

EE EXPLORE

NEXT TECH ELECTRONICS

MÄRZ | 2026

embeddedworld
Exhibition & Conference
...it's a smarter world

MESSTECHNIK: SMART BESCHAFFEN, SICHER MESSEN

Vom Messgerät zur datengetriebenen
Wertschöpfung ...mehr ab Seite 8

TITELBILD - SPONSOR: CONRAD ELECTRONIC

EMBEDDED SYSTEMS
Diese Trends und Technologien
prägen die Branche ab S. 16

SPEZIAL: KI
Optimales Datentraining
für KI-Modelle ab S. 51

DISPLAY & HMI
Individuelle Displays nach
Maß entwickeln S. 36

Ihr
B2B
Partner

Ja! Ausfallzeiten minimiert. Mit Conrad.

Passende Ersatzteile schnell geliefert



conrad.de/ja-momente

Alle Teile des Erfolgs

CONRAD

Explore Next Tech ELECTRONICS



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.



Bernhard Haluschak, Chefredakteur E&E: KI in Embedded-Systemen klingt zunächst wie die logische Fortsetzung dessen, was wir seit Jahren tun: mehr Funktionalität, mehr Automatisierung – nur eben effizienter und näher an der Maschine. In der Praxis ist es aber weniger ein Feature-Upgrade als ein Paradigmenwechsel. Denn klassische Embedded-Software lebt von Eigenschaften wie deterministischem Verhalten. Ein KI-Modell hingegen bringt Statistik ins System. Genau diese Mischung aus hoher Erwartung und begrenzter Beherrschbarkeit macht das Thema so spannend – und so riskant.

KI IN EMBEDDED-SYSTEMEN – ZWISCHEN EFFIZIENZGEWINN UND KONTROLLVERLUST!

Sobald Inferenz „on-device“ laufen soll, zählt nicht der Durchschnitt, sondern der Worst Case: Passt das Modell in das harte Zeitbudget? Wie verhalten sich Latenzspitzen unter Interrupt-Last, Speicherengpässen oder Temperaturdrift? Auf kleinen Targets entscheiden Quantisierung, Speicherlayout, Energieaufnahme und Thermik oft mehr über Stabilität als die Modellarchitektur selbst. Und selbst wenn die Performance stimmt, bleibt die zentrale Frage: Was bedeutet „korrekt“? Ein Modell kann statistisch plausibel entscheiden und dennoch systemisch falsch liegen – etwa durch Sensorrauschen, Alterung, Montageabweichungen oder seltene Betriebszustände außerhalb des Trainingsraums.

Kritisch wird es, wenn KI Ergebnisse liefert, die Safety, Verfügbarkeit oder Produktqualität beeinflussen. Dann reicht „gute Genauigkeit“ nicht. Es braucht ein beherrschbares Gesamtsystem: klare Funktionsgrenzen, überwachte Eingangsbereiche, Plausibilisierung neben dem Modell und ein definiertes Verhalten bei Unsicherheit. Fallback ist hier Pflicht: konservative Default-Zustände oder eindeutige Umschaltlogik. KI darf unterstützen – sie sollte nicht unbemerkt zur letzten Instanz werden.

Hinzu kommt der Lebenszyklus: Bei der Firmware lassen sich Änderungen meist klar beschreiben. Bei Modellen bedeuten kleine Anpassungen an Daten, Preprocessing oder Quantisierung oft messbar anderes Verhalten, ohne dass eine klassische Spezifikation „mitwandert“. Wer KI seriös betreibt, braucht daher reproduzierbare Pipelines, Regressionstests mit Feldeinsatz und ein Rollback, das im Ernstfall wirklich funktioniert.

Und schließlich Security: Modellartefakte sind IP, Updates sind Angriffsflächen und gezielte Eingaben können Fehlverhalten provozieren. Gerade bei Geräten mit langen Standzeiten im Feld ist das kein Randthema, sondern Teil der Architektur.



**Weil
manchmal
alles von
genau
18 Volt
abhängt.**

datatec.eu/future



INHALT

AUFTAKT

- 06 Im Rampenlicht: Präzise Transistortests
- 12 Highlights der Branche
- 14 „Places to be“ auf der Embedded World 2026

TITELREPORTAGE

- 08 Titelstory: Vom Messgerät zur datengetriebenen Wertschöpfung
- 09 Titelinterview: „Smart beschaffen, sicher messen“

FOKUS: EMBEDDED

- 16 Umfrage: Revolution oder Evolution?
Was bewegt die Embedded World 2026 wirklich?
- 21 PCIe 5.0 vs. PCIe 4.0:
Chancen und Grenzen im industriellen Einsatz
- 24 Interview - Zukunft & Innovation bei nVent:
„Ein Power-Chip allein ist längst nicht genug!“
- 26 Von der Idee zum fertigen Produkt:
Embedded-Systeme im Miniaturformat

NET ZERO ELECTRONICS

- 30 Connecting the All Electric Society:
Sektorenkopplung und Connectivity als Wegbereiter



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

FOKUS

EMBEDDED

08

AB SEITE

TITELSTORY

Auf das Mess-Equipment
kommt es an

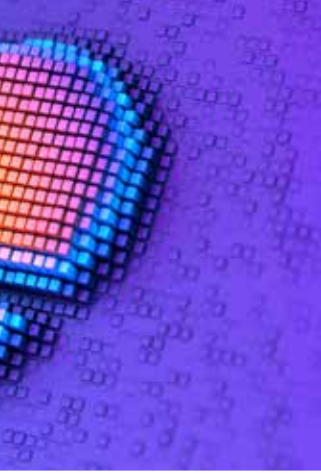


51

SPEZIAL: KI

Sieben Fakten zum
Einsatz von KI





AB SEITE 14

FOKUSTHEMA

Aktuelle Themen & Trends
rund um Embedded-Technologien



32

ENTWÄRMUNGSKONZEPTE
Hier kommt die richtige Kühlung



ELECTRONICS SOLUTIONS

- 32 Richtig kühlen durch effiziente Entwärmungskonzepte
- 36 Displays nach Maß: Passende TFT-Module richtig bauen
- 40 Digitale Steuerung für 48-V-Stromversorgungsarchitekturen
- 44 Anwenderstory: Gut gekühlt zur Energiewende
- 48 Steckverbinder für die automatisierte Leitungssatzfertigung optimieren

SPEZIAL: KI

- 51 Mehr Tempo im Engineering: 7 Fakten zum Einsatz von KI im Automotive-Bereich
- 54 DSGVO-konforme Gesichtserkennung: Optimale KI-Trainingsdaten generieren
- 60 Engineering on the Edge: KI- und Wireless-Trends für 2026

NEXT ELECTRONICS

- 62 Vernetzte Systeme schützen: Industrielle Cybersicherheit neu gedacht

RUBRIKEN

- 03 Editorial
- 53 Impressum & Firmenverzeichnis
- 58 Cover Winner des Jahres 2025
- 66 Die Zahl

AUTOMATISIERTE HOCHFREQUENZ-MESSTECHNIK

Präzise Transistortests dank Automation und KI

Ein neues vollautomatisches Messverfahren von FBH und TU Berlin erhöht die Genauigkeit bei der Charakterisierung von HF-Transistoren auf Mikrometer-Niveau – und macht die Waferanalyse schneller, zuverlässiger und weniger fehleranfällig.

TEXT: Bernhard Haluschak, E&E; mit Material von FBH BILD: Ferdinand-Braun-Institut



HF-Transistoren sind entscheidend für schnelle, effiziente Kommunikation – doch ihre on-wafer Messung ist bislang fehleranfällig. Ein neues Verfahren des FBH behebt das: Ein automatischer Manipulator und eine optische Kontrolle des Probe-Skatings positionieren Messnadeln mit weniger als 2 Mikrometer Abweichung. Ungenauigkeiten durch Waferunregelmäßigkeiten oder manuelle Fehler werden so stark reduziert.

Zusätzlich identifiziert ein KI-System der TU Berlin die Transistorposition mit Mikrometerpräzision und richtet die Probes vollautomatisch aus. Die Algorithmen erkennen sogar Probing-Spuren und mögliche Beschädigungen.

Der Nutzen: deutlich schnellere Messprozesse, höhere Datenqualität, weniger Ausschuss und die Möglichkeit, mehr Bauelemente in kürzerer Zeit zu charakterisieren. Das ausgezeichnete MATADOR-Projekt bringt damit die Testautomatisierung für kommende HF-Generationen spürbar voran.

Auf das richtige Mess-Equipment kommt es an

VOM MESSGERÄT ZUR DATENGETRIEBENEN WERTSCHÖPFUNG

Messtechnik und Prüftechnik werden in Unternehmen zunehmend zum strategischen Faktor - sowohl in der Entwicklung als auch im Produktionsumfeld: Wer Messdaten exakt erfasst, dokumentiert und in digitale Prozesse überführt, reduziert Stillstandsrisiken, verbessert die Qualität und senkt den Energieverbrauch. Conrad Electronic adressiert diese Bedürfnisse als B2B-Beschaffungsplattform nicht nur über die Sortimentstiefe, sondern explizit als Lösungsanbieter mit passgenauen Plattform- und Servicebausteinen.

TEXT: Bernhard Haluschak, E&E BILD: Conrad Electronic + publish-Industry KI

Heutige Messgeräte sind längst mehr als isolierte Prüfmittel in Entwicklungsabteilungen oder im Produktionsumfeld. Dank eingebetteter Prozessoren, Funkmodule und Software sind sie "smart" geworden – fähig, Daten ohne manuelles Zutun zu erfassen, zu verarbeiten und sogar eigenständig zu reagieren. Solche intelligenten Messgeräte bringen mehrere entscheidende Merkmale mit, wie Vernetzungsfähigkeit, automatisierte Datenanalyse, Speicher- und Cloud-Anbindung sowie Fernüberwachung und -steuerung.

Diese Eigenschaften ermöglichen völlig neue Anwendungen. Einmal konfiguriert, arbeiten smarte Messgeräte weitgehend autonom. Manuelle Eingriffe werden minimiert, was Bedienungsfehler reduziert und Personal entlastet. Die Vernetzung untereinander und mit Unternehmens-Clouds schafft darüber hinaus einen sehr guten Überblick auf die erfassten Prozesse.

Von Energieeffizienz bis E-Procurement

Die Bedürfnisse des Marktes für Messtechnik haben sich in den letzten Jahren gewandelt. Ein zentrales Thema ist die Energieeffizienz. Hier helfen Mess- und Überwachungssysteme, ineffiziente Maschinen zu identifizieren und Einsparpotenziale zu heben. So werden etwa in Fabrikhallen smarte Stromzangen und Leistungsmessgeräte eingesetzt, um kontinuierlich den Energiehunger einzelner Anlagenteile zu verfolgen. Laut Conrad nutzen bereits heute viele Unternehmen smarte Messtechnik zur Überwachung und Senkung des Energieverbrauchs. In Kombination mit Automatisierung können solche Systeme Verbraucher selbstständig abschalten, wenn sie nicht benötigt werden – ein großer Hebel zur Kostensenkung.

Auch die Themen Wartung und Betriebszeit stehen im Fokus. Ungeplante Maschinenstillstände sind teuer und störend. Hier greift das Bedürfnis nach vorausschauender Instandhaltung (Predictive Maintenance). Smarte Messgeräte an Produktionsmaschinen sammeln rund um die Uhr Daten. Mit intelligenten Analysefunktionen lassen sich daraus Verschleißtrends erkennen. Stillstandzeiten und Folgeschäden lassen sich damit drastisch reduzieren.

Neben diesen technischen Anforderungen haben sich auch Beschaffungs- und Servicebedürfnisse geändert. Viele Unternehmen möchten Messtechnik schnell und integriert beschaffen, ohne lange Lieferzeiten oder aufwendige Bestellprozesse. Deshalb bietet die Conrad Sourcing Plattform über 10 Millionen Produktangebote – faktisch das komplette Spektrum an Messtechnik und Elektronikkomponenten – die sehr einfach direkt über den Webshop oder automatisiert via E-Procurement bestellt werden können.

Fazit

Messtechnik entwickelt sich in der EU vom „Werkzeugkasten“ zur integrierten Systemlösung: Messgeräte, Datenfluss, Compliance (MID/ISO), Energie-Use-Cases und digitale Beschaffung greifen ineinander. Conrad Electronic ist entsprechend nicht nur Produktlieferant, sondern positioniert sich als Lösungsanbieter, der über E-Procurement-Integration, Kalibrier-Services und anwendungsnahe Orientierung die Brücke zwischen Engineering-Anforderungen und Einkaufspraxis schlägt – ein Ansatz, der besonders für Ingenieure, Produktionsverantwortliche und CTOs relevant ist, die Mess- und Prüftechnik als Bestandteil ihres unternehmerischen Erfolgs verstehen.

Experten-Interview mit Conrad Electronic

Smart beschaffen, sicher messen

Der rasante Technologiewandel und die damit verknüpften Anforderungen verändern die Messtechnik. Susanne Storch und Harald Lehner von Conrad Electronic beleuchten im Interview aktuelle Markttrends und Kundenbedürfnisse und sprechen über Messtechniklösungen und digitale Beschaffungsprozesse. Zudem erklären sie, wie sich Conrad Electronic als Lösungsanbieter im Bereich Messtechnik positioniert.

DAS INTERVIEW FÜHRTE: Bernhard Haluschak, E&E BILDER: Conrad Electronik, Tom Bruner; ublacklight_trace, iStock



Wie schätzen Sie die aktuelle Bedeutung des Messtechnik-Marktes ein, insbesondere für die Industrie?

Susanne Storch: Die Vorschriften für Industriebetriebe werden immer detaillierter und umfangreicher. Als Beschaffungspartner ist es unsere Aufgabe, unsere Kunden bei der Bewältigung dieser Aufgabe zu unterstützen. Um alle Vorschriften einzuhalten und dabei effizient und unkompliziert zu arbeiten, führt kein Weg an moderner Messtechnik vorbei: Mit ihr lässt sich automatisiert, Cloud-basiert und ortsunabhängig arbeiten, die Ergebnisse gehen per Mail direkt zu Kunden und auch Abrechnungsprozesse werden dadurch wesentlich einfacher.

Inwiefern haben sich die Anforderungen der Kunden an Messtechnik in den letzten Jahren verändert?

Harald Lehner: Die Anforderungen haben sich massiv gewandelt. Und zwar weg von rein punktuellen Messungen hin zu Werkzeugen, die für Hochspannung, regenerative Energien und die digitale Vernetzung (Bluetooth-Kommunikation und Datenloggen per App) optimiert sind. Mit veralteten, nicht kalibrierten Geräten können unsere Kunden ihren Dokumentationspflichten nicht nachkommen. Conrad verfügt über ein seit Jahrzehnten gewachsenes Lieferantennetzwerk und eigene Entwicklungsexpertise im Bereich Messtechnik. Auf unserer Plattform sind also alle namhaften Hersteller, darunter auch die starke Marke Voltcraft, mit ihren Neuheiten vertreten.



„Conrad verfügt über ein seit Jahrzehnten gewachsenes Lieferantennetzwerk und eigene Entwicklungsexpertise im Bereich Messtechnik.“

**Harald Lehner, Categorymanager
Voltcraft Messtechnik, Conrad Electronic**

Conrad Electronic bietet ein sehr breites Sortiment an Messtechnik. Wie stellen Sie sicher, dass Unternehmen die passenden Lösungen für ihre Anwendungen finden?

Susanne Storch: Um ein Sortiment nicht nur breit, sondern zielgruppenorientiert aufzustellen, müssen wir die Brücke zwischen technischer Spezifikation und dem Arbeitsalltag unserer Kunden schlagen. „Nah am Kunden“ bedeutet in der Messtechnik, die Pain Points





Der ideale Partner für unterbrechungsfreie Strom- und Spannungsmessungen: Die VC-771 PV ist die erste Stromzange von Voltcraft, die extrem hohe Ströme und Spannungen, wie sie beispielsweise in PV-Anlagen auftreten, präzise messen und Daten loggen kann.

im Feld zu verstehen. Hierzu bekommen wir auf Messen direkt die Rückinfo vom Kunden, um unser Sortiment kontinuierlich zu optimieren. Auch durch Gespräche mit Lieferanten und dem Außendienst bekommen wir Anforderungen zurückgespielt. Diese Infos nutzen wir für einen kundenorientierten Einkauf und kommunizieren die Anforderungen auch an unsere Lieferanten.

Stichwort digitale Beschaffung: Wie unterstützt Conrad seine Kunden beim Einkauf von Messtechnik, insbesondere großen Firmen mit sehr komplexen Beschaffungsprozessen?

Susanne Storch: Unser Ziel ist es, die Beschaffung von technischem Bedarf für unsere Kunden effizienter, transparenter und an die spezifischen Bedürfnisse der Kunden angepasst zu gestalten. Die Conrad Sourcing Platform bietet daher eine Reihe von E-Procurement-Lösungen, die „Maverick Buying“ am Einkauf vorbei verhindern, Kostenkontrolle ermöglichen und sicherstellen, dass ausschließlich freigegebene und konforme Messtechnik beschafft wird. On top setzen wir nach wie vor auf individuelle Beratung, um professionelle Unterstützung bei der Auswahl der richtigen Messtechnik zu bieten, die oft spezialisiertes Wissen erfordert. Und wir ermöglichen unseren Kunden

verschiedene Kalibrierdienstleistungen im Rahmen ihres Einkaufsprozesses oder auch in Form von Rekalibrierung vorhandener Geräte im Conrad-Labor sowie bei unserem Partner Testo.

Viele Unternehmen streben heute eine vorausschauende Wartung (Predictive

Kunden durch die Fokussierung auf folgende Themen: Erstens Smart Instruments, also Messgeräte mit Datenlogger- und Datenexport-Funktion. Zweitens Multisensoren, die mehrere Größen gleichzeitig messen können. Und drittens Software-Schnittstellen, also Messwerkzeuge, die ihre Daten einfach

„Wir müssen die Brücke zwischen technischer Spezifikation und dem Arbeitsalltag unserer Kunden schlagen.“

Susanne Storch, Senior Expert Test & Measurement, Conrad Electronic



Maintenance) an. Welche Rolle spielt Messtechnik dabei und wie hilft Conrad seinen Kunden in diesem Bereich?

Harald Lehner: Predictive Maintenance ist die Königsdisziplin der Messtechnik. Sie nutzt kontinuierliche Datenströme, um Ausfälle vorherzusehen, bevor sie passieren – statt erst zu reparieren, wenn die Maschine bereits steht. Bei Conrad unterstützen wir unsere

und schnell an übergeordnete Instandhaltungssysteme übergeben können.

Energieeffizienz ist ein großes Thema. Welche Messtechnik-Lösungen empfehlen Sie, um Energieverbrauch zu messen und zu optimieren?

Harald Lehner: Im Zuge stetig steigender Energiekosten und strenger Umweltauflagen hat die Messtechnik zur

Zuverlässige Signalanalyse für den industriellen Einsatz: Ein Oszilloskop von Voltcraft visualisiert Spannungsverläufe in Echtzeit und unterstützt die schnelle Diagnose in Produktion und Instandhaltung. Ideal für Qualitätssicherung, Prozessüberwachung und die Prüfung von Steuerungs- und Antriebssystemen.



Steigerung der Energieeffizienz eine zentrale strategische Bedeutung erlangt. Netzqualitätsanalytoren ermöglichen es, Blindleistung zu erkennen und Maßnahmen zur Kompensation einzuleiten. Stromzangen spüren unerwartet hohe Ströme auf. Wärmebildkameras detektieren Energieverluste an Gebäuden und Dämmung. Und last, not least können Energiekostenmessgeräte bei der Überwachung kleinerer Verbraucher unterstützen.

Wie stellt sich Conrad auf branchenspezifische Anforderungen ein? Gibt es Schwerpunkte, z.B. Messtechnik für die Automobilindustrie, für die Elektronikfertigung, für Elektronikentwickler oder für Energieerfassung beziehungsweise Energiemonitoring?

Susanne Storch: Als Distributor haben wir den Vorteil, mit vielen Lieferanten in Kontakt und damit immer am Puls der Zeit zu sein. Wir bieten also einen „Lösungskasten“, der sich flexibel an die spezifischen regulatorischen und technischen Hürden der jeweiligen Branche anpasst. Unternehmen im Bereich Energie und Versorgung stellen wir Geräte mit höchster Sicherheitszertifizierung (CAT IV) und Werkzeuge für die Netzqualitätsanalyse zur Verfügung. Automotive und eMobility unterstützen wir mit HV-Messleitungssätzen und

Messgeräten, die für die Arbeit an Batterien und Invertern zugelassen sind. Und für Maschinenwartung und Anlagenbau vertreiben wir kompakte Wärmebildkameras, um die Hotspots im Schaltschrank zu finden und so einen Stopp der Anlage zu vermeiden.

Wie sieht Conrad Electronic die weitere technologische Entwicklung in der Messtechnik?

Harald Lehner: Die technologische Entwicklung der Messtechnik im Jahr 2026 lässt sich als der Übergang von der

passiven Dokumentation zur aktiven Prozesssteuerung beschreiben. Die Hardware wird intelligenter und vernetzter. Messsysteme erkennen Trends und „beraten“ die Maschine oder die Servicetechniker*innen proaktiv: Ein Oszilloskop etwa zeigt nicht nur eine Wellenform, sondern identifiziert automatisch die Art der Störung etwa eine Signalverzerrung durch Oberwellen. Und bei Multimetern oder Stromzangen ist es möglich, die Messreihen über eine Software und mit KI-Unterstützung auszuwerten und zu analysieren.

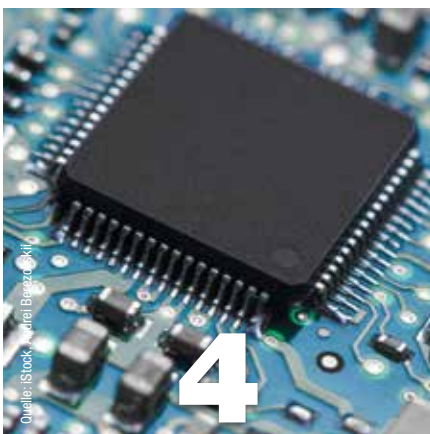
BEISPIEL AUS DER CONRAD PRAXIS: MESSTECHNIK MIT KUNDEN-MEHRWERT

Susanne Storch: Ein Hersteller von Hightech-Maschinen für die Pharmaindustrie stand immer wieder vor der Herausforderung, die Ursache für den Ausfall der von ihm produzierten Maschinen zu finden. Insbesondere wenn die Maschinen im Ausland eingesetzt wurden, war das problematisch. Aufgrund auf Garantie laufender Reparaturansprüche mussten Mitarbeitende des Herstellers manchmal wochenlang zum Kunden reisen, um den Fehler zu identifizieren. Unser Außendienst brachte daraufhin die Akustikkamera Fluke ii915 zu einem Kundenbesuch mit, um sie in der Produktion zu demonstrieren. Der Kunde war zunächst skeptisch; vor Ort konnte jedoch gezeigt werden, dass mit dieser Spezialkamera die Ursache schnell gefunden werden konnte: Es war ein defektes Lager in einem brandneuen und sehr teuren Elektromotor. Im Anschluss wurde ein Gegentest an einem funktionsfähigen Motor durchgeführt. Ein Kollege aus dem technischen Support von Conrad diagnostizierte daraufhin noch weitere defekte Motoren. Dabei stellte sich heraus, dass es sich um ein generelles Problem seitens des Motorenlieferanten handelte. Der Mehrwert für unseren Kunden: Einfache Fehleridentifikation vor der Auslieferung der Maschinen, weniger Garantieleistungen, weniger Kosten und ein auf lange Sicht optimierter Produktionsprozess.

6

HIGHLIGHTS

Fakten, Trends und Neues: Was hat sich in der Branche getan? MES feiert sein 40-jähriges Jubiläum und Littelfuse erweitert sein Sensorportfolio mit omnipolaren TMR-Magnetschaltern. Spectra stellt ein Mini-ITX-Board vor, das CPU-, GPU- und NPU-Rechenleistung vereint, und einem Forscherteam gelingt es erstmals, einen supraleitenden Halbleiter herzustellen.



Stromversorgung für KI-Workloads

Flüssigkühlung

Gemeinsam entwickeln **Siemens** und **nVent** eine Referenzarchitektur, die die Flüssigkühlung und Stromversorgung in Hyper-scale-KI-Rechenzentren verbindet und somit neu definiert. Die Lösung verbindet industrielle Elektro- und Automatisierungstechnik mit modernen KI-Designs und zielt darauf ab, eine skalierbare, effiziente und fehler-tolerante Infrastruktur zu ermöglichen.

Erfahren Sie mehr: industr.com/2898925

Oszillator für extreme Temperaturbereiche

Präzise Taktung

Der neue **JO23HT** von **Jauch** liefert eine präzise Taktung für die Bereiche Industrie-automation, IoT-Systeme und erneuerbare Energien. Dank seines niedrigen Jitters, seines exzellenten Phasenrauschens, seines breiten Temperaturbereichs und seiner flexiblen Versorgungsspannung eignet sich der Oszillator für anspruchsvolle Steuerungs-, Mess- und Embedded-Anwendungen.

Erfahren Sie mehr: industr.com/2898539

Verbindungs-Lösungen aus einer Hand

40 Jahre MES

MES feiert 40-jähriges Bestehen. Seit 1985 liefert das Unternehmen Steckverbinder-Lösungen aus einer Hand. Durch das Know-how in der Steckverbinder-Technologie kann **MES** bereits im Entwicklungsstadium unterstützen. Anwender können auf Lösungen aus dem umfassenden Standardprogramm der Partner zurückgreifen oder anwendungsspezifischen Anforderungen umsetzen lassen.

Erfahren Sie mehr: industr.com/2899299

Supraleitendes Germanium

Neuer Halbleitertyp

Ein Forscherteam der **New York University** und der **University of Queensland** hat es erstmals geschafft, Germanium supraleitend zu machen. Mithilfe der Methode der Molekularstrahlepitaxie gelang es, Gallium in das Kristallgitter einzubringen und stabile Supraleitung bei 3,5 K zu erreichen. Dieser Durchbruch bietet Potenzial für Quantenbauelemente und energieeffiziente Elektronik.

Erfahren Sie mehr: industr.com/2896151

Sensorik für batteriebetriebene Systeme

Magnetschalter

Mit den neuen omnipolaren **TMR-Magnetschaltern** **LF21173TMR** und **LF21177TMR** erweitert **Littelfuse** sein Sensorportfolio. Die neuen Bauteile verbinden hohe magnetische Empfindlichkeit, extrem niedrigen Stromverbrauch und schnelle Reaktionszeiten und sind somit für kompakte und batteriebetriebene Anwendungen in Industrieautomation, Medizin und Konsumgütern geeignet.

Erfahren Sie mehr: industr.com/2900911

Energieeffiziente KI-Verarbeitung direkt am Edge

Mini-ITX-Plattform

Mit dem **LV-6717** stellt **Spectra** ein industrielles Mini-ITX-Board mit **Intel-Core-Ultra**-Prozessor vor. Das Board vereint CPU-, GPU- und NPU-Rechenleistung und ist dabei kompakt und skalierbar. Damit ermöglicht es eine energieeffiziente Verarbeitung von komplexen KI-Workloads in Echtzeit für grafikintensive Anwendungen wie **Machine Vision** und industrielle Automatisierung.

