

Powered by

**Markt&Technik**  
DIE ZEITUNG FÜR ELEKTRONIK, KI UND INFORMATIONSTECHNIK

2025 | D



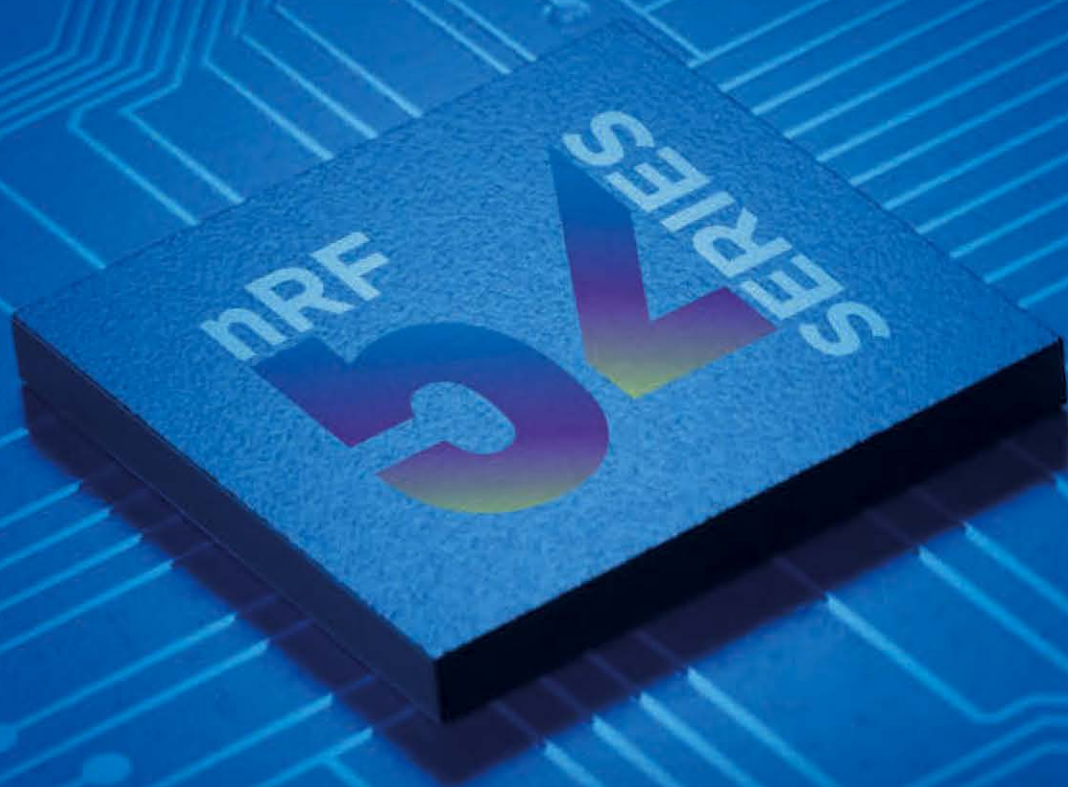
- Halbleiter
- Rutronik Excellence
- Passive & Elektromechanische Bauelemente
- Wireless und Embedded
- IT Electronics
- Automotive

**RUTRONIKER**



**NORDIC**  
SEMICONDUCTOR

# Empowering wireless innovation



Fast, efficient, easy-to-implement,  
ultra-low-power wireless IoT solutions



matter

Power Management



**LEARN MORE**  
[nordicsemi.com](https://nordicsemi.com)







Markus Krieg

## Zeitenwende in der Elektronik

**D**ie Vorzeichen haben sich dramatisch geändert. Die Elektronikbranche steht unter Druck wie selten zuvor: Auftragseingänge stagnieren, Kunden halten Budgets zurück, und das Bestellverhalten ist geprägt von Vorsicht und Ungewissheit. Nach Jahren des rasanten Wachstums folgt nun eine Phase der Konsolidierung – und für viele Unternehmen ist nicht mehr die nächste Innovation entscheidend, sondern das Überleben am Markt.

Zugleich steigt die Komplexität regulatorischer Vorgaben. Der Cyber Resilience Act (CRA) bringt eine neue Dimension der Verantwortung: Hersteller werden künftig nicht nur an Preis und Performance gemessen, sondern daran, ob sie ihre Produkte über Jahre hinweg sicher halten können. Er zwingt Unternehmen, weiterzudenken: Updates über die gesamte Produktlebensdauer, nachvollziehbare Lieferketten und Sicherheit auf Soft- und Hardwareebene sind entscheidend. Rutronik unterstützt Hersteller mit Weitblick, um Integrität und Interoperabilität zu gewährleisten. Mehr darüber lesen Sie im Beitrag auf Seite 35 von Bernd Hantsche, Vice President Technology Competence Center bei Rutronik.

Auch die Bedrohung durch Quantencomputer wird immer wahrscheinlicher und ist eine der Schattenseite der digitalen Transformation. Rutronik arbeitet mit europäischen Halbleiterherstellern zusammen, um robuste Sicherheitslösungen zu etablieren – inklusive Post-Quantum-Verschlüsselung und resilienten Kommunikationsmodulen. Mehr dazu lesen Sie auf den Seiten 72 bis 73.

Mit Axelera AI als neuer Franchise-Partner bringt Rutronik europäische KI-Inferenz an die Edge. Anwendungen in Automotive und Industrie profitieren von energieeffizienter, skalierbarer und echtzeitfähiger KI – unabhängig von außereuropäischen Plattformen. Diese Technologie macht KI nicht nur zugänglich, sondern strategisch einsetzbar für die nächste Generation vernetzter Geräte. Im CEO-Interview mit Rutronik-Geschäftsführer Thomas Rudel ab Seite 28 erfahren Sie mehr über die strategischen Weichenstellung bei Rutronik und Erfolgsmomente im aktuell für alle in der Distribution herausfordernden Jahr.

Mit Lösungen wie dem AI Vision Document Reader und AI Vision Label Reader von COMI revolutioniert Rutronik gemeinsam mit dem KI-Spezialisten das Supply Chain Management. Komplexe Lieferscheinformate und manuelle Fehlerquellen werden durch KI-basierte Erkennung ersetzt – unabhängig davon, ob die Dokumente physisch oder digital vorliegen. Damit wird Rückverfolgbarkeit nicht nur möglich, sondern messbar und belastbar. Im RUTRONIKER 2024 haben wir die strategische Partnerschaft angekündigt und in dieser Ausgabe lesen Sie ab Seite 32 bereits über die ersten gemeinsamen Projekterfolge, inklusive der beiden gemeinsam entwickelten Reader in der noch jungen Partnerschaft.



Wir laden Sie zudem herzlich zu unserer großen RUTRONIKER-Leserbefragung ein! Lassen Sie uns wissen, welche Themen Sie interessieren und welche Angebote für Sie dabei im Arbeitsalltag von Interesse sind. Über den QR-Code gelangen Sie zur ca. 10-minütigen Umfrage, die bis zum 15. Januar 2026 geöffnet ist. Für Ihre Einschätzungen und Zeit danken wir Ihnen bereits im Vorfeld herzlich!

Im Namen des Rutronik-Teams wünsche ich Ihnen viel Freude beim Lesen. Wir hoffen, dass die Beiträge in Zusammenarbeit mit unseren Herstellern Ihnen einen Überblick über aktuelle Entwicklungen und technologische Neuerungen sowie hilfreiche Denkanstöße verbunden mit praktischen Impulsen für Ihre tägliche Arbeit liefern.

Ihr

Markus Krieg, Chief Marketing Officer (CMO) bei Rutronik

## ENERGIE CLEVER VERBINDEN

Die passende Schnittstelle liefert Amphenol



RadLok™  
Hochstrom-Steckverbinder

- Schnelle & sichere Verbindung für Energieverteilung und Speicher
- Bis zu 500 A / 1.000 V / IP40
- Robustes, kosteneffizientes Design in 6 Größen



Vent-Systeme für Druckausgleich

- Schutz vor Feuchtigkeit, Öl & Kondensation
- IP68/IP69K zertifiziert
- Für langlebige und sichere Geräte in anspruchsvollen Umgebungen



<b>Editorial</b>	<b>3</b>
<b>• HALBLEITER</b>	
Sensorik für elektrische Bremssysteme: Mit modernen Positionssensoren sicher bremsen	<b>5</b>
Effizientes Wärmemanagement für MOSFETs: Kühlung von der Oberseite	<b>8</b>
Offenes Protokoll für dynamische Lichtsteuerung: Digitales Licht über Open System Protocol	<b>10</b>
Integration von Leistungselektronik in Drive Units: Kompakte Module für modulare Traktionssysteme	<b>12</b>
Professionelle Stromversorgungen für Factory Automation: Mehr Effizienz im Schaltschrank	<b>14</b>
Edge-Computing trifft auf KI-Effizienz: Schnell entwickeln, intelligent bereitstellen, effizient weiterentwickeln	<b>17</b>
GaN-Motorsteuerung mit PSOC™ Control C3: Intelligenz trifft Leistung	<b>20</b>
CO <sub>2</sub> -Sensorik für die Innenraumüberwachung: Präzise Messung für bessere Luftqualität	<b>23</b>
Optische Sensorik für Diagnostik und Pharmazie: Spektralsensoren für smarte Medizintechnik	<b>26</b>
<b>• RUTRONIK EXCELLENCE</b>	
 Interview mit dem Rutronik-CEO: »Wir dürfen nicht länger auf bessere Zeiten warten – wir müssen sie gestalten«	<b>28</b>
Automatisierung in Wareneingang und -annahme bei Rutronik: KI-basierte Reader als Schlüsselkomponenten einer lückenlosen Traceability	<b>32</b>
Cybersecurity und Komponentenstrategie: Der Cyber Resilience Act – eine schöne Bescherung	<b>35</b>
Gesten, Sprache, Display: HMI mit Edge-KI im Kleinformat: Multimodale Schnittstelle auf PSOC™-Basis	<b>38</b>
<b>• PASSIVE &amp; ELEKTROMECHANISCHE BAUELEMENTE</b>	
Timing-Komponenten für Automotive und Industrie: Quarze optimal auf ICs abstimmen	<b>41</b>
Aluminium-Elektrolytkondensatoren in Rechteckbauform: Aus Rund wird eckig – Platz effizienter nutzen	<b>43</b>

Neue Legierungen für die Leistungselektronik: Induktoren für das KI-Zeitalter	<b>46</b>
Strom- und Datenversorgung über ein einziges Koaxialkabel: Energie und Daten gemeinsam übertragen	<b>48</b>
Relais für Hochstrom- und Hochspannungsanwendungen: Effizientes Schalten auf kleinstem Raum	<b>50</b>
Taktile Schalter für robuste Anwendungen: Batterieanzeige zuverlässig schalten	<b>52</b>
Energieeffiziente Stromversorgung für kompakte Elektronik: Schaltregler als Ersatz für LDOs	<b>55</b>
Kondensatortechnologie für moderne Elektronikanwendungen: Polymerkondensatoren als clevere Alternative zu MLCC	<b>58</b>

<b>• WIRELESS UND EMBEDDED</b>	
Hochpräzise Positionierung in der Landwirtschaft: Smart Farming mit 5G und Real-Time Kinematics	<b>60</b>
Satellitenbasierte IoT-Vernetzung für entlegene Regionen: Weltweite Vernetzung mit NTN	<b>64</b>
Präzise Distanzmessung mit Bluetooth: Channel Sounding erweitert BLE	<b>66</b>
Obstsortierung mit KI, Edge Computing und Echtzeit-Datenverarbeitung: Food Processing 4.0	<b>68</b>
Energieeffiziente Konnektivität für smarte Gesundheitssysteme: Smarte Medizintechnik vernetzt gedacht	<b>70</b>

<b>• IT ELECTRONICS</b>	
Cybersicherheit im Quantenzeitalter: Wie Daten schon heute für morgen sicher gemacht werden	<b>72</b>

<b>• AUTOMOTIVE</b>	
HMI-Konzepte für Zweiräder, Dreiräder, Vierräder oder Wasserfahrzeuge: Moderne Instrumentierung für kleine Fahrzeuge	<b>74</b>
BLDC- und DC-Motorcontroller für sichere Automobilanwendungen: Mehr Leistung auf weniger Raum	<b>78</b>
Antriebstechnik und urbane Mobilität der Zukunft: 48-V-Systeme für moderne Leichtfahrzeuge	<b>80</b>

Impressum	<b>83</b>
Inserentenverzeichnis	<b>83</b>





Sensorik für elektrische Bremssysteme

# Mit modernen Positionssensoren sicher bremsen

*Hall- und TMR-Technologien bieten unterschiedliche Stärken und lassen sich gezielt kombinieren. Worauf kommt es bei der Sensorauswahl wirklich an? Und wie lassen sich Systemanforderungen sicher und effizient erfüllen?*

VON FREDERIK BERSTECHER,  
PRODUCT LINE MANAGER –  
FAST HALL SENSORS BEI TDK MICRONAS,  
MARCUS MEYER, HEAD OF PROJECT  
ENGINEERING BEI TDK CORPORATION –  
JAPAN, UND JEANNETTE RAQUET,  
LINE MANAGERIN BEI RUTRONIK

Für die Positionsmessung in elektrohydraulischen und elektromechanischen Bremssystemen stehen Entwicklerinnen und Entwicklern heute unterschiedlichste Sensorlösungen zur Verfügung. Besonders etabliert haben sich Hall- und TMR-basierte Sensoren. Beide bieten spezifische technische Vorteile in Bezug auf Montageflexibilität, Störfestigkeit und Signalqualität. Welches Prinzip sich am besten eignet, hängt wesentlich von den Systemanforderungen und den geplanten Sicherheitsarchitekturen ab. Im Folgenden werden die wichtigsten Eigenschaften beider Technologien verglichen, um die ziel-

gerichtete Auswahl für anspruchsvolle Bremsanwendungen zu erleichtern.

Da Hall- und TMR-Sensoren auf unterschiedlichen physikalischen Prinzipien basieren, ergänzen sie sich in ihrer Funktionalität. Durch ihre Kombination ergeben sich weitere Möglichkeiten für hochsichere, präzise Positionsmessungen in elektrischen Bremssystemen.

- **Hall-Sensoren** liefern absolute Positionen und bieten ausreichend Dynamik für rotierende Messaufgaben, wie BLDC-Motoren (ca. 70 kHz).

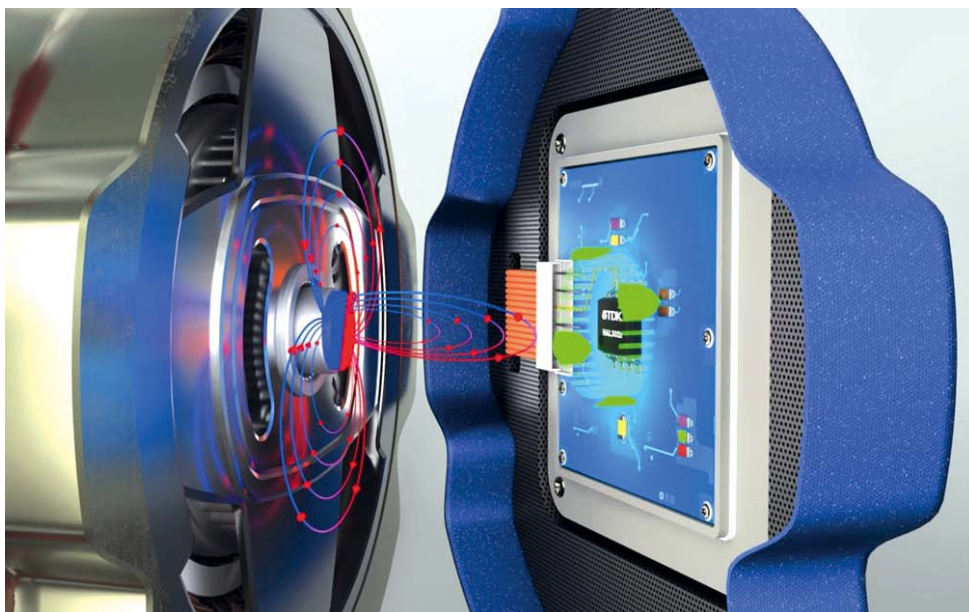


Bild 1: Zur Messung der Rotorlage in Bremsaktuatoren können sowohl TMR- als auch Hall-Effekt-Sensoren eingesetzt werden. Dabei eignet sich der Micronas HAL 302x besonders durch seine Unempfindlichkeit gegenüber magnetischen Störfeldern zum Einsatz in High-Speed E-Motor-Anwendungen. (Bilder: TDK Micronas)



Bild 2: Bremsscheibe mit Bremssattel und Elektromotor. Der elektromechanische Bremsmechanismus (EMB) nutzt die Drehbewegung des Motors, um den Bremssattel zu bewegen und Kraft auf die Bremsscheibe auszuüben. Der Micronas HAL 3021 misst dabei präzise die absolute Position des Aktuators in einer End-of-Shaft-Konfiguration.

