Security-Klassifizierung des Produkts zu wählen. Für Standardprodukte ist das typischerweise einmal monatlich. Gerade bei älteren Produkten ist die Update-Thematik komplex.

Painpoint: Update-Fähigkeit über den Lebenszyklus

Der CRA verpflichtet Hersteller von Produkten mit digitalen Elementen, Schwachstellen über den Lebenszyklus ihrer Produkte zu tracken und zu beseitigen. Ohne Update-Fähigkeit lässt sich diese Basisanforderung nicht erfüllen. Die Vorgaben sehen vor, dass Security-Updates mindestens fünf Jahre nach Auslieferung gewährleistet sein müssen. Viele Anwender:innen nutzen Systeme jedoch über 10 bis 20 Jahre. Embedded-Hersteller mit eigenem Betriebssystem können kontinuierliche Updates zwar leicht selbst liefern, bei BIOS, Firmware und hardware-nahen Komponenten

FIRMEN UND ORGANISATIONEN IN DIESER AUSGABE

Firma	Seite	Firma	Seite
apra-norm Elektromechanik	47	Molex	38
Arrow Electronics	20	Moxa Europe	68
Binder	33	NürnbergMesse	69
Burger Engineering	54	nVent SCHROFF	58
CODICO	21	Phoenix Contact	28, 67
Conrad Electronic	U2, 21	ptc Parametric Technology	17
CTX Thermal Solutions	21, 25	PTR HARTMANN	Titel, 12, 14, U4
dataTec	21, 61	publish-industry Verlag	64, U3
DEHN SE	66	RECOM Power	22
DETAKTA	5	Rohm Semiconductor	22
Display Elektronik	22, 83	Rosenberger Hochfrequenztechnik	23
Easyfairs	72	Schlegel	81
Fischer Elektronik	34, 37	Schneider Electric	17
FORTEC	50, 53	Schukat electronic	17, 42
FRIZLEN	55	SCHURTER	17, 23
GEA	66	SECO	82
HARTING	3, 67	SEW Eurodrive	45
HY-LINE Technology	78	Siemens EDA	46
ICT SUEDWERK	29, 84	SIGLENT TECHNOLOGIES	23, 63
inpotron Schaltnetzteile	57	Swissbit	17, 23
Jauch Quartz	22	Uhlmann Pac-Systeme	66
KAIST	17	Universität Tsukuba	17
Kingbright Electronic	43	VACOM	67
KIT	17	VDMA Mess- und Prüftechnik	60
Kontron	74	W+P PRODUCTS	27
Littelfuse	17	WDI	24
Lyravox	54	Weidmüller	6, 77
MES Electronic Connect	41	Weltronic	31
Messe München	18	wts // electronic components	71
Microchip Technology	49		

IMPRESSUM

Herausgeber Kilian Müller

Head of Content Manufacturing Christian Fischbach

Redaktion Bernhard Haluschak (Managing Editor/verantwortlich/-928), Carolina Bachmeier (-898), Emilly Domingues Braga (-927), Katharina Huber (-938), Leander Jank (-937), Dana Neitzke (-930), Michaela Sandner (-916), Rieke Heine (freie Mitarbeiterin)

Newsdesk newsdesk@publish-industry.net

Head of Sales Kilian Müller

Media Saskia Albert (Director Sales/verantwortlich/-918), Beatrice Decker (-913), Caroline Häfner (-914), Ilka Gärtner (-921);
Anzeigenpreisliste: vom 01.01.2026

Inside Sales Patricia Dachs (-935), Sarah Fuchs (-929); sales@publish-industry.net

Verlag publish-industry Verlag GmbH, Claudius-Keller-Str. 3A, 81669 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)40.23714-240; leserservice-pi@dvvmedia.com

Abonnement Das Abonnement enthält die regelmäßige Lieferung der E&E (derzeit 5 Ausgaben pro Jahr inkl. redaktioneller Sonderhefte) sowie als Gratiszugabe das jährlich erscheinende Jahrbuch der Industrie, INDUSTRY.forward HAKAHAKA.

Jährlicher Abonnementpreis
Ein JAHRES-ABONNEMENT der E&E ist zum Bezugspreis von 67 € inkl. Porto/Versand innerhalb Deutschland zzgl. 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. Versandspesen und MwSt. zusätzlich berechnet. Im Falle höherer Gewalt erlischt jeder Anspruch auf Nachlieferung oder Rückerstattung des Bezugsgeldes. Studentenabonnements sowie Firmenabonnements für Unternehmen, die die E&E für mehrere Mitarbeiter bestellen möchten, werden angeboten. Fragen und Bestellungen richten Sie bitte an leserservice-pi@dvvmedia.com

Marketing & Vertrieb Anja Müller (Head of Marketing)

Herstellung Veronika Blank-Kuen

Gestaltung & Layout Layoutstudio Daniela Haberlandt, Beethovenstraße 2a, 85435 Erding

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_2-neutral.