Erfahren Sie mehr: industr.com/2896320

MES THE CONNECTOR

Formidabel!

Wenn es um köstliche Kabel-Kreationen geht, führt kein Weg an uns vorbei.
JETZT PROBIEREN!

mes-electronic.de





01



02



03



04

Quellen: 01: iStock, kast080 | 02, 06, 07: NürnbergMesse / Thomas Geiger | 03: NürnbergMesse / Frank Boxler | 04: iStock, Nutthawut Somsuk | 05: iStock, girffrommars | 08 iStock, gece33;

Embedded World 2026

Die Embedded World 2026 öffnet vom 10. bis 12. März in Nürnberg ihre Tore. Auf der globalen Plattform der Embedded-Community sollten Sie diese „Places to be“ nicht verpassen.

TEXT: Michaela Sandner, E&E; Carolina Bachmeier, E&E

01 EW Conference

Die Embedded World Conference 2026 bietet drei Tage intensiven Wissenstransfer. Vom 10. bis 12. März tauschen sich Teilnehmer und Referenten mit Experten aus Forschung und Praxis aus. Das klar strukturierte Programm verbindet



erneut aktuellen Stand der Technik mit Trendthemen – ein Gewinn für die gesamte Embedded-Branche.

02 Electronic Displays

Die Electronic Displays Conference 2026 wird erneut zwei Tage lang zum Treffpunkt für internationale Experten aus Industrie- und Automobildisplays. Als Wissens- und B2B-Plattform bringt sie die Display-Community zusammen.



Bereits 2025 diskutierten Teilnehmer über Innovationen zu LCD, OLED, Micro-LED und energieeffizienten Displays.

03 Expertenrunden

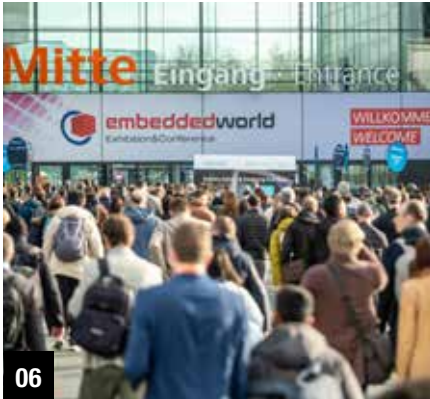
Sie interessieren sich für die neuesten Innovationen aus der Welt der Embedded-System-Technologie und haben bereits Ihr Ticket für die Teilnahme an der Embedded World 2026 gebucht? Dann bieten Ihnen die hochkarätigen



Disussionsrunden mit den Experten vor Ort die Möglichkeit, noch tiefere und praxisnahe Einblicke zu gewinnen.



05



06



07



08

04 Embedded Award

Die Embedded-Branche ist ohne Zweifel eine der schnelllebigsten Branchen. Jedes Jahr werden die innovativsten Produkte und Lösungen im Bereich der eingebetteten Systeme ausgezeichnet.

Der renommierte Preis wird traditionell



in acht Kategorien verliehen: Hardware, Tools, Software, Embedded Vision, Safety & Security sowie KI.

05 Student Day

Am 12. März versammelt der Student Day Studierende der Embedded-relevanten Studiengänge aus Europa. Er bietet den Studierenden die Möglich-



keit, die Embedded-Community, Branche und ihre zukünftigen Arbeitgeber besser kennenzulernen.

06 Ausstellerforen

Bei den Vorträgen und Präsentationen in den Ausstellerforen in den Hallen 3, 3A und 5 erfahren Sie mehr über die



Produkte und Services der zahlreichen Aussteller der EW26. Die Teilnahme an den Vorträgen ist kostenfrei.

07 #women4ew

Das Networking-Event für Frauen in der Embedded-System-Branche geht in diesem Jahr in die vierte Runde. Erfahren Sie mehr über die Herausfor-



derungen und Chancen als Frau in der Tech-Branche und tauschen Sie sich mit anderen Teilnehmerinnen aus.

08 Embedded-Vielfalt

Zum 24. Mal wird Nürnberg Treffpunkt der weltweiten Embedded-Community: drei Tage voller zukunftsweisender Technologien und Lösungen, neuer

Ideen und intelligenter Konzepte. Besucher können die neuesten Entwicklungen der „Healthy Embedded“ in der Medizintechnik erleben. Auch autonomes Fahren steht in diesem Jahr im Rampenlicht: die funktionale Sicherheit von eingebetteten Systemen macht unsere Straßen sicherer. Zudem spielt dies in der zivilen und militärischen Luftfahrt eine wichtige Rolle – auch dort werden zum reibungslosen



Flugverlauf embedded Systeme verwendet. Die neuesten Sicherheitssysteme werden auf der EW26 ausgestellt.

Revolution oder Evolution? Was die Embedded World 2026 wirklich bewegt

Der Puls der Embedded-Branche

Die Embedded World 2026 wirft ihre Schatten voraus und die Vorfreude steigt. Doch welche Highlights dürfen Fachbesucher auf keinen Fall verpassen? Wir haben exklusiv bei den Ausstellern nachgefragt, welche wegweisenden Technologien, Lösungen und Neuheiten sie im Gepäck haben. Die Antworten geben einen informativen Einblick und helfen Ihnen, den richtigen Technologiepartner zu finden.

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



PHILIPP MAI

Wir zeigen unter anderem anderem eine Referenzplattform für leichte Elektrofahrzeuge (LEV), mit einem modularen Ansatz für die Entwicklung von Embedded-Systemen im Bereich urbane Mobilität. Zu den allgemeinen Technologiebereichen zählen Analog- und Leistungselektronik, Motorsteuerung und Robotik, Batteriemanagementsysteme, System-on-Modules (SoMs) sowie das Echtzeitbetriebssystem Zephyr für Embedded-Anwendungen. Unser Tochterunternehmen eInfochips wird einige Lösungen zu aktuellen Herausforderungen in der Entwicklung und im Systemdesign vorstellen, darunter eine Echtzeit-Medikamenteninspektion, welche die industrielle Fehlererkennung mithilfe von Edge-KI veranschaulicht, sowie eine Demonstration des Fernmanagements autonomer mobiler Roboter, die an verschiedenen Standorten operieren.

Vice President Engineering EMEA,
Arrow Electronics



HELMUT MÜLLER

Bürklin präsentiert Highlights für Forschung und Entwicklung. Unter dem Motto „Bürklin bringt’s“ zeigt der Distributor live am Stand den StromPi 3 von Joy-IT sowie Neuheiten von Würth Elektronik: hochstromfeste REDCU-BE-Terminals für maximale Power auf dem Board und lötfreie REDFIT Crimp SKEDD-Steckverbinder für werkzeuglose Montage. Ergänzt wird die Präsentation am Stand durch Halbleiterlösungen von Diotec sowie Automationsprodukte von Pepperl+Fuchs. Besucher sind herzlich eingeladen, Exponate zu entdecken und Projekte im direkten Dialog zu besprechen.

Chief Product Officer,
Bürklin Elektronik



Embedded World
Halle 4A, Stand 342



Embedded World
Halle 3A, Stand 513



THOMAS CARMODY

Codico zeigt auf der embedded world 2026, wie kamera-basierte KI mit Qualcomm Dragonwing-CPU's die industrielle Automatisierung verbessert – für mehr Effizienz, Qualität und geringere Kosten. Präsentiert werden einsatzfertige, robuste Edge-Lösungen: ein flexibles Multikamera-System (PERSPEC-2) mit frei programmierbarer Bildverarbeitung, eine intelligente Dashcam mit Fahrzeug- und Fußgängererkennung sowie Funktionen für Innenraum- und Fahrzeugsicherheit, eine Plug-and-Play-Einheit für Steuerung und Kommunikation von Drohnen und Robotik (Video, Telemetrie, Sensorik) und ein Outdoor-tauglicher Controller mit Fern-Videoübertragung. Ergänzt wird das durch eine leistungsstarke Edge-Plattform (IQ9-CPU), die viele Kameras parallel auswerten und KI-Anwendungen direkt vor Ort ausführen kann.

Product Manager, Codico



Embedded World
Halle 3A, Stand 211



KONRAD GARHAMMER

Wir erweitern unser applikationsfertiges aReady.COM Portfolio konsequent um Software, Services und Produkte. Besondere Highlights: Das industrieweit breiteste Computer-on-Module-Portfolio mit der neuen Intel Core Ultra Series 3 (Panther Lake), vorbereitet für industriellen Temperaturbereich und bis zu 180 TOPS KI-Beschleunigung bei hoher Energieeffizienz. Zudem präsentieren wir die AMD Ryzen AI Embedded P100-Serie auf COM Express Compact Type 6 als effizienten Einstieg in robuste Embedded-Edge-KI-Anwendungen. Mit unserem ersten COM-HPC Mini Modul mit Qualcomm Dragonwing IQ-X stärken wir das Arm-Ökosystem und bieten eine leistungsstarke Alternative zu bisherigen x86-Designs.

COO & CTO, Congatec



Embedded World
Halle 3, Stand 241



JONAS DIEKMANN

Harting zeigt Lösungen für die zentralen Trends der Digitalisierung und Miniaturisierung von Geräten in allen industriellen Anwendungsbereichen. HARTING zeigt bekannte und neue Lösungen aus dem Portfolio, die diese Trends in echten Lösungen klar unterstreichen. har-flex Steckverbinder, die mit 1,27 mm- und 0,8 mm Rastermaß industrietaugliche, aber sehr platzsparende PCB Verbindungen ermöglichen, ermöglichen deutlich kompaktere Designs, sowie auch das ix Industrial Interface, dessen Gerätebuchse rund 70 % kleiner ist als eine herkömmliche RJ45-Buchse. Diese und weitere Produkte unterstützen kompakte, leistungsfähige Geräteentwicklungen. Zudem begleitet Harting Gerätehersteller umfassend im Design In Prozess mit passenden Daten, Tools und Services.

Produkt Manager, Harting



Embedded World
Halle 3, Stand 156



MICHAEL RIEGERT

Kontron präsentiert leistungsfähige Hardware- und IoT-Lösungen für skalierbare Edge-AI. Zu den Highlights gehören der neue 3,5"-SBC-PTL mit Intel Core Ultra Series 3 (Panther Lake), vorgestellt im Rahmen der Partnerschaft mit Intel und des Intel Innovation Pass Program, sowie das mITX-Motherboard K4131-Px mit AMD Ryzen AI Embedded-Prozessoren. Auf Systemebene demonstrieren wir gemeinsam mit Congatec, wie durch die Kooperation und den Einsatz von Congatec COMx Modulen die Technologie-Palette optimal ergänzt wird. Darüber hinaus umfasst das Messeportfolio kompakte ARM-basierte Module, serienreife 5G-Industrial-Module für globale IoT-Konnektivität und missionskritische Embedded-Systeme für Aerospace- und Defense-Anwendungen. Themen wie Rapid Prototyping und Security-by-Design runden den Messeauftritt ab.

COO IoT, Kontron Europe



Embedded World
Halle 3, Stand 159



SOPHIA CARDELLINO

Microchip zeigt, wie das Unternehmen die nächste Innovationswelle in den Bereichen Edge Computing, Vernetzung und Konnektivität, Sicherheit, Künstliche Intelligenz/Maschinelles Lernen (KI/ML), Mikrocontroller und Internet der Dinge (IoT) ermöglicht. Präsentiert wird ein umfassendes Portfolio an praxisnahen Lösungen, die darauf ausgelegt sind, die Entwicklung zu beschleunigen und Komplexität zu reduzieren. Besuchen Sie Stand 3A-135, um 21 Live-Demos zu erleben, Einblicke in vier Vortragsessions zu gewinnen und an der Konferenz-Keynote von Microchip-COO Rich Simoncic teilzunehmen, in der er seine Vision für die Zukunft der Embedded-Technologie teilt. Tauschen Sie sich mit den Experten von Microchip aus, erleben Sie die Megatrends in Aktion und entdecken Sie, wie Microchip dabei helfen kann, die Ideen von heute in die Durchbrüche von morgen zu verwandeln.

EMEA Event Lead,
Microchip Technology



Embedded World
Halle 3A, Stand 135



STEPHAN MENZE

Wie sieht smarte Infrastruktur in der Praxis aus? Auf der embedded world 2026 gibt Rutronik überzeugende Einblicke, wie bestehende Infrastrukturen intelligent digitalisiert werden können. Eine Demo der Rutronik System Solutions zeigt die automatisierte Ablesung analoger Wasserzähler mittels KI-gestützter Bilderkennung sowie eine Füllstandsmessung mittels Radarsensoren, realisiert mit dem PSOC Edge MCU von Infineon. Ein weiteres Highlight demonstriert eine radarbasierte Lichtsteuerung für Smart Cities: EVIYOS LEDs von ams OSRAM werden effizient über eine Nordic MCU gesteuert und zonen genau dort aktiviert, wo sich Menschen bewegen.

Head of Global Innovation Management,
Rutronik Elektronische Bauelemente



Embedded World
Halle 1, Stand 631



AXEL WIECZOREK

Schukat präsentiert Halbleiterprodukte von TSC und weitere Fokusprodukte für den europäischen Markt. Darunter sind die Mikro-SPS Arduino Opta mit IIoT-Funktionen und der Einplatinencomputer Arduino Uno Q mit Hochleistungs-MPU und Echtzeit-MCU. Außerdem stellt Schukat kompakte Schaltnetzteile der NSP-Serie von Mean Well mit PFC, hoher Spitzenleistung und digitaler Schnittstelle vor. Zudem zeigt der Distributor einphasige RACPRO1-S-Hutschienennetzteile von Recom. Ein Highlight unter den Lüftern ist der Gehäuselüfter MFC0251V21Q02US99 von Sunon mit einer Nennspannung von 12 VDC und zusätzlicher PWM-Steuerung. Im Bereich Optoelektronik liegt der Fokus auf den Smartwin TFT-Touch-Displays für HMI-Designs.

Head of Sales, Schukat electronic



Embedded World
Halle 3A, Stand 318



STEPHAN MEYER-LOGES

Auf der Embedded World 2026 präsentiert Seco Hardware- und Softwarelösungen für aktuelle Edge-AI-Anforderungen. Vom 10.-12. März können Besucher Systeme auf Basis des NXP i.MX 95 Application Prozessors entdecken, ein breites Intel-Portfolio, einschließlich eines neuen COM Express mit Intel Core Ultra Series 3 Prozessoren, ein kompaktes SOM mit MediaTek Genio 360 sowie Edge-AI-Lösungen auf Qualcomm Dragonwing Plattformen. Modular Vision und das Software-Framework Clea ergänzen das Bild durch praxisnahe Demonstrationen und Use Cases.

Director Product Management &
Director R&D, Seco



Embedded World
Halle 1, Stand 320



THOMAS ROTTACH

Auf der Embedded World zeigt Siglent ein besonderes Messe-Highlight: Mit der neuen SMM3000X-Serie steigt der Hersteller erstmals in das SMU-Segment ein. Die leistungsfähige Source-Measure-Unit vereint Spannungs- und Stromquelle sowie hochpräzise Messfunktionen in einem Gerät. Die SMU ist ideal für die Charakterisierung moderner Halbleiter, Sensoren und Low-Power-Designs. Mit Messauflösungen bis in den fA- und nV-Bereich, schnellem Puls- und Sweep-Betrieb sowie intuitiver Touch-Bedienung richtet sich die SMM3000X an Entwickler, Forschung und Industrie. Ein echter Blickfang am Siglent-Stand.

Vertriebs- und Marketingleiter,
Siglent



STEFANIE KÖLBL

TQ-Embedded stellt seinen Kunden die neuesten Technologien in der besten Form zur Verfügung – als standardisierte oder proprietäre Lösung sowie als Löt- oder Steckmodul, optimiert für die jeweilige Applikation. So erweitert sich aktuell das Produktportfolio von TQ um mehrere Baugruppen der unterschiedlichsten Prozessorarchitekturen. Ein besonderes Highlight ist dabei das TQMa62LxxOA-S, TQs erstes OSM-Modul auf Basis der AM62Lx-CPU von Texas Instruments. Für Edge- und KI-Anwendungen optimiert ist das LGA-Modul TQMa94xxLA auf Basis der i.MX-94-CPU von NXP. Mit dem TQMxCU3-HPCM bietet TQ zudem das leistungsstärkste COM-HPC-Mini-Modul seiner Klasse mit Intels Core-Ultra-Series-3-Prozessoren an.

Director, TQ-Embedded



MARTIN TENHUMBERG

Auf der Embedded World 2026 präsentiert Traco Power leistungsfähige DC/DC-Wandlungslösungen für anspruchsvolle Embedded-Anwendungen. Im Fokus stehen die TEC3UI- und TEC6UI-Serien, die sich durch ihren außergewöhnlich breiten 8:1-Eingangsspannungsbereich (9–75 VDC) auszeichnen. Dieser ermöglicht den Einsatz in 12-, 24- und 48-V-Systemen mit nur einer Gerätevariante, vereinfacht das Design und reduziert Lager- und Entwicklungskosten. Die TEC3UI-Serie bietet 3 W Leistung im kompakten SIP-8-Gehäuse, während die TEC6UI-Serie 6 W für leistungshungrigere Anwendungen bereitstellt – beide optimal für industrielle und mobile Embedded-Systeme.

Managing Director DACH, Traco



THOMAS CREDE

Auf der Embedded World 2026 zeigen wir, wie offene Systeme und zuverlässige Lösungen in der Praxis zusammenkommen – vom Leiterplattenanschluss bis zur skalierbaren Edge-Architektur. Mit dem neuen MCS MICRO im 2,54-mm-Raster setzen wir auf besonders kompakte Bauformen mit hoher Anschlussdichte und intuitiver, werkzeugloser Verdrahtung. Gleichzeitig adressieren wir mit dem nach IEC 62443-4-2 zertifizierten Compact Controller 100 steigende Cybersecurity-Anforderungen. Ergänzt wird das Portfolio durch unseren Wago Visualization And Control Hub, flexible Edge-Erweiterungen, das Web Panel 400 sowie den leistungsstarken Controller PFC300 für anspruchsvolle Automationsaufgaben.

Pre-Sales Support, Wago



Embedded World
Halle 4, Stand 347



Embedded World
Halle 3, Stand 249



Embedded World
Halle 3A, Stand 520



Embedded World
Halle 1, Stand 220

CHANCEN UND GRENZEN IM INDUSTRIELLEN EINSATZ

PCIe 5.0 vs. PCIe 4.0

Mit der Einführung von PCIe 5.0 und der wachsenden Verbreitung entsprechender Plattformen hat sich die Diskussion über Schnittstellenperformance deutlich intensiviert. Die theoretischen Leistungsgewinne durch PCIe 5.0 sind beachtlich, doch wie sieht die Realität in industriellen Einsatzszenarien aus? Neben den potenziellen Performance-Vorteilen spielen dort thermische Herausforderungen und die weiterhin bevorzugte Nutzung von 4-Channel-NAND-Speicherlösungen eine entscheidende Rolle.

TEXT: Martin Schreiber, Swissbit Memory Solutions BILDER: Swissbit; helen_tosh, iStock



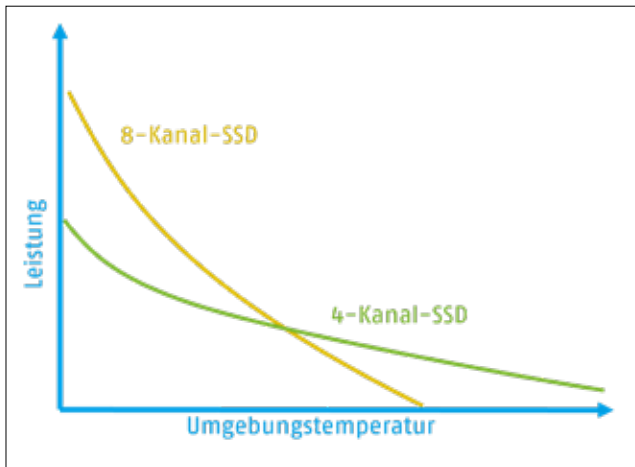
VS

Kaum eine Schnittstellentechnologie hat in den letzten Jahren so viel Aufmerksamkeit erhalten wie PCIe – insbesondere mit dem Wechsel von 4.0 auf 5.0. Der Übergang von der vierten zur fünften PCIe-Generation verspricht eine Verdoppelung der theoretischen Bandbreite: 32 statt 16 GT/s pro Lane und bis zu 128 GB/s bidirektionaler Durchsatz bei einer vollen x16-Verbindung. Eine beeindruckende Steigerung, sowohl bei den Benchmarks als auch bei den ausgewählten Workloads. In der Praxis sind die Vorteile jedoch deutlich eingeschränkt,

besonders mit Blick auf industrielle Anwendungen. Ausschlaggebend dafür sind vor allem kritische Umgebungsfaktoren, allen voran die Wärmeentwicklung.

Leistungsvorteile: Theorie vs. Praxis

Sowohl Labortests als auch synthetische Benchmarks zeigen durchweg, dass PCIe 5.0 seinen Vorgänger übertrifft, insbesondere bei sequenziellen Lese- und Schreibaufgaben oder



Temperaturabhängige Leistung von 4- vs. 8-Kanal-SSDs

bei HPC-Workloads. PCIe 5.0-SSDs bieten in solchen Fällen oftmals eine um 50 bis 70 Prozent schnellere Leistung, mit zusätzlichen Latenzverbesserungen durch Protokoll- und Fehlerkorrekturoptimierung.

Bei industriellen Anwendungen werden diese Vorteile jedoch häufig durch thermische und integrationsbedingte Herausforderungen wieder ausgeglichen:

- In der Industriepaxis ist die für die Aufrechterhaltung der PCIe 5.0-Geschwindigkeiten erforderliche Kühlung nur selten möglich.
- Höhere Leistung führt häufig zu höherer Wärmeabgabe, wodurch Systeme zu einer thermischen Drosselung neigen.
- Fortschrittliche PCB-Routing- und Signalintegritätsanforderungen steigern die Komplexität und Kosten in diesem Zusammenhang noch weiter.
- Der Stromverbrauch übersteigt häufig die Kapazitäten von älteren oder batteriebetriebenen Systemen.
- Ein anhaltend hoher Durchsatz ist in Edge- und Automatisierungsanwendungen oft unnötig und wird nicht genutzt.

Thermische Einschränkungen

Die schnellere Signalübertragung von PCIe 5.0 führt aufgrund des höheren Stromverbrauchs sowie aufgrund höherer Anforderungen an die Signalintegrität zu einer deutlich höheren Wärmeentwicklung. In industriellen Anwendungsszenarien existiert in der Regel nicht der thermische Spielraum, der in dedizierten Rechenzentren zur Verfügung steht, sodass eine Leistungsdrosselung nahezu unvermeidlich ist.

Die wichtigsten Herausforderungen beim thermischen Design umfassen:

- Hohe Dämpfungsbudgets, die eine aktive Entzerrung erforderlich machen
- Strengere Einschränkungen beim Layout von Leiterplatten und Steckverbindungen

- Kein oder nur eingeschränkter aktiver Luftstrom in kompakten Industriegehäusen
- Hohe Umgebungstemperaturen von größer 40 Grad Celsius
- Platz- und Leistungsbeschränkungen, die Lösungen zur aktiven Kühlung ausschließen

Unter diesen Einschränkungen müssen viele Geräte ihre Leistung drosseln, um innerhalb der sicheren Temperaturgrenzwerte zu bleiben. In diesen Fällen wird der theoretische Geschwindigkeitsvorteil von PCIe 5.0 irrelevant, weshalb viele industrielle Systeme nach wie vor PCIe 4.0 nutzen, das eine bessere Balance zwischen Leistung, Energieeffizienz und thermischer Stabilität bietet.

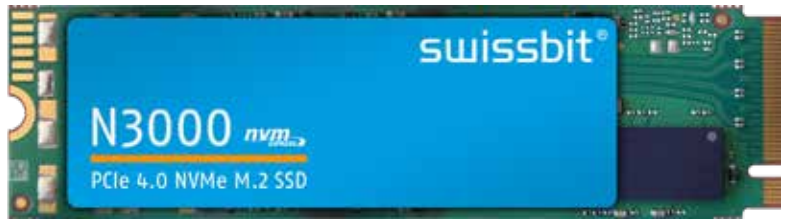
AND-Kanal-Skalierung: 4- vs. 8-Kanal-Module

Einen ähnlichen Kompromiss erfordert die NAND-Flash-Architektur. Während 8-Kanal-NAND- Designs die Bandbreite und IOPS (Input/Output Operations Per Second) im Vergleich zu 4-Kanal-SSDs theoretisch verdoppeln, führt ihre höhere Komplexität und Wärmeabgabe oftmals zu geringerer Leistung.

Die Vorteile von 4-Kanal-NAND in industriellen Umgebungen:

- Geringere Controller-Wärmeentwicklung und reduziertes Risiko einer thermischen Drosselung
- Geringerer Stromverbrauch entspricht oftmals knappen Energiebudgets
- Auf lange Sicht bessere Leistung in heißen oder unbelüfteten Umgebungen
- Vereinfachtes thermisches Design ohne Kühlkörper oder Lüfter
- Auf lange Sicht höhere Zuverlässigkeit und weniger thermisch bedingte Ausfälle

Wenn keine spezialisierte Kühlung verfügbar ist, erweisen sich 4-Kanal-Module in industriellen Anwendungen häufig als die robustere und wirtschaftlichere Wahl.



Swissbit N3000 SSD mit optimiertem Thermomanagement

Thermomanagement für konstante Leistung

Die 4-Kanal-SSDs von Swissbit beispielsweise wurden speziell für anspruchsvolle industrielle Anwendungsszenarien entwickelt, in denen Luftstrom, Stromversorgung und Platz begrenzt sind. Das 4-Kanal-Design, das weniger Wärme erzeugt als 8-Kanal-SSDs, ermöglicht auch bei Umgebungstemperaturen von mehr als 40 Grad Celsius eine konstante, drosslungsfreie Leistung.

Dank ihres geringen Stromverbrauchs eignet sich die N3000 ideal für batteriebetriebene oder Remote-Anwendungen, während integrierte Funktionen wie AES256-Verschlüsselung, Secure Boot, Stromausfallschutz und Fernverwaltung Sicherheit und Datenintegrität auf Enterprise-Niveau bieten. Sie ist in kompakten M.2-Formfaktoren (2242/2280) verfügbar und eignet sich ideal für robuste Systeme in Edge-Computing-, Robotik-, Automatisierungs- und Telekommunikationsanwendungen.

Fazit: Leistung versus Praktikabilität

In industriellen Anwendungen sind thermische Leistung und Systemzuverlässigkeit oft wichtiger als Geschwindigkeit.