- **TMR-Sensoren** sorgen für eine sehr hohe Winkelauflösung und Dynamik, insbesondere bei periodisch bewegten oder rotierenden Komponenten, wie sie etwa in BLDC- und AC-Motoren und Aktuatoren zu finden sind. Je nach Aufbau liefern TMR-Sensoren mechanisch absolute oder elektrisch-absolute Positionen. Letztere werden auch inkrementale Positionen genannt, d. h. 2-pol-Magnet für absolut bzw. Multi-pol-Magnet für inkrementelle Messung.
- **Kombinierte Lösungen** ermöglichen eine heterogene Redundanz für sicherheitskritische Systeme und bieten damit eine gute Grundlage für anspruchsvolle Anwendungen wie Brake-by-Wire oder redundante Steer-by-Wire Lenksysteme.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die typischen Eigenschaften, Einsatzbereiche und Unterschiede der beiden Sensortypen. In sicherheitskritischen Systemen ist häufig eine Kombination beider Technologien sinnvoll. Hall- und TMR-Sensoren messen grundsätzlich dasselbe magnetische Signal, nutzen aber

unterschiedliche physikalische Prinzipien. Diese Diversität steigert die Systemrobustheit und ermöglicht eine heterogene Redundanz gemäß funktionaler Sicherheit (z. B. ASIL D). Fällt ein homogener Teil, beispielsweise eine Hall-Sensorik, komplett aus, bleibt die TMR-Sensorik funktionsfähig, sodass sich selbst in einer »common cause emergency operation« noch ASIL D erreichen lässt. Da die möglichen technologiebezogenen Ausfallmechanismen verschieden sind, lassen sie sich differenziert beobachten und erlauben eine sehr hohe »Diagnostic coverage«, die auch »Fail-operational«-Konzepte von Applikationen unterstützt und somit sehr hohe Verfügbarkeiten ermöglicht. Entwicklerinnen und Entwickler sollten prüfen, welche Sensorkonfiguration am besten zu den Anforderungen an Genauigkeit, Störfestigkeit und Safety passt.

#### Positionsmessung in elektrohydraulischen Bremsaktuatoren

Am Beispiel elektrohydraulischer Bremsaktuatoren werden die unterschiedlichen Integrationsmöglichkeiten von Hall- und TMR-Sensoren sowie deren Eigenschaften aufgezeigt. Die Implementierungsvarianten unterscheiden sich teils deutlich in Bezug auf Genauigkeit, Streufeldtoleranz und Systemaufbau:

- **On-Axis-Integration mit Hall-Sensoren** (Bild 3, oben): Hall-Sensoren wie die HAL 302x-Serie werden direkt in Flucht der Achse verbaut. Sie sind kompakt, robust gegenüber Streufeldern und ermöglichen PCB-loose sowie redundante Designs mit einseitiger PCB-Bestückung. Ihre absolute Genauigkeit über Temperatur und Lebensdauer liegt praxisnah bei etwa 0,5 bis 0,6°, was für viele Brems- und Aktuatoranwendungen ausreichend ist. Bei höheren Anforderungen an die Genauigkeit, kann ein externer Mikrocontroller eine dynamische Fehlerkompensation durchführen, wodurch eine Genauigkeit von bis zu 0,1° erreicht werden kann.

- **On-Axis-Integration mit TMR-Sensoren** (Bild 3, Mitte): TMR-Sensoren (z. B. TAS224x oder TAS214x) erreichen in Stack-Konfiguration eine Präzision von 0,3° und mit dynamischer Kompensation sogar bis zu 0,1°. Die direkte Verbindung zum Mikrocontroller ohne externe Verstärkung vereinfacht die Schaltungsarchitektur und ermöglicht kompakte Designs. Allerdings muss die Streufeldkompensation meist über Software oder mindestens einen zweiten TMR-Sensor umgesetzt werden. Bei der Nutzung zweier linearer TMR-Sensoren kann eine streufeld-

Kriterium	Hall-Sensoren	TMR-Sensoren
Messprinzip	Erfassung der absoluten Position (z. B. Winkel, Linearbewegung) bei einem Aufbau mit mehreren horizontalen und vertikalen Hall-Platten  On-Axis (2-pol-Magnet) für dynamische absolute Positionen / mechanische Domäne (Nutzung von 1 HAL 302x Sensor mit bis zu sechs Z-sensitiven Hall-Platten)	On-axis (2-pol-Magnet) für absolute Positionen / mechanische Domäne (Nutzung von gesättigten XY-TMR oder linearer TMR)  Off-Axis (Multipol-Magnet) für inkrementelle Messung / elektrische Domäne, XY-gesättigte oder lineare TMR
Typische Anwendungen	BLDC-/AC-Motor-Rotorlage (bei HAL 302x), Pedalstellung, Geberzylinder, Endlagen, absolute Referenzpunkte	BLDC-/AC-Motor-Rotorlage, Aktuatoren, dynamische Bewegungen
Montageart	On-Axis-Layouts, auch als lineare und 3D-Variante verfügbar	Vorzugsweise radiale Messung mit mehrpoligen Magnetringen
Magnetisches Störverhalten	Kompensation über differenzielle Strukturen (z. B. 6ZD) möglich	Kompensation durch Verwendung eines stärkeren Magneten oder magnetisch differentiellen linearen TMR
Empfindlichkeit	Geringer, integrierte Verstärker verstärken die Sinus-/Cosinus-Signale auf 4 Vpp	Sehr hoch, erlaubt die direkte µC-Verbindung ohne Verstärkung (3 Vpp), lineare TMR benötigen einen externen Verstärker
Signaltyp	Sinus-/Cosinus-Signale oder Ausgabe des berechneten Winkels	Sinus-/Cosinus-Signale oder Ausgabe des berechneten Winkels
Signalverarbeitung	Integrierte Streufeldkompensation reduziert externen Aufwand, dynamische Fehlerkompensation erforderlich für sehr hohe Genauigkeit von < 0,1°	Direkte Nutzung der Sinus-/Cosinus-Ausgänge ohne Bedarf einer Verstärkung. Bei Streufeld-kompensiertem System ist ein Verstärker sinnvoll, der eine intrinsische Streufeldkompensation ermöglicht.
Stärken	Absolute Position, hohe Dynamik, sehr robust gegenüber mechanischen Toleranzen, kompakte On-Axis-Integration, verwendbar für Remote- und On-Board-Applikationen	Hohe Auflösung, sehr großer Dynamik-Bereich, robuste Off-Axis-Messung, hohe Signal-Stabilität über Lebensdauer
Schwächen	Radiale Montage erfordert präzise Magnetführung	Liefert bei Off-Axis-Integration keine absolute Position ohne zusätzliche Referenz

Tabelle 1: Vergleich von Hall- und TMR-Sensoren in der Anwendung.



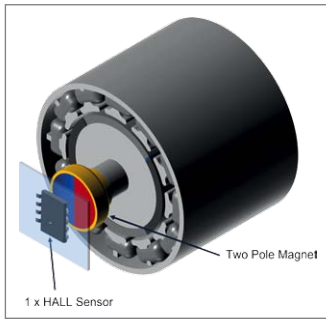
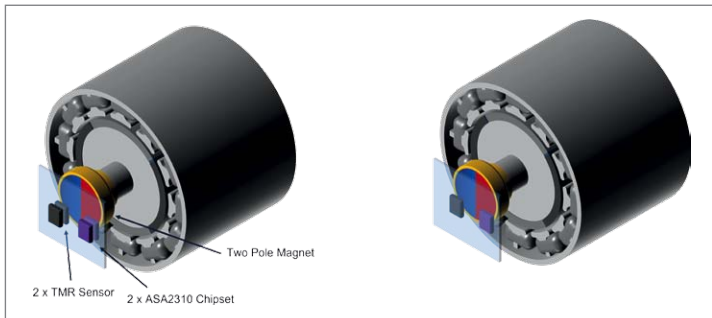


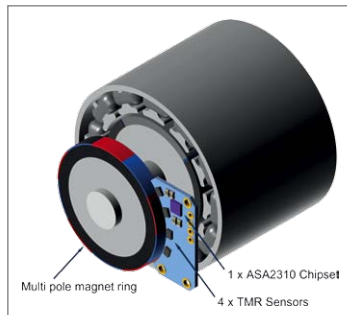
Bild 3: Vergleich der Integration von Hall- und TMR-Sensoren: On-Axis-Hall (oben) über On-Axis-TMR (Mitte) bis zur Off-Axis-TMR-Lösung (unten).



robuste Positionsermittlung ähnlich wie in Bild 3, oben stattfinden; dann werden externe Verstärker benötigt. Somit ist eine einseitige PCB-Bestückung möglich.

#### • Off-Axis-Integration mit TMR-Sensoren (Bild 3, unten):

In radialer Anordnung mit mehrpoligen Magnetringen detektieren TMR-Sensoren die magnetische Periode. Diese Architektur bietet eine sehr hohe Streufeldtoleranz bereits auf Hardwareebene und eignet sich für dynamische Anwendungen wie BLDC-Motoren, bei denen kein Platz am Ende der Welle besteht. Die kurze Signalverarbeitungszeit und die hohe Modularität der Sensormodule tragen wesentlich zur Implementierungsfreundlichkeit bei. Zu beachten ist aber, dass sie keine absoluten, sondern relative Positionen mit einer Genauigkeit von 0,5 bis 1° liefern, was für elektromotorische Kommutierung und Aktuatorregelung oft ausreicht.



### Technologie trifft Applikationsanforderung

Die Wahl der Sensorik richtet sich nicht nur nach technologischen Merkmalen, sondern vor allem nach der konkreten Anwendung. On-Axis-Hall-Sensoren bieten eine robuste, einfache Integration sowie eine gute Streufeldtoleranz. On-Axis-TMR-Sensoren liefern eine hohe Genauigkeit, benötigen aber eine Kompensation gegen Magnetfeldstörungen. Off-Axis-TMR-Architekturen sind prinzipbedingt unempfindlich gegenüber Störeffekten und ideal für dynamische Anwendungen wie die »elektrische Position« von Motoren geeignet. Die beste Lösung hängt vom jeweiligen Sicherheits-, Genauigkeits- und Stabilitätsbedarf ab. Der Trend zeigt: Die gezielte Kombination beider Technologien vereint ihre Stärken und sorgt für eine ausgewogene Kombination aus Leistung, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit.

Mehr Informationen enthält das begleitende Whitepaper.



### CBA-Wafer-Bonding-Technologie

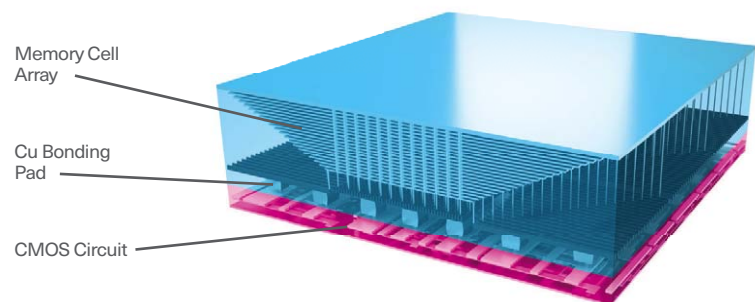
## Hochdichter 3D-Flash-Speicher mit hochpräzisem Wafer-Bonding

KIOXIA BiCS FLASH™ 3D-Flash-Speicher der 8. Generation basiert auf der CBA-Wafer-Bonding-Technologie – einer architektonischen Innovation, die einen großen Sprung in Sachen Energieeffizienz, Leistung, Dichte, Kosteneffizienz und Nachhaltigkeit im Vergleich zur vorherigen Generation ermöglicht.

<b>80%</b> höhere Interface-Geschwindigkeit (3,6 Gbit/s)	<b>20%</b> gesteigerte Schreibleistung	<b>&gt;10%</b> bessere Leselatenz	<b>50%</b> höhere Bit-Dichte	<b>30%</b> verbesserte Energieeffizienz
--	---	--------------------------------------	---------------------------------	--

### CBA steht für »CMOS Directly Bonded to Array«

Für die neuartige CBA-Architektur werden CMOS- und Zellenarray-Wafer jeweils separat und in optimierter Form hergestellt und dann miteinander verbunden. So müssen keine Kompromisse mehr zwischen der Zuverlässigkeit der Zelle und der I/O-Geschwindigkeit eingegangen werden. Im Ergebnis wird eine höhere Bit-Dichte und eine schnelle NAND-E/A-Geschwindigkeit erzielt.



### Zielanwendungen

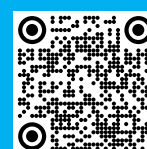
Data Center  
& Enterprise

Automotive

Industrial  
& IoT

PCs  
Smartphones  
Tablets

Gaming  
AR / VR



Für weitere Informationen zu KIOXIA BiCS FLASH™ und der CBA-Technologie scannen Sie den QR-Code oder besuchen Sie:  
<https://europe.kioxia.com/de-de/business/memory/bics.html>



Effizientes Wärmemanagement für MOSFETs

# Kühlung von der Oberseite

*Um die Zuverlässigkeit von MOSFETs bei steigenden Leistungsdichten zu gewährleisten, ist ein optimiertes Wärmemanagement entscheidend. Top-Side-Cooling erweist sich dabei als effizientere Alternative zur klassischen Entwärmung über die Leiterplatte.*

VON RALF HICKL, PRODUCT SALES  
MANAGER ABU BEI RUTRONIK,  
JULIAN WERTHER, REGIONAL MARKETING  
MOSFETs BEI VISHAY, UND  
SIMON GOODWIN, SENIOR MANAGER  
GLOBAL APPLICATIONS BUSINESS  
DEVELOPMENT – AUTOMOTIVE BEI VISHAY

Die Entwicklung hin zu höheren Leistungsdichten in elektronischen Anwendungen stellt immer höhere Anforderungen an das Wärmemanagement: Es wird zu einem entscheidenden Faktor, um Leistung, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit zu gewährleisten – insbesondere bei Hochleistungsanwendungen wie industriellen Antrieben, Automobilsystemen und Stromversorgungen.

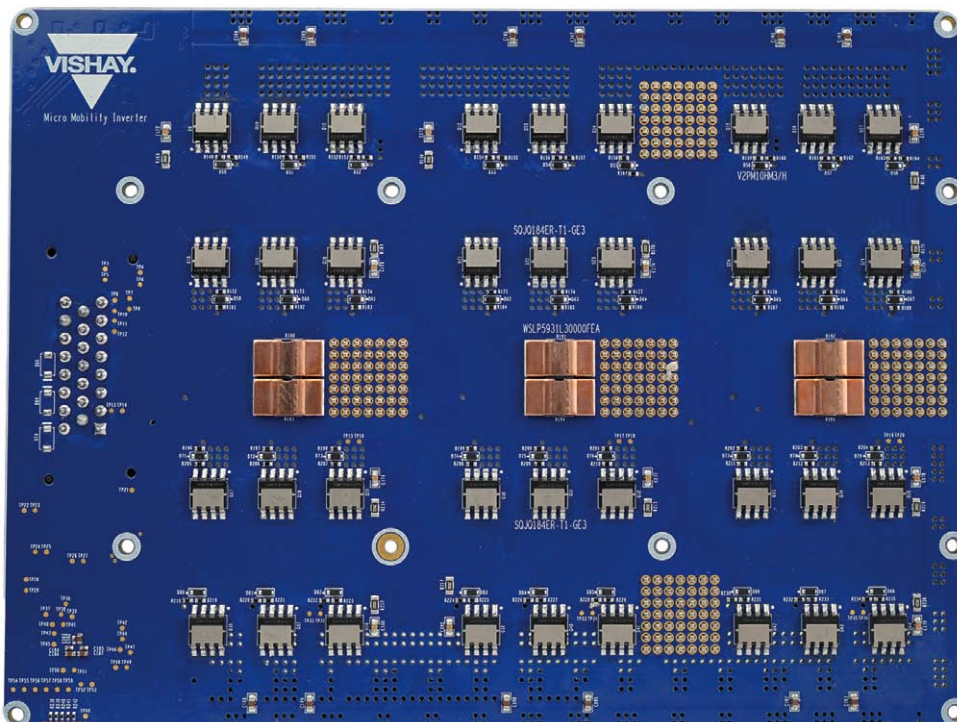
MOSFETs werden traditionell über die Lötverbindung zwischen der Unterseite des Gehäuses und der Leiterplatte gekühlt (Bottom-Side-Cooling). Dabei wird die vom Halbleiterchip erzeugte Wärme über die Drain-Pad-Anbindung an die Leiterplatte und von dort an einen Kühlkörper oder eine thermische Ebene, in der Regel über thermische Durchkontaktierungen, übertragen. Diese Methode bringt einige Einschränkungen mit sich, insbesondere einen vergleichsweise hohen Wärmewiderstand. Dieser entsteht durch mehrere Übergänge – vom Chip zum Gehäuse, vom Gehäuse zur Leiterplatte und von dort zum Kühlkörper – und hängt stark

vom verwendeten Platinenmaterial (z. B. FR4) sowie von Anzahl und Platzierung der Thermovias ab. Weiterhin wirken sich Platinenfläche und Platinenlayout maßgeblich auf die Wärmeableitung aus.