PEFC™
PEFC/04-31-1134

GOGREEN
Der CO_2-neutrale Versand mit der Deutschen Post



KontronOS und Cybersicherheit: Eine sichere Softwarebasis ist entscheidend, um vernetzte Embedded-Systeme zu schützen.

besteht dennoch eine Abhängigkeit von Zulieferern wie AMI oder Intel: Endet der Support, endet letztlich auch die Updatefähigkeit des Gesamtsystems. Diese Herausforderung lässt sich jedoch durch kundenindividuelle Absprachen zu kostenpflichtigem Extended Support oder durch andere Ansätze lösen, wenn Updates nicht mehr möglich sind.

Der Schutzbedarf steigt

Anders als bei Smartphone-Updates sind Updates im industriellen Umfeld deutlich komplexer. Maschinen und Anlagen bestehen häufig aus Komponenten mehrerer Hersteller, Integratoren und Softwarelieferanten. Zwar kann der jeweils Verantwortliche Updates zur Verfügung stellen, doch der nachgelagerte Partner muss die Softwarepakete jeweils prüfen, gegebenenfalls adaptieren und in ihrer jeweiligen Umgebung freigeben.

Entsprechend wird der Untersuchungs- und Evaluierungsaufwand zunehmen, um letztlich sicherzustellen, dass gesetzliche Vorgaben eingehalten werden können. Aufgrund der erforderlichen Prozess- und Organisationsveränderungen ist es wichtig, dass sich alle betroffenen Unternehmen jetzt auf den Weg begeben. Im letzten Lagebericht des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) wurden bis Mitte 2025 pro Tag 119 neue Schwachstellen gefunden – das waren 24 Prozent mehr als im Vorjahr, weiterhin gab es 280.000 neue Schadprogramm-Varianten pro Tag. Höchste Zeit also für ein höheres Schutzniveau, von dem Wirtschaft und Gesellschaft in Europa profitieren.

electronica
Halle A1.449



Effizienz in der Verdrahtung

SNAP IN SETZT NEUE MASSSTÄBE

electronica Halle A3.319

Weidmüllers Anschlusstechnologie SNAP IN ist schon heute bereit für den Schaltschrank der Zukunft.

TEXT + BILDER: Weidmüller

Steigende Anforderungen an Produktivität und Prozesssicherheit sowie der zunehmende Fachkräftemangel stellen den Schaltschrank- und Maschinenbau vor neue Herausforderungen. Gefragt sind Lösungen, die Arbeitsabläufe vereinfachen, Montagezeiten reduzieren und zugleich eine sichere Kontaktierung gewährleisten. Mit SNAP IN hat Weidmüller eine Anschlusstechnologie entwickelt, die genau hier ansetzt. Seit ihrer Markteinführung im Jahr 2021 hat sie sich in unterschiedlichen Produkten und Branchen etabliert.

Das Funktionsprinzip ist ebenso einfach wie wirkungsvoll: Die Klemmstelle wird werkseitig vorgespannt und befindet sich bereits im offenen „wire-ready"-Zustand. Abisolierte Leiter lassen sich dadurch direkt und ohne Werkzeug in die Anschlussstelle einführen. Sobald der Leiter sicher kontaktiert ist, gibt die Technologie eine eindeutige Rückmeldung. Ein hörbares Klick-Geräusch bestätigt den Anschluss akustisch, während der grüne Pusher die sichere Kontaktierung optisch signalisiert.

Der wesentliche Vorteil gegenüber anderen Federanschlüssen besteht darin, dass die Klemmstelle vor dem Einführen des Leiters nicht erst geöffnet werden muss. Dieser Arbeitsschritt ist bei SNAP IN bereits werkseitig vorweggenommen. Gerade bei einer großen Anzahl von Anschlusspunkten kann dies den Verdrahtungsprozess vereinfachen und beschleunigen. Die intuitive Bedienung reduziert zudem den Schulungsaufwand und hilft dabei, potenzielle Fehlerquellen während der Installation zu minimieren. Die Verbindung aus Geschwindigkeit, einfacher Handhabung und eindeutigem Feedback wird von Anwenderinnen und Anwendern häufig als „SNAP IN-Moment" beschrieben und steht für den Claim einfach, schnell, sicher und ready-to-robot.

SNAP IN ist jedoch nicht nur auf die manuelle Verdrahtung ausgerichtet. Die offene Klemmstelle, die zuverlässige Leitereinführung und die eindeutige Rückmeldung über den Schaltzustand schaffen auch Voraussetzungen für automatisierte Abläufe. Damit ist die Technologie ready-to-robot und unterstützt Unternehmen dabei, ihre Produkte und Prozesse auf einen höheren Automatisierungsgrad vorzubereiten.

Parallel zur technologischen Weiterentwicklung hat Weidmüller das Produktspektrum kontinuierlich ausgebaut. Im Bereich der Reihenklemmen deckt das Portfolio Anschlussquerschnitte von 0,25 bis 16 mm² ab. Darüber hinaus ist die Technologie in RockStar® Schweren Steckverbindern, OMNIMATE® 4.0 Steckverbindern, Push Pull Power Steckverbindern und PROeco II Stromversorgungen integriert. Das Anwendungsspektrum reicht vom Schaltschrank- und Maschinenbau über die Energieversorgung und Gebäudeinfrastruktur bis zur Bahnindustrie. Projekte bei Alstom mit Traxx-Lokomotiven und bei Siemens Mobility GmbH mit der S-Bahn München zeigen die Bandbreite der Einsatzmöglichkeiten.