Während PCIe 5.0 und 8-Kanal-NAND-Architekturen in der Theorie überzeugende Leistungssteigerungen bieten, wird ihr praktischer Wert häufig durch reale Einschränkungen zunichte gemacht. Für Unternehmen sind vielmehr Faktoren wie langfristige Zuverlässigkeit, die mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen (MTBF) und eine einfache Integration ausschlaggebend – nicht Spitzenbandbreiten, die außerhalb von Laborbedingungen oft kaum dauerhaft erreichbar sind.

Aus diesen Gründen bleiben Technologien wie PCIe 4.0 in Kombination mit 4-Kanal-NAND die logische Wahl für die meisten Anwendungsfälle. Sie bieten eine stabile, bewährte Balance zwischen Leistung, thermischer Effizienz und Zuverlässigkeit. Bis Innovationen im Bereich des thermischen und energetischen Designs mit der Geschwindigkeit der Entwicklungen bei Schnittstellenstandards Schritt halten können, werden neuere Technologien auch weiterhin nur zögerlich in industriellen Umgebungen implementiert werden.



Embedded World
Halle 1, Stand 510



Kompromisslose Klarheit – im Signal wie in der Bedienung

SDG3000X Serie Arbiträr-funktionsgenerator

SDG3082X — 80 MHz
SDG3162X — 160 MHz
SDG3202X — 200 MHz

Alle Modelle mit:

- 16-Bit DAC
- 1,2 GSa/s Abtastrate
- 40 Mpkte Arb.Speicher
- Samplingfrequenz: 1,2 GSa/s
- 7 Zoll Touch Screen





INTERVIEW: ZUKUNFT & INNOVATION BEI nVENT

„Ein Power-Chip allein ist längst nicht genug!“

Digitalisierung, KI und steigender Effizienzdruck erhöhen die Anforderungen an Unternehmen, die komplexe Elektroniksysteme planen und betreiben. Im Interview erörtert Alessandro Cataldi, Global Head Strategic Marketing & Product bei nVent SCHROFF, welche strategischen Prioritäten jetzt zählen: Systemdenken, klare Entscheidungswege und Zusammenarbeit über Bereiche hinweg – damit aus Ideen Lösungen werden.

DAS INTERVIEW FÜHRTE: Bernhard Haluschak, E&E BILD: nVent SCHROFF

Herr Cataldi, nVent SCHROFF ist als Systemanbieter für Elektronik-Infrastruktur weltweit tätig. Wie hat sich das Unternehmen von einem Lieferanten für Standardkomponenten zu einem Anbieter ganzheitlicher Lösungen entwickelt?

Unsere Wurzeln sind eng mit Gunther Schroff und der 19-Zoll-Architektur verbunden. Diese Basis hat uns ermöglicht, über Standardkomponenten hinauszugehen und Lösungen entlang konkreter Marktanforderungen zu entwickeln – insbesondere in Verteidigung, Bahn und Prüftechnik. Unser Anspruch ist es, dort die anerkannteste Marke für Gesamtlösungen zu sein, wo Elektronik geschützt, verbunden und gekühlt werden muss.

Welche zentralen Herausforderungen sehen Sie für die Industrie im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung und dem steigenden Leistungsbedarf von Elektronik?

Chips werden kontinuierlich leistungsfähiger – sichtbar in Rechenzentren, aber ebenso in vielen Industrieanwendungen. Mit steigender Rechenleistung steigen Wärmelasten und Hotspots; wird eine kritische Temperatur überschritten, sinkt die Systemleistung. Deshalb wird

optimierte Kühlung zu einem entscheidenden Innovations- und Wachstumsfaktor – denn: Ein Power-Chip allein ist längst nicht genug.

Sie sagen, Hitze sei der limitierende Faktor für leistungsfähigere Elektronik. Können Sie das näher erläutern?

Das Prinzip ist einfach: Mehr Rechenleistung bedeutet höhere elektrische Leistung – und ein Teil davon wird zu Wärme. Früher ließ sich die Betriebsspannung neuer Chipgenerationen oft deutlich senken; dieser Effekt ist heute wesentlich kleiner. Dadurch wird die Wärmeabfuhr bei hohen Leistungsdichten zum Engpass: Wenn Hotspots nicht schnell genug gekühlt werden, drosselt die Elektronik – Hitze wird zum Flaschenhals, nicht die Rechenlogik.

Warum reichen traditionelle Kühlmethoden wie Luftkühlung nicht mehr aus, um die Abwärme moderner Elektronik abzuführen?

Das Medium Luft ist bekannt als Kühlmittel weil sie sehr einfach in der Handhabung ist. Physikalisch ist Luft aber eher als Isolier- anstatt Kühlmittel geeignet. Die Luftkühlung funktioniert

daher gut, solange die Wärmelasten moderat sind. Wenn die Leistungsdichte aber steigt gibt es eigentlich nur zwei Stufen: mehr Luft, damit auch mehr Verbrauch und Lärm und – ab einer gewissen Grenze – Flüssigkeitskühlung. Vor allem bei Hotspots kommt Luft immer Häufiger an die physikalische Grenze.

Welche Vorteile bietet die Flüssigkeitskühlung gegenüber der Luftkühlung und warum ist sie für High-Performance-Anwendungen so entscheidend?

Der zentrale Vorteil ist die Effizienz: Wasser kann bei gleichem Volumen etwa 3.500-mal mehr Wärme transportieren als Luft. So lassen sich Temperaturen auch unter dynamischer Last stabil halten und höhere Packungsdichten realisieren, ohne dass Lüfter- und Klimatisierungsaufwand unverhältnismäßig wächst. Deshalb ist Flüssigkeitskühlung für High-Performance-Anwendungen längst auch außerhalb von Rechenzentren relevant – etwa in Verteidigungs-, Medizin- und Prüftechnik.

Innovation entsteht bei nVent SCHROFF an der Schnittstelle von Elektronik, Mechanik und Thermik. Was bedeutet

das konkret für die Entwicklung neuer Produkte?

Konkret heißt das: Wir entwickeln Produkte entlang eines klaren Nutzens für den Kunden. Durch die enge Zusammenarbeit sehen wir direkt, wo es in der Elektronik-Infrastruktur hakt – etwa bei Rechenleistung, Stromverteilung oder Anforderungen wie „shock & vibration“. Daraus entstehen interdisziplinäre Lösungen, weil wir die Wechselwirkungen zwischen Elektronik, Mechanik und Thermik systematisch zusammen denken.

Welche Rolle spielt das Produktmanagement in diesem Innovationsprozess und wie stellen Sie sicher, dass Ihre Lösungen den Marktanforderungen von morgen gerecht werden?

Produktmanagement ist für mich vor allem: Brücken bauen – zwischen Marktanforderungen, interner Umsetzungskraft und den vielen Schnittstellen im Unternehmen. Meine eigene Laufbahn zwischen Produktmanagement und Vertrieb hat mir gezeigt, wie wichtig es ist, strategische und operative Perspektiven zusammenzuführen, ohne den Blick fürs Ganze zu verlieren. Genau so stellen wir sicher, dass Lösungen nicht nur heute passen, sondern auch künftige Anforderungen antizipieren.

Wie hat sich die Kundenperspektive in den letzten Jahren verändert? Welche Anforderungen stehen heute im Vordergrund?

Die Anforderungen sind deutlich komplexer geworden. Besonders prägend sind aus meiner Sicht zwei Faktoren: der demografische Wandel und der technologische Fortschritt – inklusive der Aufgabe, steigende Komplexität beherrschbar zu halten. Viele Kunden müssen sich stärker fokussieren und ihre Differenzierung über Kernkompetenzen erreichen. Wir unterstützen, indem wir nicht Einzelkomponenten liefern, sondern ein durchdachtes, schlüsselfertiges

Gesamtkonzept aus mechanischem Schutz, Stromverteilung und Kühlung. Das vereinfacht Lieferketten, reduziert Risiken und beschleunigt Innovation.

Welche Rolle spielt Co-Engineering mit Kunden bei der Entwicklung maßgeschneiderter Lösungen?

Co-Engineering ist für uns ein zentraler Baustein: Es schafft Kundennutzen und stärkt unsere Innovationskraft. Gleichzeitig haben wir die Projektbegleitung weiterentwickelt: Neben der persönlichen Betreuung bieten wir heute digitale, intuitiv nutzbare Tools – etwa zur Konfiguration eines Elektronik-Schranks mit unmittelbarer Preisindikation. Das reduziert Wartezeiten und Komplexität. Und wenn Fragen offenbleiben, sorgt eine direkte Chat-Option für schnelle Unterstützung durch kompetente Kolleginnen und Kollegen.

nVent SCHROFF ist auch im Bereich Quantum-Computing aktiv. Welche Erkenntnisse aus solch anspruchsvollen Projekten fließen in die Entwicklung von Industrielösungen ein?

Die weltweite Zusammenarbeit in diesem Umfeld ist technologisch sehr anspruchsvoll und zugleich lehrreich. Über verschiedene Ansätze hinweg sind zwei Anforderungen essenziell: höchste Datentransfer-Integrität und präzise Kühlung. Wir arbeiten dabei nicht an der kryotechnischen Recheneinheit selbst, sondern unmittelbar im nachgelagerten Bereich. Unser Beitrag hilft, Ergebnisse stabiler und relevanter zu machen – durch exzellente Datentransfer-Integrität und präzises Thermomanagement der Elektronik.

Wie wichtig ist das Thema Nachhaltigkeit und Energieeffizienz für nVent und Ihre Kunden?

Die Themen Nachhaltigkeit und Energieeffizienz sind fest in unserer Ausrichtung verankert. Als Teil des nVent-Konzerns arbeiten wir auf Basis des Environmental

Transformation Plans daran, Umweltleistung und Ressourceneffizienz kontinuierlich zu verbessern – mit klaren Leitlinien und einem jährlichen Prozess zur Identifikation und Priorisierung von Maßnahmen an unseren Standorten. Für Kunden ist das ebenfalls von zentraler Relevanz, denn Energieeffizienz, geringere Betriebskosten und regulatorische Anforderungen gewinnen an Bedeutung. Unsere Lösungen unterstützen mit Kühlinnovationen, fortschrittlichem Wärmemanagement, optimierten Systemarchitekturen und Elektronikschutz dabei, Anwendungen zuverlässiger, effizienter und langlebiger zu machen.

Wagen wir einen Blick in die Zukunft: Welche Trends werden die Entwicklung von Elektronik und Kühllösungen in den nächsten Jahren maßgeblich beeinflussen?

Im Data-Center-Umfeld sehen wir einen stark steigenden Energiebedarf. Klassische Industrieelektronik liegt heute noch deutlich unter diesen Grenzen – ich erwarte jedoch einen ähnlichen Trend, getrieben durch immer leistungsfähigere Chips in vielen Anwendungen, etwa Facility-Umgebungen oder Prüftechnik. Dieser Wandel kann länger dauern, weil Märkte fragmentierter und teils träger sind als bei Rechenzentren. Die Richtung ist für mich klar: Wir werden unsere Kunden auch künftig auf diesem Weg begleiten und passende Lösungen bereitstellen.



Das vollständige Interview lesen Sie online über den Link im QR-Code und unter: [industr.com/2903321](https://www.industr.com/2903321)



Embedded World
Halle 1, Stand 211

Von der Idee zum fertigen Produkt

Embedded-Systeme im Miniaturformat

Gesundheitstracker oder sogenannte Wearables haben die Fitnessbranche in den letzten zehn Jahren im Sturm erobert. Laut Precedence Research wird der weltweite Markt für Wearables im Jahr 2023 auf 157 Milliarden US-Dollar geschätzt und soll bis 2032 auf 500 Milliarden US-Dollar anwachsen. Die Geräte werden von Profisportlern, ambitionierte Fitness-Enthusiasten und Gelegenheitsjoggern gleichermaßen genutzt. Sie überwachen eine Reihe von körperlichen Vitalparametern, um ein gesundes und effektives Training zu gewährleisten.

TEXT: Renesas BILDER: Renesas; Lineas 1703, iStock



Smarte Ringe revolutionieren aktuell die Fitnessszene. Sie liefern vergleichbare Vitaldaten wie eine Smart Watch oder ein Fitnessband, kommen aber in einem komfortableren Formfaktor, welche eine 24/7-Aufzeichnung der Daten unterstützen. Das indische Start-up Unternehmen Muse Wearables ist Teil dieser Revolution und bietet eine entsprechende Lösung namens Ring One. Der Ring ist ein medizinischer Tracker, der Herzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität, Blutdruck, Atemfrequenz, Körpertemperatur und Blutsauerstoffgehalt überwacht. Und als wäre das noch nicht genug, lässt sich Ring One durch einen einfachen Wechsel des Betriebsmodus in ein elektronisches Zahlungsgesetz mit NFC-Technologie umfunktionieren.

Die Anfänge

Muse Wearables wurde 2017 im Rahmen eines Inkubator-Programms des Indian Institute of Technology Madras in Chennai gegründet. Die Gründer Prathyusha Kamarajugadda, KLN Sai Prasanth und Yathindra Ajay KA hatten ein gemeinsames Ziel: ein bahnbrechendes indisches Unternehmen für Unterhaltungselektronik zu gründen.

„In Indien gibt es kein lokales Unternehmen, welches die Unterhaltungselektronik geprägt hat“, erklärt Prathyusha. „Die Welt hat ihre Apples und Samsungs, aber wir hatten kein einheimisches Unternehmen für Unterhaltungselektronik und waren sehr an diesem Bereich interessiert.“ Über die Crowdfunding-Plattform Indiegogo brachte Muse Wearables 2019 sein erstes Produkt auf den Markt – die Muse Hybrid Smart

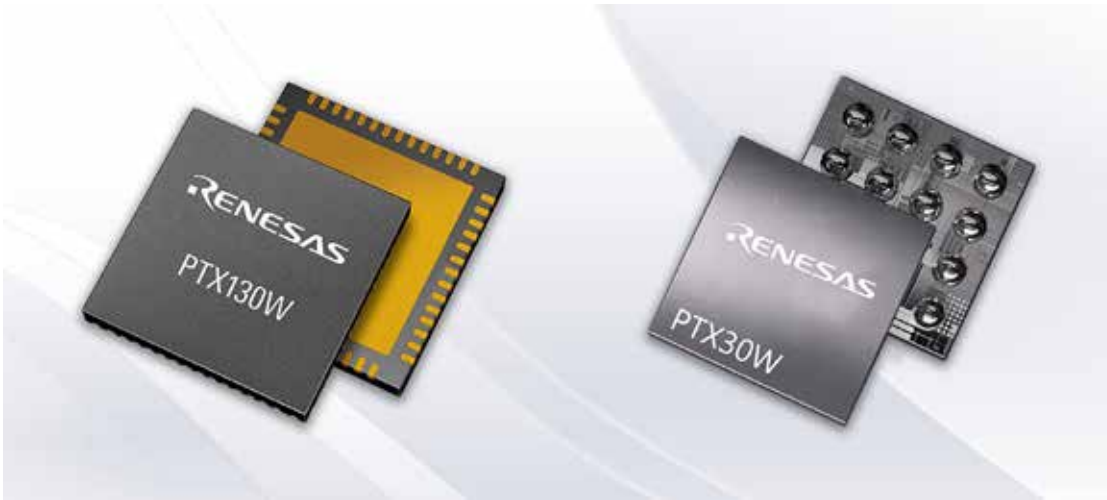
Watch mit Bluetooth und Aktivitätsüberwachung. Im Jahr 2020, während des Ausbruchs von COVID 19, nahm die Entwicklung an Fahrt auf, als Muse eine Technologie zur Überwachung des Blutsauerstoffgehalts hinzufügte. Dies erwies sich als bahnbrechend für den Gesundheitssektor in Indien. Die smarten Uhren kamen in großem Umfang zum Einsatz, um klinische Daten zu liefern, die genau anzeigen, wann der Sauerstoffgehalt im Blut eines Patienten so weit absinkt, dass ein Beatmungsgerät erforderlich ist.

„Wir verkauften bereits an Endanwender, als wir eine Anfrage erhielten, unser Produkt in Krankenhäusern zur Fernüberwachung von Patienten einzusetzen“, so Prathyusha. „Zu diesem Zeitpunkt verlagerten wir unseren Fokus stärker auf den Gesundheitsbereich. Dort kam unser Tracker bei Patienten zum Einsatz, um das Pflegepersonal rechtzeitig zu alarmieren. Es war eine großartige Lernerfahrung für uns zu sehen, dass unsere Technologie genutzt werden kann, um Leben zu retten.“

Wichtige Erkenntnisse

Dank der weit verbreiteten Nutzung der Smartwatch von Muse Wearables konnte das Unternehmen Millionen anonymer Datenpunkte sammeln und die Genauigkeit seiner Algorithmen für Gesundheitstracker verbessern. Die Erfahrung hat auch gezeigt, dass Uhren nicht unbedingt den ergonomischsten Formfaktor haben, um die Vitalfunktionen von Patienten zu überwachen. Sie können sich um das Handgelenk drehen, insbesondere wenn die Patienten schlafen.





Die HF-Leistung des PTX130W NFC-Transmitter erlaubt ein kompaktes Antennendesign und schnelles Laden.

„Da wurde uns klar, dass sich ein Finger als Messpunkt besser eignet, um ein gutes Signal und genauere Daten zu erhalten“, erläutert Prathyusha. „Wir haben das gründlich analysiert und sind überzeugt, dass wir mit Ring One den nahezu perfekten Gesundheitsbegleiter entwickelt haben.“

Ring One als täglicher Begleiter

Anwendungsbereiche außerhalb von Krankenhäusern könnten beispielsweise darin bestehen, dass die Nutzer jeden Morgen eine Bewertung ihrer Schlafqualität erhalten. Diese erfolgt auf der Grundlage einer nächtlichen Analyse der Vitalparameter, einschließlich der wichtigen REM-Schlafphasen. Nach Angaben des Unternehmens helfen diese Daten dem Nutzer zu verstehen, wie fit er für den Tag ist.

„Bei einem niedrigen Schlafscore ist die Analyse der App sehr individuell auf die möglichen Ursachen zugeschnitten und liefert Vorschläge, wie sich die Schlafqualität verbessern lässt“, erklärt Dhoorjati Varma, Produktmanagerin des Unternehmens.

Tagsüber zeichnet der Ring alle Aktivitäten auf, beispielsweise die Anzahl der Schritte, und gibt eine Warnung aus, wenn der Nutzer zu lange inaktiv ist. Des Weiteren misst der Ring den maximalen Sauerstoffverbrauch. Der Wert gibt an, wie viel Sauerstoff eine Person während eines intensiven Trainings verbraucht. Darüber hinaus überwacht Ring One die Herzfrequenzvariabilität während Entspannungs- oder Meditationsübungen.

Um elektronisch zu bezahlen, genügt eine einfache Handbewegung an einem beliebigen Kassenterminal – ganz ohne

Brieftasche oder Telefon. Zukünftige Upgrades könnten Schnittstellen enthalten, die ein Auto entriegeln oder ein Haus aufschließen.

Erweiterung des Funktionsumfangs

Ring One ist ein herausragendes Beispiel für gelungene Integration. Das innovative Konzept des Unternehmens umfasst die Integration eines Temperatursensors, eines 3D-Beschleunigungssensors, eines Gyroskops sowie einer einzigen NFC-Antenne. Diese ermöglicht sowohl elektronische Zahlungen als auch das kontaktlose Laden des Geräts. Eine einzigartige Benutzeroberfläche ergänzt die Bluetooth-Funktion, mit der sich Daten vom Ring auf ein Smartphone übertragen lassen.

„Der Ring hat eine sehr kleine Form, daher war es sehr aufwendig, die Benutzeroberfläche zu entwickeln“, erläutert Prathyusha. „Wir bezeichnen sie als eine Art „Drehregler“, weil man die Außenseite des Rings drehen muss, um verschiedene Modi zu aktivieren. Zum Beispiel beim Drehen nach links, wird ein Training gestartet, und beim Drehen nach rechts der Bezahlmodus aktiviert. Der Ring wird auch mit einer passenden Ladestation geliefert, die über einen eigenen Akku verfügt, der einen Monat lang hält.“

Ring One ist das weltweit erste Gerät, das eine neue Ära einläutet. Es ermöglicht kontaktloses Laden und Bezahlen per NFC über eine einzige Antenne in einem sehr kompakten Gerät. Die innovative Benutzeroberfläche mit Drehregler sorgt für zusätzliche Raffinesse. Die Anmeldung mehrerer Patente untermauert diese bahnbrechende Technologie. Damit festigt das Unternehmen seine Position als innovativer Vorreiter in diesem Bereich.



Im Ring sind ein Temperatursensor, ein 3D-Beschleunigungssensor, eine Gyroskop sowie eine einzige NFC-Antenne untergebracht.

Um sowohl das Bezahlen als auch das Aufladen mit einer einzigen Antenne zu ermöglichen, wandte sich Muse Wearables an Pantronics. Das Unternehmen ist mittlerweile eine Tochtergesellschaft von Renesas Electronics und auf NFC-Wireless-Ladetechnologie spezialisiert. „Aufgrund unserer Flächenbeschränkungen war Renesas die einzige Lösung, die das NFC-Laden ermöglichte“, so Prathyusha. „Die Wertschöpfung pro Fläche ist sehr hoch.“

Die Lösung umfasst einen Renesas PTX130W NFC-Transmitter, der den Ring über das Ladegerät mit Strom versorgt und die branchenweit höchste Ausgangsleistung für schnelleres NFC-Laden bietet. Darüber hinaus unterstützt ein leistungsstarker und effizienter PTX30W mit integriertem NFC-Wireless-Charging-Listener Anwendungen für kontaktloses Laden in Kombination mit Datenkommunikation. Die HF-Leistung des PTX130W ermöglicht ein kompaktes Antennendesign und schnelles Laden. Ein DA9070 PMIC (Power Management IC) mit niedrigem Ruhestrom und ein Abwärts-/Aufwärtswandler ISL9120 runden die Stückliste ab.

„Von Beginn unserer Zusammenarbeit an standen wir in engem Kontakt mit dem Renesas-Team. Es war stets sehr hilfreich bei den Tests und der Evaluierung, was für uns entscheidend war, um das Design fertigzustellen“, berichtet Prathyusha. „Wir haben großartig zusammengearbeitet und wir freuen uns darauf, Ring One auf den Markt zu bringen.“

Nach der weltweiten Markteinführung im September vergangenen Jahres soll die geplante Produktauslieferung noch in diesem Jahr beginnen. Muse ist zuversichtlich, dass Ring One die Art und Weise verändern wird, wie Menschen ihre Fitness-Tracker nutzen. Ergänzend zur Erfassung von

Gesundheitsdaten kann Ring One auch zum Bezahlen verwendet werden – Benutzer können den Ring genauso verwenden, wie ihre Bankkarte.



Embedded World
Halle 1, Stand 234



EMBEDDED COMPONENTS IN INDUSTRIEQUALITÄT

HOCHWERTIGE TOUCH DISPLAY-LÖSUNGEN, COMPUTERBOARDS, BEDIENELEMENTE FÜR INDUSTRIE, FOOD & BEVERAGE, MEDIZIN, MOBILITÄT UND MEHR.

- » Displays und Touch-Sensoren
- » Embedded Module
- » Folientastaturen
- » Kundenspezifische Lösungen

Treffen Sie uns in Nürnberg!
10. - 12. März 2026
Halle 1 | Stand 464



components@schubert-system-elektronik.de



ALL ELECTRIC SOCIETY: WARUM DATEN DIE ZWEITE
LEBENSADER DER INDUSTRIE SIND

Sektorenkopplung und Connectivity als Wegbereiter

In der All Electric Society verschmelzen Energie und Daten zu einer untrennbaren Einheit. Jörg Scheer, Senior Vice President Market bei HARTING, erläutert, warum robuste Connectivity, Simulationen und einheitliche Standards das Fundament für eine nachhaltige, effiziente und sektorenübergreifende Zukunft bilden.

TEXT: Bernhard Haluschak, E&E BILD: Harting

Wenn wir über die All Electric Society (AES) sprechen, begegnet uns häufig das Bild der zwei zentralen Lebensadern: Energie und Daten. Diese Ressourcen sind untrennbar miteinander verwoben. Erneuerbare Energien bilden das ökologische Fundament, doch erst durch Daten wird die Effizienz dieser Systeme voll ausgeschöpft. Alles, was elektrifiziert werden kann, wird elektrifiziert – davon bin ich fest überzeugt. Doch Connectivity ist weit mehr als nur das Zusammenstecken von Komponenten; sie ist der Klebstoff einer vernetzten Welt

Das holistische Bild: Mehr als nur Komponenten

Bei HARTING verfolgen wir einen missionarischen Ansatz: „Connecting the All Electric Society“. Wir betrachten dabei fünf zentrale Sektoren: Mobilität, Industrie, Energie,

Landwirtschaft (Agriculture) und Smart Infrastructure. Unser Ziel ist es nicht, nur ein „Spezialthema“ wie Single Pair Ethernet isoliert zu betrachten, sondern das breite, holistische Bild zu verstehen.

Die wahre Magie der AES liegt in der Sektorenkopplung. Ein einfaches Beispiel aus dem Alltag verdeutlicht dies: Wer eine Photovoltaikanlage auf dem Dach hat (Energie), ein E-Auto fährt (Mobilität) und den Strom im Haushalt speichert oder nutzt (Infrastruktur), koppelt bereits drei Sektoren. In der Industrie ist dies ungleich komplexer, aber das Prinzip bleibt gleich: Energie muss so effizient wie möglich genutzt werden. Unser Beitrag ist die physische Infrastruktur – die Steckverbindung und die Verkabelung –, die diese Sektoren erst miteinander kommunikationstüchtig macht.

Die Evolution der Connectivity: Von Robustheit zu Intelligenz

HARTING kommt aus der Welt der robusten Anwendung – das ist unsere „Ur-DNA“. Ob es der berühmte rechteckige HAN-Steckverbinder ist oder spezialisierte Lösungen für Schienenfahrzeuge, bei denen Steinschlag und Vibrationen zum Alltag gehören: Wir sind dort zu Hause, wo die Umgebung herausfordernd ist. Doch die Anforderungen haben sich gewandelt. Wir haben uns von universellen Rechtecksteckverbindern hin zu applikationsspezifischen Lösungen entwickelt. Heute bieten wir die gesamte Palette: von metrischen Rundsteckverbindern (M5 bis M23) für die Automatisierungstechnik bis hin zu IP20-Schnittstellen wie RJ45 oder modernen Daten-Schnittstellen direkt am und im Gerät.

Ein entscheidender Schritt in unserer Evolution war die Integration der Kabelkonfektion. Wir sind heute kein reiner Komponentenhersteller mehr, sondern ein Lösungsanbieter. Wenn ein Zug über Jahrzehnte hinweg zwischen Waggonen sicher verbunden bleiben muss, simulieren wir Schock und Vibration vorab digital. Durch unsere Schweizer Schwesterfirma Studer Cables haben wir zudem eigenes Kabel-Know-how im Haus, was uns erlaubt, perfekt abgestimmte Systeme anzubieten.