Eine Möglichkeit, die Wärmeableitung zu verbessern, ist die Kühlung über beide Gehäuseseiten. Dabei wird die Wärme sowohl über die Unterseite des Gehäuses zur Platine als auch über die Oberseite des Gehäuses zu einem Kühlkörper abgeleitet. Diese Lösung bringt aber einige Nachteile mit sich:

- Die Komplexität bei der mechanischen Integration und dem Lötprozess erhöht sich, da zusätzliche Kühlkörper oder Wärmeleitpads erforderlich sind.
- Durch die zusätzlichen Kühlmaßnahmen entstehen höhere Kosten.
- Der Platzbedarf erhöht sich.
- Die mechanische Belastung steigt, da die Wärmeausdehnung auf beiden Seiten des Bauelements unterschiedlich ist.

Bild 1: Platinenfläche und Platinenlayout wirken sich maßgeblich auf die Wärmeableitung aus. (Bilder: Vishay)



## Vorteile von Top-Side-Cooling

Oberseitengekühlte MOSFETs sind so konstruiert, dass der Drain auf der Oberseite des Gehäuses freiliegt. Dadurch ist ein direkter Kontakt mit einer Wärmesenke wie einer Kühlplatte möglich, was den Wärmewiderstand deutlich reduziert.

Dieser Ansatz hat mehrere entscheidende Vorteile: Erstens ist der Gesamtwärmewiderstand geringer, da der Wärmepfad kürzer und mit höherer Wärmeleitfähigkeit ausgeführt ist, da z. B. keine thermischen Vias benötigt werden, um die Wärmesenke anzuschließen (Bild 1). Zweitens können Entwicklerinnen und Entwickler aufgrund der verbesserten Kühleffizienz die Ausgangsleistung erhöhen, ohne die thermischen Grenzen zu überschreiten, wo-



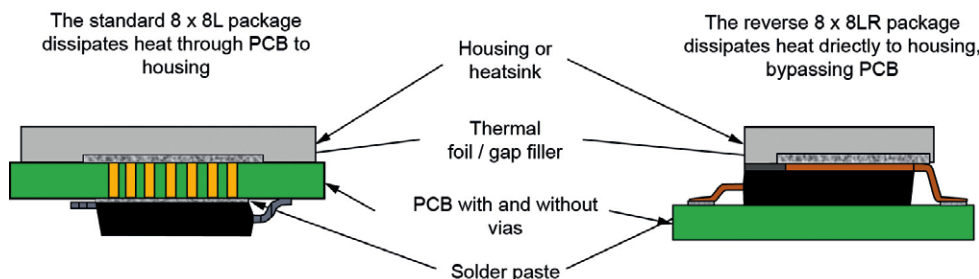


Bild 2: Vergleich zwischen dem Standard 8x8L-Gehäuse (links) und dem oberseitengekühlten 8x8LR-Gehäuse (rechts).

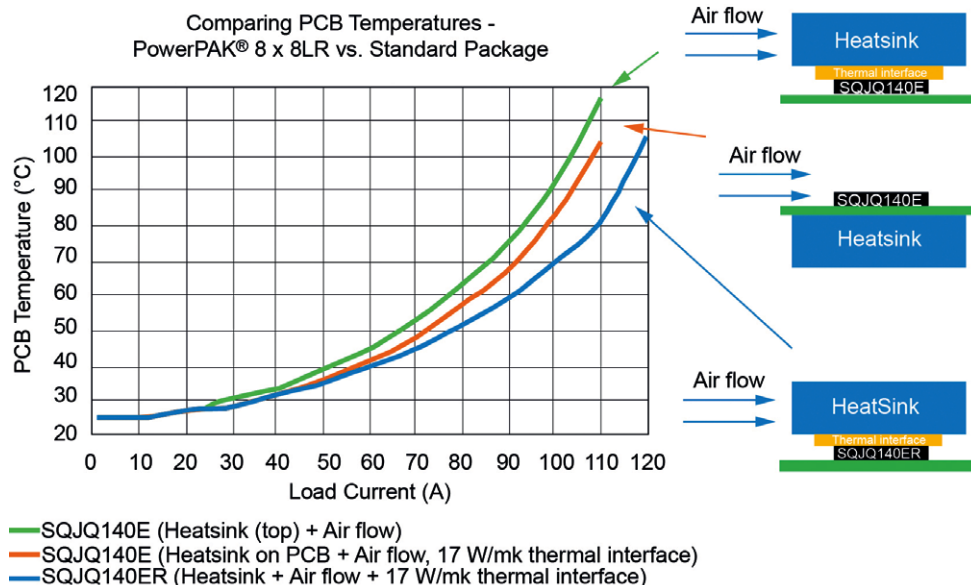


Bild 3: Leiterplattentemperatur von Standardgehäusen mit Unterseitenkühlung (SQJQ140E) im Vergleich zu Gehäusen mit Oberseitenkühlung (SQJQ140ER) bei verschiedenen Lastströmen. Die Top-Cooling-Variante zeigt deutlich geringere Temperaturen auf der Platine.

durch sich die Leistungsdichte verbessert. Drittens vereinfacht das Top-Side-Cooling das Design der Leiterplatte, da die Unterseite vollständig für elektrische Verbindungen genutzt werden kann und nicht für komplexe thermische Durchgangsstrukturen benötigt wird.

Niedrigere Betriebstemperaturen tragen zudem zu einer längeren Lebensdauer der Komponenten und einer verbesserten Zuverlässigkeit des Gesamtsystems bei. Ein weiterer Vorteil ist, dass der Kühlkörper mechanisch von der Leiterplatte entkoppelt werden kann. Dadurch wird die Belastung der Lötstellen reduziert und Verformungen oder Risse bei Temperaturwechseln werden reduziert.

#### Erprobte Vorteile im Vergleich

Das oberflächengekühlte PowerPAK-8x8LR-Gehäuse von Vishay nutzt »Power Clips« statt Bonddrähten, um sowohl den elektrischen als auch den thermischen Widerstand zu minimieren. Zudem verfügt es über Gullwing-Anschlüsse, die für eine mechanische Entlastung

(Zugentlastung) sorgen (Bild 2). Der freiliegende »Drain Clip« auf der Oberseite des Gehäuses bietet einen Wärmepfad mit geringem Widerstand und ist die Grundlage für die Top-Side-Cooling-Eigenschaft. Hierdurch kann das Bauteil eine höhere Leistung erzielen, wenn ein Kühlkörper auf der Oberseite montiert ist. Da die Wärme direkt an den Kühlkörper abgeleitet wird, ist die Leiterplatte nicht mehr der dominierende Wärmepfad. Zudem können die thermischen Durchkontaktierungen im Bereich des MOSFETs auf der Leiterplatte vermieden werden. In Kombination mit einer Miniaturisierung der übrigen Komponenten ermöglicht dies Leiterplatten mit weniger Kupferanteil und somit geringeren Kosten.

Der direkte Vergleich verschiedener Kühlkonzepte zeigt die Vorteile der Oberseitenkühlung deutlich (Bild 3). In einem Versuchsaufbau wurden drei Kühlkonzepte gegenübergestellt: ein herkömmliches MOSFET-Gehäuse mit Kühlung über die Oberseite (Heat Sink und Air flow), dasselbe Gehäuse mit zusätzlicher Kühlanbindung an die Platine mittels Wärmeleitpad (17 W/mK), sowie das Top-Side-Cooled-Gehäuse PowerPAK 8x8LR mit opti-

mierter Oberseitenkühlung. Während bei niedrigen Strömen keine Unterschiede zwischen den Kühlkonzepten zu erkennen sind, zeigt sich bei höheren Strömen ein deutlicher Vorteil des Top-Side-Cooling-Ansatzes. Bei 110 A erreicht das Standardgehäuse mit lediglich oberseitiger Kühlung rund 115 °C, mit zusätzlicher PCB-Kühlung etwa 105 °C. Das PowerPAK 8x8LR mit Top-Side-Cooling hingegen nur etwas über 80 °C. Die Ergebnisse belegen: Die gezielte Abfuhr der Verlustwärme über das freiliegende Drain-Pad auf der Oberseite ist wesentlich effizienter als die klassische Entwärmung über die Leiterplatte. Somit kann die Leistungsgrenze des Systems ohne zusätzliche thermische Maßnahmen erhöht werden.

Um die Integrität der Verbindung zur Leiterplatte und eine hohe Zuverlässigkeit auf Leiterplattenebene zu gewährleisten, wurde das Gehäuse außerdem strengen Belastungstests unterzogen. Eine maximale Sperrschichttemperatur von bis zu 175 °C führt zu einer längeren Lebensdauer als bei Bauteilen mit niedrigeren Temperaturgrenzwerten.

#### Zukunftsfähiges Kühlkonzept

Geräte, bei denen Platz- und Wärmebeschränkungen eine kritische Rolle spielen, wie zum Beispiel Hochleistungsmodule, Kfz-Wechselrichter und Server-Stromversorgungen, profitieren besonders von der Top-Side-Kühlung. Durch die Weiterentwicklung der Gehäuse-technologien werden MOSFETs mit Oberseitenkühlung für ein breiteres Spektrum von Anwendungen immer zugänglicher und kostengünstiger. Neben dem 8 mm x 8 mm großen PowerPAK 8x8LR (Bild 4) bietet Vishay mit dem 5 mm x 7 mm großen PowerPAK SO-10LR und dem noch in diesem Jahr erhältlichen 10 mm x 15 mm großen PowerPAK 10x15LR Alternativen in verschiedenen Größen für unterschiedliche Leistungsstufen an.

Während das Bottom-Side- und das Dual-Side-Cooling in der Leistungselektronik nach wie vor ihren Platz haben, bietet die Oberseitenkühlung eine Alternative mit klaren Vorteilen in Bezug auf Leistung, Designflexibilität und langfristige Zuverlässigkeit. ■



Bild 4: Vishays MOSFET mit Oberseitenkühlung, PowerPAK 8x8LR.



Offenes Protokoll für dynamische Lichtsteuerung

# Digitales Licht über Open System Protocol

*Mit dem Open System Protocol (OSP) wird die Steuerung von LEDs neu definiert – egal, ob es um dynamische Lichtinszenierungen oder präzise Farbverläufe geht. OSP schafft die Grundlage für eine flexible Kommunikation zwischen Lichtquelle und Steuerung: Offen, skalierbar und bereit für vielfältige Anwendungen.*

VON HERMANN SENNINGER,  
SENIOR MARKETING MANAGER  
BEI AMS OSRAM, UND  
MARTIN HETZ, CORPORATE PRODUCT  
MANAGER OPTO BEI RUTRONIK

**M**it digitalem Licht lässt sich eine Lichtquelle individuell in ihrer Helligkeit und Farbgebung steuern. Diese Lichtquellen werden besonders interessant in Applikationen, die es ermöglichen, dynamische Farbeffekte darzustellen. Dazu werden einige zehn bis einige hundert Lichtquellen benötigt. Das Aufmacherbild zeigt eine exemplarische Anwendung dieser Technik und skizziert digitale Lichteffekte in den Seitentüren eines Fahrzeugs.

Um einen möglichst kompakten Aufbau dieser Applikationen zu ermöglichen und dabei auch die Dynamik der Lichteinstellung zu gewährleisten, ist es sinnvoll, diese Lichtquellen entsprechend intelligent und über ein geeignetes Protokoll anzusteuern. Das Protokoll sollte Farbgenauigkeit und Update-Rate auf

hohem Niveau bei gleichzeitig effizientem Ressourceneinsatz gewährleisten.

## Von RGB zu OSP

Eine Lichtfarbe wird in der Regel aus den drei Grundfarben Rot, Grün und Blau (RGB) gemischt. Abgeleitet aus den typischen Anforderungen an die Farbgenauigkeit im Automobilbereich ( $u'v' < 0,01$ ) ergibt sich eine Anforderung von etwa 16 Bit Auflösung pro Grundfarbe. Daraus resultiert eine Nutzdatenmenge von  $3 \times 16$  Bit pro Lichtquelle.

Die Update-Rate der Lichtquellen sollte jener eines guten Displays entsprechen, d. h. etwa 100 Hz bzw. 10 ms. Das Protokoll sollte außerdem so aufgebaut sein, dass eine



## Fortschrittliche LED-Lösungen: Mit OSIRE® LEDs von ams OSRAM

Profitieren Sie von der Entwicklung von Anwendungen für Innen- und Umgebungsbeleuchtung sowie Steuerelementen mit RGB mit dem Rutronik Adapter Board RAB5 – OSIRE. Der vielseitige Ansatz der Rutronik System Solutions eröffnet dank der Arduino-Schnittstelle, die die Stapelbarkeit verschiedener Platinen ermöglicht, eine Welt voller weiterer Möglichkeiten. Das RAB5 enthält als Schlüsselkomponente OSIRE® LEDs von ams OSRAM. Die LEDs sind für dynamische Umgebungsbeleuchtung ausgelegt und bieten einzeln adressierbare Chips für maximale Flexibilität bei der Auswahl von Farben und Treibern. Darüber

hinaus ermöglicht die benutzerfreundliche GUI von ams OSRAM eine einfache Programmierung jeder einzelnen LED, was die Benutzerfreundlichkeit und Anpassungsmöglichkeiten verbessert.

Die Kombination des Adapter Boards RAB5 mit dem Base Board RDK4 ist aufgrund des auf dem RDK4 integrierten automotive-qualifizierten Mikrocontrollers besonders effektiv. Genauer gesagt ergänzt der PSOC™ 4100S Max von Infineon mit einem kostengünstigen Arm® Cortex®-M0+ Automobil-Mikrocontroller diese Konfiguration durch nahtlose Integration und fortschrittliche Steuerungsfunktionen.



# OSP Overview

## OSP – Protocol-Stack – Physical Layer

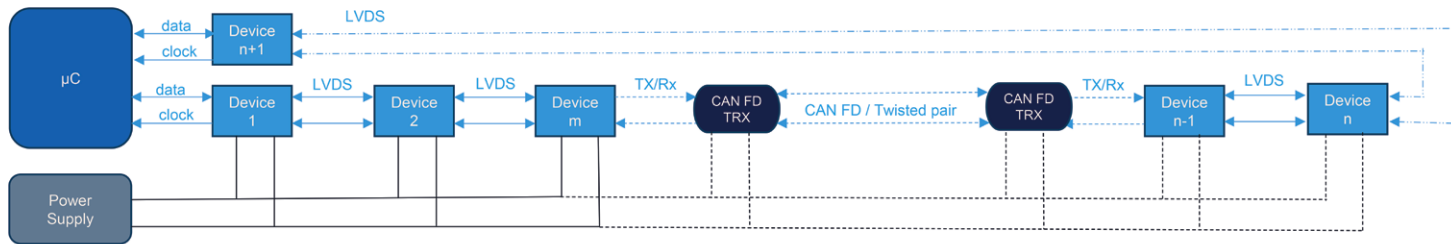


Bild 1: Überblick über OSP und eine mögliche physikalische Anordnung des µC und der Lichtquellen. (Bilder: ams OSRAM)

Integration in einer Lichtquelle kompakt, d. h. auf kleinstem Bauraum und kostengünstig, erfolgen kann. Ziel war die Integration in eine RGB-LED, also eine LED mit drei Chips in den Grundfarben Rot, Grün und Blau. Unter diesen Gesichtspunkten wurde ein Protokoll definiert, das unter dem Namen Open System Protokoll, kurz OSP, veröffentlicht wurde. [1]

OSP erlaubt die bidirektionale oder ringförmige Ansteuerung einer Kette von Lichtquellen durch einen Mikrocontroller (µC). Bild 1 zeigt eine mögliche physikalische Anordnung des µC und der Lichtquellen, die hier allgemein als Nodes bezeichnet werden. Die elektrische Datenübertragung zwischen den Nodes kann über LVDS oder auch über CAN FD (Physical Layer) erfolgen. Die Übertragungsrate beträgt 2,4 MHz, die Daten sind Manchester-codiert.