Mit der Kombination aus vorgespannter Feder, werkzeugloser Leitereinführung und eindeutiger Signalisierung adressiert SNAP IN zentrale Anforderungen moderner Verdrahtungsprozesse. Die Technologie vereinfacht die manuelle Montage, erhöht die Prozesssicherheit und schafft zugleich eine Grundlage für die automatisierte Verdrahtung. Alle diese Vorteile zahlen auf eine höhere Effizienz in der Verdrahtung mit SNAP IN ein.

Weitere Informationen zu SNAP IN finden Sie über den Link im QR-Code oder unter: bit.ly/4AWCZDT



Schnittstellen für kleine Displays

Die Superhelden in Klein

In vielen Applikationen ersetzen kleine LC-Displays Einzel-LEDs oder werden neu als Anzeigen eingeführt. Gründe dafür sind zum einen der gesteigerte Komfort – um den Fehler der Kaffeemaschine „LED blinkt dreimal lang und dann fünfmal kurz“ zu interpretieren, braucht man die Bedienungsanleitung. Im Display steht der Klartext: „Maschine entkalken“. Zum anderen ermöglicht ein Display die Vor-Ort-Diagnose und im Zusammenhang mit einem Touchscreen die Bedienung an einem lokalen Messpunkt in einer ansonsten ferngesteuerten Industrieanlage. Große Displays sind hier häufig ungeeignet, da sie zu viel Bauraum beanspruchen und den Kostenrahmen sprengen.

TEXT: Rudolf Sosnowsky, Hy-Line **BILDER:** Hy-Line; iStock, ra2studio



TFT-Modul von vorne



TFT-Modul von hinten

In diesem Artikel soll unter dem Begriff „Kleines Display“ eine Anzeige verstanden werden, die eine niedrige Komplexität hat. Dies beginnt bei der Auflösung und endet bei der Diagonale. Die eingesetzten Technologien reichen von segmentierten TN- oder STN-Displays über Passiv-Matrix-OLED und e-Paper als Sonderfall bis hin zu TFTs mit Single-Chip-Controllern. Die niedrige Komplexität ermöglicht den Betrieb an einfacher Board-Hardware mit einfachen Schnittstellen. Diese werden hier vorgestellt.

Kleine Displays

Die einfachsten LCDs zeigen Segmente und Icons an. Bis zu einer Multiplexrate von 1:4 werden sie häufig durch einen im Mikrocontroller eingebauten LCD-Treiber betrieben. Die Zahl der Segmente ist limitiert, da bei der TN-Technologie der Blickwinkel mit steigender Multiplexrate eingeschränkt wird.

Für Grafikdisplays eignet sich die STN-Technologie, die auch in positiver Darstellung mit dunklen Zeichen auf hellem Hintergrund eingesetzt wird. Der Vorteil ist die sehr geringe Leistungsaufnahme. Ein Backlight unterstützt die Ablesbarkeit in dunkler Umgebung. Für selbstleuchtende Anwendungen kommen Passiv-Matrix-OLEDs zum Einsatz. Sie sind in vielen Formaten und sehr lange verfügbar. Stehen die niedrige Leistungsaufnahme im Standby und hervorragende Ablesbarkeit in heller Umgebung im Vordergrund, empfehlen sich e-Paper-Displays. Für anspruchsvollere Anwendungen werden TFT-Displays eingesetzt. Sie kommen mit einem einzigen IC aus, das auf das Glas aufgeklebt ist. Es erfüllt alle Funktionen: Ansteuerung der Zeilen und Spalten, Erzeugung aller zum Betrieb erforderlichen Spannungen inklusive der Teilspannungen und Kommunikation zum Host hin.

Die Abbildung oben zeigt ein kleines TFT-Modul von vorne. Der dazugehörige Display-Controller/Treiber befindet sich im unteren Bereich unter einer schwarzen Abdeckmasse. Die Schnittstellen-Leitungen sind zusammen mit denen des LED-Backlights auf Goldkontakte am unteren Rand des Flexverbinders geführt. Das Display-Glas wird in einem Kunststoff-Rahmen gehalten, der auch das Backlight, bestehend aus LED und Diffusor-Folien, trägt. Die zweite Abbildung zeigt den Anschluss des Backlights auf der Flexfolie sowie viele Durchkontaktierungen, mit denen die Leitungen in die für das Ansteuerboard richtige Reihenfolge gebracht werden.

Schnittstellen

Kleine Displays werden in Industriesteuerungen vor Ort in Embedded-Systemen, Messgeräten, lokal am Regler in der Industrieanlage, in Geräten für Smart Home, Küchengeräten und Weißer Ware eingesetzt. Sie werden häufig von Mikrocontrollern angesteuert, die das nebenbei machen und ansonsten die gesamten Gerätefunktionen steuern. Bei ihnen steht keine dedizierte Display-Schnittstelle zur Verfügung. Die am weitesten verbreiteten Schnittstellen sind – nach ihrer Komplexität aufgelistet:

I2C (Inter Integrated Circuit)

Ursprünglich für die einfache Kommunikation auf der Leiterplatte innerhalb von Geräten der Consumer-Elektronik entwickelt (Inter IC), wird diese Schnittstelle auch für die Ansteuerung von Displays mit geringem Anzeigeumfang eingesetzt. Typische Displays sind segmentiert oder grafikfähig mit Anzeigeumfang bis 128x64. Technologien sind (S)TN und PMOLED. Der Frame Buffer befindet sich im Display-Controller.