Qualität und Design ohne Kompromisse

In der Industrie darf Qualität niemals zur Diskussion stehen. Ein Ausfall in einem Automobilwerk, das im Sekundentakt produziert, kostet ein Vielfaches dessen, was man durch einen kostengünstigeren, qualitativ weniger wertvollen Stecker gespart hätte. Connectivity ist oft die größte Fehlerquelle, wenn Systeme stillstehen – deshalb ist unsere Devise: Qualität ohne Kompromisse und absolute Sicherheit in der Anwendung, auch nach zehn Jahren. Gleichzeitig muss jedes Produkt händlingsoptimiert sein. Ob ein Elektriker im Feld einen Stecker montiert oder ein Roboter in der Produktion eine Leiterplatte bestückt: Die Handhabung muss intuitiv und schnell sein. Lösungen wie die Push-Pull-Verriegelung sind hierbei ein entscheidender Faktor, um Effizienz in die Montageprozesse zu bringen.

Die Reise: KI und der digitale Produktpass

Nur Physische Produkte ohne digitales Abbild haben in der modernen Industrie keine Chance mehr. Wir begleiten unsere

Kunden auf ihrer gesamten digitalen Reise. Das beginnt bei der Bereitstellung unterschiedlicher Datenformate für Entwickler und reicht bis zum digitalen Produktpass, der Informationen über den CO₂-Abdruck enthält.

Wir setzen KI ein, um basierend auf Kundenanforderungen automatisch zu prüfen, ob eine Lösung aus dem Bestand gebaut werden kann oder wie ein neu entwickelter, optimierter Steckverbinder aussehen müsste. Das hebt den Austausch mit dem Kunden auf ein völlig neues Niveau.

Nachhaltigkeit und Unabhängigkeit

Nachhaltigkeit ist für uns keine hohle Phrase. Bis 2030 wird HARTING komplett CO₂-neutral produzieren (bezogen auf Scopes 1 und 2). Wir machen uns energetisch unabhängig unter anderem durch eigene PV-Anlagen und Biogas.

Auch beim Thema Materialkreislauf gehen wir voran. In unserer eigenen Gießerei – vermutlich die einzige ihrer Art bei einem Steckverbinderhersteller – führen wir Metallabfälle sofort wieder dem Prozess zu. Während Metall endlos recycelbar ist, ist dies bei Kunststoffen schwieriger. Hier warnen wir vor zu hohen Beimischquoten, da die Performance nicht leiden darf. Wer Qualität will, muss bereit sein, für die richtigen Werkstoffe und die damit verbundene Langlebigkeit zu investieren.

Fazit: Standardisierung als Schlüssel

Die größte Herausforderung für die Sektorenkopplung bleibt die Standardisierung von Protokollen und Schnittstellen. Proprietäre Systeme behindern den Fortschritt. Wir brauchen einheitliche Standards wie Ethernet und Single Pair Ethernet (SPE), um die Interoperabilität zwischen Industrie, Mobilität und Energieversorgung zu maximieren.

Die All Electric Society ist keine ferne Vision, sie entsteht jetzt. In der tiefen Symbiose aus Energie und Daten liegt der Schlüssel zu einer nachhaltigen Zukunft. Wir bei HARTING sind bereit, die Lebensadern dieser neuen Welt sicher und effizient zu verbinden.



Embedded World
Halle 3, Stand 156

EFFIZIENTE ENTWÄRMUNGSKONZEPTE

Hier kommt die richtige Kühlung

Wie im alltäglichen Leben augenscheinlich ersichtlich, wird auch im Bereich der Elektronik alles kleiner und kompakter. Die Miniaturisierung elektronischer Bauteile ist weit vorangeschritten, was sich zunehmend in der Baugröße von elektronischen Systemen und Geräten widerspiegelt. Kleiner, kompakter und leistungsstärker bedeutet gleichfalls aber auch erhöhte Bauteiltemperaturen, welche auf lange Sicht dem Bauteil in Punkto Funktionssicherheit und Lebensdauer schaden.

TEXT: Jürgen Harpain, Fischer Elektronik BILDER: Fischer Elektronik; ziya mehmet isildak, iStock



In Abhängigkeit der Bauteilgröße und deren Verwendung in einer bestimmten Applikation, sind effiziente Entwärmungslösungen mehr denn je nachgefragt. Ziel solcher Systeme ist es, die elektronischen Bauteile in einem vom Hersteller spezifizierten Temperaturbereich zu betreiben, um langfristig die positiven Eigenschaften und Funktionsmerkmale dieser Bauteile zu gewährleisten. Zu hohe Temperaturen beziehungsweise die sogenannte Verlustwärme entsteht im Bauteil selbst, da nicht die gesamte zugeführte Energie in Leistung umgewandelt wird. Es entstehen aufgrund physikalischer Vorgänge Verluste im Bauteil, welche unmittelbar in schädliche Wärme umgewandelt werden. Wird es dem Bauteil als Konsequenz zu warm, sind Fehlfunktionen oder Bauteilausfälle oder gar eine Bauteil-

zerstörung vorprogrammiert. Elektronische Bauteile erfordern je nach Anwendung, Verlustleistung und Einsatzgebiet, effektvolle auf die Applikation angepasste Entwärmungskonzepte. Fischer Elektronik als namhafter Hersteller von verschiedenartigen Entwärmungskomponenten und auch Problemlöser für unterschiedlichste Entwärmungsaufgaben, liefert ein umfangreiches Standardprogramm und kann dieses ebenfalls mittels eines hochmodernen Maschinenparks auf die Kundenbedürfnisse anpassen. Verschiedenartige Kühlkörpervarianten als Aluminiumstrangpressprofil, Kupfer- oder Aluminiumblechbiegeteile für die Bauteilentwärmung auf der Leiterkarte, aktive Lösungen als Lüfteraggregat oder Flüssigkeitskühlkörper für Bauteile mit größerer Verlustleistung, ermöglichen eine solide, dauerhafte

und sichere Entwärmung elektronischer Bauteile und Komponenten.

Strangkühlkörper aus Aluminium

Stranggepresste Kühlkörper aus Aluminium sind in der Elektronik zur Bauteilentwärmung weit verbreitet, genauer gesagt, nach wie vor eine der am häufigsten eingesetzten Entwärmungsmethoden. Beim Strangpressen wird wie im Extrusionsverfahren ein erwärmter Aluminiumblock kurz vor der Schmelzgrenze durch eine Werkzeugmatrize gepresst. Diese enthält als negativ die eigentliche Kühlkörpergeometrie. Das genannte Aluminium ist eine spezielle Legierung und besitzt neben einer hohen Wärmeleitfähigkeit weiterhin funktionelle Eigenschaften, wie ein relativ geringes spezifisches



Gewicht, eine hohe Festigkeit bei sehr guter Zerspanbarkeit. Des Weiteren eignet sich das Material hervorragend für vielzählige Oberflächenbeschichtungen. Zu Beginn eines jeden Projektes steht oftmals die Frage im Raum, welcher Kühlkörper sich am besten für die Entwärmungsaufgabe eignet, beziehungsweise zur Applikation passt. Um das Thema Auswahlprozess etwas einzugrenzen, ist es sinnvoll im ersten Schritt den so genannten Wärmewiderstand überschlagsmäßig zu berechnen. Einfache Berechnungsformeln liefern keine wissenschaftliche Ausarbeitung, helfen aber dabei das Wärmeproblem einzugrenzen. Anhand des berechneten Wärmewiderstandes kann unter Berücksichtigung der weiteren Randbedingungen, wie z.B. der max. zur Verfügung stehende Einbauraum, eine Auswahl des Kühlkörpers anhand der in den Katalogen

der Kühlkörperhersteller gemachten numerischen Angaben, Diagrammen oder graphischen Darstellungen erfolgen. Weiterhin liefert die Größe des thermischen Widerstandes eine Aussage darüber, ob die Entwärmungsaufgabe passiv mittels der freien Konvektion, aktiv mittels der forcierten Konvektion oder nur durch den Einsatz von Flüssigkeiten zu lösen ist.

Das Design des jeweiligen Kühlkörpers wird im Hause Fischer Elektronik nicht einfach so gewählt, sondern genauso analysiert. Hierfür wird eine spezielle Simulationssoftware eingesetzt, die im Besonderen auf die physikalischen Gegebenheiten, wie Wärmeleitung und -strahlung ausgelegt ist. Im Detail wird der Wärmeverlauf im gesamten Kühlkörper betrachtet, da sich die thermische Performance von Strangkühlkörpern aus dem richtigen



Individuelle

Embedded Gehäuse

Unsere Aluminiumgehäuse bieten Lösungen für verschiedene Embedded-Formfaktoren, optional mit integrierten Kühlrippen für eine effiziente Wärmeableitung sowie mit Montageschienen oder Monitorhalterungen.

EMV-gerechte Ausführungen und kundenspezifische Designoptionen sorgen für maximale Flexibilität – und das bereits ab einem Stück.

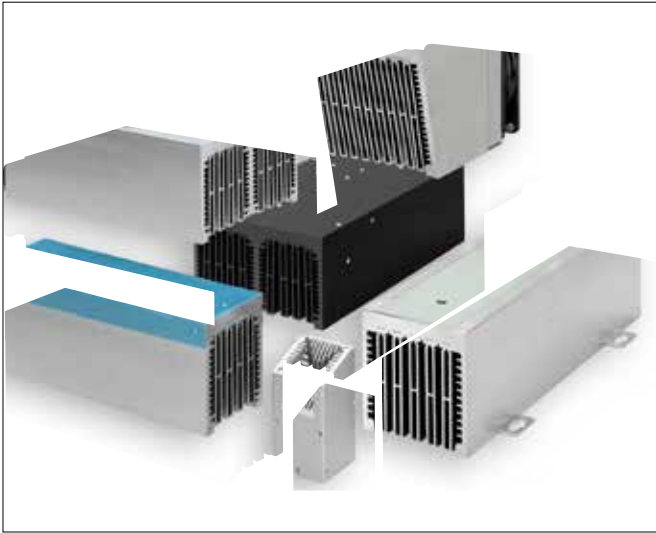
Mehr erfahren Sie unter:
www.fischerelektronik.de/emb

fischer

elektronik

kühlen schützen verbinden





Leistungsstarke Lüftermotoren ergeben in Verbindung mit einem Aluminiumhohlkammerprofil mit innovativer Wärmetauschstruktur beste thermische Wirkungsgrade.



Für die Entwärmung von Hochleistungskomponenten stehen U-durchströmte Flüssigkeitskühlkörper bis zu einer Verlustleistung von 8kW zur Verfügung.

Verhältnis zwischen Bodenstärke, Rippenhöhe, -abstand und -anzahl zusammensetzt. Je nach entstandener Kühlkörpergeometrie und dessen Materialverteilung, müssen im Vorfeld gleichfalls die auftretenden Fertigungstoleranzen Beachtung finden. Fertigungstoleranzen sind beim Strangpressverfahren unvermeidlich und obliegen internationaler DIN-Normen. In Punkto Durchbiegung der Montageflächen, aber auch der Breiten- und Höhentoleranz, können diese je nach Größe des Profilquerschnitts erheblich sein und erfordern oftmals eine mechanische Nachbearbeitung, zumal ein Strangkühlkörper bei der Verwendung in der Gesamtkonzeption der Applikation berücksichtigt werden muss. Oftmals stellt der Kühlkörper eine im Gerät verbaute Komponente dar, weshalb dieser immer in Zusammenhang mit anderen Bauteilen zu betrachten ist.

Luft und Wasser liefern Performance

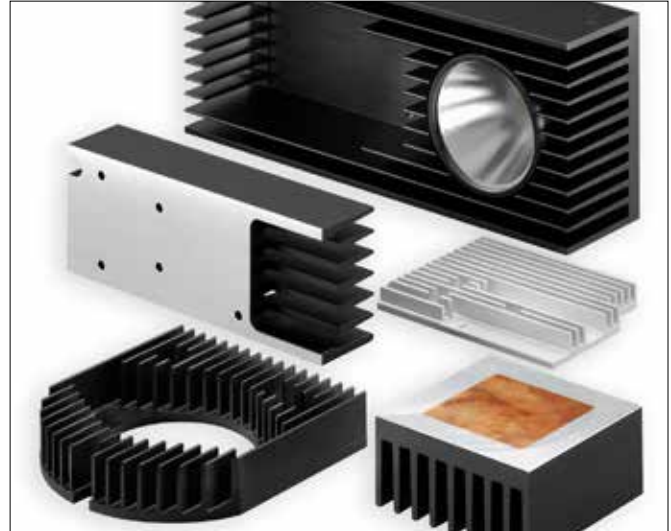
Gelangen die genannten Strangkühlkörper aus Aluminium an ihre leistungstechnischen Grenzen, sind die in der Applikation geforderten Temperaturdifferenzen zu klein oder ist die abzuführende Verlustleistung der eingesetzten

Bauteile zu groß, dann sind aktive Entwärmungskonzepte in Form von sogenannten Lüfteraggregaten sinnvoll einzusetzen. Lüfteraggregate enthalten im Aufbau aus eine umschlossene Hohlkammer, welche in ihrem Aufbau und Wärmetauschgeometrie jeweils auf die verwendeten Lüftermotoren und deren Leistungsdaten, wie Luftgeschwindigkeit und -volumen, abgestimmt sind. Der mittels der vorgeschalteten Lüftermotoren erzeugte Luftstrom, wird in gerichteter Form durch die umschlossene Wärmetauschstruktur geleitet. Hierdurch sind Lüfteraggregate als aktive Entwärmungslösung sehr effektiv und stellen bereits in vielen Bereichen der Leistungselektronik eine erprobte Technik dar. Hierfür stehen spezielle Systeme als Segment-, Miniatur-, Hohlrippen- oder Hochleistungslüfteraggregat, mit Axial-, Radial- oder Diagonallüftermotor, zur Verfügung. Die unterschiedlichen modularen Aufbauten der Lüfteraggregate sowie deren technische Realisierung sind auf die vielfältigen Anwendungen, Bauteilgrößen und der damit verbundenen abzuführenden Verlustleistung angepasst. Effiziente innenliegende und strömungsoptimierte Wärmetauschflächen, ein- oder doppelseitige exakt plan gefräste Halbleitermontageflächen, runden die

vielzähligen positiven Eigenschaften der Lüfteraggregate ab. Etliche leistungstechnische Anwendungen erfordern die Wärmeabfuhr großer Verlustleistungen, die mit aktiven Lösungsansätzen nicht mehr umzusetzen sind. Nach dem Element Luft, folgt das Element Wasser, welches sich alleine durch die Betrachtung der spezifischen Wärmekapazität gegenüber der Luft deutlich unterscheidet. Die sogenannten Flüssigkeitskühlkörper werden mit dem Kühlmedium Wasser oder Öl betrieben und liefern ausgezeichnete sowie sehr leistungsfähige Lösungen zur Bauteilentwärmung. Flüssigkeitskühlkörper aus dem Hause Fischer Elektronik, in unterschiedlichen Ausführungen als I- oder U-durchströmte Variante, besitzen im inneren Strömungskanal eine zueinander versetzte Lamellenstruktur. Diese ist wärmeleitend über ein spezielles Lötverfahren mit der Basis- und Bauteilmontageplatte verbunden, wodurch ein sehr guter Wärmetransport von dem zu kühlenden Bauelement in die durchströmende Flüssigkeit umgesetzt wird. Des Weiteren sorgt die Struktur für eine homogene (flächige) Durchströmung des Flüssigkeitskühlkörpers, womit gleichfalls die entstehenden Strömungsverluste minimiert werden. Exakt plangefräste, dicke Halbleitermontageflächen dienen zur Befestigung wärmeemittierender



Jede Auswahl an TIMs sollte zunächst mit einer genauen Betrachtung der Kontaktpaarung und deren dazugehörigen Toleranzen starten, um die Auswahl einzugrenzen.



Verschiedenartige Strangkühlkörper aus Aluminium liefern zur Entwärmung elektronischer Bauelemente hervorragende Lösungsmöglichkeiten mittels freier Konvektion.

Bauelemente und erlauben darüber hinaus eine freie Platzierung der Bauteile ohne jegliche Beschränkung. Nicht nur aufgrund der 4-fach höheren Wärmekapazität des Wassers gegenüber der Luft, erscheint eine Flüssigkeitskühlung als Entwärmungskonzept überragend und bei etlichen Anwendungen durchaus als überlegenswert.

In Kontakt bleiben

Thermische Kontaktmaterialien (TIM) dienen zur Verbesserung der Wärmeleitung beim Übergang von der einen Komponente auf die andere. Oftmals betrifft das die Kontaktierung eines zu entwärmenden Bauteils auf einer Wärmesenke. Die Oberflächen der Kühlkörper, aber auch der elektronischen Bauteile, wirken auf den ersten Eindruck eben und glatt. Gemäß Literatur wird lediglich mit einer Kontaktfläche, ohne mechanische Nachbearbeitung, von 2 bis 5 Prozent gerechnet. Die restliche Fläche ist ein Luftpolster, welches aus Zwischenräumen besteht, in denen die Luft als thermischer Isolator fungiert. Diese Luftpolster gilt es mit geeigneten Wärmeleitmaterialien auszugleichen, da die Luft bekanntermaßen sehr schlecht die Wärme leitet. Leider wird vielfach

bei der Auswahl von Wärmeleitmaterialien nur der Wert der Wärmeleitfähigkeit als Entscheidungskriterium betrachtet, ohne wirklich einen Blick auf die vorhandene Einbausituation und die geforderten Randbedingungen zu werfen. Der Wärmewiderstand, die thermische Impedanz bei appliziertem Anpressdruck, die Eben- und Rauheit der Kontaktpaarung, die elektrische Isolierung oder Leitung (Isolationswiderstand), der Temperaturbereich und die Durchschlagsfestigkeit, sind nur einige Parameter, die es zu berücksichtigen gilt. Das bereits benannte Auswahlkriterium der Wärmeleitfähigkeit ist damit zu begründen, dass diese zwangsläufig zu einem geringeren Temperaturanstieg am elektronischen Bauteil und damit zu einer längeren Lebensdauer führen muss.

Die Produktwelt der Wärmeleitmaterialien beinhaltet unzählige unterschiedliche Ausführungen und Lösungsansätze. Angefangen von altbekannten Wärmeleitpasten und -klebern bis hin zu silikonhaltigen und silikonfreien Wärmeleitfolien, Schaum- und GEL-Folien, Graphit- und Aluminiumfolien, Phasen Change Materialien in fest und flüssig, einseitig und doppelseitig klebenden Folien, Kapton- und Glimmerscheiben

sowie Aluminiumoxydmaterialien, werden diese Materialien in den unterschiedlichsten Konfektionen angeboten. Bei der Auswahl für die Applikation geeigneter Wärmeleitmaterialien, ist es stets ratsam in einem ersten Schritt die Kontaktpaarung zu betrachten. Erforderliche Randparameter, zu überbrückende Spaltmaße, welche durch die Konvexität und Konkavität einer jeden Kontaktpaarung gegeben sind, müssen genauestens einer Analyse unterzogen werden. Zu guter Letzt ist es vielfach notwendig die angesprochenen Materialien speziell auf die Kundenapplikation bzw. die Kontaktpaarung in Form besonderer Geometrien oder Zuschnitte anzupassen. Wärmeleitfolien können aufgrund ihrer Eigenschaften und Weichheit relativ einfach nach kundenspezifischen Vorgaben oder als Konstruktionsteil mittels Stanzautomaten oder Schneidcutter produziert sowie konfektioniert werden. Aus Platten- oder Rollenmaterial erfolgt mittels geeigneter CAD-Daten eine toleranzgenaue Schneidvorlage. Darüber hinaus ist als weiterer echter Mehrwert bei Fischer Elektronik ein 24 Stunden Muster-Lieferservice gegeben, womit der Anwender seine ausgewählten Materialien direkt an oder in der Applikation schnell und unkompliziert testen sowie bewerten kann.



PASSENDES TFT-MODUL RICHTIG BAUEN

Displays nach Maß

Längst sind TFT-Module standardisiert und von mehreren Herstellern mit nahezu identischen Parametern erhältlich. Doch wenn die Anwendung Anpassungen oder Ergänzungen wie einen integrierten Treiber für das Backlight verlangt, müssen die großen Hersteller passen.

TEXT: Rudolf Sosnowsky, Hy-Line BILDER: Hy-Line; Aleksandr Titov, iStock

Natürlich kann eine HMI-Anwendung um das Display herum entwickelt werden. Eine Alternative dazu ist, das Display anzupassen und eine Baugruppe zu entwerfen, die alle Aufgaben des Human-Machine-Interface übernimmt. Hinzu kommt, dass selbst große Display-Hersteller eine Produktlebensdauer von lediglich drei bis fünf Jahren garantieren. Für Projekte in der Industrie und Medizintechnik ist dies wegen der langen Entwicklungs- und Zertifizierungszyklen zu kurz. Mit der anwendungsspezifischen Lösung kann eine deutliche längere Lebensdauer abgebildet werden. Wird zum Beispiel das Display-Glas nicht mehr hergestellt, kann der Hersteller auf ein ähnliches Produkt zurückgreifen. Der Kunde erhält ein in Form-Fit-Function kompatibles Modell,

das keine Änderungen in der systemseitigen Hard- oder Software erfordert und damit die Verfügbarkeit deutlich verlängert.

Wie entsteht ein Display?

Neben den großen Display-Herstellern, die sich auf Standard-Modelle und großvolumige Märkte wie Consumer und Automotive konzentrieren, haben sich so genannte Module Maker etabliert. Sie kaufen bei einem Panel-Hersteller ein Mutterglas eines Standard-Displays. Ein Mutterglas ist wie eine Tafel Schokolade, von der man einzelne Stücke abbrechen kann. Die einzelnen Panels sind wohldefiniert, das heißt sie



tragen die Strukturen für das Einzeldisplay und die komplette Verdrahtung für Zeilen und Spalten und den Display-Controller-Treiber. Ausgehend vom Mutterglas entwickeln Module Maker komplette TFT-Lösungen, die in hohem Maße kundenspezifisch konfektionierbar sind.

Die Muttergläser tragen eine größere Anzahl an Einzeldisplays. Die exakte Anzahl hängt von der Prozessgröße ab, in der die Muttergläser gefertigt werden, und den Abmessungen eines Einzeldisplays. Beim Mutterglas sind die beiden Gläser, nämlich Elektroden und Farbfilter, aus denen das fertige Display bestehen wird, bereits miteinander verklebt. Als erstes wird der passende Flüssigkristall eingefüllt, danach werden die Muttergläser einzeln. In den folgenden Schritten werden nur noch individuelle Gläser verarbeitet.

Dem Display-Panel fehlen noch Polfilter auf Vorder- und Rückseite und der Chip, die in Folgeprozessen aufgebracht werden. Für den elektrischen Anschluss wird eine Flexfolie auf das Glas geklebt, und das Backlight mit dem Display verbunden.

Individuelle Anpassung

Für Projekte bereits ab 1.000 Stück können Anpassungen durchgeführt werden, bei denen sich die zusätzlichen Kosten lohnen, um das TFT-Modul individuell zu gestalten (Deckglas) oder an die Anwendung (zum Beispiel Interface) anzupassen. Welche Möglichkeiten es gibt, listet der folgende Abschnitt auf.

Flüssigkristall und Polfilter

Da die TFT-Zelle ohne Polfilter und Flüssigkristall geliefert wird, können im Rahmen ihrer eigenen Spezifikation

Materialien ausgewählt werden, die bestimmte Eigenschaften haben. Bei manchen Projekten muss ein erweiterter Temperaturbereich garantiert werden, bei anderen kommt es eher auf die Ersparnis an, wenn ein normaler Polfilter verwendet wird.

Backlight

Hat man das Modul gefunden, das alle gewünschten Parameter erfüllt, fehlt es vielleicht noch an der Helligkeit, die für den Einsatz im Außenbereich erforderlich ist. Durch Ersetzen der LED-Typen oder dem Design eines Backlights mit mehr LEDs kann die Helligkeit gesteigert oder die Lebensdauer (Halbwertszeit) des Backlights erhöht werden.

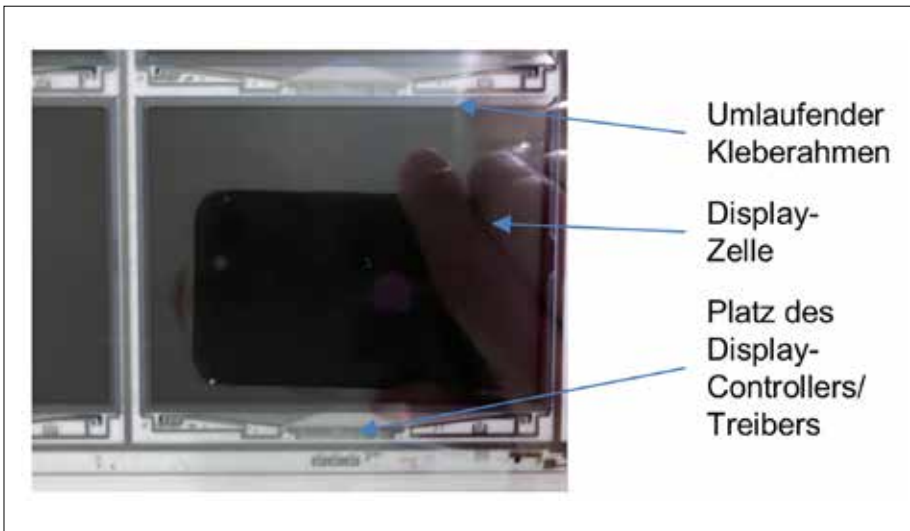
Die Systemintegration wird einfacher, wenn sich der Wandler für die LEDs gleich auf dem Modul befindet, und das Backlight mit einer festen Spannung betrieben und dessen Helligkeit über ein PWM-Signal gedimmt werden kann.

Controller-IC und Schnittstelle

Auch wenn das TFT-Glas für einen bestimmten Controller-Chip ausgelegt ist, gibt es für manche kompatible Typen. Sie können eine Schnittstelle haben, die besser in das System passt oder andere Eigenschaften, wie z.B. einen Sleep-Mode mit Auffrischung des Display-Inhalts in geringeren Raten, oder einen Bildspeicher, der die CPU entlastet.

Design der Flexfolie

Für die mechanische Integration sollte die Flexfolie möglichst dort im Gerät landen, wo sich der Anschlussstecker für das Display befindet. Unter Umständen muss die Steckerbelegung an das



Einzelnes Display für kundenspezifischen Einsatz optimiert

Vorgängermodell angepasst werden, um dann notwendige Hardwareänderungen im Gerät zu vermeiden.

Besonders einfach wird die Anwendung, wenn alle Komponenten – Display, Touchscreen und LED-Backlight auf einen einzigen Steckverbinder geführt werden. Dadurch wird die Montage vereinfacht, und Fehlerquellen werden minimiert.