Das »Open System Protocol« trägt seinen Namen zu Recht, denn es ist ein offenes Protokoll, das allen Entwicklerinnen und Entwicklern die Möglichkeit bietet, eigene Anwendungen lizenzkostenfrei daraufzusetzen. Eine Normierung des Protokolls wurde gerade initiiert.

OSP ermöglicht außerdem die Erfüllung der oben genannten Anforderungen an Updatefrequenz und Farbgenauigkeit für einen Streifen oder eine Fläche von 200 mit diesen intelligent ausgestatteten RGB-LEDs. Damit wären Umsetzungen wie eine Türverkleidung möglich. Es könnten beliebige Muster oder reale Bilder in Echtzeit dargestellt werden. Grundsätzlich erlaubt OSP, bis zu 1.000 Nodes anzusprechen und mit bis zu 64 Nutzdaten pro Telegramm anzusteuern.

### Mikrocontroller zur Steuerung von OSP-Netzwerken

Die Umsetzung von OSP wurde bereits vorgenommen und hat zu zwei Bausteinen geführt: einer intelligenten RGB-LED und einem intel-

ligenten Stand-Alone-Treiber. [2, 3] Diese beiden Elemente können in einem OSP-Netzwerk miteinander verbunden werden. In der Regel wird dieses Netzwerk von einem Mikrocontroller oder einem Gateway-Controller gesteuert. Dazu muss dieser ebenfalls das OSP-Protokoll bzw. das OSP-Protocol-Stack implementiert haben. Es gibt bereits eine Vielzahl von Controllern mit diesem OSP-Protokoll-Stack, beispielsweise Controller von Infineon (Traveo T2G, PSOC) und anderen MCU-Herstellern. Hinzu kommen auf Arduino basierende Boards wie das Rutronik Development Kit RDK4 mit dem aktuellen Adapter Board RAB5 – OSIRE (siehe Infobox) für die schnelle und einfache Inbetriebnahme.

Mit OSP steht nun ein Protokoll zur Verfügung, das seinen Grundanforderungen entsprechend einem hohen Downstream von Daten von einem Controller zu den angehängten OSP-Nodes ermöglicht. OSP bietet dem Controller aber auch die Möglichkeit, Daten aus dem Netzwerk abzuholen. Dies kann zu Diagnosezwecken erfolgen, grundsätzlich kann der Controller aber auch Daten aus dem Netzwerk lesen. Darüber hinaus legt OSP den Typ der Nodes im Netzwerk nicht fest. Es kennt nur Daten, keine Inhalte. Dadurch können neben den angesprochenen Lichtquellen auch weitere Node-Typen wie Aktuatoren oder Sensoren in ein Netzwerk integriert und über den Controller gesteuert werden. Somit ergibt sich ein Netzwerk, das neben der reinen Lichtdarstellung auch andere Aufgaben und Funktionen übernehmen kann.

Um im OSP-Netzwerk erkannt und angesteuert werden zu können, muss jeder Node OSP integriert haben. Alternativ kann ein nicht OSP-fähiges Gerät über ein kleines Gateway in das OSP-Netzwerk integriert werden. Der bereits erwähnte intelligente Stand-Alone-Treiber bietet unter anderem genau diese Funktion in Form eines OSP-zu-I2C-Gateways. Damit können Aktuatoren und Sensoren über ihre I2C-Schnittstelle in das OSP-Netzwerk integriert werden.

Die Integration weiterer Sensoren und Aktuatoren in eine Lichtapplikation wurde bereits in ersten Prototypen umgesetzt. Alle Funktionen werden über ein und dasselbe OSP-Netzwerk ermöglicht.

### Digitales Licht und mehr

Der Begriff »mehr« bezieht sich ausschließlich auf die Funktionalität: OSP erlaubt mehr als nur eine reine Lichtansteuerung und bietet ein erweitertes Anwendungsspektrum. OSP wurde zwar speziell für die Anwendung im Fahrzeug entworfen, kann aber natürlich auch für weitere Anwendungen eingesetzt werden. OSP steht allen offen, um weitere und eigens entwickelte Funktionen darauf aufzusetzen. OSP kann somit von allen Entwicklerinnen und Entwicklern genutzt und auch erweitert werden. Um diese Offenheit zu unterstreichen, hat ams OSRAM ein OSP-Software-Paket für Arduino entwickelt und auf GitHub bereitgestellt. [4, 5] Die dort zur Verfügung gestellte Software ist frei verfügbar. Neben der Software werden unterstützende Materialien wie ein Tutorial, Videos und Trainingsfolien angeboten.

### Referenzen

- [1] [https://github.com/RutronikSystemSolutions/RDK4\\_REV2\\_RAB5-OSIRE\\_DEMO](https://github.com/RutronikSystemSolutions/RDK4_REV2_RAB5-OSIRE_DEMO)
- [2] <https://look.ams-osram.com/m/46e569ad50283dc5/original/OSIRE-E3731i-Open-System-Protocol.pdf>
- [3] <https://ams-osram.com/news/press-releases/osire-e3731i-rgb-led>
- [4] <https://ams-osram.com/news/blog/as1163-said-led-driver-connects-any-led-to-osp-automotive-lighting-network>
- [5] [https://github.com/ams-OSRAM/OSP\\_aotop](https://github.com/ams-OSRAM/OSP_aotop)



Integration von Leistungselektronik in Drive Units

# Kompakte Module für modulare Traktionssysteme

*Hohe Stromdichte, einfache Montage und thermische Anbindung – neue Leistungsmodule unterstützen die Umsetzung kompakter Antriebseinheiten für Elektrofahrzeuge. Am Beispiel eines integrierten E-Achsantriebs wird deutlich, wie sich Designfreiheit, Effizienz und Plattformfähigkeit kombinieren lassen.*

VON JOHANNES WÜRDEN,  
KEY ACCOUNT MANAGER BEI ROHM,  
UND ANDREAS MÜNZER,  
SENIOR MANAGER PRODUCT MARKETING  
POWER BEI RUTRONIK

**U**m die Verbreitung von xEVs voranzutreiben und Klimaziele wie Kohlenstoffneutralität zu erreichen, sind leichtere, effizientere und platzsparende Antriebe erforderlich. Insbesondere der Wirkungsgrad des Umrichters hat Einfluss auf die Reichweite und die Größe der Batterie. Entwicklerinnen und Entwickler stehen unter Druck, Systeme mit geringem Gewicht, hoher Effizienz und einfacher Integration zu realisieren.

*SiC-Leistungselektronik  
ermöglicht kompakte Antriebe*

Siliziumkarbid (SiC) ist als Schlüsselmateriale für die nächste Generation der Leistungselek-

tronik etabliert. Moderne SiC-MOSFETs bieten höhere Schaltfrequenzen bei gleichzeitig geringeren Verlusten und liefern damit eine wichtige Grundlage für kompaktere, effizientere und einfacher zu kühlende Traktionssysteme im Fahrzeug.

Gerade elektrische Antriebe verlangen hohe Leistungsdichten sowie eine zuverlässige und zugleich einfache Wärmeabfuhr. Obwohl SiC grundsätzlich effizient arbeitet, müssen Verlustleistung und thermische Kopplung gezielt kontrolliert werden, um eine kompakte Bauweise ohne thermische Einschränkungen zu ermöglichen. Ein Beispiel für eine solche optimierte Lösung ist die TRCDrive pack-Modulserie von Rohm (Bild 1). Zwei vollständige SiC-





Halbbrücken sind hier im 2-in-1-Prinzip in einem Modul vereint und ermöglichen so besonders kompakte, leistungsstarke Wechselrichter-Aufbauten.

Die technischen Highlights im Überblick:

- SiC-MOSFETs der vierten Generation (bis 1200 V/600 A<sub>RMS</sub> je Modul)
- 2-in-1-Halbbrücken für besonders kompakte Wechselrichter
- Einseitige, hoch-effiziente Wärmeabfuhr
- Top-Side-Press-Fit-Anschlüsse, wodurch die Unterseite vollständig für wärmetechnische Anbindung verfügbar ist
- Parasitärarme Zweilagigen-Busbar (nur 5,7 nH)
- Temperaturbereich von -40 °C bis +175 °C

Modulvarianten stehen in zwei Gehäusegrößen (für unterschiedliche Leistungen und Einbaugrößen) und mit wahlweise Ag-Sinterfläche oder vorapplizierter Wärmeleitfolie zur Verfügung. Beide Varianten unterstützen die einseitige Wärmeabfuhr und ermöglichen eine unkomplizierte Integration ins Kühlsystem.

Die verfügbaren Ausführungen decken sowohl 750-Volt- als auch 1200-Volt-Systeme ab und eignen sich damit für die Integration in unterschiedlichste Fahrzeugarchitekturen, von kompakten Elektrofahrzeugen bis hin zu leistungsstarken SUVs oder leichten Nutzfahrzeugen.

#### Integrierter Antrieb mit SiC-Modul

Ein aktuelles Beispiel für den Einsatz dieser Modultechnik ist das E-Achsenmodul von Valeo: Elektromotor, Wechselrichter und Getriebe werden in einer platzsparenden Einheit kombiniert.

Dank der TRCDrive pack-Module reicht eine einseitige, hocheffiziente Wärmeabfuhr aus und komplexe Kühlarchitekturen oder doppel-seitige Kontaktierung sind nicht mehr nötig.

Die Top-Side-Press-Fit-Anschlüsse erleichtern die Systemintegration weiter: Alle wesentlichen elektrischen Signale werden oberseitig angebunden, die wärmeabführende Unterseite bleibt für das Kühlsystem frei. Daraus ergeben sich geringere Bauhöhe, reduziertes

Gewicht sowie vereinfachte Schnittstellen für Montage und Service.

Durch die geringe parasitäre Induktivität und die hohe Stromdichte eignen sich die Module besonders für moderne Plattformarchitekturen und flexible Fahrzeugkonzepte. Die hohe Modularität ermöglicht individuelle Anpassungen für verschiedene Fahrzeugsegmente und reicht vom kompakten Elektro-Pkw bis zum leistungsstarken SUV oder Nutzfahrzeug.

Das gezeigte System wurde unter anderem für Anwendungen in der Hinterachse konzipiert. Die enge räumliche Integration von Motor, Umrichter und Getriebe stellt erhöhte Anforderungen an das EMV-Verhalten und die Wärmeleitung. Genau diese Anforderungen können mit dem gewählten Modulkonzept effizient erfüllt werden.

#### Von der Evaluierung zur Serie

Für eine praxisnahe Entwicklung und schnelle Systemintegration stehen zwei aufeinander abgestimmte Evaluierungskits zur Verfügung (Bild 2). Mit dem Doppelpulstest-Kit können einzelne Module unter realitätsnahen Bedingungen charakterisiert werden, beispielsweise um Schaltverluste und das dynamische Verhalten zu analysieren. Es umfasst ein optimiertes Leiterplattenlayout mit Gate-Treiber, Stromführung und thermischer Schnittstelle.

Das 3-Phasen-Vollbrücken-Kit bildet eine komplette Traktionswechselrichter-Topologie

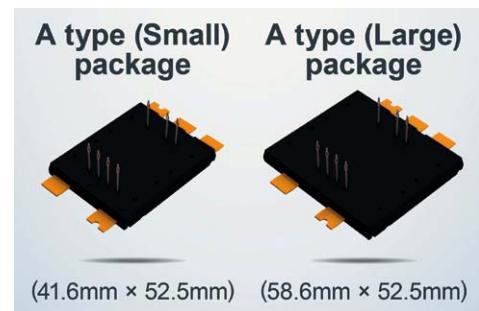


Bild 1: Module der TRCDrive pack-Serie mit einseitiger Wärmeabfuhr und Press-Fit-Anschlüssen sind in zwei Gehäusegrößen und verschiedenen Leistungsvarianten erhältlich. (Bilder: Rohm Semiconductor)

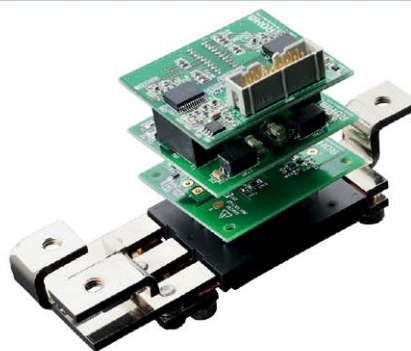
ab. Es unterstützt Applikationen mit mehreren Modulen und ist auf Laboraufbauten sowie frühe Fahrzeugtests ausgelegt. Es sind passende Gate-Treiber, DC-Link-Anschlüsse und mechanische Schnittstellen für Montage und Kühlung integriert.

Beide Kits erleichtern die Inbetriebnahme, Systemabstimmung und thermische Bewertung und sind somit ein praxisnahes Werkzeug für die Überführung vom Labor in die Serienentwicklung.

#### Fazit

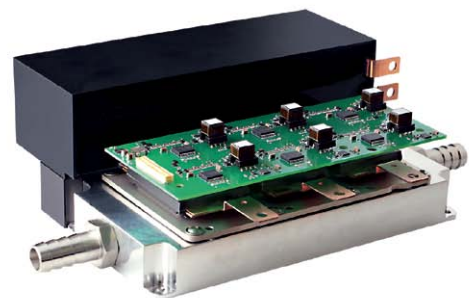
Durch die Kombination aus modularer Hardwarebasis und verfügbarem Entwicklungsequipment lassen sich Entwicklungszeiten verkürzen, Varianten vereinheitlichen und neue Fahrzeugkonzepte effizient umsetzen. Somit unterstützen sie die Entwicklung modularer Architekturen für elektrische Antriebsstränge. ■

#### Evaluation Kit for Double-Pulse Testing



- Made for quick and easy evaluation in standard test setups

#### Evaluation Kit for 3-Phase Full Bridge Applications



- Specialized low-inductance capacitor welded
- Built-in cooling system

Bild 2: Für eine praxisnahe Entwicklung und schnelle Systemintegration stehen zwei aufeinander abgestimmte Evaluierungskits zur Verfügung. Sie ermöglichen es, die TRCDrive pack-Module unter realitätsnahen Bedingungen zu charakterisieren und im System zu erproben.

Professionelle Stromversorgungen für Factory Automation

# Mehr Effizienz im Schaltschrank

*Moderne Automatisierung verlangt nach platzsparenden, robusten und wartungsfreundlichen Stromversorgungslösungen. Neue Konzepte setzen auf hohe Leistungsreserven, clevere Schutzmechanismen und eine einfache Handhabung, selbst unter anspruchsvollen Industriebedingungen.*

VON MICHAEL PETERS,  
BUSINESS & PRODUKT MANAGER  
BEI RECOM, UND ANDREAS MÜNZER,  
SENIOR MANAGER PRODUCT MARKETING  
POWER BEI RUTRONIK

Eine zuverlässige Stromversorgung bildet das Rückgrat jeder Automatisierungslösung. In industriellen Anwendungen sind die Anforderungen besonders hoch: Intelligente Systeme, kompakte Schaltschränke, höhere Umgebungstemperaturen und kürzere Wartungszyklen setzen konventionellen Netzteilen enge Grenzen. Bei der Auswahl rückt deshalb immer stärker das Gesamtsystem in den Fokus – inklusive Zusatzfunktionen, Lebensdauer und Montagefreundlichkeit.