Die Schnittstelle verwendet nur zwei Leitungen: eine vom Master gesteuerte Taktleitung (SCL) und eine Datenleitung (SDA), die bidirektional (Schreiben/Lesen) betrieben wird. Jeder Busteilnehmer hat eine hardwaremäßig zugewiesene Adresse, mit der er gezielt angesprochen werden kann. Die ursprüngliche Spezifikation des I^2C-Busses nennt eine Taktfrequenz von 100 kHz, mittlerweile gibt es erweiterte Versionen, die 400 kHz oder

Schnittstelle	Typ und Topologie	Typischer Pin-Bedarf	Typische Datenrate	Max. praktische Auflösung	Komplexität (Hardware)	Hauptmerkmal / Fokus
I2C	Seriell, Bus	2 Pins	100kbit/s, 400 kbit/s, 1 Mbit/s	128 × 64 (Monochrom)	**Extrem niedrig** GPIO	Minimale Pins, langsam
SPI	Seriell, Punkt-zu-Punkt	4-5 Pins	<10 bis 80 Mbit/s	320 × 240 (Farb-TFT)	**Niedrig** einfaches Layout	Standard für kleine Systeme und MCUs
QSPI	Parallel/Seriell, Punkt-zu-Punkt	6-7 Pins	40 bis >250 Mbit/s	480 × 320 (Farb-TFT)	**Mittel** kurze Leitungen	Kleine Systeme, Smartwatches
Parallel (6800/8080)	Parallel, Bus	11-13 Pins	<10 bis 20 MByte/s	480 × 320 (Farb-TFT)	**Mittel** viele Leitungen	Byte-Transfer ohne Overhead
RGB (DPI)	Paralleles Streaming, Punkt-zu-Punkt	18-28 Pins	<50 bis 100 MByte/s	800 × 480 (<5" bis 7" TFT)	**Hoch (Routing)** Leitungslängen	Echtzeit-Stream, kein Display-RAM
MIPI DSI	Seriell, Punkt-zu-Punkt	4-10 Pins	Bis zu mehreren Gbit/s	FHD bis 4K / Ultra-HD	**Extrem hoch** Differentielles Layout, Impedanz	Standard bei Smartphones und Home Automation

Vergleich der Hardwareanforderungen der Schnittstellen

1 MHz Datenrate erlauben. Vorteilhaft ist, dass nur wenige Leitungen verwendet werden müssen und der I2C-Bus sogar softwareseitig („Bit Banging“) realisiert werden kann. Demgegenüber besteht der Nachteil, dass der Bus für flüssige Farbbilder oder Animationen zu langsam ist, besonders, wenn viele Teilnehmer angeschlossen sind, die ebenfalls mit Daten versorgt werden müssen.

SPI (Serial Peripheral Interface)

SPI hat sich als Standard für kleine bis mittelgroße PMOLED- und TFT-Displays etabliert. Als serielle Schnittstelle kommt sie mit wenigen Leitungen aus: CLK für den Takt, MOSI (Master Out, Slave In) für das Schreiben von Daten, C/D (Command/Data) für die Unterscheidung zwischen Befehl und Datenübertragung und Reset. Gibt es einen Bus mit mehreren Teilnehmern, kann ein CS (Chip Select)-Signal für die Auswahl eines bestimmten Teilnehmers sorgen. Die Datenrate bewegt sich hier im Bereich von 5 bis jenseits 50 MHz. Damit lassen sich auf Displays bis QVGA-Auflösung flüssige Animationen darstellen.

QSPI (Quad Serial Peripheral Interface)

QSPI ist eine Weiterentwicklung des SPI, bei der vier Datenleitungen statt nur einer verwendet werden. Dadurch verschiebt sich die Auflösungsgrenze für die Übertragung flüssiger Videos weiter nach oben.

Paralleler Datenbus

Der externe Bus der beiden in den achtziger Jahren dominanten Mikroprozessoren Intel 8080 und Motorola 6800 (und ihrer Familien) kann ebenfalls zur Ansteuerung von Displays verwendet werden. Das Display mit eingebautem Frame-Buffer verhält sich dabei wie ein an den Bus angeschlossenes RAM. Der Aufwand ist dabei enorm: Außer den 8 oder 16 Datenleitungen werden Steuerleitungen wie R/W, E, RS (6800) oder /RD, /WR, RS (8080) und bei beiden CS (Chip Select) verwendet. Die erzielbare Geschwindigkeit ist sehr hoch. Nicht zu vernachlässigen ist die EMV, da hier ein ganzes Bündel Leitungen mit rechteckförmigen Signalen betrieben wird. Für ein umfangreicheres Mikroprozessorsystem, bei dem viele Peripheriebausteine an den Bus angebunden sind, ist diese Schnittstelle gut geeignet. Als einziger Busteilnehmer würde das Display zu viele Pins blockieren und die Leitungen auf der Leiterplatte wertvolle Fläche verbrauchen. Der Frame-Buffer befindet sich im Display.