Design des Deckglases

Bei professionellen Anwendungen wird das empfindliche Display immer mit einem Deckglas geschützt – die Frontseite wird vom Polfilter gebildet, der empfindlich gegenüber Kratzern und Feuchtigkeit ist. Ob sich hinter dem Deckglas noch ein Touchscreen befindet, spielt dabei keine Rolle. Das Deckglas kann bedruckt werden, im einfachsten Fall ist dies eine schwarze Maske, die den Rand des Displays kaschiert. Die Bedruckung liegt dabei hinter dem Glas, so dass sie kratzfest ist und sich im Betrieb nicht abnutzt. Die Farbe der Bedruckung kann beliebig gewählt werden, mit so genannten keramischen Farben wird sie eingebrannt und widersteht extremen Temperaturen genauso wie permanenter UV-Bestrahlung im Außenbereich. Auch Größe und Form des Glases sind beliebig – abgerundete Ecken und geschliffene Kanten gehören zum Standard-Repertoire.

Optical Bonding

Für höchste Darstellungsqualität auch in schwierigen Lichtverhältnissen wie in Montagehallen mit Deckenbeleuchtung oder im Außenbereich wird das Deckglas nicht mit einem umlaufenden Klebeband, sondern vollflächig mit dem Display verklebt. Dadurch werden Reflexionen des einfallenden Lichts deutlich

reduziert. Ein angenehmer Nebeneffekt ist die Abdichtung, so dass weder Staub noch Feuchtigkeit in den Spalt zwischen Display und Deckglas eindringen können.

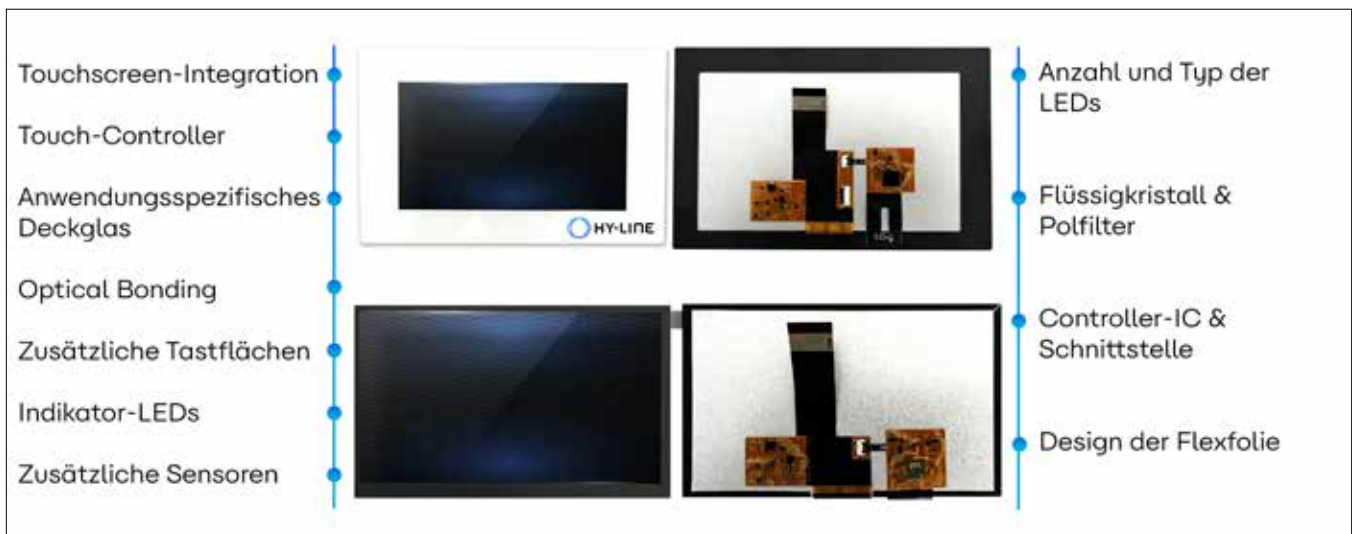
Integration eines Touchscreens

Soll das Display interaktiv eingesetzt werden, wird hinter das Deckglas ein Touchsensor laminiert. Der Touchscreen verwendet in den meisten Fällen die PCAP-Technologie, bei der kleinste Änderungen der Kapazität als Touch-Ereignis ausgewertet werden. Seine Funktion kann in weiten Bereichen parametrisiert werden – von der Einfinger-Bedienung bis hin zur Gestensteuerung, von der Bedienung mit Arbeitshandschuhen bis hin zur Benetzung mit Wasser und anderen Flüssigkeiten.

Für beste optische Performance und elektrische Funktion wird der Touchsensor mit dem Frontglas laminiert und dieser Verbund mit dem Display-Modul verklebt. Hier besteht der Freiheitsgrad, die Verklebung mit einem umlaufenden Klebeband oder durch optisches Bonding herzustellen. Aktuelle Technologien wie OCA ermöglichen auch nach der Fertigung eine Reparatur im Werk, ohne die beteiligten Komponenten zu beschädigen oder zu zerstören.

Auswahl des Touch-Controllers

Die oben erwähnten Funktionen werden mit der Auswahl eines geeigneten Touch-Controllers realisiert. Er wird ebenfalls auf der Flexfolie des Displays integriert. Mit einem High-Performance-Controller können alle Anwendungsfälle abgedeckt werden, ist die Applikation einfach (nur ein Finger, keine Umwelteinflüsse), können mit einem einfachen Controller die Kosten niedrig gehalten werden.



Bei der Auswahl eines Displays sollte auf die Möglichkeiten zur individuellen Anpassung geachtet werden.

Zusätzliche Sensoren und Tastflächen

Durch die variable Bedruckung der Glasoberfläche kann ein Sichtfenster für einen Sensor freigehalten werden, der die Umgebungshelligkeit misst und die Displayhelligkeit beeinflusst. Auch eine Fotodiode für eine Infrarot-Fernbedienung kann im Deckglas eingebaut werden. Ein Präsenzdetektor schaltet das Display nur dann ein oder auf volle Helligkeit, wenn sich ein Bediener davor befindet.

Soll ein grafisches HMI mit zusätzlichen Tasten versehen werden, kann die Auswerte-Elektronik dazu auf der Flexfolie integriert werden. Ein separater Aufbau für Lautstärke, ein/aus oder den Reinigungsmodus wird überflüssig.

Indikator-LEDs

Ebenso wie zusätzliche Tastflächen können hinter dem Glas LEDs integriert werden. Sie können sowohl umlaufend als ein Ambiente-Beleuchtung als auch individuell für die Anzeige von Betriebszuständen verwendet werden. Besonders geeignet sind dafür auch Mehrfarb-Dioden, die mit Hilfe einer bestimmten Farbe verschiedene Maschinen-Zustände anzeigen können. In Tabelle 1 sind verschiedene Bereiche aufgelistet, in denen ein TFT-Modul modifiziert werden kann, um genau auf die Anwendung zu passen.

Fazit

Ein TFT-Modul muss nicht immer dem Standard entsprechen. Mit sogar nur kleinen Modifikationen lässt es sich genau auf die Anwendung zuschneiden: von der Helligkeit über das Interface bis hin zum Touchscreen und zusätzlichen Bedienelementen.

Dabei ist systemseitig keine umfangreiche Konstruktion erforderlich, denn alles ist bereits auf dem Modul integriert und wird über eine einzige Flexfolie mit dem System verbunden. Durch den Einsatz einer Standard-TFT-Zelle sind die Stückzahlen für einen lohnenden Einsatz gering, und auch die Kosten für die Modifikationen sind überschaubar.

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



STROMVERSORGUNG FÜR 48-V-ANWENDUNGEN

Digitale Steuerung für Stromversorgungsarchitekturen

Die Integration eines Power System Managers in Quarter-Brick-Designs ist der nächste logische Schritt für präzise 48-V-Systeme. Doch der Weg zu zuverlässiger Sequenzierung und exakter Telemetrie birgt in der Praxis Hürden. Dieser Beitrag zeigt, wie Sie diese Herausforderungen meistern und eine robuste digitale Steuerung für Ihre Stromversorgungs-Subsysteme sicherstellen.

TEXT: Karl Audison Cabas, Ralph Clarenz Matocinos, Christian Cruz: Analog Devices **BILDER:** Analog Devices; oxign, iStock

Um Telekommunikations- und Datenkommunikationssysteme mit Strom zu versorgen, benötigt man zunehmend hocheffiziente 48-V-Zwischenbusse mit Hot-Swap-fähigen DC/DC-Wandlern in Standard-QB-Abmessungen. Neue Industriestandards schreiben nun integrierte PMBus®-Schnittstellen und robuste Schutzschaltungen vor, was einen klaren Trend hin zu digital verwalteten Stromversorgungslösungen für Rack-Server und Netzwerkgeräte widerspiegelt.

Der LTC2971 ist ideal, um diese Anforderungen zu erfüllen. Er sequenziert und trimmt zwei geregelte Ausgangsspannungen von 60 V bis +60 V, implementiert programmierbare Fehlerreaktionen und protokolliert kritische Ereignisse im integrierten EEPROM. Seine native PMBus-Schnittstelle ermöglicht eine nahtlose Integration in Standardarchitekturen zur Systemüberwachung, während seine digitalen PSM-Funktionen (DPSM) – Sequenzierung, Margentests, Fehlererkennung und Telemetrie – heute in komplexen Stromversorgungsplattformen als unerlässlich gelten. Der interne EEPROM und ein unabhängiger Watchdog unterstützen den autonomen Betrieb mit minimalem Eingreifen des Hosts und verbessern so die allgemeine Zuverlässigkeit des Systems.

QB-Lösungen bieten in der Regel einen analogen Eingang (VADJ) für die Spannungseinstellung. Der PSM ist direkt mit den Pins RUN/ENABLE, VOUT_SNS/FB und Temperatursensor verbunden, während seine ISENSE-Eingänge den Ausgangsstrom mithilfe des Spulen-DCR oder eines externen Shunts genau messen. Sein präziser VDAC-Ausgang ermöglicht eine Feineinstellung der Ausgangsspannung über Widerstandsteiler. Durch die Integration des PSM auf der Stromversorgungsplatine erhalten

Entwicklerinnen und Entwickler über PMBus eine zentralisierte, hochpräzise digitale Telemetrie aller Spannungen, Ströme und Platinentemperaturen. Sie ist weitaus genauer und flexibler als herkömmliche analoge Überwachungslösungen, die oft Schwierigkeiten haben, die strengen Leistungsspezifikationen von Rechenzentren zu erfüllen.

QB-Lösung

Das Referenzdesign der 2-kW-QB-Lösung¹ nutzt eine extrem zuverlässige Vierphasenarchitektur mit dem neuesten DC/DC-Zwischenbuswandler (Intermediate Bus Converter, IBC) von Analog Devices und gekoppelten Spulen für eine außergewöhnliche Leistung. Die integrierte Telemetrie ermöglicht kontinuierliche Spannungsüberwachung, schnelle Fehlererkennung und Echtzeitkonfiguration über I2C/PMBus. Die Lösung wurde auf einer standardisierten Grundfläche entwickelt und gestattet eine nahtlose Integration in eine Vielzahl von Kundenplattformen, wodurch die Flexibilität, Effizienz und Nutzungsfreundlichkeit verbessert werden.

Vorteile einer integrierten QB-Lösung

Die Integration des LTC2971 in QB-Wandler bietet mehrere wichtige Vorteile:

Präzise Telemetrie

Der PSM verfügt über hochauflösende ADCs, die Spannung und Temperatur genau überwachen. Auf der QB-Platine zeigte er eine Messgenauigkeit der Ausgangsspannung und Temperatur



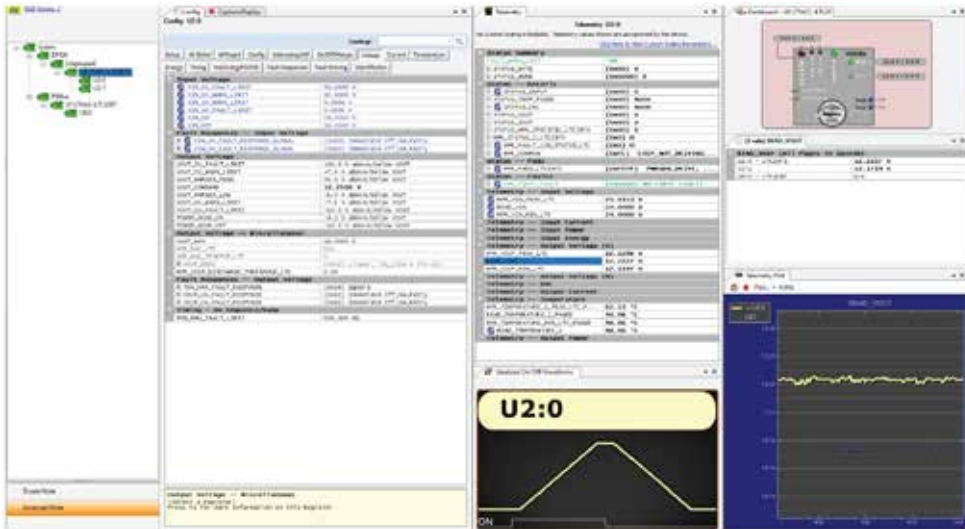
von etwa $\pm 0,5$ bis 1,0 Prozent, was eine präzise Leistungsbudgetierung ermöglicht. Zuverlässige Messungen von Spannung, Strom und Temperatur geben Ingenieurinnen und Ingenieuren einen tiefen Einblick in das Verhalten der Lösung unter verschiedenen Bedingungen, sodass die Leistung sicher bis an ihre Grenzen herangeführt werden kann. Durch die Programmierung von EEPROM-Parameter Grenzen und die Feinabstimmung von Warnschwellenwerten auf der Grundlage der Telemetrie können Ingenieurinnen und Ingenieure sicherstellen, dass die Lösung konstant maximale Leistung liefert, ohne unnötige Fehler auszulösen.

Digitale Steuerung und Sequenzierung

Eine wichtige Anforderung in Rechenzentren ist eine präzise Leistungssequenzierung, um sicherzustellen, dass die QB-Lösung die Prozessoren sicher, kontrolliert und zeitnah versorgt und hochfährt. Der PSM automatisiert den Start, das Herunterfahren und die Bildung der Spannungsmarge mehrerer Ausgangsspannungen vollständig und unterstützt sowohl zeitbasierte als auch nachverfolgende Sequenzierung über alle Spannungen hinweg. Er kann auch mehrere QB-Lösungen für skalierbare Designs kaskadieren. Die PSM-Parameter `DRV_EN/RUN` und `VOUT_EN`, einschließlich Einschaltverzögerungen, Anstiegszeiten und Sequenzierungsrichtlinien, sind über PMBus-Befehle vollständig programmierbar. Dies stellt sicher, dass miteinander verbundene Ausgänge immer koordiniert hoch- und herunterfahren. Diese kontrollierte Sequenzierung minimiert das Über- und Unterschreiten von Spannungen während jedes Stromzyklus und erhöht so die Zuverlässigkeit von Rechenzentrums-Racks.

Fehlermanagement

Wesentliche Vorteile des PSM sind sein robustes, integriertes Fehlermanagement und seine Ereignisprotokollierung. Spannungs- oder Temperaturüberschreitungen können so konfiguriert werden, dass sie eine Abschaltung, einen automatischen Wiederholungsversuch oder ein kontrolliertes Herunterfahren auslösen. Wichtig ist, dass das Bauteil Status und Telemetriedaten kontinuierlich im RAM puffert und bei Erkennung eines Fehlers diese Daten automatisch in einen nichtflüchtigen EEPROM-Speicher überträgt und dort sichert. Diese Black-Box-Funktionalität bewahrt eine vollständige Momentaufnahme der Spannungen, Ströme und Temperaturen zum Zeitpunkt des Ausfalls und ermöglicht so eine präzise Ursachenanalyse. Wie in der konzeptionellen Grafik im Datenblatt des LTC2971 dargestellt, überträgt der Ringpuffer bei Fehlerereignissen automatisch Daten an den EEPROM. Im Gegensatz zu einfachen PMBus-Fehlerregistern oder externen Watchdogs zeichnet das PSM den gesamten Betriebszustand auf, anstatt nur Fehler zu melden. Diese erweiterten



LTC2971-Telemetrietabelle
für Spannung, Strom und
Temperatur

Funktionen erhöhen die Zuverlässigkeit der QB-Lösung, unterstützen eine detaillierte Lebenszyklusbewertung und verlängern die Betriebsdauer durch kontinuierliche Überwachung und Protokollierung.

PMBus-Integration

Die Spezifikationen für Rechenzentren erfordern eine robuste Kommunikationsschnittstelle, die das PMBus-Protokoll unterstützt. Als PMBus-konformes Gerät entspricht der PSM den Industriestandards und lässt sich nahtlos in bestehende Systemmanagement-Plattformen integrieren. Seine Statusüberwachungs- und Steuerungsfunktionen sind über Standard-PMBus-Befehle vollständig zugänglich. Zudem unterstützt er LTpowerPlay® für eine optimierte Konfiguration. Dadurch können Designteam Registerinstellungen wie Spannungen, Grenzwerte und Sequenzierung offline definieren und direkt in den EEPROM programmieren, was die Entwicklungszeit erheblich verkürzt. Darüber hinaus ermöglicht der bidirektionale FAULTB-Pin des Geräts ein flexibles Fehlermanagement, da mehrere Bauteile Fehlerleitungen nach Bedarf gemeinsam nutzen oder isolieren können. Insgesamt bieten die digitalen Steuerungsfunktionen einschließlich Servotrimmen und Sequenzierung einen weitaus effizienteren Weg zur Implementierung eines modernen Energiemanagements als rein analoge Lösungen.

Ergebnisse der Implementierung

Auf der QB-Lösungsplatine zeigte das PSM eine zuverlässige Überwachung des Betriebs, der Eingangsspannung und der Betriebsmetriken des IBC. Die PMBus-Telemetrie blieb stabil und stimmte mit den kalibrierten Messungen des digitalen Multimeters (DMM) überein. Fehlerinjektionstests bestätigten, dass das Bauteil fehlerhafte Kanäle korrekt gesperrt und Ereignisse in den MFR_FAULT_LOG-Registern genau aufgezeichnet hatte.

Die Validierung auf Systemebene ließ erkennen, dass das integrierte digitale Energiemanagement kein zusätzliches Rauschen oder Instabilitäten verursachte, während der kontrollierte Soft-Start-Algorithmus ein Durchschlagen des Gate-Treibers wirksam verhinderte, was zu sauberen Ausgangswellenformen führte. Die I2C-Schnittstelle ist von 100 kHz bis 400 kHz programmierbar, um unterschiedlichen Kommunikationsanforderungen gerecht zu werden, und die Spannungs- und Temperaturwerte stimmten mit den manuellen Daten mit einer Abweichung von $\pm 0,1$ Prozent beziehungsweise $\pm 0,5$ Prozent überein.

Zusammengenommen zeigen diese Ergebnisse, dass der LTC2971 QB-Stromversorgungslösungen durch hochpräzise Überwachung, fein abgestimmte Steuerung und detaillierte Diagnosedaten verbessert. Dank seiner PMBus-Kompatibilität kann er in modernen Telekommunikationssystemen mit minimalen Interoperabilitätsproblemen eingesetzt werden.

Fazit

Die Integration des LTC2971 PSM in das Referenzdesign der QB-Lösung bietet erhebliche Vorteile für Gleichstromversorgungssysteme. Seine integrierten 16-Bit-Telemetrieingänge ermöglichen eine hochpräzise Überwachung, die strenge Anforderungen an die Gleichstromgenauigkeit erfüllt. Die eingebaute Sequenzierung und Closed-Loop-Trimming ermöglichen ein präzises Ein- und Ausschalten mehrerer Ausgänge, während die PMBus-Schnittstelle eine nahtlose Integration in moderne Rack-Management-Infrastrukturen gewährleistet. Die autonome Fehlerprotokollierung bietet erweiterte Diagnosefunktionen, die sich mit analogen Schaltungen allein nur schwer realisieren lassen.


Diese Funktionen erfordern zwar zusätzliche Designüberlegungen, darunter eine sorgfältige Konfiguration, Kalibrierung und einen zuverlässigen Busbetrieb. Die daraus resultierenden



54-V-zu-12-V-
Referenzdesign von ADI
für eine QB-Lösung

Verbesserungen in Bezug auf Zuverlässigkeit, Transparenz und Steuerung gleichen jedoch in der Regel diese Herausforderungen aus. Da Telekommunikations- und Rechenzentrumsanwendungen zunehmend automatisierte, netzwerkverwaltete Stromversorgungssysteme erfordern, sind Bauteile wie der PSM auf dem besten Weg, zu Standardbausteinen zu werden, die eine robuste digitale Steuerung und präzise Telemetrie für Stromversorgungen der nächsten Generation ermöglichen.

Es ist jedoch zu beachten, dass für Schaltungen, die mehr als neun parallele Stromversorgungen erfordern, das PSM aufgrund der Adressierungsbeschränkungen des PMBus möglicherweise weniger vorteilhaft ist. In solchen Fällen sind andere ADI PSM ICs mit erweiterten Adressierungsfunktionen besser geeignet.

 Embedded World
Halle 4A, Stand 360

TRACO POWER

Reliable. Available. Now.

www.tracopower.com

TXN-Serie

Metallgekapselte AC/DC-Netzteile von 25 bis 1000 Watt für kostensensitive Anwendungen

- Arbeitstemperaturbereich von -40°C bis $+70^{\circ}\text{C}$
- Verstärkte E/A-Isolation $3000\text{ V}_{\text{AC}}$
- Integrierter Filter gemäss EN 55032, Klasse B
- Zulassung nach EN 61000-3-2

Serie	Leistung	Ausgangsspannung
TXN 25	25 Watt	3.3, 5, 12, 15, 24, (36), 48 V_{DC}
TXN 35	35 Watt	3.3, 5, 12, 15, 24, (36), 48 V_{DC}
TXN 50	50 Watt	3.3, 5, 12, 15, 24, (36), 48 V_{DC}
TXN 75	75 Watt	5, 12, 15, 24, (36), 48 V_{DC}
TXN 100	100 Watt	5, 12, 15, 24, (36), 48 V_{DC}
TXN 100PF	100 Watt	12, 15, 24, (36), 48 V_{DC}
TXN 150	150 Watt	5, 12, 15, 24, (36), 48 V_{DC}
TXN 200	200 Watt	12, 15, 24, 48 V_{DC}
TXN 350	350 Watt	12, 15, 24, 48 V_{DC}
TXN 500	500 Watt	12, 15, 24, 48 V_{DC}
TXN 800	800 Watt	12, 15, 24, 48 V_{DC}
TXN 1000	1000 Watt	12, 15, 24, (36), 48 V_{DC}



CB
Scheme IEC 62368-1

 UL 62368-1



Gut gekühlt zur Energiewende

Für den Großserienstart der Mieterstrom-Alternative des Startups Pionierkraft sollte ein Energy-Sharing-Gerät leistungsstärker, kompakter und günstiger werden. Das gelang mit der passenden Kühllösung von CTX Thermal Solutions. Der Hersteller avancierte dabei zum Full-Service-Partner für das briefkastengroße Gerät, das die Energiewende für eine Vielzahl von Mietern möglich machen soll.

TEXT: Ulf-Guido Held, CTX Thermal Solutions BILDER: CTX Thermal Solutions; Andrey_A. iStock

100 m geformte Aluminiumstränge erstrecken sich in der Produktionshalle. Sie wurden gerade unter hohem Druck von mehreren 100 MPa durch eine Matrize gepresst; ihre über 500 °C hohen Temperaturen werden erst mal unter hörbarem Zischen heruntergekühlt, damit das Lamellenprofil erhalten bleibt. Noch ein paar Zwischenschritte und von den Strängen werden rund 10.000 Kühlkörper heruntergeschnitten. Hier erfolgt gerade der Produktionsstart einer neuen Großserie. Der Kühlkörperhersteller begleitet das Münchener Energie-Startup Pionierkraft dabei als Full-Service-Partner. Er hat unter anderem dazu beigetragen, dass das zentrale Energy-Sharing-Gerät trotz höherer Leistung nur noch halb so groß ist wie sein Vorgängermodell.

Strom teilen statt einspeisen

„Die Energiewende funktioniert nur, wenn alle mitmachen“, sagt Jonas Huber vom Pionierkraft-Tech-Team. Dass auch möglichst

alle mitmachen können, ist ein Leitziel des Unternehmens. Das Konzept: ein Mieterstrom-Modell, das den Vermieter zwar zum Stromerzeuger, aber nicht zum Energieversorger macht. Dadurch entfallen die EEG-Bilanzierung und die damit verbundene steuerliche Komplexität. Während andere Mieterstrom-Modelle sich erst ab 20 Wohneinheiten rechnen, soll das Pionierkraft-Konzept auf diese Weise ab dem ersten Mieter profitabel sein.

Dreh- und Angelpunkt dieses Konzepts ist das Verteilergerät, das „PIONIERKRAFTwerk“. Es misst den zur Verfügung stehenden, überschüssigen Strom einer Photovoltaik-Anlage und verteilt ihn sekundengenau und bedarfsorientiert auf angeschlossene Wohnungen, ehe er ins Netz eingespeist wird. Dadurch lässt sich ein Mieterstrom-Modell nach den Prinzipien der Gemeinschaftlichen Gebäudeversorgung realisieren.

Technisch läuft es so: Wechselspannung kommt im PIONIERKRAFTwerk an und wird in regelbare Gleichspannung umgewandelt. Diese Regelung stellt sicher, dass nur so viel Energie ausgeliefert wird, wie die dazugehörige

Wohneinheit benötigt und beim Eigentümer der Erzeugungsanlage überschüssig vorhanden ist. Zum Weiterleiten wird die Gleich- wieder zur Wechselspannung gewandelt.

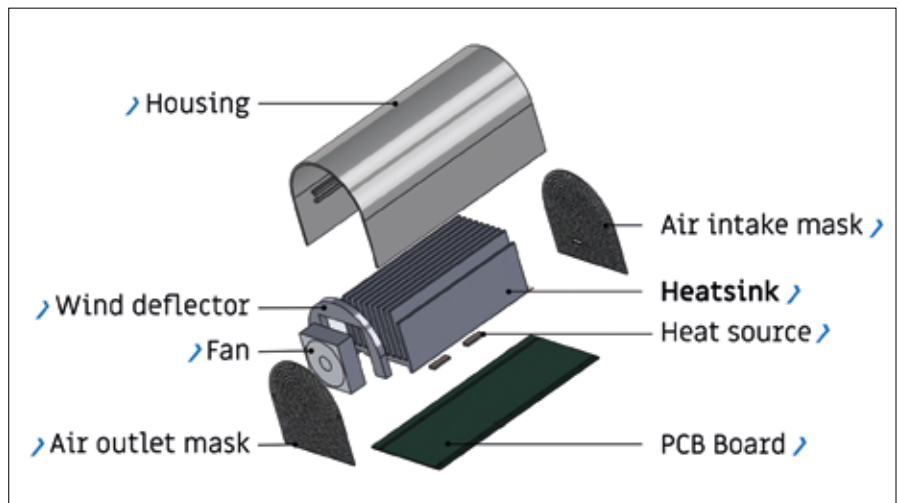
90-Grad-Wende für den Luftstrom

Das Konzept wurde vom Pionierkraft-Gründer Andreas Eberhardt im Rahmen seiner Bachelor-Abschlussarbeit entwickelt. Nachdem zwischen 2019 und 2024 die ersten beiden Geräte-Generationen Funktionalität und Markttauglichkeit bewiesen hatten, wollte das junge Unternehmen im Sommer 2025 mit dem PIONIERKRAFTwerk 3.0 in der Großserie durchstarten. Für diesen Schritt sollte das Energy-Sharing-Gerät weiter optimiert werden. Es sollte an Leistung gewinnen, einfacher zu installieren sein, kostengünstiger und kleiner werden.