## Auswahlkriterien für Netzteile in der Fabrikautomation

Die Auswahl geeigneter Power Supplies für die Fabrikautomation ist eine zentrale Entscheidung, die maßgeblich die Zuverlässigkeit, Effizienz und Sicherheit der gesamten Anlage beeinflusst. Moderne Fertigungsumgebungen stellen hohe Anforderungen an die Stromversorgung, da sie kontinuierlich und häufig unter rauen Bedingungen betrieben werden.

Daher müssen bei der Auswahl verschiedene technische und wirtschaftliche Aspekte sorgfältig abgewogen werden, um einen störungsfreien und wirtschaftlichen Betrieb sicherzustellen:

- Konstante Ausgangsspannung auch bei schwankender Last und rauen Umgebungsbedingungen.
- Ein Überlast-, Überspannungs- und Kurzschlusschutz ist für die Langlebigkeit des Netzteils und der Endgeräte essenziell.
- Ein Wirkungsgrad von über 90 Prozent reduziert Energieverluste und minimiert die Wärmeentwicklung.
- DIN-Schienen-Netzteile ermöglichen flexible Erweiterungen und eine einfache Wartung.
- Erfüllung von Normen wie UL, CE und RoHS stellen den weltweiten industriellen Einsatz sicher.



Bild 1: Die Racproo1-Serie wurde 2025 mit dem Red Dot Award für Produktdesign ausgezeichnet – ein Beleg für die gelungene Verbindung von technischer Neuerung und ansprechender Gestaltung. (Bilder: Recom)



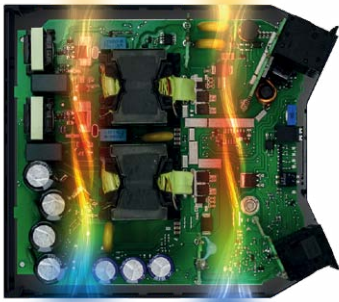


Bild 2: Die Racpro1 DIN-Schienen-Netzteile nutzen den Kamineffekt voll aus: Die internen Komponenten sind so positioniert, dass sie zwei vertikale Kamine bilden. Wenn die Wärme aufsteigt, wird Luft durch diese Kanäle gesaugt und kühlt die Komponenten.

- Moderne Netzteile bieten Fernüberwachung und Diagnosefunktionen, um die Anlagenverfügbarkeit zu steigern.
- Neben der Summe aller Verbraucher sollte eine Reserve von mindestens 25 Prozent eingeplant werden.
- Besonders bei Motoren oder Aktoren muss das Netzteil kurzfristige Lastspitzen abde-

cken können, ohne überdimensioniert zu sein.

- Temperaturbereich, Feuchtigkeit, Vibrationen und Staubbelastung müssen berücksichtigt werden.
- Eine werkzeuglose Montage, eine kompakte Bauform und eine einfache Diagnose erleichtern Installation und Instandhaltung.
- Langlebige Komponenten und hohe mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen (Mean Time Between Failures) MTBF-Werte (> 80.000 h) sind wirtschaftlich vorteilhaft.

Es wird deutlich, dass moderne Netzteile weit aus mehr leisten müssen, als nur eine stabile Spannungsversorgung bereitzustellen, um den anspruchsvollen Bedingungen industrieller Umgebungen gerecht zu werden.

Um eine dauerhaft zuverlässige Versorgung zu garantieren, muss das thermische Verhalten der Netzteile bereits bei der Auslegung berücksichtigt werden. Bei Umgebungstempe-

raturen über 60 °C beginnt das sogenannte Derating: Die maximal verfügbare Ausgangsleistung reduziert sich in Abhängigkeit von Temperatur und Einbauumgebung. Für Planer und Schaltschrankbauer ist die Berücksichtigung der Derating-Kennlinien daher unerlässlich und dies insbesondere bei hoher Packungsdichte oder begrenztem Luftstrom.

*Kompakt, leistungsstark  
und bereit für Spitzenlasten*

Die Racpro1-Serie wurde genau auf diese Anforderungen abgestimmt (Bild 1). Dank der werkzeuglosen Push-In-Anschlüsse im 25°-Design ist eine zeitsparende und wartungsfreie Integration auf der DIN-Schiene möglich. Die Geräte zeichnen sich darüber hinaus durch ihre kompakte Bauform (ab 43 mm Breite erhältlich) sowie eine aktive Einschaltstrombegrenzung und eine Lebensdauer von über 80.000 Stunden bei 40 °C unter Volllast aus.

Zur Minimierung thermisch bedingter Leistungsverluste nutzt das Gehäusedesign den

Anzeige

**amun OSRAM**

# A global leader in innovative light and sensor solutions

Our commitment to pushing the boundaries of **illumination**, **visualization**, and **sensing** has earned us the trust of customers worldwide. We enable breakthrough applications in **industry**, **automotive**, **lighting** and **medical & health** applications.



Lighting



Industry



Medical & health



Automotive

Learn more:



	Racpro1-T240	Racpro1-T480	Racpro1-T960
<b>Breite</b>	43 mm	52 mm	80 mm
<b>Effizienz</b>	bis zu 94,1 %	bis zu 95,3 %	bis zu 97,1 %
<b>Funktionale Merkmale</b>	Aktive Einschaltstrombegrenzung; 2-Phase-AC-Betrieb 2x350 V bis 2x575 V	PFC > 0,9 und aktive Einschaltstrombegrenzung; passive Lastaufteilung im Parallelbetrieb und LED-Lastanzeige	PFC > 0,9 und aktive Einschaltstrombegrenzung; passive Lastaufteilung im Parallelbetrieb und LED-Lastanzeige
<b>Gewicht</b>	500 g	800 g	1140 g

Tabelle 1: Vergleich der drei Racpro1-Modelle.

sogenannten Kamineffekt: Warme Luft steigt durch vertikale Kanäle auf und zieht kühlere Luft von unten nach. Diese natürliche Konvektion sorgt ganz ohne Lüfter für eine effektive Wärmeabfuhr und sichert die volle Leistungsfähigkeit der Geräte bis zu Umgebungstemperaturen von 60 °C (Bild 2).

Neben der Gehäusekonstruktion trägt auch das optimierte Leiterplattenlayout (PCB) zur thermischen und elektrischen Stabilität bei. Breite Kupferflächen zur Wärmeverteilung, die gezielte Platzierung wärmeerzeugender Komponenten und eine luftstromgerechte Leiterbahnführung ermöglichen eine effiziente passive Kühlung. Dadurch wird die Lebensdauer der Bauteile erhöht und die Ausfallwahrscheinlichkeit unter Volllast gesenkt.

Ein weiterer Vorteil sind die Leistungsreserven: Neben der Dauerleistung bei einer Umgebungstemperatur von 60 °C ermöglichen die Geräte bei einer reduzierten Umgebungstem-

peratur von 45 °C eine zusätzliche Leistungsabgabe von 120 Prozent und darüber hinaus bei 60 °C einen Power-Boost von 150 Prozent für fünf Sekunden – ideal bei impulsartigen Lastwechseln.

Das System wird durch elektronische 4-Kanal-Sicherungen (e-Fuses) ergänzt, die den Anwenderinnen und Anwendern eine Überwachung der 24-V-Stromkreise ermöglichen. Mit selektivem Schutz können einzelne Verbraucher im Fehlerfall gezielt abgeschaltet werden, sodass wichtige Verbraucher, beispielsweise Steuerungen, im Betrieb bleiben. Diodenschaltungen mit MOSFET-Technologie ermöglichen die verlustarme Verschaltung mehrerer Netzteile zur redundanten Versorgung sicherheitskritischer Systeme oder zur Leistungserhöhung. Eine aktive Einschaltstrombegrenzung schont zudem die Kontakte der vorgeschalteten Sicherungsautomaten. Ein Vergleich der Modelle Racpro1-T240, -T480 und -T960 zeigt Tabelle 1.

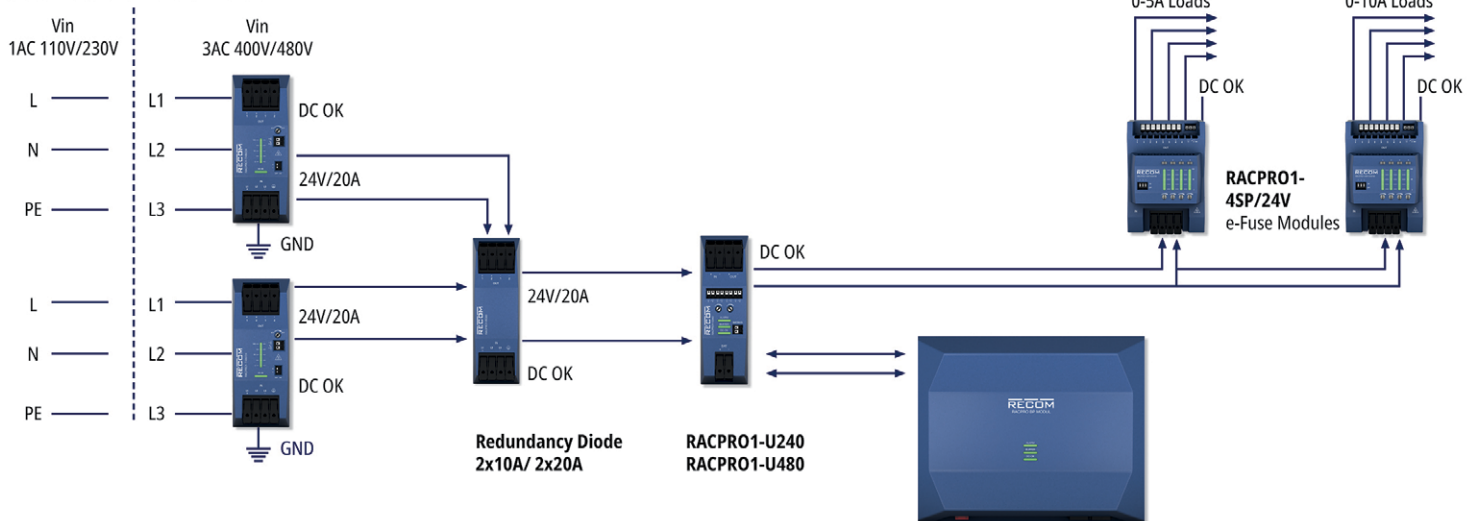
## Fazit und Ausblick

In der modernen Fabrikautomation sind Netzteile keine »passiven« Komponenten mehr, sondern zentrale Systembausteine. Sie müssen Energieeffizienz, Betriebssicherheit und Wartungsfreundlichkeit vereinen. Neben der Spannungsversorgung übernehmen sie zunehmend auch Funktionen wie Diagnose, Schutz und Kommunikation.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, müssen Netzteile heute nicht nur leistungsfähig und kompakt sein, sondern auch über intelligente Schutzmechanismen und robuste Designs verfügen.

Die Netzteile der Racpro1-Serie sind für den zentralen und dezentralen Einsatz im Schaltschrank oder direkt an der Maschine konzipiert. In Kombination mit elektronischen Sicherungen, Redundanzdioden sowie unterbrechungsfreien Stromversorgungs-(USV)-Systemen bilden sie ein modulares Versorgungssystem, das vollständig DIN-Schienen-kompatibel ist und sich einfach integrieren lässt (Bild 3). Rutronik unterstützt mit einem durchgängigen Sortiment, technischer Beratung und Systemkompetenz dabei, eine zukunftssichere Stromversorgungsarchitektur von der Quelle bis zur Last zu realisieren.

## SINGLE TRIPLE



### SYSTEM COMPONENTS

#### Power Supply Units

<b>Single Phase:</b>	<b>Triple Phase:</b>
RACPRO1 - S120	RACPRO1 - T240
RACPRO1 - S240	RACPRO1 - T480
RACPRO1 - S480	RACPRO1 - T960

#### Redundancy Diode

RACPRO1 - RD

#### DC UPS Systems inclusive Battery Pack

RACPRO1 - U240  
RACPRO1 - U480  
24V Battery Pack  
Automatic Constant Current/  
Constant Voltage Charging Mode

#### Selective Protection e-Fuse

RACPRO1 - 4SP/24V/5A  
RACPRO1 - 4SP/24V/10A

Bild 3: Racpro1-Familie bieten DIN-Schienen Stromversorgungs-lösungen für Applikationen in der Automatisierung.





Edge-Computing trifft auf KI-Effizienz

# Schnell entwickeln, intelligent bereitstellen, effizient weiterentwickeln

*Der Trend zur Intelligenz am Netzwerkrand verändert die Entwicklung moderner Systeme und erfordert nicht nur präzise KI-Modelle, sondern auch agile, effizient integrierbare Plattformen.*

VON TORSTEN MASSHOLDER,  
SENIOR MANAGER PRODUCT MARKETING  
DIGITAL BEI RUTRONIK

**D**ie Entwicklung intelligenter Edge-KI-Lösungen erfordert mehr als nur präzise KI-Modelle oder leistungsfähige Hardware. Im Fokus steht die Agilität des gesamten KI-Lebenszyklus: Wie schnell lassen sich Modelle entwickeln und bereitstellen und wie flexibel sind sie in Bezug auf Hardware- und Softwareänderungen?

Moderne Edge-Lösungen müssen komplexe Aufgaben wie Bild- und Spracherkennung oder Anomalie-Detektion in Echtzeit und unter strengen Ressourcen- und Energieauflagen bewältigen können. Dafür ist eine Plattformarchitektur erforderlich, die sich nahtlos in verschiedenste Anwendungsfelder integrieren lässt und das von der Industrie bis hin zum Smart Retail.

## Entwicklungsplattform mit Weitblick

Edge-Anwendungen stellen je nach Einsatzbereich ganz unterschiedliche Anforderungen an Rechenleistung, Schnittstellen, Grafik und KI-Fähigkeiten. Die Genio-Plattform von MediaTek bewältigt diese Herausforderungen durch einen einheitlichen Ansatz, bei dem speziell für den Einsatz in Edge-KI-Anwendungen entwickelte SoCs (System-on-a-Chip) mit dem Neuropilot SDK (Software Development Kit) kombiniert werden. Das Neuropilot SDK unterstützt zahlreiche Schnittstellen, u. a. zu den TAO-KI-Modellen von Nvidia. Dadurch erhalten Anwenderinnen und Anwender eine konsistente SDK- und Board-Unterstützung über die gesamte Produktpalette hinweg.

Tabelle 1 zeigt die aktuell verfügbaren Derivate, die sich speziell für anspruchsvolle Edge-KI-Anwendungen eignen. Diese reichen von energieeffizienten Einstiegsvarianten bis hin zu leistungsstarken Varianten für Vision-, HMI- (Human-Machine-Interface) oder generative KI-Anwendungen.