Paralleles Interface (RGB, CMOS, TTL)

Die unter verschiedenen Bezeichnungen bekannte Schnittstelle ist die älteste. Sie setzt eine auf dem System-Board oder in der CPU integrierte GPU voraus, da die Daten kontinuierlich übertragen werden müssen. Je nach Farbtiefe des Displays werden 3x6 oder 3x8 Leitungen für die Farbinformationen Rot, Grün und Blau verwendet. Ein Taktsignal synchronisiert die Übertragung, Steuersignale wie HS (Horizontal Sync), VS (Vertical Sync) und/oder DE (Display Enable) steuern die Zuordnung von neuen Zeilen und Frames. Der Vorteil liegt in der hohen Aktualisierungsrate; typische Displays erlauben 60 Hz. Nachteilig ist die durch die maximale Taktfrequenz begrenzte Auflösung, die bei ungefähr WVGA endet.

MIPI (Mobile Industry Processor Interface)

Mit MIPI wurde ein Standard definiert, der es erlaubt, vielfältige Peripherie an einen Prozessor anzuschließen. Der Unterstandard DSI (Display Serial Interface) beschäftigt sich dabei mit der Ansteuerung von Displays. Die Signale sind

EMV-optimiert und energieeffizient, aber nur für kurze Verbindungen ausgelegt, wie sie in Geräten der Consumer-Elektronik vorkommen. Alle Leitungen sind paarweise differentiell ausgeführt, um damit geringe elektromagnetische Störungen zu erzeugen. Je nach Display-Auflösung werden ein oder mehrere Paare für die Daten verwendet.

Ein Nachteil mag die nicht ganz einfache Initialisierung sein, bei der sich Host und Display über die Eigenschaften der Schnittstelle austauschen und die Übertragung anpassen. Für kleine Mikrocontroller ist die Schnittstelle wegen der fehlenden Hardware nicht geeignet.

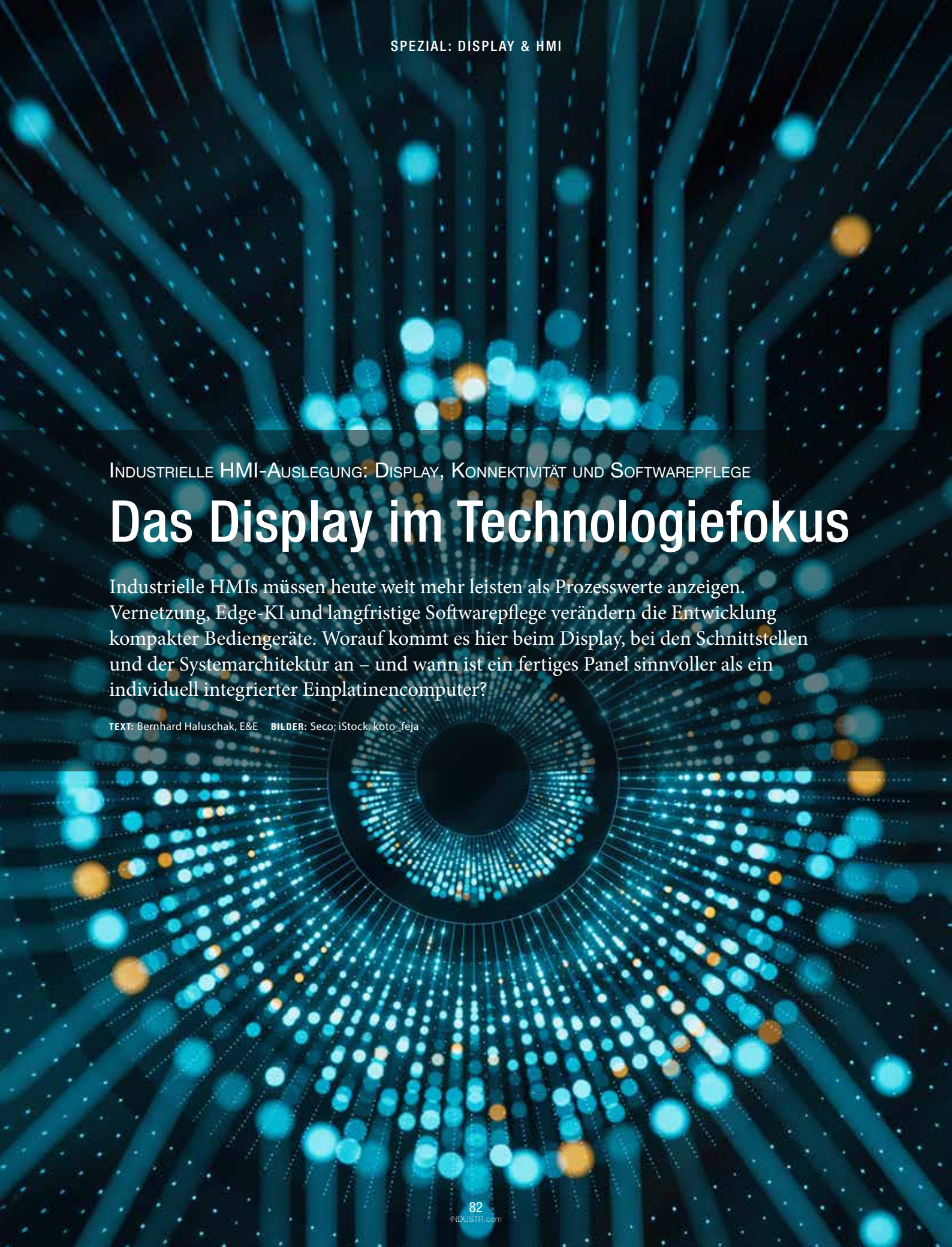
Welche Schnittstelle ist die beste?