Eine entscheidende Rolle spielte dabei die Gestaltung des Kühlkörpers. In der Geräteversion 2.0 war dieser „ein dickes Alublech mit Kühlrippen“, wie Projektleiter Jonas Huber es beschreibt. Der Kühlkörper war groß, schwer und leitete die Wärme über die Luft ab, die zwischen den Rippen nach oben strömte. Version 3.0 erforderte ein neues Kühllösungskonzept: Sie verfügt zum einen über eine



Typische Installationssituation: je Wohnung ein briefkastengroßes PIONIERKRAFTwerk



Ein Profilkühlkörper (Heatsink) fördert den horizontalen Luftstrom, der bei Bedarf durch einen Lüfter forciert wird.

von 1,6 auf 2 kW gesteigerte permanente Nennleistung, zum anderen über eine geänderte Ausrichtung des Gehäuses: Damit in den verwinkelten Kellerräumen mehrere PIONIERKRAFTwerke übereinander installiert werden können, ohne dass sie sich gegenseitig aufwärmen, erfolgte die Wärmeableitung zur Seite.

„Wir waren auf der Suche nach einem Partner, der uns nicht nur einen passenden Kühlkörper liefern konnte, sondern uns auch mit weitergehender Expertise in diesem Bereich unterstützen konnte“, schildert Jonas Huber.

Aktive Unterstützung für passiven Kühlkörper

Auf der embedded world 2024 kam das Startup mit CTX ins Gespräch. Der Kühlkörperhersteller aus Nettetal hat Erfahrung mit Anforderungen, die an Kühlkonzepte für die Elektronik der Stromversorgung, Antriebs- und Steuerungstechnik und andere Anwendungsbereiche gestellt werden. Er verfügt über ein Portfolio, das von passiven Kühllösungen wie Profilkühlkörper bis hin zu aktiven Kühlsystemen wie Flüssigkeitskühlkörper oder Heatpipes reicht. Neben

dem umfangreichen Standardprogramm realisiert der Anbieter auch Kühlkörper nach Zeichnungsvorgabe oder begleitet Kunden bei der Neuentwicklung anwendungsspezifischer Kühllösungen. Für die Fertigung nutzt er alle relevanten Herstellungsverfahren von Druckguss bis Skived Fin. Ein Netzwerk mit internationalen Fertigungspartnern stellt eine hohe Verfügbarkeit sicher.

Der Partner analysierte die Gerätekonstruktion. Es galt, die Abwärme von bis zu 200 W zweier IGBT-Modulen bei einer Umgebungstemperatur von etwa 45 °C abzuleiten. Es entstand ein Kühlkörper mit länglichem Lamellenprofil. Ein 80 x 80 mm großer Lüfter am seitlichen Ende forciert den Luftstrom durch die Lamellenkanäle. Die komplette Kühllösung wird eingefasst mit einem halbrunden Luftkanalgehäuse, einer Lufteinlass- und einer Luftauslassmaske sowie mit der Rückseite der Platine als Boden.

Nach weniger als einem Jahr bereit für die Großserie

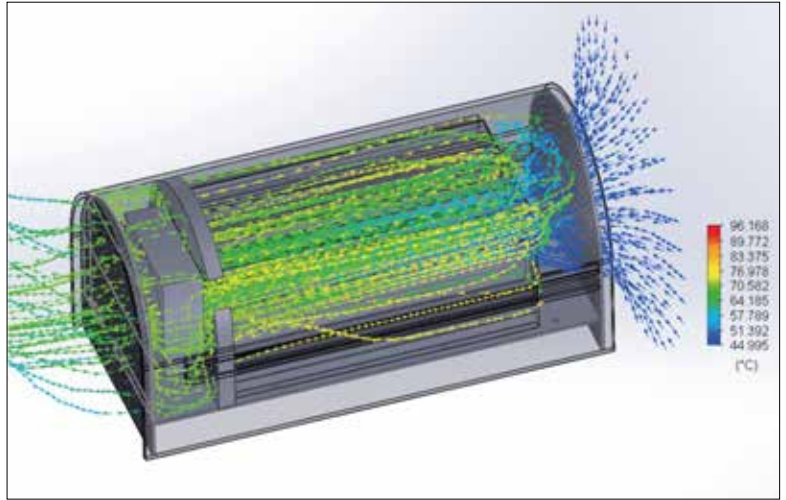
Der Kühlkörper wird im Extrusionsverfahren gefertigt. „Dadurch entstehen besonders gleichmäßige, präzise Lamellen,

was die Wärmeleitung positiv beeinflusst“, sagt Thomas Windeck, Leiter Vertrieb. „In dem formgebenden Verfahren erstellen wir einmalig ein Werkzeug für das Kühlkörperdesign, mit dem wir selbst für komplexe Kühlkörper hohe Stückzahlen zu vergleichsweise niedrigen Kosten produzieren können.“

Die thermische Simulation ergab für die Kühllösung Werte, die Pionierkraft überzeugten: Mit einer Wärmeleitfähigkeit von 155 W/mK der Gehäuseteile und 209 W/mK des Profilkühlkörpers kann letzterer bis zu knapp 92 °C des Hotspots aufnehmen, dessen Maximaltemperatur 96 °C erreicht. Sobald eine Temperatur von 60 °C überschritten wird, springt der Lüfter an und unterstützt die Kühlung. Kühlkörper und Lüfter gelingt es damit leicht, die maximal 200 W Verlustleistung der Elektronik abzutragen. Nach weniger als einem Jahr – zwischen dem Erstkontakt im April 2024 und Februar 2025 – startete so die Geräteversion 3.0 in die Vorserie. „Wir testeten das Gerät in kleineren Mehrfamilienhäusern und konnten so noch letzte ‚Kinderkrankheiten‘ behandeln, eh wir Mitte des Jahres mit der Großserie starteten“, so Thomas Windeck.



Für Kühlung sorgen Standard- und individuelle Kühlkörper bis hin zu Front- und Rückblenden.



Die Lösung transportiert die Verlustleistung von maximal 200 W der PIONIERKRAFTwerk-Elektronik ab.

Ein Full-Service-Partner statt sechs Lieferanten

„Die Geschwindigkeit, in der wir uns mit dem CTX austauschen konnten, war sehr wertvoll“, ergänzt Jonas Huber. „Hinzu kam eine hohe Fachkompetenz, was unterm Strich die Zusammenarbeit sehr, sehr angenehm machte.“ So machte Pionierkraft CTX zum Full-Service-Partner und nutzte alle weiteren Dienstleistungen, die

für das Projekt dienlich waren: Unter anderem fertigt der Hersteller das pulverbeschichtete Gehäuse des PIONIERKRAFTwerks mitsamt Front- und Rückblende, die Kunststoffschienen, an denen der Kühlkörper im Gehäuse befestigt ist, sowie die Wandhalterung des Geräts. „Am Ende sind es rund 15 verschiedene Teile, für die sonst sechs verschiedene Lieferanten nötig gewesen wären“, fasst Thomas Windt zusammen. Auch die Verpackung

mit firmeneigener Bedruckung, in der das PIONIERKRAFTwerk ausgeliefert wird, kommt aus Nettetal. Die Nachfrage nach der Ökostrom-Lösung ist groß. Daher könnte die nächste Serienproduktion bald anstehen. Eine nächste Geräteversion ist mittelfristig für Pionierkraft ebenfalls denkbar – im Teamwork mit CTX.

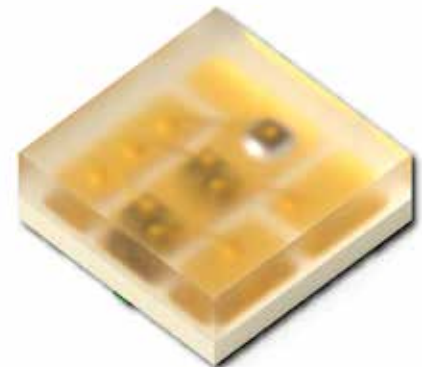
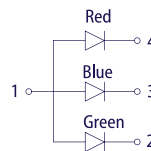
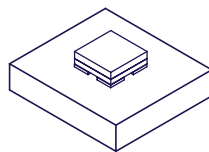
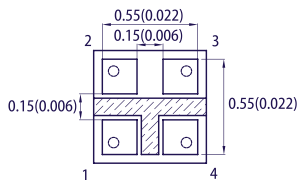


Embedded World
Halle 1, Stand 221

Kingbright

■ Quality ■ Efficiency ■ Innovation ■ First-class service

Kingbright's new KPGF-0607GBRC-05 0,65 mm x 0,65 mm x 0,25 mm Full-Color SMD LED



Product Features:

- 0.65 mm X 0.65 mm X 0.25 mm SMD LED, 0.25 mm thickness
- Low power consumption • Viewing angle: 140° • Moisture Sensitivity Level: 3 • RoHS Compliant

Applications:

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



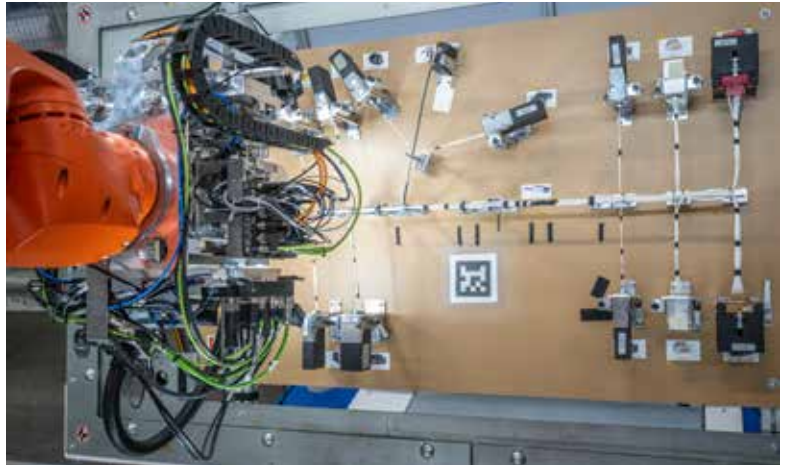
WEGBEREITER FÜR DIE AUTOMATISIERTE LEITUNGSSATZFERTIGUNG

STECKVERBINDER FÜR DIE ROBOTER-MONTAGE OPTIMIEREN

Im Next2OEM-Projekt hat TE Connectivity bewiesen, dass der Steckverbinder der Schlüssel zur Automatisierung der Leitungssatzfertigung ist. Durch die gezielte Auslegung von Kontakten und Steckverbindern für die robotische Verarbeitung wird eine prozesssichere und stabile Montage im Fahrzeug möglich. Definierte mechanische Schnittstellen sind dabei entscheidend.

TEXT: TE Connectivity BILDER: Audi AG, Roman3dArt, iStock

Definierte mechanische Schnittstellen an Steckverbindern und Kontakten sind die Voraussetzung für eine prozessstabile, robotische Handhabung in der automatisierten Leitungssatzmontage.



Die Automobilindustrie befindet sich in einem stetigen Wandel, angetrieben durch den Wunsch nach mehr Effizienz, Qualität und Flexibilität in der Produktion. Ein zentraler Aspekt dabei ist die Automatisierung von Fertigungsprozessen, die bisher stark von manueller Arbeit geprägt waren. Insbesondere die Herstellung und Montage von Leitungssätzen, den "Nervensystemen" eines Fahrzeugs, stellt eine besondere Herausforderung dar. Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) geförderte Projekt "Next2OEM" hat sich dieser Herausforderung angenommen und erfolgreich Wege für eine durchgängige

Automatisierung von Bordnetzsystemen aufgezeigt. Als einer der Schlüsselaktive in diesem Projekt hat TE Connectivity, ein weltweit führender Anbieter von Verbindungstechnologien und Sensorik, seine umfassende Expertise eingebracht und maßgeblich zur Entwicklung automatisierungsgerechter Lösungen beigetragen.

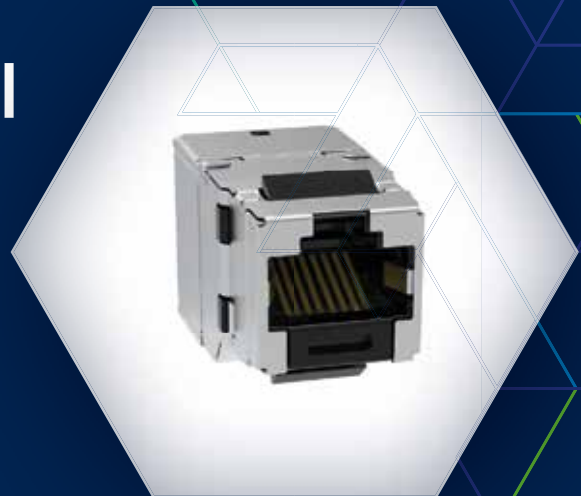
Herausforderungen und Lösungsansätze

Leitungssätze sind aufgrund ihrer biegeschlaffen und komplexen Natur traditionell schwer zu automatisieren.

Im Rahmen von Next2OEM wurde jedoch bewiesen, dass durch innovative Konstruktions- und Prozessansätze auch diese Bauteile automatisiert gehandhabt und montiert werden können. Die zentrale Erkenntnis des Projekts ist, dass eine robuste Automatisierung nur durch eine ganzheitliche Betrachtung und die präzise Abstimmung von Komponenten, Prozessen und Anlagentechnik realisierbar ist. Eine besondere Bedeutung kommt dabei den mechanischen Schnittstellen zu, die klar definiert sein müssen, um eine reibungslose Interaktion zwischen den einzelnen Automatisierungsmodulen zu gewährleisten.

Kompakt bis ins Detail

Die geschirmte RJ45 Keystone Buchse SKJ6X88BL von Panduit benötigt nur 30 mm Einbautiefe – und passt genau dort, wo Platz Mangelware ist. Cat6A Performance bis 10 Gbit/s, PoE-tauglich, EMV sicher und vollständig kompatibel mit gängigen Keystone Systemen. Ein Baustein des modularen NetKey Systems für strukturierte Verkabelung.





Die Geometrie der Steckverbinder gewährleistet eine wiederholgenaue Positionierung und eine prozesssichere Kontaktierung im Montageprozess.

TE Connectivity konzentrierte sich im Projekt auf die Entwicklung von automatisierungsgerechten Leitungssatzkomponenten. Dies umfasste die frühe Auslegung der Komponenten und ihrer mechanischen Schnittstellen, um eine stabile und wiederholgenaue Handhabung in automatisierten Prozessen sicherzustellen. In enger Zusammenarbeit mit der Audi AG, Konfektionären, Anlagenbauern, Robotik-Experten, einem Spezialisten für Produktdatenmanagement und einem Hersteller von Testequipment wurden die Anforderungen an Kontakte und Steckverbinder neu definiert. Der Fokus lag dabei auf der Prozessfähigkeit, der reproduzierbaren Qualität und der Stabilität in automatisierten Handhabungs- und Montageabläufen.

Kooperation als Schlüssel zum Erfolg

Die Komplexität der Leitungssatzherstellung und -montage erfordert eine enge Zusammenarbeit aller beteiligten Partner entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Das Next2OEM-Projekt ist ein herausragendes Beispiel für eine solche erfolgreiche Kooperation. Zehn Unternehmen haben ihre Expertise gebündelt, um die ambitionierten Ziele des Projekts zu erreichen. Diese branchenübergreifende Zusammenarbeit war ein entscheidender

Erfolgsfaktor und eine wesentliche Voraussetzung für die Überführung der Projektergebnisse in die Praxis und die spätere Serienproduktion.

"Im Projekt Next2OEM haben wir unsere Verbindungstechnik konsequent aus Sicht der automatisierten Prozesskette weiterentwickelt – nicht nur im Hinblick auf die elektrische Performance, sondern mit klarem Fokus auf die industrielle robotische Verarbeitung", erklärt Stefan Glaser, TE Director Product Management. "Das große Interesse aus dem Markt zeigt, dass automatisierungsgerechte Bordnetzkomponenten ein entscheidender Hebel für zukünftige Serienprozesse sind. Sie entwickeln sich damit zu einem strategischen Hebel für kommende Fahrzeugplattformen – und sind nun auch technisch realisierbar."

Überführung in die Serie und zukünftige Entwicklungen

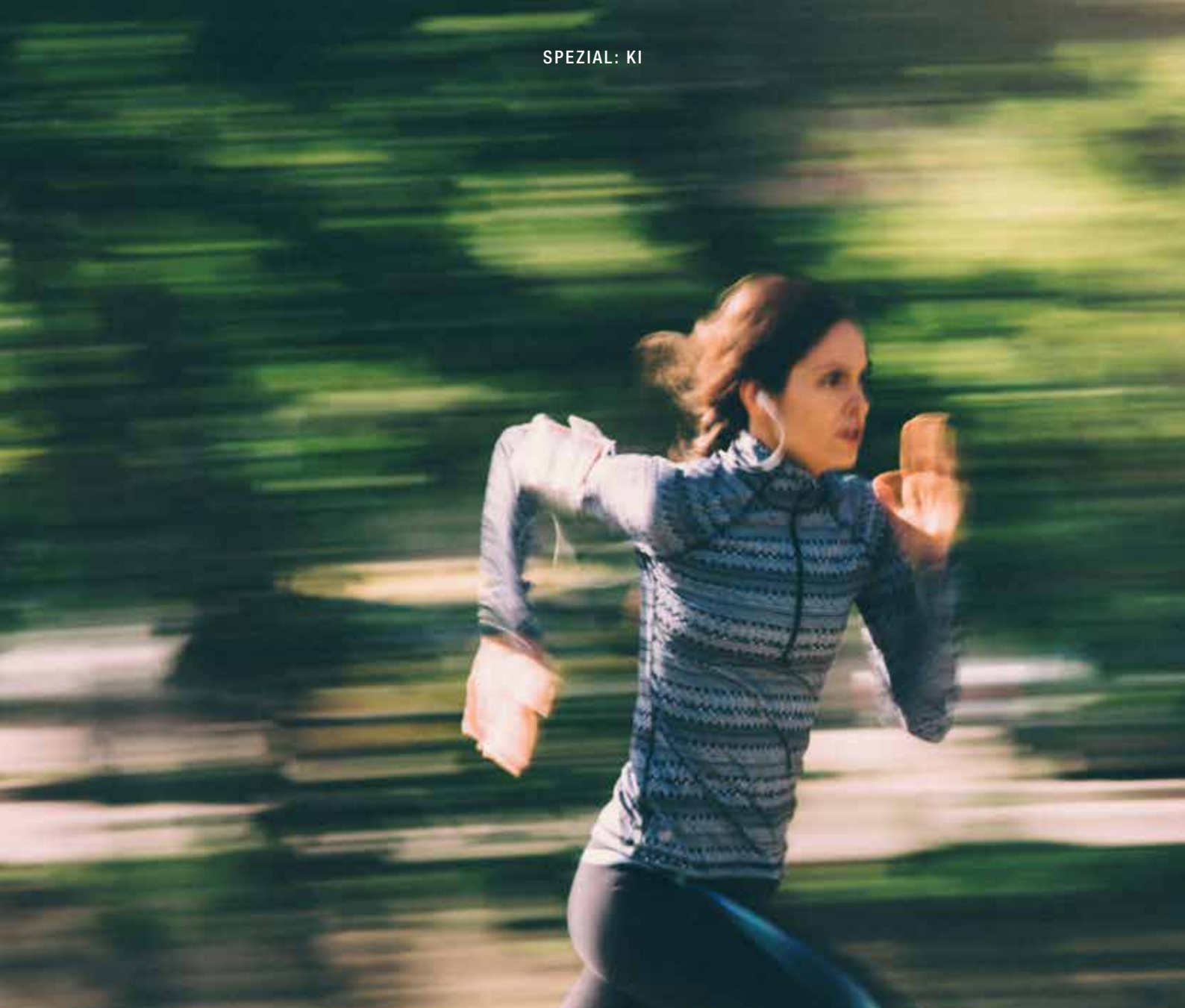
Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse und entwickelten Lösungen werden bei TE Connectivity nun gezielt in die Serienprozesse für kommende Fahrzeugplattformen überführt. Neue Produkte werden von Beginn an für eine automatische Verarbeitung ausgelegt. Gleichzeitig hat das Projekt aber auch gezeigt, dass insbesondere bei sehr komplexen Leitungssätzen weiterhin

technische und prozessuale Herausforderungen bestehen. Für diese Anwendungsfälle müssen in den kommenden Jahren zusätzliche Automatisierungslösungen entwickelt werden. TE Connectivity wird daher auch über das Next2OEM-Projekt hinaus eng mit OEMs und Technologiepartnern zusammenarbeiten, um bestehende Lösungen weiterzuentwickeln und neue innovative Ansätze für die automatisierte Leitungssatzfertigung zu erarbeiten.

Die Ergebnisse von Next2OEM markieren einen wichtigen Meilenstein auf dem Weg zu einer vollständig automatisierten Fahrzeugproduktion. Sie zeigen, dass durch die intelligente Kombination von Komponenten-Know-how, Prozessverständnis und einer partnerschaftlichen Zusammenarbeit auch komplexe Herausforderungen gemeistert werden können. Für Entwicklungsingenieure in der Automobilindustrie bedeutet dies, dass sie bei der Konzeption neuer Fahrzeugarchitekturen und Bordnetzsysteme von Anfang an die Anforderungen einer automatisierten Fertigung berücksichtigen müssen. Die im Projekt geschaffenen Grundlagen bieten hierfür eine wertvolle Basis und ebnen den Weg für die nächste Generation der Fahrzeugproduktion.



Embedded World
Halle 3, Stand 318



SIEBEN FAKTEN ZUM EINSATZ VON KI IM AUTOMOTIVE-BEREICH

Mehr Tempo im Engineering

Künstliche Intelligenz verspricht Effizienzgewinne, doch im Engineering ist nicht die Vision, sondern die Umsetzbarkeit wichtig. Oft scheitern Projekte, aber nicht an der KI-Technologie. Die wahren Bremsklötze sind fragmentierte Daten und fehlende Integration. Erfahren Sie die 7 Fakten, die über Erfolg oder Misserfolg von KI in der Fahrzeugentwicklung entscheiden und wie Sie KI zum entscheidenden Wettbewerbsvorteil machen.

TEXT: Arian van Hülsen, PTC BILDER: filadendron, gorodenkoff: iStock



KI-Technologie ist im Automobil-Engineering nicht mehr wegzudenken.

KI verspricht schnellere Entwicklungsprozesse im Automotive Engineering, doch in der Umsetzung bleiben viele Vorhaben unter ihren Möglichkeiten. Der Grund liegt selten in der Leistungsfähigkeit der Algorithmen, sondern fast immer in der Struktur der Engineering-Landschaft: fragmentierte Daten, nicht integrierte Toolchains und schwer nachvollziehbare Entscheidungswege. In einem sicherheitskritischen Umfeld, das auf Skalierbarkeit und Compliance angewiesen ist, wird KI unter solchen Bedingungen schnell zum Risiko. Die folgenden sieben Fakten zeigen, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit KI im Automotive Engineering zuverlässig und produktiv eingesetzt werden kann.

1. KI-Agenten sind operative Werkzeuge, keine Assistenzfunktionen

KI-Agenten übernehmen heute konkrete Aufgaben im Engineering. Sie analysieren Änderungsstände, erkennen Abhängigkeiten zwischen Anforderungen, Varianten und Tests und unterstützen Entscheidungen entlang der Entwicklungskette. Besonders bei komplexen Produktarchitekturen helfen sie, Zielkonflikte frühzeitig sichtbar zu machen. Das reduziert manuellen Abstimmungsaufwand, verkürzt Entscheidungszyklen und senkt die Fehleranfälligkeit. Entwickler werden dadurch nicht ersetzt, sondern gezielt entlastet, insbesondere bei wiederkehrenden Analyse- und Koordinationsaufgaben.

2. Datenqualität entscheidet über den KI-Nutzen

KI ist nur so leistungsfähig wie die Daten, auf die sie zugreifen kann. In vielen Unternehmen sind Anforderungen, Stücklisten, Testfälle und Freigaben über unterschiedliche Systeme verteilt, häufig auch in nicht strukturierten Dokumenten. Diese Brüche verhindern, dass KI Zusammenhänge zuverlässig erkennt oder valide Empfehlungen ableitet. Eine belastbare Grundlage für KI entsteht erst, wenn Engineering-Daten nicht isoliert vorliegen, sondern strukturiert aufbereitet und über Systemgrenzen hinweg nutzbar sind. Voraussetzung dafür sind integrierte Toolchains aus PLM, ALM, PLE und CAD,

die Informationen nicht nur speichern, sondern in Beziehung zueinander setzen.

3. Traceability macht Automatisierung erst möglich

Rückverfolgbarkeit wird oft als regulatorische Pflicht betrachtet. Tatsächlich ist sie ein zentraler Enabler für intelligente Automatisierung. Wenn Anforderungen, Varianten, Änderungen und Tests eindeutig verknüpft sind, können KI-Agenten Aufgaben wie Change-Impact-Analysen automatisiert übernehmen. Noch bevor Änderungen umgesetzt werden, machen KI-Agenten sichtbar, welche Komponenten betroffen sind und wo Anpassungsbedarf entsteht. Das beschleunigt Freigabeprozesse und reduziert das Risiko teurer Korrekturen in späten Entwicklungsphasen.

4. Erklärbare KI ist im Fahrzeugumfeld unverzichtbar

Im Automotive-Engineering stehen besonders hohe regulatorische und technische Anforderungen im Fokus. KI-Systeme müssen daher erklärbar sein. Explainable AI stellt sicher, dass Entscheidungen transparent bleiben, etwa bei der Bewertung von Designalternativen oder der Priorisierung von Änderungen. Entwickler und Prüfer müssen verstehen können, warum eine Empfehlung ausgesprochen wird und auf welcher Datenbasis sie beruht. Nur so lassen sich Prüfungen erfolgreich durchführen und die notwendige Akzeptanz im Engineering-Team erreichen.

5. KI muss Teil der produktiven Toolchain sein

Viele KI-Projekte scheitern, weil sie außerhalb der bestehenden Engineering-Systeme entstehen. Proof-of-Concepts liefern zwar erste Erkenntnisse, lassen sich aber nicht in den Alltag integrieren. Entscheidend ist die native Einbettung: KI-Agenten müssen direkt in PLM-, ALM- und PLE-Systeme integriert sein und kontinuierlich mit aktuellen Entwicklungsdaten arbeiten. Nur dann werden sie zu einem verlässlichen Bestandteil der täglichen Engineering-Arbeit – statt zu isolierten Einzellösungen.