Die Plattformen bieten nicht nur eine große Leistungsvielfalt, sondern setzen auch bei Funktionsumfang und Zukunftssicherheit Maßstäbe:

- Arm Cortex-A5 / A7 Multicore-Architekturen für eine effiziente Verarbeitung,
- 10 Jahre Produktunterstützung für Investitionssicherheit,
- 6-nm-Fertigungstechnologie,

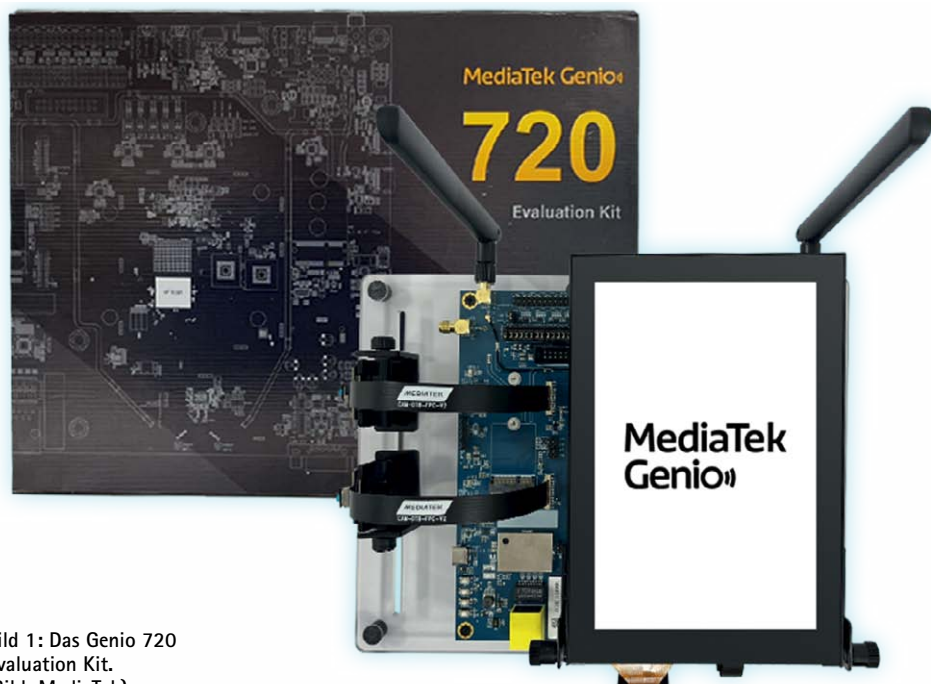


Bild 1: Das Genio 720 Evaluation Kit.  
(Bild: MediaTek)



SoC	Genio 350 (MT8365)	Genio 510 (MT8370)	Genio 700 (MT8390)	Genio 520 (MT8371)	Genio 720 (MT8391)	Genio 1200 (MT8395)
Process	14 nm	6 nm	6 nm	6 nm	6 nm	6 nm
CPU	4x CA53 (2,0 GHz)	2x CA78 (2,0 GHz) 4x CA55 (2,0 GHz)	2x CA78 (2,2 GHz) 6x CA55 (2,0 GHz)	2x CA78 (2,2 - 2,4 GHz) 6x CA55 (1,8 - 2,0 GHz)	2x CA78 (2,4 - 2,6 GHz) 6x CA55 (1,8 - 2,0 GHz)	4x CA78 (2,2 GHz) 4x CA55 (2,0 GHz)
GPU	Mali-G52	Mali-G57 MC2	Mali-G57 MC3	Mali-G57 MC2		Mali-G57 MC5
NPU	1x VP6 0,35 TOPS	1x MDLA3.0 + 1x VP6, 3,2 TOPS	1x MDLA3.0 + 1x VP6 4,0 TOPS	MediaTek 8th Generation NPU 9 TOPS		2x MDLA2.0 + 2x VP6 4,8 TOPS
Audio DSP	HiFi-4	HiFi-5		N/A		HiFi-4
Memory	DDR3L/DDR4/LP3/ LP4-3200, up to 4 GB	2-ch or 4-ch 16-bit LP4(x)-3733, up to 8 GB		2-ch 16-bit LP4x-4266, up to 8 GB / 2-ch 16-bit LP5(X)-6400, up to 16 GB		4-ch 16-bit LP4(x)-4266, up to 16 GB
Storage	eMMC5.1	eMMC5.1		eMMC5.1, UFS3.1 2L, SPI NOR		UFS2.1, eMMC5.1
Display	Dual Display FHD60 + HD60	Dual Display FHD60 + 4K60		Single: UW5K60 or 4K60 Dual: 2,5K60 + 2,5K60		Dual Display (4K60 + 4K60) Triple Display (FHD60 + FHD60 + 4K60)
	MIPI-DSI + LVDS/DPI	MIPI-DSI/eDP + HDMI/DP		MIPI-DSI/LVDS/eDP/DP (Type C)		MIPI-DSI + eDP + HDMI/DP
Video Input	2x MIPI CSI-2	2x MIPI CSI-2		2x MIPI CSI-2, 16 MP @ 30 fps ,or' 6x FHD30 with Virtual Channels	2x MIPI CSI-2, 16+16 MP or 32 MP @ 30 fps ,or' 6x FHD30 with Virtual Channels	3x MIPI CSI-2, 1x HDMI 2.0
VDEC	1080P60, H.265/H.264/VP9	4K60, AV1/VP9/ H.265/H.264	4K75, AV1/VP9/ H.265/H.264	4K60, H.265/H.264/VP9		4K90, AV1/VP9/H.265/H.264
VENC	1080P60, H.265/H.264	4K30, H.265/H.264		4K30, H.265/H.264		4K60, H.265/H.264
Peripheral	2x USB2 (1x OTG, 1x Host), 3x UART, 4x I <sup>2</sup> C	1x PCIe2.0, 1x USB3.1, 2x USB2.0, 4x UART		1x PCIe2.0, 1x USB3.2 Gen1 (Type C) (1 shared with DP), 3x USB2.0		1x PCIe3.0, 1x PCIe2.0/ USB3.1, 1x USB3.1, 2x USB2.0, 6x UART
	10/100 Ethernet MAC	1x GbE MAC (TSN)		1x GbE MAC (TSN)		1x GbE MAC (TSN)
Op. Temp	-20 ~65 °C (Ta)	Consumer: -20 to 90 °C Tj Industrial: -40 to 105 °C Tj		Consumer: -20 to 90 °C Tj Industrial: -40 to 105 °C Tj		Consumer: -20 to 90 °C Tj Industrial: -40 to 105 °C Tj

Tabelle 1: Vergleich verschiedener Genio-Modelle, die von der energieeffizienten Einstiegsvariante bis hin zur leistungsstarken Version reichen. (Quelle: MediaTek)

- dedizierte APU (Accelerated Processing Unit) für Echtzeit-KI,
- Sicherheitsfunktionen auf SoC-Ebene,
- und ein einheitliches SDK für schnelle Entwicklung.

#### KI-Modelle schneller zur Marktreife bringen

Für die schnelle Evaluierung stehen auf alle Plattformvarianten abgestimmte, vollständig ausgestattete Kits mit Touchdisplay, Kamera, WLAN und GPIO bereit. Sie ermöglichen direkte Tests mit Video-, HMI- oder KI-Anwendungen und bieten zahlreiche Schnittstellen (u. a. MIPI-DSI, MIPI-CSI, LVDS, HDMI sowie GbE, PCIe, USB und CAN-FD).

Darüber hinaus sind SBC-Lösungen in unterschiedlichen Formfaktoren verfügbar, etwa als SMARC-, OSM- oder andere SOM-Formate, und ermöglichen eine schnelle Integration in eigene Systeme. Die Partnerlösungen decken verschiedene Größen, Temperaturbereiche und Betriebssysteme (Yocto Linux, Android, Ubuntu) ab. Sie ermöglichen die direk-

te Umsetzung von Edge-KI-Projekten, was insbesondere für Prototypen oder Geräteserien in kleineren und mittleren Stückzahlen interessant ist.

Die MediaTek Genio-Plattform vereinfacht die Entwicklung von Edge-KI-Anwendungen durch einen umfassenden Technologie-Stack:

- Nvidia TAO-Integration: Zugriff auf über 100 vortrainierte Modelle für Bild- und Spracherkennung. Diese können ohne erneutes Training direkt für verschiedene Vision-AI-Anwendungsfälle angepasst und eingesetzt werden.
- Das MediaTek NeuroPilot SDK ist ein leistungsstarkes KI-Framework, das die effiziente Ausführung von KI-Modellen auf MediaTek NPUs ermöglicht. Es bietet:
  - Nahtlose Modellkonvertierung konvertiert ONNX-Modelle in TFLite für optimierte Inferenz.
  - Hardwarebeschleunigung nutzt Mediateks MDLA (Deep-Learning-Accelerator) für eine leistungsstarke KI-Verarbeitung.
  - Breite Kompatibilität unterstützt mehrere KI-Frameworks, darunter ONNX Runtime und PyTorch.

- Plattformübergreifendes SDK beschleunigt die Entwicklung und Wartung über die gesamte Genio-Familie hinweg. Einmal entwickelte Lösungen sind flexibel auf weitere Produkte übertragbar, was Zeit und Kosten spart.

Durch diese Kombination werden die Entwicklung, Portierung und Skalierung von KI-Modellen deutlich vereinfacht und beschleunigt.

#### Vom Training im Wohnzimmer bis zur Fertigungslinie

Die KI-fähige Edge-Plattform von MediaTek wird bereits in den Bereichen Smart Retail, Industrie, Gesundheitswesen und Logistik eingesetzt. In jedem Fall können Kunden trainierte KI-Modelle wiederverwenden, sie schnell auf OEM-Boards implementieren und Produktlinien im Laufe der Zeit pflegen – und das bei minimaler Entwicklungsabweichung und maximaler Leistung pro Watt. Ergänzend dazu bietet Rutronik ein breites Partnernetzwerk im Bereich Embedded-KI, darunter Advantech, Adlink, Seco und Via. Diese stellen leistungsfähige Hardwarelösungen in unter-



schiedlichen Formfaktoren für den direkten Einsatz mit der Plattform bereit.

Zwei reale Anwendungsbeispiele zeigen, wie sich Edge-KI-Projekte, von einfachen Consumer-Produkten bis hin zu industriellen High-End-Systemen, skalieren lassen.

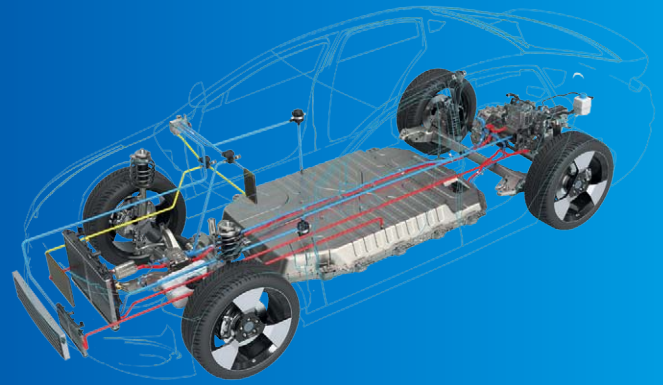
Das interaktive Boxtraining FightCamp basiert auf dem kompakten Genio 350 SoC und nutzt integrierte Bewegungssensoren und eine Kamera, um Schlagtechniken und Körperhaltung lokal zu erfassen, in Echtzeit zu analysieren und dem Nutzer ohne Cloud-Anbindung sofort zurückzumelden. Der geringe Stromverbrauch, die kompakte Bauform und die ausreichende KI-Leistung (0,35 TOPS) ermöglichen eine tragbare Lösung mit reaktionsschnellem Benutzerfeedback. Dank NeuroPilot SDK können Standardmodelle aus z. B. TensorFlow Lite direkt auf dem Gerät ausgeführt werden.

In modernen Fertigungslinien kommt der Genio 720 mit bis zu 9 TOPS KI-Rechenleistung und Unterstützung mehrerer hochauflösender Videostreams, darunter bis zu acht virtuelle Full-HD-Kanäle mit 30 fps, zum Einsatz. Die Plattform analysiert Qualitätsmerkmale wie Oberflächendefekte, Labeling oder Maßhaltigkeit direkt am Netzwerkrand. Dabei ermöglichen HDMI-In/Out, Dual-MIPI-CSI, Triple-Display-Support und eine Softwarebasis die Integration in bestehende industrielle IT-Systeme.

Für die Evaluierung steht das vollständig ausgestattete Development Kit Genio 720 (Bild 1) zur Verfügung – inklusive Touchdisplay, Kameraanbindung, CAN-FD, M.2-Slots und GPIO-Headern – und bildet damit die ideale Grundlage für KI-basierte Qualitätssicherung in der industriellen Praxis.

*Bereit für die Zukunft  
der KI*

Die MediaTek Genio-Plattform ist für kommende KI-Anforderungen am Edge bestens gerüstet. Dank des einheitlichen NeuroPilot SDK, welches Nvidia TAO integriert, lassen sich neue KI-Modelle flexibel, effizient und plattformübergreifend einsetzen. Der modulare Aufbau, die Unterstützung verschiedener Betriebssysteme und die langfristige Produktverfügbarkeit sichern Investitionen und ermöglichen eine schnelle Anpassung an zukünftige Entwicklungen. Damit bietet die Plattform eine zukunftssichere Basis für innovative Edge-KI-Anwendungen. ■



## HVC 5x

### Compact Embedded Motor-Controller Family for BLDC, BDC, and Stepper Motors

Valves, HVAC flaps and vents, grill shutters, door actuators, seat adjustment, fans, pumps, and other compact automotive actuators.



- 32-bit Arm® Cortex®-M3 with up to 64 kB Flash
- Three to six integrated half-bridges for DC, BLDC, and stepper motors (up to 2 A peak)
- Analog and digital peripherals for flexible control, including sensorless FOC
- Microstepping with current limiting for stepper motors
- Control of up to two DC motors simultaneously
- Compact PQFN24 package, AEC-Q100 Grade 1 qualified

Efficient, cost-effective motor control with LIN connectivity – tailored for modern automotive actuator design.

**Discover the possibilities of our  
embedded motor controllers!**





GaN-Motorsteuerung mit PSOC™ Control C3

# Intelligenz trifft Leistung

*Die Anforderungen an moderne Motorsteuerungen steigen stetig: Gefordert sind eine höhere Effizienz, kompaktere Bauformen und eine präzisere Regelung. Die Kombination aus Wide-Bandgap-Halbleitern und flexibler Mikrocontroller-Architektur zeigt, wie sich diese Anforderungen zukunftsicher erfüllen lassen.*

VON ANDREAS MÜNZER,  
SENIOR MANAGER PRODUCT MARKETING  
POWER BEI RUTRONIK, UND  
TORSTEN MASSHOLDER, SENIOR MANAGER  
PRODUCT MARKETING DIGITAL  
BEI RUTRONIK

**M**otorsteuerungen stehen unter hohem Entwicklungsdruck: Sie sollen effizienter, kompakter und präziser werden. Ob in der Robotik, bei Drohnen, in industriellen Anlagen oder im Bereich der Mikromobilität – gefragt sind Lösungen, die mehr Leistung bei weniger Bauraum ermöglichen. Eine zentrale Rolle spielen dabei Wide-Bandgap-Halbleiter, allen voran Galliumnitrid (GaN).

## Wide-Bandgap-Technologie auf dem Vormarsch

Im Gegensatz zu klassischen Silizium-MOSFETs zeichnen sich GaN-Transistoren durch eine Reihe entscheidender Vorteile aus (Bild 1).

Ein zentraler Aspekt ist die deutlich höhere Schaltgeschwindigkeit, die Schaltfrequenzen bis in den Megahertz-Bereich ermöglicht. Dadurch können kleinere passive Bauteile wie Induktivitäten und Kondensatoren eingesetzt werden, was zu kompakteren und leichteren Designs führt. Gleichzeitig resultieren aus der schnellen Schaltfähigkeit geringere Schaltverluste, wodurch sich die Effizienz von DC/DC-Wandlern, Wechselrichtern und Motorsteue-

rungen erhöht. Die höhere Leistungsdichte von GaN-Transistoren beruht auf ihrer Fähigkeit, höhere Spannungen und Ströme zu verarbeiten. Dies ist insbesondere für hochfrequente Anwendungen und präzise Steuerungen von Vorteil. Zudem führen die geringeren Energieverluste zu einer reduzierten Wärmeentwicklung. Dadurch ist der Einsatz kleinerer oder sogar passiver Kühllösungen möglich und die thermischen Anforderungen werden verringert.

Ein weiterer technischer Vorteil besteht in der geringeren Gate-Ladung ( $Q_g$ ) von GaN-Transistoren, die eine schnellere und energieeffizientere Ansteuerung erlaubt. Dies ist insbesondere für hochfrequente Anwendungen und präzise Steuerungen vorteilhaft. Zusätzlich zeichnet sich GaN durch eine hohe Robustheit bei hohen elektrischen Spannungen aus, da das Material stärkere elektrische Felder toleriert als Silizium. Diese Eigenschaft macht GaN-Transistoren besonders geeignet für Hochspannungsanwendungen, wie sie in der Elektromobilität und industriellen Antriebstechnik vorkommen.

Infineon bietet eine Vielzahl von GaN-Transistoren. Tabelle 1 zeigt eine Auswahl im Vergleich.