Es gibt keine Antwort auf diese Frage, denn es gibt zu viele Faktoren, die die Auswahl der Schnittstelle beeinflussen. Wie viele Pins stehen zum Anschluss des Displays zur Verfügung, und ist die Schnittstelle in Hardware oder Software realisiert? Bei wenigen Pins und einem Display mit niedriger Komplexität (z. B. Character-Display, Segment-Display, kleines Grafikdisplay) eignen sich I2C und SPI, bei einem Mikroprozessorsystem mit am Bus angeschlossener Peripherie eher ein paralleler Datenbus. Verfügt das Hostsystem über eine eigene GPU, ist der Anschluss eher als QSPI oder MIPI herausgeführt. Gibt es einen Frame Buffer auf dem Display? Dann wird das RAM des Hostsystems entlastet, denn selbst ein monochromes Bild in QVGA-Auflösung benötigt 75 kBytes Speicher, bei Vollfarben mit 18 Bit Farbtiefe (wie beim besprochenen Controller) sind es bereits über 300 kBytes. CPUs, die noch andere wichtige Aufgaben erledigen müssen, können diesen Speicherbereich selektiv füllen, ohne dass ein durchlaufendes Bild den Anwender irritiert.

Gibt es eine Anforderung zur Update-Rate? Wenn ja, sollte die Schnittstelle die Daten rasch genug übertragen, um das Bild in einer definierten Zeit aufbauen zu können. Ein weiterer Grund kann eine komplexe Visualisierung sein, die nur mit einer leistungsfähigen GPU in Echtzeit erstellt werden kann: Dann sollte die Schnittstelle vom Streaming-Typ sein (RGB oder MIPI). Die GPU rendert dann im systemseitigen Frame-Buffer, und die Streaming-Hardware überträgt das Bild mit der passenden Framerate. Auf die Ausführung des TFT-Moduls selbst kann der Anwender beim Hersteller Einfluss nehmen: Helligkeit des Backlights, Design der Flexfolie und des Deckglases, Integration eines Touchscreens.

Den vollständigen Beitrag finden Sie über den Link im QR-Code oder unter: industr.com/2922965





Industrielle HMI-Auslegung: Display, Konnektivität und Softwarepflege

Das Display im Technologiefokus

Industrielle HMIs müssen heute weit mehr leisten als Prozesswerte anzeigen. Vernetzung, Edge-KI und langfristige Softwarepflege verändern die Entwicklung kompakter Bediengeräte. Worauf kommt es hier beim Display, bei den Schnittstellen und der Systemarchitektur an – und wann ist ein fertiges Panel sinnvoller als ein individuell integrierter Einplatinencomputer?

TEXT: Bernhard Haluschak, E&E **BILDER:** Seco; iStock, koto_feja



Der kompakte Einplatinencomputer auf Basis des Dragonwing IQ-2390 bietet Schnittstellen für individuell entwickelte industrielle HMI-Lösungen.

Die Mensch-Maschine-Schnittstelle ist längst mehr als eine Anzeige für Prozesswerte. Moderne HMIs visualisieren Betriebszustände, verarbeiten Eingaben und verbinden Bedienung mit Rechen- und Kommunikationsfunktionen. Für Entwickler zählt damit die Systemarchitektur: Display, Embedded-Hardware und Software müssen zur Anwendung und ihrer Nutzungsdauer passen. Bei der Displayauswahl zählen nicht allein Diagonale und Auflösung. Helligkeit, Kontrast, Blickwinkel und Ablesbarkeit bei wechselndem Licht bestimmen den praktischen Nutzen. Die Touchoberfläche muss zu den Bedienbedingungen passen. Wichtig ist eine genaue Prüfung der Schutzart: Eine IP65-geschützte Front bedeutet nicht, dass das gesamte Gerät denselben Schutz bietet. Einbauraum und Leistungsaufnahme sind weitere Auswahlkriterien. Für die Anbindung an Bestandsanlagen bleiben RS-232, RS-485 und CAN relevant. Ethernet und Funkverbindungen eröffnen zusätzliche Vernetzungsmöglichkeiten, erhöhen aber auch die Anforderungen an die IT-Sicherheit. Bei der Geräteauswahl sollten Entwickler prüfen, welche Schnittstellen tatsächlich herausgeführt sind und welche lediglich der Prozessor unterstützt. Bei Nachrüstungen zählt außerdem die Kompatibilität zur vorhandenen Steuerung.