6. Intelligent Product Lifecycle als Skalierungsbasis

Der Intelligent Product Lifecycle (IPL) schafft eine durchgängige Verbindung aller relevanten Produktdaten über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Für KI schafft IPL den notwendigen Kontext, um Informationen richtig einzuordnen und über Projekte hinweg nutzbar zu machen. Entwicklungsstände, Änderungen, Testergebnisse und Feedback aus dem Feld stehen konsistent zur Verfügung. So können KI-Modelle über Projekte hinweg genutzt und schrittweise weiterentwickelt werden. Ohne diese Durchgängigkeit bleibt KI fragmentiert.

7. Software-defined Vehicle erfordert softwaredefiniertes Engineering

Moderne Fahrzeuge werden zunehmend durch Software geprägt. Dieser Wandel beginnt nicht im Fahrzeug, sondern im Engineering. Dokumentenzentrierte Prozesse stoßen hier an ihre Grenzen. Software-defined Engineering basiert auf einem konsistenten digitalen Abbild des Produkts und seiner Entwicklungsprozesse. In einem solchen Umfeld unterstützen KI-Agenten das Variantenmanagement, bewerten Änderungen und beschleunigen Entwicklungsabläufe. In klassischen, dokumentenbasierten Strukturen bleibt dieses Potenzial ungenutzt.

Fazit: KI wirkt nur in strukturierten Engineering-Umgebungen

Künstliche Intelligenz ist kein Selbstläufer. Fehlen integrierte Strukturen und eine verlässliche Datenbasis, bleibt KI ein reines Experiment. Unternehmen, die ihre Engineering-Architektur ganzheitlich ausrichten und auf einen Intelligent Product Lifecycle setzen, schaffen hingegen die Grundlage für produktive KI-Anwendungen. Dann wird KI nicht zum Unsicherheitsfaktor, sondern zu einem belastbaren Werkzeug für Qualität, Geschwindigkeit und Skalierbarkeit im Automotive-Engineering.



Embedded World
Halle 4, Stand 636

IMPRESSUM

Herausgeber Kilian Müller

Head of Content Manufacturing Christian Fischbach

Redaktion Bernhard Haluschak (Managing Editor/verantwortlich/-928), Carolina Bachmeier (-898), Emily 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), Alexandra Klasen (-917);
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@dvmmedia.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. Versandkosten 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@dvmmedia.com

Veröffentlichung gemäß §8 DVV Media Group GmbH, Hamburg (100%)

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 Mediacenter 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

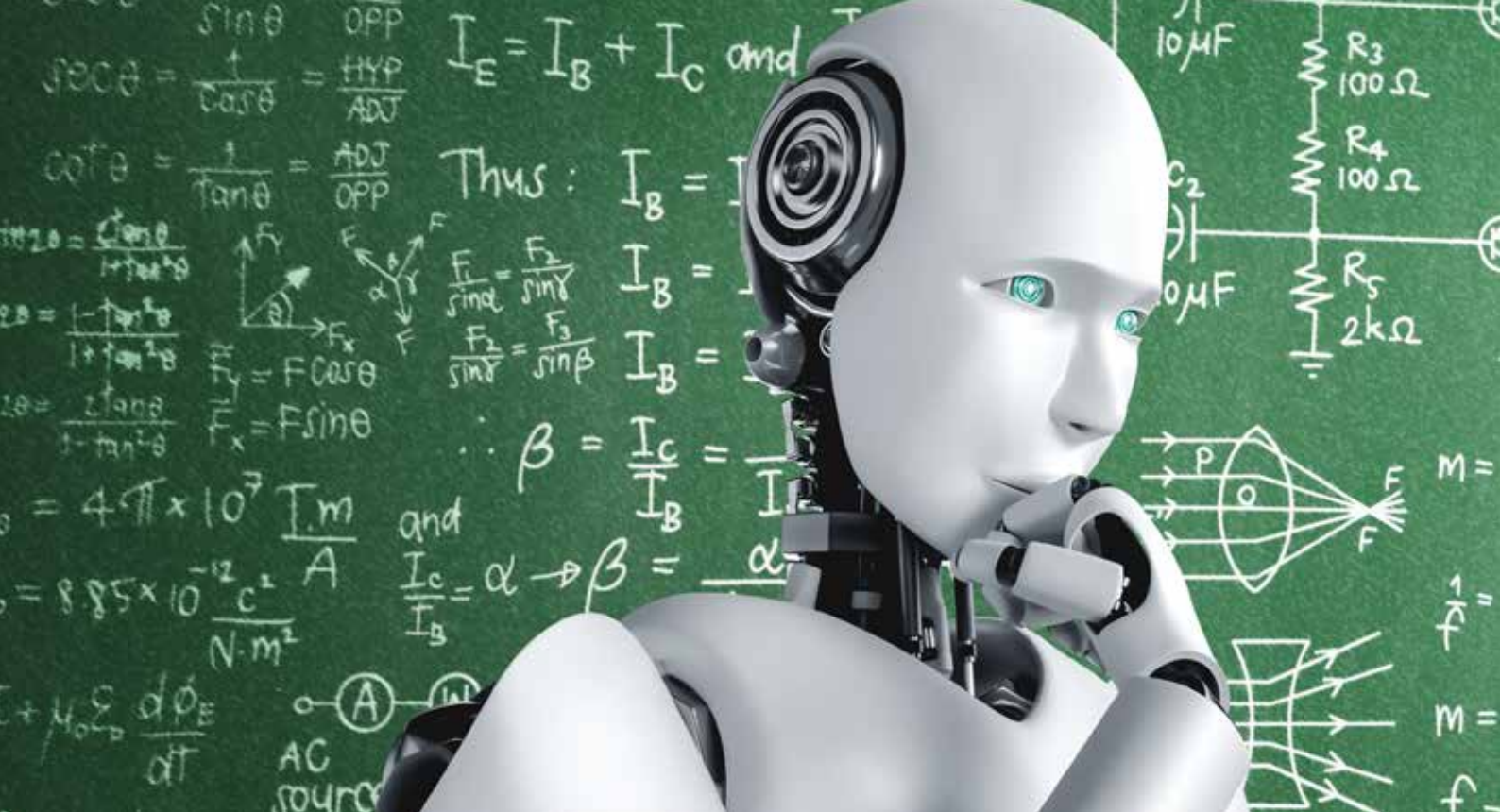
Der Druck der E&E erfolgt auf PEFC™-zertifiziertem Papier, der Versand erfolgt CO₂-neutral.



Der CO₂-neutrale Versand
mit der Deutschen Post

FIRMEN UND ORGANISATIONEN IN DIESER AUSGABE

Firma	Seite	Firma	Seite
Analog Devices	40, 59	Nürnberg Messe	14
Arrow Electronics	17	nVent	13
Bürklin	17	nVent Schroff	24
Codico	18	Panduit	49
Congatec	18	PTC - Parametric Technology	51
Conrad Electronic	Titel, U2, 8, 9, 58	publish-industry Verlag	65, U3
CTX Thermal Solutions	45	Renesas Electronics	26
datatec	3	Rogers Germany	59
Display Elektronik	39	Rutronik Elektronische Bauelemente	19
Elma Electronic	59	Schubert System Elektronik	29
Ferdinand-Braun-Institut	6	Schukat Electronic	19
Fischer Elektronik	32, 33	Seco	19
Harting	18, 30, 59	Siemens	13
Hy-Line	36	Siglent Technologies	20, 23, 59
Jauch Quartz	13	Spectra	13
Kingbright Electronic	47	Swissbit Memory Solutions	21
Kontron	18, 62	TE Connectivity	48
Littelfuse	13	TQ-Systems	20, 54
Mathworks	60	Traco Electronic	20, 43
MES Electronic Connect	13	University of Queensland	13
Microchip Technology	19	Wago	20
New York University	13	Ziehl-Abegg	U4



DSGVO-KONFORME GESICHTSERKENNUNG

Optimale KI-Trainingsdaten generieren

Biometrische Gesichtserkennung wird zur Authentifizierung in Zeiterfassungs- und Zutrittskontrollsystemen eingesetzt. Das Training der KI-Modelle wirft jedoch, wie ein Urteil des LG München zur Datennutzung durch OpenAI zeigt, die Frage nach DSGVO-konformen Daten auf. Eine Studie von TQ untersucht nun, wie eine datenschutzkonforme Gesichtserkennung auf Embedded-Hardware realisiert werden kann.

TEXT: TQ-Systems BILDER: TQ-Systems; NanoStockk, iStock

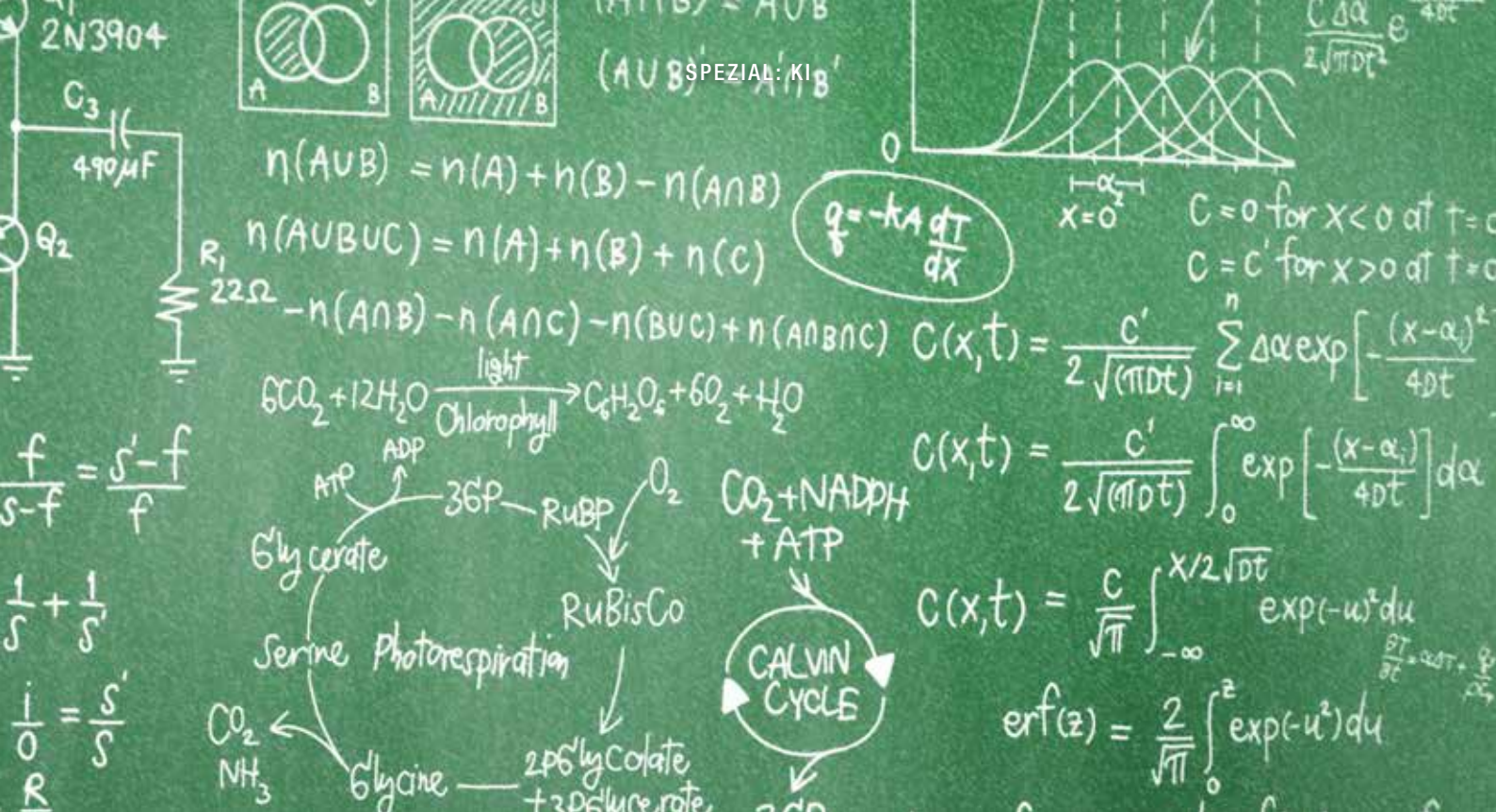
Die TQ-Studie setzt zur Wahrung der DSGVO-Vorgaben synthetische Trainingsdaten aus Microsofts DigiFace-1M-Datenbank ein, optimiert durch Finetuning mit einem internen Archiv echter Bilder. Ziel war die Erprobung robuster Netzwerke für Anwendungen wie Zutrittskontrolle und Zeiterfassung auf dem TQMa93xxLA-Modul. Die Untersuchung fokussierte auf technische Verbesserungen und den Erhalt von Fairness-Merkmalen, um einen praxisnahen Weg für kommerziell einsetzbare, DSGVO-konforme KI-Modelle aufzuzeigen.

Die biometrische Gesichtserkennung kann dabei auf zwei Arten genutzt werden: als zusätzlicher Sicherheitsfaktor gegen den Missbrauch von Zugangskarten oder als primäre Authentifizierung für weniger kritische Anwendungen wie die Zeiterfassung oder die Bedienung von Maschinen.

Das Datenschutzproblem

Um ein Gesichtserkennungsnetzwerk zu trainieren, werden Bilder von Gesichtern möglichst vieler Menschen benötigt. Die bisher gängige Methode, um möglichst schnell an große Datenmengen zu gelangen, war die Verwendung von Bildern, die in sozialen Medien hochgeladen wurden. 2018 wurde jedoch die Europäische Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) EU-weit geltendem Recht und ist seitdem verpflichtend einzuhalten.

Sie verbietet die Verarbeitung personenbezogener Daten von EU-Bürgern ohne deren vorherige ausdrückliche Einwilligung, was auch die bisher verwendeten Gesichtsdaten einschließt und deren rechtmäßige Verwendung für das Training von Gesichtserkennungsalgorithmen faktisch unmöglich macht.



Angesichts dieser Schwierigkeiten beschränken sich die für das Training verwendeten öffentlichen Datensätze auf die mittels Computergrafik synthetisch erzeugte DigiFace-1M-Datenbank von Microsoft. Es handelt sich dabei gegenwärtig um den effektivsten, für Forschungszwecke öffentlich zugänglichen synthetischen Datensatz für Gesichtserkennung. Dennoch eignet er sich lediglich für das Vortrainieren des Modells, für das Finetuning werden immer noch reale Daten verwendet, die dabei benötigte Menge von Gesichtsbildern realer Personen ist aber vergleichsweise gering.

Zur Validierung während des Trainings wird das Benchmark-Protokoll von LFW („Labeled Faces in the Wild“) verwendet. Als Test und Vergleich der fertig trainierten Modelle dient zudem das Testprotokoll von YouTube Faces DB, kurz YTF. Die Genauigkeit errechnet sich dabei aus der Summe der Wahr-Positiv- (TPR) und Wahr-Negativ-Anteile (TNR), bei der optimalen Entscheidungsgrenze. In den Anwendungsfällen der Zugangskontrolle und Zeiterfassung ist eine geringe Falsch-Positiv-Rate (FPR) von besonderem Interesse, um unberechtigten Personen nicht den Zugang zu gewähren. Daher werden auch die Erkennungsraten bei FPR von 0,1 Prozent und 0,01 Prozent ausgewertet.

Finetuning der vortrainierten Modelle

Für das Finetuning der Modelle wurde aus dem TQ-internen Medienarchiv eine eigene kleine Datenbank aufgebaut. Die Inhalte des Archivs sind kommerziell nutzbar. Der DigiFace-1M-Datensatz ist ausschließlich für Forschungszwecke bestimmt. Da

für die Erstellung nur Techniken verwendet wurden, die in der VFX- (Visual Effects) und Computerspielindustrie üblich sind, ist davon auszugehen, dass die Beschaffung vergleichbarer Daten für eine kommerzielle Nutzung kein größeres Problem darstellt.

Die synthetisch erzeugten Gesichter unterscheiden sich in ihrem Aussehen von echten Gesichtern. Da die trainierten Modelle bisher nur synthetische Daten gesehen haben, sollen sie nun durch Finetuning auf echte Daten angepasst werden. Dabei sollen die relevanten, durch das Vortraining gelernten Informationen möglichst nicht verloren gehen. Die Autoren von DigiFace-1M verwenden unterschiedliche Anzahlen an realen Identitäten, um zu ermitteln wie viele für gute Ergebnisse notwendig sind. Die Anzahl der Bilder je Person beträgt 20, die geringste getestete Anzahl an Identitäten beträgt 200, wobei mit dem LFW-Testprotokoll eine Genauigkeit von etwa 97 Prozent erreicht wird. Sie empfehlen dabei die Lernrate des Netzwerks gegenüber dem Vortraining um den Faktor 100 und die des Klassifizierungs-Layer um den Faktor 10 zu senken, damit das Netzwerk zuvor Gelerntes nicht vergisst.

Die TQ-Datenbank wurde mithilfe des „BlazeFace“-Detektors nach Gesichtern in den verfügbaren Bildern gesucht und anschließend mit einem der DigiFace-1M vortrainierten „ResNet50“ (Residual-Netz mit 50 Schichten) in Identitäten vorgruppiert. Letztendlich wurden alle Bilder manuell begutachtet und falsche Zuordnungen korrigiert. Auch Bilder ohne Zuordnung wurden mit den jeweils drei wahrscheinlichsten Zugehörigkeiten verglichen und anschließend von Hand richtig zugeordnet.

Version	LFW (acc. / FPR<0,1 % / FPR<0,01 %)	YTF (acc. / FPR<0,1 % / FPR<0,01 %)
MobileNetV3 Large	90,45 % / 52,53 % / 43,90 %	84,48 % / 45,52 % / 38,40 %
EfficientNet-lite0	90,97 % / 48,60 % / 34,33 %	85,14 % / 33,48 % / 25,84 %
EfficientNet-lite0 (112x112 res.)	91,82 % / 53,00 % / 49,27 %	86,06 % / 39,32 % / 34,52 %
EfficientNet-lite1	91,73 % / 46,53 % / 40,70 %	85,90 % / 45,52 % / 41,52 %
EfficientNet-lite2	91,87 % / 48,06 % / 33,50 %	85,26 % / 41,08 % / 35,28 %
EfficientNet-lite3	91,97 % / 46,60 % / 39,36 %	85,72 % / 45,60 % / 39,84 %
EfficientNet-lite4	92,63 % / 48,73 % / 29,00 %	86,00 % / 42,28 % / 35,80 %
ResNet50	93,50 % / 57,27 % / 38,56 %	88,16 % / 47,20 % / 41,04 %

Tabelle 1: Mit DigiFace-1M vortrainierten Netzarchitekturen

Am Ende wurden nur die Identitäten behalten, die aus mindestens zwei Bildern bestehen. Auf diese Weise ist ein Datensatz mit 207 Klassen und 1151 Samples entstanden. Das ist etwa um den Faktor 3,6 kleiner als die kleinste getestete Menge an realen Daten in der Vorlage.

Um den größtmöglichen Nutzen aus den wenigen verfügbaren Daten zu ziehen, wird nach Möglichkeiten gesucht, das Finetuning zu verbessern. Ziel ist es, mehr Training zu ermöglichen, bevor das Netz durch das Auswendiglernen der begrenzten Daten beschädigt wird, was als Overfitting bezeichnet wird. Neben den etablierten Regularisierungsmethoden wie Data Augmentation, L2-Regularisierung und Dropout, wird hier versucht bestimmte Information aus dem Vortraining gezielt vor dem Verlust zu bewahren.

Der große Vorteil synthetischer Daten liegt darin, dass die Verteilung von Geschlecht, Hautfarbe, ethnischer Herkunft und Alter der im Datensatz repräsentierten Identitäten steuerbar ist und somit leicht an die tatsächliche Verteilung in der Weltbevölkerung angepasst werden kann. Im Gegensatz dazu ist die Verteilung der für die Feinabstimmung verfügbaren Daten typischerweise suboptimal.

Die Identitäten im Datensatz verteilen sich während des Trainings gleichmäßig auf der durch das Embedding gebildeten Hypersphäre. So maximiert sich die Distanz zwischen den Klassenzentren und auch die Zuverlässigkeit der Erkennung. Die gleichmäßige und faire Verteilung der Bevölkerungsgruppen, die durch die synthetischen Daten antrainiert wird, ist also auch im Embedding gespeichert, welches am Modell-Output erzeugt wird. Optische Merkmale, bei denen sich reale und synthetische Daten unterscheiden, liegen hingegen eher in der Bildebene und werden typischerweise in den vorderen Netzwerkschichten nahe dem Modell-Input verarbeitet.

Vor der Implementierung der trainierten Modelle auf dem Target müssen diese zunächst in das erforderliche Format gebracht werden. Typischerweise müssen die Netzwerkparameter für die Inferenz mit NPU-Architekturen von 32-Bit Fließkommazahlen in 8-Bit Ganzzahlen quantisiert werden. Wie im i.MX Machine Learning User's Guide beschrieben, muss das trainierte Netz außerdem in das Tensorflow Lite Format übertragen und anschließend mit einer von NXP bereitgestellten Software für die NPU des i.MX 93 kompiliert werden.

Ergebnisse

In Tabelle 1 sind Ergebnisse mit den verschiedenen, nur mit DigiFace-1M vortrainierten Netzarchitekturen abgebildet. Mit ResNet50 wird ein Ergebnis von 93,50 Prozent mit LFW erreicht, was dem in der Veröffentlichung zu DigiFace-1M mit demselben Netz erreichten Wert von 94,55 Prozent sehr nahekommt. Es ist anzunehmen, dass der leicht geringere Wert auch auf die etwas niedrigere, hier verwendete Inputauflösung zurückzuführen ist. Das EfficientNet-lite0 Modell, das Testweise mit der höheren Auflösung trainiert wurde, erzielt mit beiden Protokollen etwa 0,9 Prozentpunkte mehr, die Erfolgsrate bei FPR<0,01 Prozent nimmt durch die Erhöhung der Auflösung besonders zu. Bei den effizienteren Modellen erreichen besonders MobileNetV3 Large und die Ausbaustufe EfficientNet-lite1 vergleichsweise hohe Erkennungsraten bei FPR von <0,1 Prozent und <0,01 Prozent.

Nach Finetuning

Wie in Tabelle 2 zu sehen, ist der Unterschied zwischen den Ergebnissen der kleineren Modelle und denen des deutlich größeren ResNet50 durch das Finetuning weiter geschrumpft. Auch der Vorsprung des mit höherer Auflösung trainierten EfficientNet-lite0 ist hier nun größtenteils verschwunden. Auffällig ist aber, dass nach dem Finetuning die Werte für FPR<0,01 mit YTF

Version	LFW (acc. / FPR<0,1 % / FPR<0,01 %)	YTF (acc. / FPR<0,1 % / FPR<0,01 %)
MobileNetV3 Large	93,33 % / 59,30 % / 52,03 %	87,42 % / 41,80 % / 31,20 %
EfficientNet-lite0	93,60 % / 58,73 % / 52,36 %	87,84 % / 46,84 % / 33,92 %
EfficientNet-lite0 (112x112 res.)	94,40 % / 63,23 % / 41,63 %	87,82 % / 39,84 % / 27,28 %
EfficientNet-lite1	94,00 % / 60,43 % / 50,60 %	88,24 % / 49,92 % / 24,44 %
EfficientNet-lite2	94,16 % / 58,73 % / 49,00 %	87,72 % / 45,08 % / 21,28 %
EfficientNet-lite3	94,41 % / 63,16 % / 45,80 %	87,88 % / 47,40 % / 23,64 %
EfficientNet-lite4	94,73 % / 69,50 % / 38,43 %	88,08 % / 45,32 % / 28,52 %
ResNet50	95,53 % / 64,17 % / 52,73 %	89,72 % / 52,36 % / 41,96 %

Tabelle 2: Unterschied zwischen den Ergebnissen der kleineren Modelle und denen des deutlich größeren ResNet50.

in fast allen Fällen gegenüber den vortrainierten Versionen in Tabelle 1 eingebrochen sind.

Bei oberflächlicher Betrachtung des Problems fällt auf, dass die in YTF enthaltenen Daten häufig besonders schlechte Bildqualität aufweisen. In manchen Fällen scheitert aufgrund dessen schon das Alignment (Festlegung des Bildausschnitts) durch BlazeFace, was dem Modell die Klassifizierung zusätzlich erschwert. Zudem müssen für korrekte Klassifizierung oft starke Unterschiede bei Perspektive, Gesichtsausdruck, Frisur und Accessoires, Beleuchtung, partieller Überdeckung und in einigen Fällen auch Alter überwunden werden. Auch LFW testet Modelle auf diese typischen Hürden, allerdings deutlich weniger stark ausgeprägt.

In den DigiFace-1M-Datensatz wurden diesbezüglich sehr starke Variationen künstlich eingebaut, während die Daten aus dem TQ-Medienarchiv fast nichts dergleichen enthalten, da hier für die meisten Personen alle Bilder am selben Tag unter ähnlichen Bedingungen gemacht wurden. Es liegt also nahe, dass durch das Finetuning etwas an Robustheit gegenüber diesen Variationen verloren gegangen ist, was sich nun besonders bei YTF in den Ergebnissen mit effektiv Null Toleranz gegenüber Falsch Positiv äußert.

Die hier erreichten Ergebnisse liegen im Vergleich zu großen Datensätzen mit realen Identitäten weit zurück. So erreicht „ArcFace“ 99,83 Prozent mit LFW und 98,02 Prozent mit YTF. Auch in „FaceNet“ werden bereits 99,63 Prozent mit LFW und 95,10 Prozent mit YTF ermöglicht. Dennoch ist das wie beschrieben trainierte Netzwerk in einer Messedemo für das TQMa93xxLA zum Einsatz gekommen.

Für die Demo wurde das EfficientNet-lite0 verwendet, die Entscheidungsschwelle wurde auf etwa denselben Wert gesetzt, bei dem laut LFW ein FPR von kleiner 0,01 Prozent möglich ist.

Obwohl mit dieser Entscheidungsschwelle etwa die Hälfte aller berechtigten Zugangsversuche scheitern müsste, hat das System im Verhältnis dazu sowohl bei Tests als auch auf der Messe sehr zuverlässig funktioniert.

Der Grund dafür ist wohl die anwendungsbedingt deutlich reduzierte Anforderung gegenüber unterschiedlichen Perspektiven, Gesichtsausdrücken und partieller Überdeckung robust sein zu müssen. Bei Zugangskontrollsystemen und dem verwendeten Demoaufbau kommt nur ein Kameratyp zum Einsatz, die Personen stehen immer in ähnlichen Abständen frontal vor der Kamera und haben auch in den meisten Fällen einen neutralen Gesichtsausdruck.