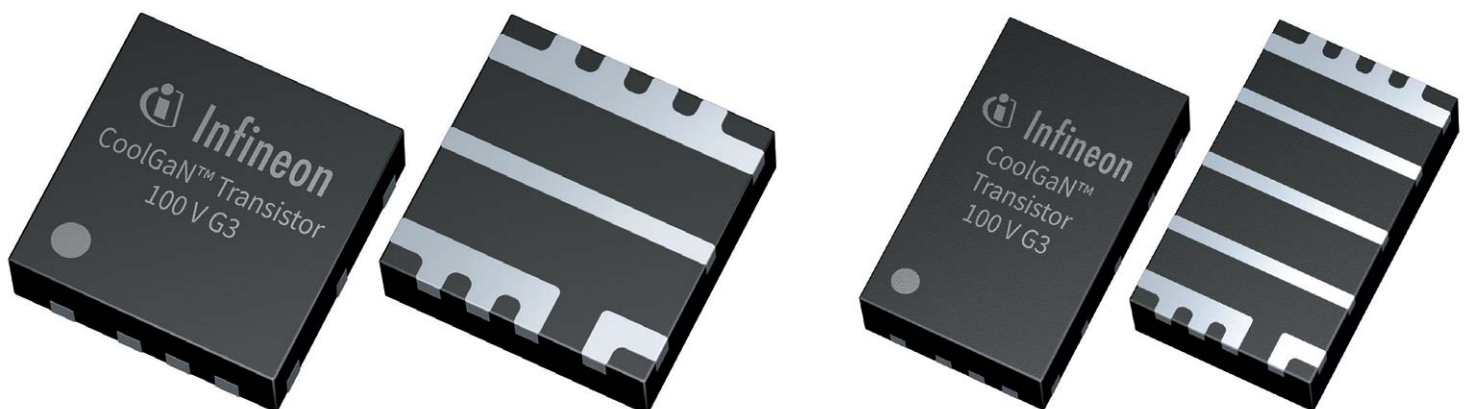


Bild 1: CoolGaN™ Transistoren in verschiedenen Gehäusevarianten. (Bilder: Infineon)





Bild 2: Mikrocontroller PSOC™ Control C3M mit integrierten Peripheriefunktionen für Motorsteuerungsanwendungen.

*Motorsteuerung  
neu gedacht*

Die besonderen Eigenschaften von Galliumnitrid-Transistoren eröffnen neue Möglichkeiten in der Motorsteuerung, speziell bei bürstenlosen Gleichstrommotoren (BLDC), Servoantrieben, in der Robotik und in anderen elektrischen Antriebssystemen.

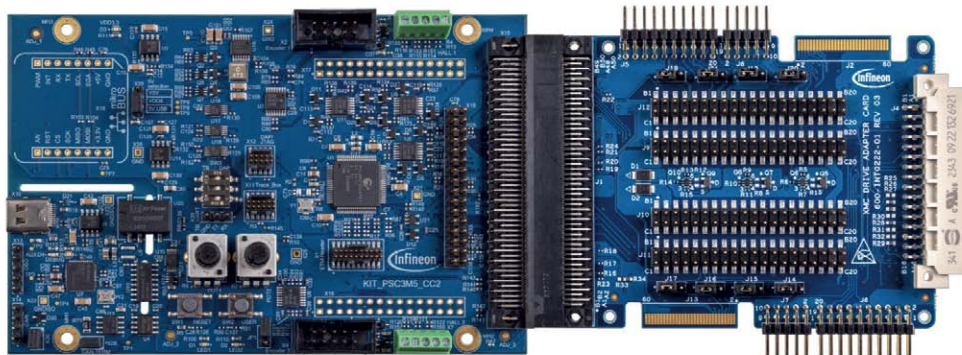


Bild 3: Evaluation Board KIT PSC3M5 CC2 mit integriertem Debugger und MADK-Anschluss zur schnellen Anbindung verschiedener Motoren.

Typ	Spannung	$R_{DS(on)}$ (typ)	$I_D$ (@25°C) max	$Q_G$	Gehäuse	Typische Einsatzfelder
IGC033S101	100 V	2,4 mΩ	75 A	11 nC	PQFN 3x5	Referenzbauteil für 48-V-Motorsteuerungen, Drohnen, Servos
IGC037S12S1	120 V	2,7 mΩ	71 A	10 nC	PQFN 3x5	Für Industrieantriebe und Anwendungen mit höherer Spannung
IGC090S20S1	200 V	6,7 mΩ	46 A	8,5 nC	PQFN 3x5	Höhere Spannungen, z. B. E-Mobilität oder Servoantriebe
IGC025S08S1	80 V	1,8 mΩ	86 A	12 nC	PQFN 3x5	Kompakt für Robotik- und Leichtfahrzeuganwendungen
IGC019S06S1	60 V	1,3 mΩ	99 A	13 nC	PQFN 3x5	Besonders niedriger Einschaltwiderstand, ideal für 48-V-Systeme

Tabelle 1: Vergleich verschiedener Infineon GaN-Transistoren.

Anzeige

# Unlock coverage in remote areas with nRF9151 with NTN support



LEARN MORE  
[nordicsemi.com/NTN](https://nordicsemi.com/NTN)



**NORDIC**  
SEMICONDUCTOR





## Rutronik System Solutions launcht GaN-basiertes 48 V Motor-Control-Board für maximale Effizienz

Innovative Kombination aus Infineons PSOC™ C3M5 und RAK-GaN Power Stage bietet höchste Performance, Flexibilität und kompakte Bauweise.

Das Entwicklerteam von Rutronik System Solutions arbeitet gerade an einem neuen Motor-Control-Board, das auf der Infineon PSOC™ C3M5 Control Card basiert. In enger Zusammenarbeit mit den Experten von Infineon entsteht ein völlig neues Konzept für den 48-V-Anwendungsbereich. Das Board integriert drei Halbbrücken für BLDC-Motoren, die auch für klassische DC-Motoren verwendbar sind. Alle notwendigen Komponenten zur Leistungsansteuerung sind bereits on-board, inklusive dreiphasiger Strommessung basierend auf TMR-Stromsensoren und verschiedenen Spannungsreglern zur Versorgung der Komponenten. Das Board bietet außerdem eine Halbbrücke für einen DC/DC Buck Converter.

Ein besonderes Highlight sind die neuen 100V CoolGaN™ MOSFETs, die eine maximale Effizienz in den Leistungsstufen ermöglichen.

Ergänzt wird dies durch platzsparende Low-ESR-MLCCs der neuesten Generation als DC-Link-Kondensatoren.

Auf der digitalen Seite bietet das Board höchste Flexibilität über die CAN-FD Schnittstelle. Zusätzlich erlaubt ein Arduino-kompatibler Sockel die Erweiterung mit weiteren Adapter Boards von Rutronik System Solutions (RAB).

Das Ergebnis: Die perfekte Kombination aus der Infineon PSOC™ C3M5 Control Card und dem neuen RAK-GaN Power Stage Board – optimiert für die Evaluierung von 48-V-Motorsteuerungsanwendungen und eines DC/DC Buck Converters, voll unterstützt durch die ModusToolbox™ und weiteren Tools wie der Motorsuite und dem DCDC-Power Conversion Configurator.

Seien Sie gespannt! Weitere Details und Verfügbarkeit finden Sie in Kürze auf unserer Website:

<https://www.rutronik.com/de/innovationen>

Allerdings erfordern GaN-Transistoren teilweise anspruchsvollere Gate-Ansteuerschaltungen. Zusätzliche Designherausforderungen ergeben sich durch die unterschiedlichen GaN-Typen, wie Depletion- und Enhancement-Mode. Diese lassen sich jedoch durch die Integration spezialisierter Gate-Treiber und Managementfunktionen meistern, sodass das volle Potenzial von GaN im System genutzt werden kann. Ein praktisches Beispiel ist ein 48-Volt-BLDC-Antrieb mit 308 Watt Leistung und bis zu 4.000 Umdrehungen pro Minute. Durch die Erhöhung der feldorientierten Regelung (FOC) von 20 kHz auf 100 kHz in Kombination mit GaN-Transistoren und dem Mikrocontroller PSOC™ Control C3 steigt der Wirkungsgrad von 89 auf über 96 Prozent (Bild 2). Gleichzeitig sinkt die Motortemperatur von 68 °C auf 55 °C, während die GaN-Bauelemente stabil bleiben.

Diese Kombination bietet mehrere praktische Vorteile: Ein höherer Wirkungsgrad durch eine höhere Schaltfrequenz, eine geringere Erwärmung des Motors, eine kompaktere Bauweise durch einen reduzierten Kühlbedarf und kleinere Komponenten sowie ein leiserer und vibrationsärmerer Motorbetrieb durch reduzierte Stromwelligkeit und Drehmomentfluktuationen. Darüber hinaus erhöhen die präzise Ansteuerung und die integrierten Schutzmechanismen die Sicherheit und Systemstabilität, beispielsweise durch die Vermeidung von Überlastungen.

Diese Vorteile machen die Technologie besonders interessant für Anwendungen wie Robo-

tikarme, Drohnenantriebe, Servosysteme in der Industrie und leichte Elektrofahrzeuge. Der Mikrocontroller bietet mit seinen High-Resolution-PWM-Funktionen, schnellen Analog-Digital-Wandlern (ADCs) sowie integrierten CORDIC- und DSP-Einheiten eine leistungsfähige Steuerungsplattform. Diese vereinfacht komplexe Regelalgorithmen und ermöglicht präzise feldorientierte Regelungen selbst bei hohen Drehzahlen. Die ModusToolbox™ Motor Suite-Entwicklungsumgebung unterstützt ergänzend mit vorgefertigten Softwarebibliotheken und -Werkzeugen, welche die Entwicklungszeiten verkürzen. Zudem bietet sie PSA-Level-2-Sicherheitsfunktionen für ein sicheres und zuverlässiges Systemdesign.

### Evaluationsboard als Entwicklungsbasis

Das KIT PSC3M5 CC2 von Infineon ist ein kompaktes Evaluationsboard, das Entwicklerinnen und Entwicklern eine vielseitige Basis zur Evaluierung von Motorsteuerungen bietet (Bild 3). Ausgestattet ist das Board mit einem PSOC™ Control C3M5 Mikrocontroller, der Funktionen wie High-Resolution-PWM, schnelle ADCs sowie integrierte CORDIC- und DSP-Einheiten bereitstellt. Über standardisierte Schnittstellen können verschiedene Leistungsstufen, Motortypen und Sensorsysteme angebunden werden, wodurch sich das Board flexibel einsetzen lässt.

Das KIT ist Teil eines modularen Plattformkonzepts und kann sowohl als eigenständige

Steuereinheit als auch in Kombination mit weiteren Evaluationsboards, etwa mit GaN-Leistungsstufen, genutzt werden. Diese Modularität ermöglicht die schnelle Entwicklung und Prüfung verschiedener Motorsteuerungstopologien, wie z. B. BLDC- und Permanentmagnet-Synchronmotoren (PMSM) sowie komplexere Mehrphasenanwendungen.

Die ModusToolbox™ Motor Suite stellt zudem praxisnahe Werkzeuge zur Konfiguration, Laufzeit- und statischen Parametrierung, Signalanalyse sowie eine Oszilloskop-Funktion mit hoher Abtastrate bereit. Ergänzt wird das Ökosystem durch eine umfassende Verfügbarkeit von Referenzdesigns und vollständigen Evaluierungskits, die eine besonders schnelle Umsetzung und Systemintegration ermöglichen.

Entwicklerinnen und Entwickler profitieren von beschleunigtem Prototyping, verkürzten Entwicklungszyklen und einem unkomplizierten Einstieg in hochfrequente, GaN-basierte Motorsteuerungen.

### Fazit

Die Kombination aus Wide-Bandgap-Leistungselektronik und moderner Steuerungstechnik ist die Grundlage für kompakte, effiziente und leistungsstarke Motorsteuerungen. Sie vereint Effizienz, Intelligenz und Sicherheit und ist somit ideal für Anwendungen in den Bereichen Robotik, Industrie und Elektromobilität. ■



CO<sub>2</sub>-Sensorik für die Innenraumüberwachung

# Präzise Messung für bessere Luftqualität

*Eine steigende CO<sub>2</sub>-Konzentration in Innenräumen wirkt sich nicht nur auf das Wohlbefinden, sondern auch auf die Schlafqualität, die Konzentrationsfähigkeit und die Sicherheit aus. Moderne Sensoren, die auf den Prinzipien der Photoakustik und Wärmeleitfähigkeit basieren, ermöglichen eine zuverlässige CO<sub>2</sub>-Erfassung – von zertifizierten Gebäuden bis hin zu Wearables.*

VON JOAS VAN IPEREN,  
SALES DIRECTOR MOBILE & CONSUMER  
ELECTRONICS BEI SENSIRION,  
ALEXANDRA SEREDA, BUSINESS  
DEVELOPMENT MANAGER BEI SENSIRION,  
UND MANUEL GAUSS, SENIOR MANAGER  
PRODUCT MARKETING ANALOG & SENSORS  
BEI RUTRONIK

**S**chlaf ist für eine gute Gesundheit unerlässlich, und wir verbringen etwa ein Drittel unseres Lebens mit Schlafen. Guter Schlaf unterstützt die Gehirnfunktion, das emotionale Gleichgewicht und die körperliche Erholung. [1] Chronischer Schlafmangel steht in Zusammenhang mit schwerwiegenden Gesundheitsproblemen, wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Stoffwechselstörungen (z. B. Diabetes), einem geschwächten Immunsystem, kognitivem Verfall sowie psychischen Problemen wie Depressionen und Angstzuständen. Laut der globalen Schlafumfrage 2025 von ResMed [2] hat ein Drittel der Menschen mindestens dreimal pro Woche Probleme beim Ein- oder Durchschlafen und bewertet nur vier von sieben Nächten als erholsam.

Trotz des wachsenden Bewusstseins für die Bedeutung des Schlafs wird ein stiller Störfaktor oft übersehen: die Luft, die wir nachts atmen. Und die ist oft schlechter als gedacht. In modernen, gut gedämmten Wohnungen steigen die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Schlafzimmer rasch an. Bereits nach etwa einer Stunde werden 1.000 ppm erreicht. Am Morgen sind in schlecht gelüfteten Räumen 3.000 bis 5.000 ppm keine Seltenheit und die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen liegen damit deutlich oberhalb der Empfehlungsbereiche gängiger Gebäude- und IAQ-Standards. [3 bis 7]

Im Gegensatz zu schlechtem Schlaf, Lärm oder Licht, die wir sofort spüren und wahrnehmen, sind erhöhte CO<sub>2</sub>-Werte unsichtbar und geruchlos. Die meisten Menschen ahnen daher nicht, dass dies ihren Schlaf beeinträchtigt. Die Wissenschaft ist sich jedoch einig: Eine schlechte Belüftung führt zu erhöhten CO<sub>2</sub>-Werten und möglicherweise zu anderen biologischen Ausdünnungen und Luftschadstoffen. Dies steht in einem eindeutigen Zusammenhang mit verminderter Schlafeffizienz, vermindertem Tiefschlaf und weniger kognitiver Leistungsfähigkeit am nächsten Tag. Der vollständige kausale Zusammenhang zwischen CO<sub>2</sub>-Belastung in der Umgebung und Schlafqualität wird noch untersucht. Aktuelle Erkenntnisse deuten jedoch bereits auf mehrere Mechanismen hin, durch die ein erhöhter CO<sub>2</sub>-Gehalt während des Schlafs den Körper beeinflussen kann – von der Stimulation der Atmung bis hin zu metabolischen und neurologischen Stressreaktionen.

## CO<sub>2</sub> und kognitive Leistungsfähigkeit

Eine schlechte Belüftung und ein hoher CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Raumluft beeinträchtigen jedoch nicht nur den Schlaf, sondern können auch direkte Auswirkungen auf die Gehirnfunktion haben.