Zwei Wege zur HMI-Architektur

Ein Beispiel liefern zwei von Seco vorgestellte Plattformen auf Basis des Qualcomm Dragonwing IQ-2390. Der Prozessor kombiniert Bildverarbeitung, KI-Beschleunigung, eine RISC-V-Mikrocontroller-Einheit und zwei Gigabit-Ethernet-Schnittstellen mit Time-Sensitive Networking (TSN). Die Integration kann externe Komponenten reduzieren und die Systementwicklung vereinfachen. Das Compact Vision 5 ist ein integriertes 5-Zoll-Touch-HMI mit IP65-geschützter Front, 2 oder 4 GB RAM und 16 GB eMMC. Zur Ausstattung gehören RS-232, R-S485, CAN, Gigabit-Ethernet, USB-C, WLAN und Bluetooth. Die Versorgung erfolgt mit 9 bis 24 V Gleichspannung. Weitere Displaygrößen sind geplant. Der SBC-Dragonwing-IQ-2390 ermöglicht dagegen individuelle Display- und Gehäusekonzepte. Sein Erweiterungsanschluss unterstützt unter anderem Kamera, Audio, USB und I^2C/I^3C. Beide Plattformen lassen sich optional um ein USB-Audiomodul mit Mikrofonarray und Beamforming zur Sprachbedienung ergänzen. Beide Lösungen verwenden Clea OS 2.0 und sollen künftig Clea OS 3.0 unterstützen. Betriebssystem, Board-Support-Package und Entwicklungswerkzeuge erleichtern die Integration. Entscheidend bleiben langfristige Softwarepflege, Sicherheitsupdates und die Verfügbarkeit technischer Unterstützung. Während fertige Panels den Entwicklungsaufwand begrenzen können, bieten SBCs größere Gestaltungsfreiheit. Welche Architektur sinnvoll ist, hängt von den funktionalen Anforderungen und der langfristigen Wartbarkeit ab.

electronica
Halle C5.100/42

Displays, die bleiben...
Partnerschaften, die sich vertiefen!
Von der Idee bis zur Serie - über 40 Jahre Erfahrung



Automatisierung, Messtechnik und moderne Bedienkonzepte stellen hohe Anforderungen an Displays und Tastaturen.

Display Elektronik begleitet anspruchsvolle Projekte, von der Auswahl über die Entwicklung bis zur Serienversorgung - **persönlich, kompetent und partnerschaftlich ...**

Display Elektronik GmbH
www.display-elektronik.de
T. +49 (0) 6043 / 98888-0

display® ...since 1984

LCD · TFT · LED · OLED · TOUCH PANELS · TASTATUREN

Thermal Management und EMV rücken enger zusammen

Zwei Welten, eine Lösung

Steigende Leistungsdichten, kompaktere Bauformen und höhere Betriebstemperaturen verschärfen die Anforderungen an das thermische Gleichgewicht und die elektromagnetische Verträglichkeit in elektronischen Baugruppen. Wolfgang Reitberger-Kunze, Geschäftsführer von ICT SUEDWERK, zeigt, warum TIMs und EMV-Lösungen früh gemeinsam gedacht werden müssen – und wie ihr Zusammenspiel die Zuverlässigkeit sowie die Performance in solchen Systemen sichert.

TEXT: Bernhard Haluschak, E&E
BILD: Dominik Gierke, ICT SUEDWERK



Die Anwendungen in der Leistungselektronik und Halbleitertechnik sind inzwischen äußerst vielfältig. Entsprechend unterschiedlich sind die Anforderungen an wärmeleitende Materialien und EMV-Produkte. Besonders deutlich zeigt sich die Nachfrage derzeit in fünf Technologiebereichen.

E-Mobilität

In der E-Mobilität reicht das Anwendungsspektrum von der Batteriekühlung über Leistungselektronik und Steuerungstechnik bis zur Klimatisierung des Fahrzeuginnenraums. Hinzu kommt die effiziente Ableitung von Verlustwärme aus Elektromotoren und der elektromechanischen Kraftübertragung. Weitere Einsatzfelder sind die Energierückgewinnung sowie Batterie- und Energiepufferspeicher für erneuerbare Energien. Hierbei kommen unter anderem silikonhaltige und silikonfreie Gapfiller-Pads, leitfähige Gewebe und Vliese, leitfähige Elastomere sowie weitere EMV-Produkte zum Einsatz.

5G-Technologien

Mit dem fortschreitenden Ausbau der 5G-Infrastruktur steigt die Zahl der Endgeräte und Basisstationen, die auf leistungsfähige Thermal Interface Materials (TIM) angewiesen

»Die Evolution der Mobilfunkstandards ist weit mehr als ein Upgrade der Übertragungsraten – sie ist ein massiver Treiber für den Markt der Wärmemanagement-Materialien.«

sind, rasant an. Eine technologische Schlüsselrolle nehmen dabei mmWave-Geräte ein. Sie zwingen die Branche zum Umdenken: Extreme Packungsdichten treffen hier auf Halbleiter, die unter thermischen Höchstlasten arbeiten. Die Folge ist eine steigende Nachfrage nach leistungsfähigen Wärmeleitfolien und ultradünnen TIMs. Für Elektronikentwickler definiert dies das Spielfeld völlig neu. Die Kernaufgabe besteht heute darin, eine exzellente thermische Anbindung in extrem dicht gepackten Systemen zu garantieren – und zwar ohne wertvollen, ohnehin kaum vorhandenen Bauraum zu opfern. Wer hier die Nase vorn haben will, muss das Thermomanagement von Anfang an als integralen Bestandteil des Systemdesigns begreifen.