Fazit und Ausblick

Im Rahmen der Studie konnte ein für Demonstrationszwecke gut funktionierendes und auf der Zielhardware performant laufendes Gesichtserkennungssystem erfolgreich trainiert werden, trotz einer sehr ungünstigen Ausgangslage bei den Trainingsdaten. Zugangskontroll- und Zeiterfassungssysteme stellen deutlich geringere Anforderungen an den Gesichtserkennungsalgorithmus selbst als zum Beispiel Überwachungssysteme. Es ist zu erwarten, dass eine bessere Anpassung der Trainingsdaten an die Anwendung die Ergebnisse weiter verbessern kann. Bei einer synthetischen Generierung der Trainingsmuster nach dem Vorbild von DigiFace-1M ist dies mit keinem zusätzlichen Aufwand verbunden. Um die Sicherheit und Robustheit des Systems zuverlässig testen zu können, sollte ein anwendungsspezifisches Testprotokoll verwendet werden. Die Entwicklung eines auf Gesichtserkennung basierenden Zutrittskontroll- oder Zeiterfassungssystems ist somit mit überschaubaren Ressourcen realisierbar.



Embedded World
Halle 3, Stand 249

E&E EXPLORE

NEXT TECH ELECTRONICS

AUSGABE NOVEMBER 2025 | 26. JAHRGANG | WWW.INDUSTR.COM



TITELBILD-SPONSOR: CONRAD ELECTRONIC

Prototyping & Co-Creation:

NEUE RÄUME FÜR INNOVATIONEN SCHAFFEN...

Bitte wenden!

PRODUCTRONICA & SPS
Trends und Technologien
rund um die Elektronik ab S. 14

ELECTRONICS SOLUTIONS
Bauteilverfügbarkeit
langfristig sichern S. 36

SPEZIAL: MEDICAL
Anforderungen an HMIs
und KI in der Medizin ab S. 56

part of **INDUSTRY.FORWARD**

Platz 1: E&E November 2025 mit Titelbild-Sponsor Conrad Electronic

ALLE AUSGABEN 2025 IM ÜBERBLICK



E&E März 2025
mit Titeld-Sponsor
Analog Devices



E&E April 2025
mit Titeld-Sponsor
Elma Electronic



E&E Juni 2025
mit Titeld-Sponsor
Harting



E&E September 2025
mit Titeld-Sponsor
Siglent



E&E Oktober 2025
mit Titeld-Sponsor
Rogers Germany



E&E November 2025
mit Titeld-Sponsor
Conrad Electronic

UNSERE LESER HABEN GEWÄHLT

COVER WINNER DES JAHRES 2025

Unsere besonderen Covers entstehen in Zusammenarbeit mit Unternehmen, die unsere kreative Vision teilen. Die individuellen Bildlösungen visualisieren die Botschaften und Missionen der Titelstory. Mehrere hundert Stimmen wurden für die Wahl des Cover des Jahres 2025 abgegeben!

Den Platz 1 der Leserwahl hat sich die E&E November 2025 mit unserem Titeld-Sponsor Conrad Electronic geholt. Der Titel „Neue Räume für Innovationen schaffen“ beschreibt, dass beim ST3AM-Makerspace im Technologiepark Adlershof war Conrad Electronic nicht einfach Lieferant einzelner Geräte, sondern Integrations- und Projektpart-

ner für das technische Gesamtsystem. Conrad hat Anforderungen aufgenommen, Raum- und Sicherheitskonzept entwickelt, Technik herstellerneutral ausgewählt und Beschaffung, Logistik, Aufbau, Integration und Inbetriebnahme koordiniert. Entscheidend: Am Ende steht nicht „viel Technik“, sondern ein Makerspace, in dem Strom, Absaugung,

Arbeitsplätze und Geräte samt Infrastruktur zuverlässig zusammenspielen.



Über den Link im QR-Code können Sie sich das E-Paper der E&E November 2025 kostenlos herunterladen.

ENGINEERING ON THE EDGE

KI- und Wireless-Trends für 2026

Zwischen 2026 und 2030 werden Fortschritte in Künstlicher Intelligenz (KI) und drahtloser Kommunikation die Ingenieurpraxis in mehreren Schlüsselbereichen tiefgreifend transformieren. Zunehmend verändert sich, wie Ingenieure komplexe technische Systeme entwerfen, vernetzen und verwalten. Gerade 2026 markiert dabei einen Wendepunkt.

TEXT: Mathworks BILD: akinbostanci, iStock

Die jetzt sichtbar werdenden Signale verdichten sich zu klaren Technologietrends, die aufzeigen, wohin sich Engineering in den kommenden Jahren bewegen wird – und welche strategischen Entscheidungen heute darüber entscheiden, wer morgen vorne liegen wird.

Mit Agentic AI und Model Context Protocol Engineering-Workflows neu definieren

Agentenbasierte KI ist die nächste Entwicklungsstufe von KI-Technologien. Solche Systeme greifen nicht nur auf internes Wissen zu, sondern können aktiv Tools ausführen, zusätzliche Informationen beschaffen oder Aufgaben automatisieren. Sie wählen je nach Benutzeranfrage geeignete Tools aus, formatieren die benötigten Daten und bereiten die Ergebnisse auf.

Aktuell arbeiten Entwickler daran, die Fähigkeiten von agentenbasierter KI zu erweitern, um eine sichere Integration in der realen Welt zu gewährleisten. Dabei zielt die Forschung darauf ab, dass Agenten-Systeme aus einem größeren Angebot an Tools auswählen und diese gezielt einsetzen. Da solche Systeme zunehmend mit dem Zugriff auf Dateisysteme, Datenbanken und der Ausführung von Code betraut werden, muss dies unter Einhaltung hoher Sicherheitsstandards erfolgen, um die leistungsstarken Funktionen agentenbasierter KI zugänglicher und vertrauenswürdiger zu machen.

Damit KI-Agenten effektiv arbeiten können, braucht es zudem einheitliche Kommunikationsstrukturen. Hier setzt das Model Context Protocol (MCP) an: Es standardisiert, wie Tools, Daten und Prompts zwischen den Komponenten eines agentenbasierten KI-Systems geteilt werden. Das soll Missverständnisse verringern und die Kombination unterschiedlicher Tools ermöglichen. Ingenieure können so flexibel auf MCP-integrierte Tools zugreifen und Workflows präzise an Problemstellungen, Projektziele und Industriestandards anpassen.

Hybride NTN-TN-Netzwerke entstehen 2026

Nicht-terrestrische Netzwerke (NTNs) erreichen eine neue Phase der Umsetzung, in der reale Anwendungen die Infrastruktur terrestrischer Netzwerke (TNs) ergänzen. Der 3GPP-Standard Release 17 bietet eine Grundlage für diese Interoperabilität, indem er Zuverlässigkeits- und Latenzparameter definiert. Release 18 wiederum erweitert die Unterstützung für NTN-IoT und höhere Frequenzbänder – entscheidend für skalierbare Architekturen mit hoher Durchsatzrate. Für Wireless-Ingenieure entstehen damit neue Design- und Integrationsaufgaben, insbesondere bei der Direktverbindung zu Mobilgeräten und der Netzkoordination.

NTNs ersetzen TNs nicht, sondern bilden gemeinsam mit ihnen ein hybrides Konnektivitätsökosystem. Zentral sind dabei nahtlose Übergänge zwischen

Satelliten- und terrestrischen Verbindungen, da das Handover-Management und die Ressourcenkoordination letztlich über den Erfolg des übergreifenden Systemdesigns entscheiden. Mit dem Aufkommen von NTN-TN-Netzwerken steigt auch der Bedarf an flexiblen, multibandfähigen Transceivern und robuster Kanalmodellierung für variable Ausbreitungsumgebungen.

KI steigert die Leistung komplexer eingebetteter Systeme

Der Einfluss von KI auf eine eingebettete Software nimmt rasant zu. Statt





Modellkompression, automatisierte Codegenerierung und Systemmodell-Tests. Kompressionsmethoden wie Pruning, Projektion und Quantisierung machen komplexe Modelle edge-tauglich. Automatisierte Codegenerierungstools konvertieren diese komprimierten KI-Modelle in C/C++ Code. Systemtests prüfen anschließend, ob komprimierte Modelle im Gesamtsystem zuverlässig funktionieren.

Ein Anwendungsbereich, bei dem Embedded KI-Modelle entscheidend sind, ist die virtuelle Sensorik. Hierbei leiten KI-Modelle schwer oder kostspielig messbare physikalische Größen aus vorliegenden Sensordaten ab. Das ermöglicht effizienteres Monitoring und reduziert den Bedarf an zusätzlicher Hardware.

KI-basiertes ROM definiert Simulations- und Designprozesse neu

Mit der wachsenden Komplexität ingenieurtechnischer Herausforderungen gewinnt KI-basiertes Reduced Order Modeling (ROM) an Bedeutung. Es schließt die Lücke zwischen detaillierten, physikalisch fundierten Simulationen und dem Bedarf an schneller Design-Exploration, Optimierung und Echtzeitsimulation. KI-basiertes ROM ermöglicht Modelle, die sowohl recheneffizient sind als auch hohe Genauigkeiten erzielen.

Dabei werden komplexe, physikbasierte Modelle auf ihre wesentliche Dynamik reduziert – mithilfe neuronaler Netze oder anderer KI-Architekturen. Dies ermöglicht es Ingenieuren, Simulationen und Optimierungen schneller durchzuführen, was die Echtzeitanalyse komplexer Systeme ermöglicht. Beispiele für KI-basiertes ROM sind ein Black-Box-KI-Modell, das allein aus den Eingabe-Ausgabe-Daten aus

detailgetreuen Simulationsmodellen lernt, oder ein physikinformatiertes Hybridmodell, das physikalisches Expertenwissen integriert. Letzteres benötigt weniger Trainingsdaten und generalisiert besser, das heißt es liefert zuverlässigere Vorhersagen für verschiedene Eingangssignale und Parameterwerte. Die Einsatzbereiche für ROM sind vielfältig: von Batteriemanagementsystemen (BMS) im Automotive-Bereich über die Vorhersage von aerodynamischen Kräften und Strukturreaktionen in der Luft- und Raumfahrttechnik bis hin zu Prognosen über die Leistungsfähigkeit von Anlagen im Energiesektor.

Kanalmodellierung erhält ein GenAI-Upgrade

Wireless-Ingenieure untersuchen zunehmend den Einsatz großer Sprachmodelle (LLMs) in ihren Workflows und Designs, z.B. um komplexe Funkumgebungen leichter managen zu können. Ein zentraler Prozess, der von der Integration von LLMs profitieren kann, ist die Kanalmodellierung, die mittlerweile ein wesentlicher Prozess für Multi-User-MIMO- und beamforming-basierte Systeme ist. GenAI kann helfen, realistischere und besser umsetzbare Kanalmodelle durch Untersuchung von komplexen Szenarien zu erstellen, die bisher kaum simulierbar waren.

Auch wenn LLMs Funktionen der physikalischen Schicht wie Beam Steering noch nicht direkt steuern können, unterstützen sie bereits höherstufige Entscheidungen, die das Verhalten der HF-Technik beeinflussen. Fortschritte bei ressourcenschonenden GenAI-Modellen und KI-nativen Architekturen ebnen den Weg für skalierbare, edge-taugliche Anwendungen. Für Entwickler drahtloser Systeme entsteht damit die Aufgabe, die Performance der physikalischen Schicht mit KI-gesteuerter Orchestrierung und Entscheidungsfindung in Einklang zu bringen.

ausschließlich auf regelbasierte Logik zu setzen, halten fortschrittliche KI-Modelle zunehmend Einzug in Mikrocontrollern, Field-Programmable Gate Arrays (FPGAs), GPUs und NPUs. Dadurch treffen Edge-Geräte schnellere und intelligentere lokale Entscheidungen, reduzieren ihre Abhängigkeit von Cloud-Konnektivität und verbessern die Systemresilienz. Drei Schlüsseltechnologien unterstützen den Übergang zu eingebetteten KI-Modellen:



Embedded World
Halle 4, Stand 110

INDUSTRIELLE CYBERSICHERHEIT NEU GEDACHT

Vernetzte Systeme schützen

Cyberangriffe auf industrielle Systeme nehmen nicht nur zu, sie verändern auch ihre Form. Angreifer setzen längst nicht mehr auf gezielte Infiltration, sondern auf vollständig automatisierte Werkzeuge, die industrielle IT-Strukturen nach bekannten Schwächen durchsuchen. Der IBM X-Force Threat Intelligence Index 2025 zeigt, dass 46 Prozent aller weltweit analysierten Angriffe auf den Industriesektor entfallen. Laut Fortinet Cyber Threat Report 2024 lassen sich 68 Prozent aller erfolgreichen Angriffe auf Fehlkonfigurationen oder mangelhaft gepatchte Systeme zurückführen

TEXT: Stefan Eberhardt, Kontron BILDER: Kontron; iLexx, iStock

Die Realität in der Industrie sieht häufig so aus: „Standard-Passwörter, offene Interfaces und Root-Root-Zugänge – das war gängige Praxis“, berichtet Stefan Eberhardt, Software Product Manager bei Kontron. Während der Pandemie erhielt er fast täglich Anrufe zu Security-Zwischenfällen. Die Systeme seien zwar funktional gewesen, aber ohne grundlegende Sicherheitsstruktur betrieben worden. „Es ging nicht um High-End-Attacken. Es ging um grundlegende Sicherheitslücken, die seit Jahren bekannt und vermeidbar sind, zum Beispiel offene Ports in produktiven Netzwerken, Geräte mit Standardpasswörtern, Windows-7-Systeme ohne Patches oder Maschinensteuerungen, die direkt über das Internet erreichbar waren“, so Eberhardt rückblickend.

Regulatorik als Wendepunkt für industrielle Sicherheit

Die zunehmenden Vorfälle haben zu einem Kurswechsel in der Gesetzgebung geführt. Die EU hat mit der NIS-2-Richtlinie und dem Cyber Resilience Act rechtliche Rahmenbedingungen geschaffen. Auch produzierende Mittelständler, Maschinenbauer oder Betreiber vernetzter Geräteflotten sind verpflichtet,

ihre Systeme abzusichern, Vorfälle zu erkennen, zu dokumentieren und zu melden. Eine Umfrage der European Union Agency for Cybersecurity zeigt, dass sich 59 Prozent der betroffenen Unternehmen auf diese Anforderungen noch nicht vorbereitet fühlen.

Kontron begegnet diesen Anforderungen mit einer übergreifenden Sicherheitsarchitektur, die präventive, detektierende und organisatorische Komponenten kombiniert. Das Unternehmen stellt nicht nur Produkte bereit, sondern begleitet den gesamten Sicherheitsprozess. „Wir verkaufen nicht nur Hardware, sondern liefern auch Betriebssysteme, Security-Funktionen, Management-Tools und Services wie Penetrationstests“, so Eberhardt. Die Lösung besteht nicht aus einem Produkt, sondern aus einer Kombination von Technologien, Prozessen und Expertise.

Intelligenter Schutz gegen automatisierte Angriffe

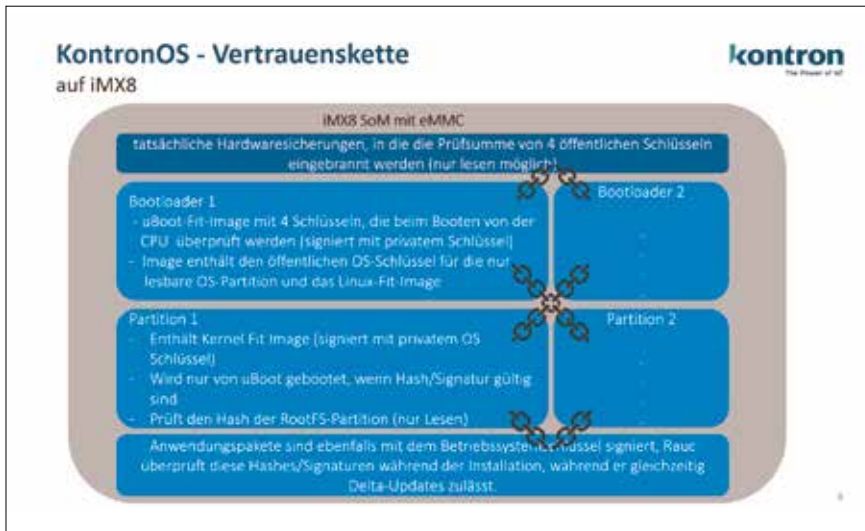
Mit KontronAISHield hat Kontron ein modulares System entwickelt, das industrielle Geräte proaktiv vor Angriffen schützt. Im Fokus steht dabei nicht die nachträgliche Analyse, sondern die



Echtzeitabwehr auf Basis verhaltensbasierter Mustererkennung. Die Lösung erkennt nicht nur bekannte Schadsoftware, sondern auch modifizierte Varianten und Zero-Day-Angriffe anhand typischer Angriffsmuster.

Das System existiert in zwei Ausprägungen. Die App-Variante ist für neue Geräte vorgesehen, die mit dem Linux®-basierten KontronOS laufen. Sie wird direkt in das Betriebssystem integriert und analysiert dort Prozessverhalten, Speicherzugriffe und interne Sprungbefehle auf Manipulation. Die Appliance-Variante ist für Altgeräte konzipiert, die nicht verändert werden dürfen. Sie wird zwischen Netzwerk und Endgerät geschaltet, agiert transparent und erkennt verdächtige Datenströme, ohne das Echtzeitverhalten der Anwendung zu beeinträchtigen.

Typische Einsatzszenarien für die Appliance sind ältere Maschinensteuerungen oder Geräte, die nicht neu zertifiziert werden können. Die AIShield-Komponenten erkennen automatisierte Infektionsversuche, Ransomware-Payloads oder Netzwerkausbreitungen und greifen automatisch ein.



Mit KontronOS ist ein Betriebssystem, das Sicherheitsarchitektur, Modularität und Wartbarkeit auf die industriellen Anforderungen ausrichtet.

Zentrale Steuerung für Meldepflichten und Reaktionen

Das Kontron Security Operation Center (SOC) fungiert als zentrales Analyse- und Reaktionselement innerhalb des Sicherheitskonzepts. Alle AIShield-Komponenten melden sicherheitsrelevante Ereignisse an das SOC, wo diese automatisch kategorisiert und bewertet werden. IT-Verantwortliche können über das Dashboard erkennen, ob es sich um Fehlalarme oder ernstzunehmende Zwischenfälle handelt. Eberhardt beschreibt es so: „Die KI hebt die Hand. Der Mensch schaut drauf. Und wenn es ernst ist, helfen wir bei der Meldung.“ Gerade im Kontext von NIS-2 ist diese Funktion entscheidend, denn die Richtlinie verpflichtet Unternehmen, Vorfälle zeitnah zu melden und ihre Reaktion dokumentiert nachzuweisen. Ein bewährtes Prinzip, das bereits bei Projekten mit öffentlichen Auftraggebern wie der Polizei Berlin-Brandenburg eingesetzt wurde. Kontron führt in diesem Zusammenhang Penetrationstests durch, die gezielt auf industrielle Systeme, Steuerungen und Embedded-Geräte zugeschnitten sind. Das unterstützt Kunden mit NIS-2 Compliance. Dabei geht es nicht um allgemeine Netzwerksans, sondern um

realitätsnahe Angriffsmodelle, die zeigen, wie sich Schwachstellen in der Produktionsumgebung tatsächlich auswirken.

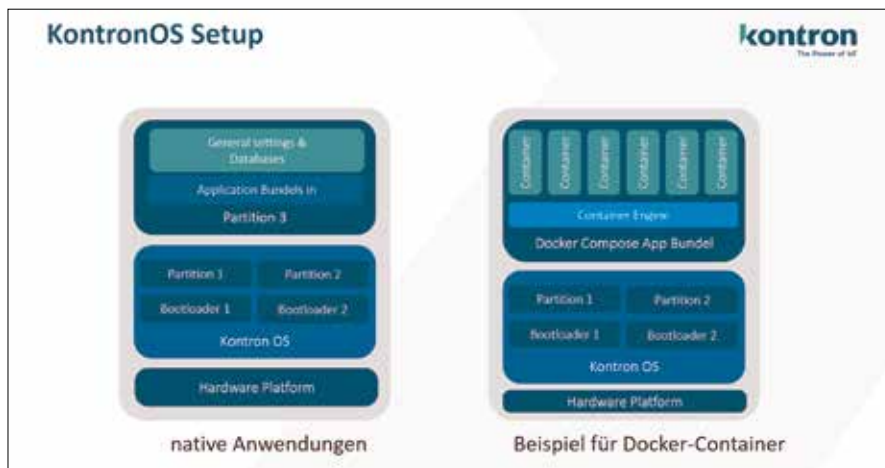
Reduzierter Angriffsvektor ab Werk

Mit KontronOS hat Kontron ein spezialisiertes Betriebssystem geschaffen, das Sicherheitsarchitektur, Modularität und Wartbarkeit auf industrielle Anforderungen ausrichtet. Das sichere, gehärtete Linux®-basierte Betriebssystem wurde gezielt für den Einsatz auf Edge Devices entwickelt und dient als stabile Grundlage für Kundenanwendungen in sicherheitskritischen Umgebungen. Im Mittelpunkt steht eine strikt abgesicherte Systemumgebung, die ausschließlich autorisierte Softwarekomponenten zulässt. Überflüssige Funktionen werden systematisch entfernt, potenziell angreifbare Schnittstellen konsequent deaktiviert. „Wir beschränken das System konsequent auf die Komponenten, die für die jeweilige Maschinenfunktion erforderlich sind – alles darüber hinaus wird entfernt“, erklärt Stefan Eberhardt. Die Architektur von KontronOS trennt Anwendungen voneinander ab, sodass potenzielle Kompromittierungen nicht auf andere Systembereiche übergreifen können. KontronOS

lässt sich nahtlos mit KontronGrid kombinieren, einer zentralen IoT-Device-Management-Plattform, mit der Unternehmen ihre vernetzten Geräteflotten aus der Ferne überwachen, konfigurieren und steuern können. Die Lösung ermöglicht es, sicherheitskritische Systeme im Feld zuverlässig zu verwalten, unabhängig davon, ob diese an einem Standort oder weltweit verteilt betrieben werden. In Kombination mit KontronOS entsteht so eine durchgängige Verwaltungsebene, die nicht nur den aktuellen Zustand einzelner Geräte transparent darstellt, sondern auch Software-Rollouts, Sicherheitsrichtlinien und Audit-Vorgaben nachvollziehbar umsetzt. Aufgrund seines modularen Aufbaus kann KontronOS dabei exakt auf projektspezifische Anforderungen zugeschnitten werden – sowohl hinsichtlich Funktion als auch Sicherheitsniveau.

Zentrale Verwaltung über den gesamten Lebenszyklus

KontronGrid ergänzt KontronOS und KontronAIShield durch zentralisiertes Management. Unternehmen mit verteilten Systemen können ihre Geräteflotten einheitlich überwachen, aktualisieren und kontrollieren. Über das System lassen sich Softwarestände prüfen,



Das KontronOS lässt sich auch problemlos in einen Docker-Container implementieren.

Richtlinien einspielen und Sicherheitsupdates gezielt ausrollen.

Schnelle Inbetriebnahme und Normkonformität

Für Unternehmen, die ihre Systeme rasch und regulatorisch korrekt in Betrieb nehmen müssen, bietet Kontron das ManagedEdge IoT-Bundle an. Es umfasst vorkonfigurierte Hardware, KontronOS und KontronGrid für zwölf Monate und auf Wunsch die Integration von KontronAIS-hield. Damit steht innerhalb kürzester Zeit ein vollwertiges, auditierbares Edge-System zur Verfügung.


Künstliche Intelligenz mit Industrie-Fokus

Kontron verwendet KI ausschließlich dort, wo sie einen messbaren Nutzen stiftet. Anders als cloudbasierte Ansätze, die mit globalen Webdaten trainiert werden, setzt Kontron auf industrielle Datensätze. Das ermöglicht eine genaue Analyse typischer Angriffe im Umfeld von IoT, SCADA und Embedded-Anwendungen. Die Appliance analysiert verschlüsselten Netzwerkverkehr auf Muster, die auf Schadsoftware, Bot-Kommunikation oder Ransomware hindeuten. Die App analysiert

hingegen das Verhalten der Anwendung selbst. „Wir sehen, wenn ein Speicherüberlauf versucht wird, wenn ein Code-Sprung ungewöhnlich aussieht oder wenn sich Prozesse Rechte erschleichen wollen“, so Eberhardt. Diese Methode erlaubt eine präzise Erkennung, ohne auf klassische Signaturdatenbanken angewiesen zu sein.

Normen, Richtlinien und Produktentwicklung verzahnt

Kontron entwickelt nach EN 62443, ist vorbereitet auf EN 18031 und berücksichtigt Anforderungen aus NIS-2 und dem Cyber Resilience Act bereits im Designprozess. Die Normen sind dabei kein Hindernis, sondern Teil der Architektur. „Unsere Produkte erfüllen oft schon die Anforderungen, bevor sie offiziell in Kraft treten“, erklärt Eberhardt. Die Integration beginnt bei der Hardware, setzt sich im Betriebssystem fort und endet in der zentralen Steuerung und dem Reporting. So wird aus einem technischen Produkt ein dokumentierbares Sicherheitsinstrument, das sich nahtlos in bestehende Zertifizierungs- und Auditprozesse einfügt.

 Embedded World
Halle 3, Stand 159

INDUSTRY.FORWARD SUMMIT

DIE ZUKUNFTSKONFERENZ
DER INDUSTRIE

01. + 02. JULI 2026
Spreespeicher, Berlin

DIE ZUKUNFTS- KONFERENZ DER INDUSTRIE

„ALLES IN BEWEGUNG –
ZEIT FÜR RICHTUNG!“

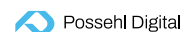
- Kuratiertes Treffen von 140+ CxOs aus der Industrie
- Fokusthemen: STANDORT.Faktor, ZEITEN.Wende, TECH.Disruption
- inspirierende Keynotes im TED-Format
- spannende Panel-Diskussionen
- interaktive Formate
- wertvolle Networking-Zeit



Wer jetzt nicht mitredet, muss später nachziehen!

industry-forward.com/summit

PARTNER 2026



7,9

Quelle: FDI (Stand: 06.02.2026)

Prozent Wachstum verzeichnete die Elektronikbauelemente Distribution in Deutschland in Q4 2025 gegenüber dem Vorjahr. Das ist nach zwei Jahren schwieriger Entwicklung wieder eine positive Belebung des Marktes.

Besonders Halbleiter haben mit +9,9 Prozent das Wachstum klar vorangetrieben. Weitere Informationen über Halbleiter-Technologien und Embedded-Systeme finden Sie unter anderem in unseren Beiträgen ab Seite 16.

Explore Next Tech ELECTRONICS



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

INDUSTR.com



industr.com/EuE



Bewegung durch Perfektion

Unsere smarte Lösung für präzise Vibrationsmessung



Besuchen Sie uns!

20. – 24. April 2026
Halle 13, Stand C01

ZAset Vibration Client

Dank **integriertem Sensor im Motor** und der **automatischen Schwingungserkennung** erhalten Sie aussagekräftige Ergebnisse zu Resonanzbereichen ohne zusätzliche Messgeräte.

Die gleichzeitige **Messung aller Ventilatoren in einem einzigen Vorgang** ermöglicht eine schnelle und übersichtliche Auswertung. So lassen sich **Systeme ganzheitlich bewerten und gezielt optimieren** – effizient, zuverlässig und zukunftssicher.



Mehr Informationen
zur ZAset Lösung.

ZIEHL-ABEGG 