Industrie 4.0 und Digitalisierung

Die deutsche Elektro- und Digitalindustrie treibt die Vernetzung in der Produktion kontinuierlich voran. Der Einzug von künstlicher Intelligenz, intelligenten Systemen und smarter Sensorik optimiert Prozesse und ebnet den Weg für neue Geschäftsmodelle. Mit dieser fortschreitenden Vernetzung und der steigenden Komplexität der Elektronik wachsen jedoch auch die physikalischen Herausforderungen: Der Bedarf an leistungsfähigen thermischen Schnittstellenmaterialien (TIM) – von der klassischen Anwendung bis hin zu reinen Dünnschicht-Lösungen – sowie an effektiven EMV-Schutzprodukten nimmt spürbar zu.

Energietechnik & Smart Grids

Ein ähnliches Bild zeigt sich in der Energietechnik. Im Zentrum steht hier der Aufbau von Smart Grids, um eine sichere, effiziente Stromversorgung auf Basis erneuerbarer Energien zu gewährleisten. Die Industrie übernimmt dabei eine Schlüsselrolle bei der Sektorenkopplung. Da sowohl die Leistungselektronik als auch der Digitalisierungsgrad in den Netzen steigen, wachsen die Anforderungen an das Wärmemanagement und die elektromagnetische Abschirmung. Entsprechend gefragt sind moderne TIM-Lösungen und EMV-Shielding-Produkte.

Halbleiter und Mikroelektronik

Die strategische Relevanz von Halbleitern, Sensoren und Mikroelektronik ist unumstritten – das haben nicht zuletzt die globalen Lieferkettenengpässe der vergangenen Jahre verdeutlicht. Deutschland investiert gezielt in den Ausbau dieser Schlüsseltechnologien. Für die Materialhersteller führt diese Entwicklung zu einer steigenden Nachfrage nach leistungsfähigen Materialien und Komponenten, die den extremen thermischen und elektromagnetischen Anforderungen moderner Mikroelektronik gerecht werden.

Fazit

Die deutsche Elektroindustrie treibt die Vernetzung in Unternehmen, Lieferketten und im Alltag konsequent voran. Ihre Querschnittstechnologien sind die Basis für technischen Fortschritt. Über die Kernbereiche hinaus gewinnen wärmeleitende Materialien und EMV-Produkte auch in der Leistungselektronik, Medizintechnik, Luftfahrt und Drohnentechnik an Bedeutung. Zudem etabliert sich künstliche Intelligenz als Wachstumstreiber für Halbleiter und Robotik. Für Elektronikentwickler bleibt das Fazit eindeutig: Mit steigender Leistungsdichte und zunehmender Vernetzung müssen Wärmemanagement und EMV als Einheit betrachtet werden. Die konkrete Anwendung bestimmt letztlich die finale Materialauswahl.

electronica
Halle B3.149

24,8 Punkte

Quelle: ifo Institut (Stand: 01.10.2026)

erreicht der Geschäftsklimaindex der Elektroindustrie im September 2026 – ein Höchstwert seit mehr als drei Jahren. Die Branche profitiert besonders von Neuaufträgen.

„Die Elektroindustrie entwickelt sich zunehmend zur Konjunkturlokomotive innerhalb der deutschen Industrie“, sagt ifo-Experte Klaus Wohlrabe. Die Unternehmen wollen ihre Fertigung in den kommenden Monaten ausweiten. Auch vom Auslandsgeschäft werden Impulse erwartet. Spannende Beiträge rund um Electronics Solutions finden Sie ab Seite 42.

TICKET SICHERN

3. Fachkonferenz

Zukunft.DEFENCE

Gemeinsam für Souveränität & Sicherheit in Europa

02.12.2026 | Düsseldorf

Industrie sichert Souveränität. Gemeinsam!
Die Fachkonferenz Zukunft.DEFENCE bringt zivile Industrie, Sicherheits- und Verteidigungsindustrie (SVI) und die Bundeswehr als Beschaffer in den direkten Dialog. Wir machen Bedarfe, Beschaffungswege und Rahmenbedingungen transparent, zeigen realistische Geschäftspotenziale und Grenzen auf und fördern Partnerschaften – von Marktüberblick und Best Practices bis zum Weg zum ersten Auftrag. So stärken wir Innovation, Skalierbarkeit, sichere Produktion und resiliente Lieferketten am Standort Europa.

industry-forward.com/zukunft-defence

Initiatoren

publish industry verlag

INDUSTRY.FORWARD NAVIGATE THE CHANGE

DVV Media Group

griephan

RHEINISCHE POST

Partner

ACTEMIUM

FESTO

Lufthansa Industry Solutions

@YET


Alles rund um Kontakte, Schalter, Induktivitäten und ...
WIR HABEN DIE LÖSUNG!
PTR HARTMANN
A Phoenix Mecano Company
electronica
Weltleitmesse und Konferenz der Elektronik
10.–13. November 2026 | Trade Fair Center Messe München
Halle A3.300