In Studien, in denen die Teilnehmerinnen und Teilnehmer in Räumen mit reduziertem CO<sub>2</sub>-Gehalt (von ~2.500 ppm auf ~900 ppm) schliefen, zeigten sich am nächsten Morgen eine verbesserte verbale Argumentationsfähigkeit, ein besseres Arbeitsgedächtnis und eine höhere Wachsamkeit. Sie berichteten auch, dass sie sich erfrischt und geistig klarer fühlten. [8] Auch während der Wachzeiten sinken die Entscheidungsleistungen bereits bei CO<sub>2</sub>-Werten von ~1.000 ppm deutlich und erreichen bei 2.500 ppm, einem häufig in Klassenzimmern, Büros und Fahrzeugen anzutreffenden



Bild: Kusumawardhana/stock.adobe.com



# Der passende CO<sub>2</sub>-Sensor für jedes Marktsegment

## SCD41 – der kompakte Allrounder

- Messbereich: 400 – 5.000 ppm
- Genauigkeit:  $\pm (50 \text{ ppm} + 2,5 \% \text{ vom Messwert})$  bis 1.000 ppm,  $\pm (50 \text{ ppm} + 3 \% \text{ vom Messwert})$  bis 2.000 ppm,  $\pm (40 \text{ ppm} + 5 \% \text{ vom Messwert})$  bis 5.000 ppm
- Stromaufnahme: ~15 mA bei Messintervallbetrieb
- Versorgung: 2,4 – 5,5 V
- Energiespar- und Single-Shot-Modi verfügbar
- Integrierte Temperatur- und Feuchtemessung zur Kompensation
- Schnittstelle: I<sup>2</sup>C
- Baugröße: 10,1 × 10,1 × 6,5 mm<sup>3</sup>
- Typische Anwendungen: DCV-Regelungen, Thermostate, IAQ-Monitore

## SCD43 – normgerechte Präzision

- Messbereich: 400 – 5.000 ppm
- Verbesserte Genauigkeit:  $\pm (30 \text{ ppm} + 3 \% \text{ vom Messwert})$
- Zertifizierung: optimiert für WELL, LEED, RESET, ASHRAE
- Identischer Footprint wie SCD41 (10,1 × 10,1 × 6,5 mm<sup>3</sup>)

- Vergleichbare Leistungsaufnahme wie beim SCD41
- Single-Shot-Betrieb möglich
- Typische Anwendungen: Gebäudeautomation, zertifizierte Luftqualitätsmessgeräte und Demand-Controlled Ventilation (DCV), Upgrades bei verschärften Normen

## STCC4 – ultrakompakter TC-Sensor

- Messbereich: 400 – 5.000 ppm
- Genauigkeit:  $\pm (100 \text{ ppm} + 10 \% \text{ vom Messwert})$
- Baugröße: 4 × 3 × 1,2 mm<sup>3</sup> (SMD-tauglich, Tape-and-Reel)
- Stromaufnahme: ~950 µA bei 1 Hz Messrate
- Schnittstelle: I<sup>2</sup>C
- $\tau$  63%-Ansprechzeit: ~20 s
- Werkseitig kalibriert, einfache Integration
- Typische Anwendungen: Wearables, Smart Speaker, Mobilgeräte und kostensensitive IAQ-Produkte, Thermostate
- Vorteil: Besonders geeignet für batterie-nahe und kostenkritische Designs

fenden CO<sub>2</sub>-Gehalt, ein fast dysfunktionales Niveau. Besonders betroffen waren Aufgaben, die strategisches Denken, Initiative und die Nutzung von Informationen erforderten. [9] CO<sub>2</sub> ist somit nicht nur ein Komfortparameter, sondern auch eine handfeste Steuerungsgröße für die bedarfsgerechte Lüftung und ein einfacher Proxy für die nächtliche Innenraumluftqualität.

### Intelligente Sensorik für ein gesünderes Leben

Sensoren ermöglichen es Anwenderinnen und Anwendern, die Luftqualität in Echtzeit zu überwachen, HLK-(Heizung, Lüftung, Klima)-Systeme zu optimieren und so ein gesünderes Raumklima zu schaffen. In der Entwicklung stellt sich damit nicht die Frage ob, sondern wie CO<sub>2</sub> gemessen wird. Zwei technische Ansätze dominieren:

- **Photoakustisches NDIR (PA-NDIR):** Ein modulierter Infrarotstrahl trifft auf CO<sub>2</sub>-Moleküle, deren Schwingungen Druckschwankungen erzeugen. Diese werden durch ein MEMS-Mikrofon detektiert. Vorteile sind eine hohe Selektivität, Langzeitstabilität und Normkonformität.

- **Thermische Leitfähigkeit (TC):** Hierbei wird die Veränderung der Wärmeleitfähigkeit des Gasgemischs durch den CO<sub>2</sub>-Anteil erfasst. Vorteile sind eine extrem kompakte Bauform, ein geringer Energieverbrauch und niedrigere Kosten. Ein Nachteil hingegen ist die geringere Selektivität gegenüber Gasgemischen.

Beide Ansätze sind etabliert, unterscheiden sich jedoch in Integrationsaufwand, Formfaktor und Eignung für normkonforme IAQ-Applikationen (Indoor Air Quality).

### Sensoren für verschiedene Integrationsszenarien

Sensirion bietet eine Reihe von Sensoren. Die Sensoren SCD41 und SCD43 basieren auf nichtdispersiver infraroter photoakustischer Technologie, bieten eine hohe Genauigkeit und eignen sich ideal für zertifizierte Gebäude, die grüne Standards wie WELL, LEED, RESET und Fitwel erfüllen möchten. Diese Sensoren können in intelligente Thermostate, Luftreiniger und Gebäudemanagementsysteme integriert werden, um eine bedarfsgesteuerte Belüftung zu ermöglichen und eine optimale Raumluftqualität zu gewährleisten.

Für Unterhaltungselektronik bietet der Sensor STCC4 eine kostengünstige Lösung mit direkter CO<sub>2</sub>-Messung nach dem Prinzip der Wärmeleitfähigkeit. Er kann in Wecker, Smartphones, Laptops und sogar tragbare Gesundheitsmonitore eingebaut werden, sodass Anwenderinnen und Anwender Tag und Nacht ihre Belastung durch schlechte Luftqualität verfolgen können.

Die Verknüpfung von CO<sub>2</sub>-Messwerten mit Lüftungsdaten, Schlafparametern und kognitiven Leistungsindikatoren ermöglicht durch die Sensoren ein vorausschauendes Gesundheitsmanagement. Sinkt die Luftqualität, können Anwenderinnen und Anwender unmittelbar gewarnt werden und geeignete Gegenmaßnahmen einleiten. Intelligente Sensorik schafft somit die Grundlage für Innenräume, die sich aktiv an den Bedarf von Menschen anpassen und deren Gesundheit und Leistungsfähigkeit langfristig unterstützen.

### Auswahl, Integration und Praxisaspekte

Die Auswahl eines geeigneten CO<sub>2</sub>-Sensors hängt stark vom Anwendungsszenario ab. In der Gebäudeautomation stehen eine hohe Messgenauigkeit, Langzeitstabilität und die Er-



- SCD41: universelle Lösung für kompakte Geräte mit hohem Genauigkeitsanspruch
- SCD43: für Applikationen, die strenge Normen und Zertifizierungen erfüllen müssen
- STCC4: wenn geringster Footprint und niedrigster Stromverbrauch entscheidend sind

- Platzierung in einem sanft durchströmten Bereich mit definiertem Luftpfad
- Vermeidung von Temperatur-Hotspots (z. B. durch Netzteile oder Leistungselektronik)
- Nutzung der automatischen Baseline- und

- Kombination mit Temperatur- und Feuchte-sensoren für eine präzise Kompensation
- Regelmäßige Querprüfung der Messwerte im Feldbetrieb

## Fazit

tungsfähigkeit und Komfort auswirkt. Mit der SCD4x-Plattform stehen für die Gebäudeautomation präzise, normfähige Lösungen bereit. Der STCC4 ergänzt das Portfolio für mobile und ultrakompakte Anwendungen. Damit lässt sich eine bedarfsgerechte Lüftung von der Smart-Home- bis zur Wearable-Ebene realisieren. ■

- [1] Sergio Garbarino et al., 2021.  
Role of sleep deprivation in immune-related disease risk and outcomes
- [2] Resmed's 2025 Global Sleep Survey, 2025, Resmed
- [3] ANSI/ASHRAE Standard 62.1, European Standard EN 13779, German norm DIN 1946-2 | Batog, P. et al. 2013. »Dynamic of Changes in Carbon Dioxide Concentration in Bedrooms«
- [4] WELL V2. 2024. »Enhanced Ventilation Design«
- [5] USGCB LEED V5. September 2023.  
»Rating System, Building Operations + Maintenance: Existing Buildings«
- [6] RESET V2.0. 2018. »2.4. RESET Air Standard for Core & Shell«
- [7] FITWEL V2.1 Standard. July 2021.  
»Reference Guide for the Fitwel Certification System«
- [8] Peter Strøm-Tejsen et al., 2014.  
»The Effect of CO<sub>2</sub> Controlled Bedroom Ventilation on Sleep and Next-Day Performance«
- [9] Satish, U. et al., 2012. »Is CO<sub>2</sub> an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO<sub>2</sub> Concentrations on Human Decision-Making Performance«





Optische Sensorik für Diagnostik und Pharmazie

# Spektralsensoren für smarte Medizintechnik

*Spektralsensoren liefern detaillierte optische Signaturen und ermöglichen somit präzise, nicht-invasive Analysen, die von der Hautanalyse über mikrofluidische Tests bis hin zur Pharmakontrolle reichen. Sie sind kompakt, energieeffizient und auch für tragbare Systeme geeignet.*

VON MANUEL GAUSS, SENIOR MANAGER  
PRODUCT MARKETING ANALOG & SENSORS  
BEI RUTRONIK, UND  
FLORIAN LEX, PRODUKT MARKETING  
MANAGER BEI AMS OSRAM

**D**ie Anforderungen an medizinische Diagnosesysteme steigen: Sie sollen präzise, portabel und möglichst nicht-invasiv sein. Für Ingenieurinnen und Ingenieure bedeutet das, optische Sensorik intelligenter zu nutzen. Spektralsensoren, insbesondere solche, die sowohl sichtbares als auch nahinfrarotes Licht erfassen können, erweisen sich dabei als zentrale Bausteine. Ein Beispiel ist der TCS3448 von ams OSRAM, der in Anwen-

dungen von der Hautanalyse bis hin zu mikrofluidischen Diagnosesystemen zum Einsatz kommt.

## Was Spektralsensoren leisten

Im Gegensatz zu klassischen Farbsensoren, die Licht in den drei groben Farbkanälen Rot, Blau

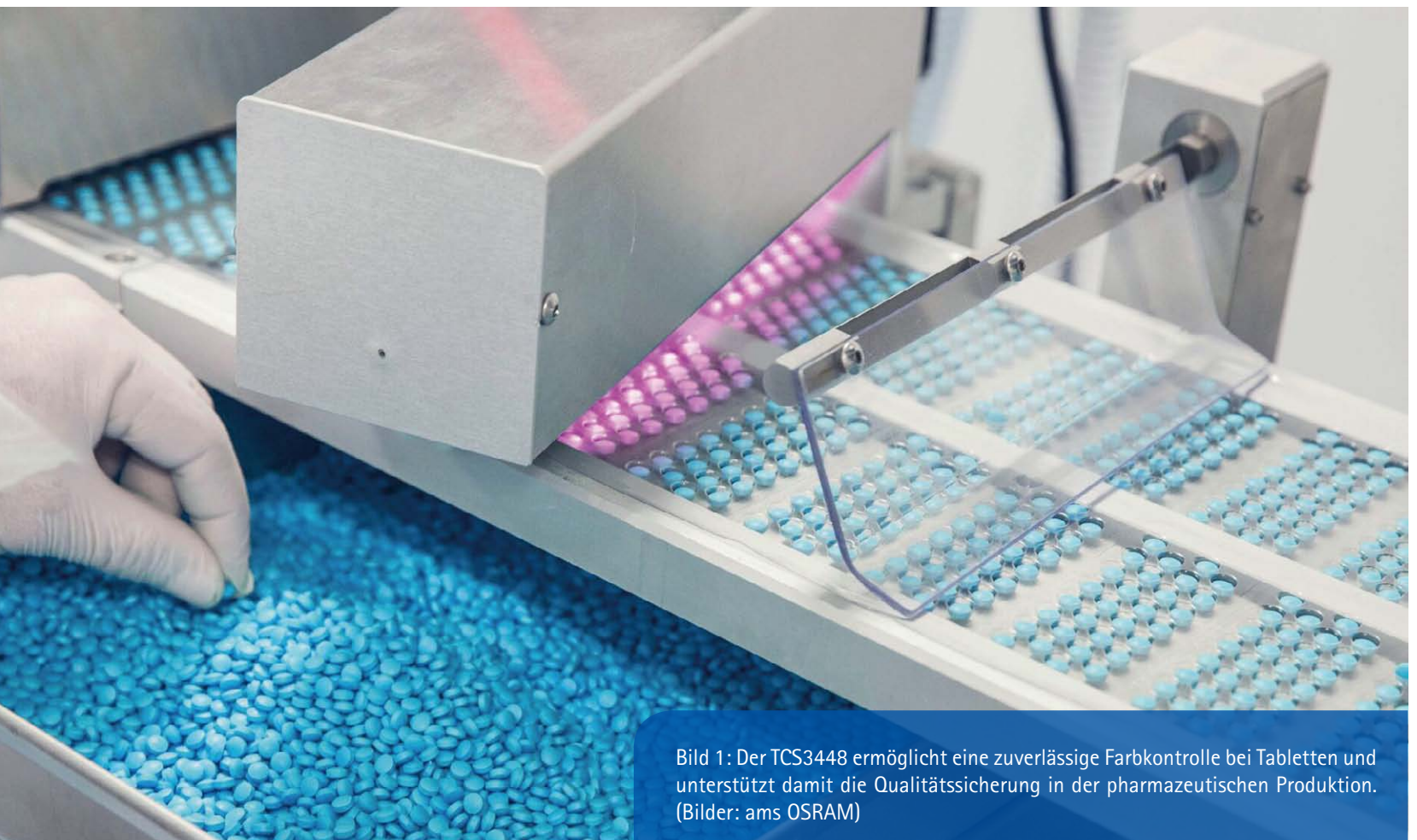


Bild 1: Der TCS3448 ermöglicht eine zuverlässige Farbkontrolle bei Tabletten und unterstützt damit die Qualitätssicherung in der pharmazeutischen Produktion. (Bilder: ams OSRAM)



und Grün messen, liefern Spektralsensoren wie der TCS3448 fein aufgelöste Mehrkanaldaten. Sie erfassen die Lichtintensität über mehrere definierte Wellenlängenbereiche hinweg. Dadurch lassen sich Materialien und auch biologische Gewebe oder Flüssigkeiten anhand ihrer spezifischen spektralen Signaturen deutlich genauer charakterisieren.

In der Medizintechnik ermöglicht dies berührungslose Echtzeitanalysen, etwa zur Beurteilung von Hautveränderungen (z. B. zur Melanom-Bewertung) oder bei Teststreifen in Point-of-Care-Diagnosesystemen. Dadurch werden invasive Verfahren reduziert und Diagnosen mobiler und patientennäher gemacht.

### Integration und technische Eigenschaften

Der TCS3448 ist ein 14-Kanal-Spektralsensor, der den Bereich von 380 bis 1.000 nm abdeckt. Neben elf Kanälen für den sichtbaren Bereich stehen ein NIR-Kanal, ein Clear-Kanal sowie ein Flicker-Kanal zur Verfügung. Letzterer erkennt Störungen durch künstliche Beleuchtung bis 2 kHz, was für reproduzierbare Diagnosen von großer Bedeutung ist. Integrierte 16-Bit-ADCs, konfigurierbare Integrationszeiten und Verstärkungsstufen ermöglichen eine flexible Anpassung an unterschiedliche Messumgebungen.

Mit einem typischen Stromverbrauch von 280  $\mu$ A im aktiven Betrieb und 5  $\mu$ A im Sleep-Modus eignet sich der Sensor besonders für batteriebetriebene Systeme. Das kompakte OLGA-8-Package (3,1 mm x 2,0 mm x 1,0 mm) erleichtert die Integration auch in platzkritischen Designs. Dank CMOS-Photodioden mit präzisen Interferenzfiltern ist keine zusätzliche Optik erforderlich, wodurch sich die Baugröße reduziert und die Messgenauigkeit erhöht. Für den Einsatz in der Medizintechnik ist zudem die Einhaltung regulatorischer Anforderungen (z. B. ISO 13485, CE oder FDA) entscheidend, die durch standardisierte, nicht-invasive Messmethoden erleichtert werden.

### Anwendungen von der Hautdiagnostik bis zur Pharmazie

Diese Eigenschaften eröffnen vielfältige Einsatzmöglichkeiten in der Medizintechnik. Spektralsensoren liefern objektive und reproduzierbare Daten und das z. B. in der Hautdiagnostik, bei mikrofluidischen Tests oder in Labor- und Pharmaanwendungen. Zudem

lassen sie sich in kompakte, mobile Systeme integrieren.

Hauterkrankungen wie Neurodermitis oder Psoriasis gehen oft mit Rötungen (Erytheme) und Pigmentveränderungen einher. Diese Anzeichen sind jedoch subjektiv schwer zu beurteilen und variieren stark. Ein Spektralsensor wie der TCS3448 ermöglicht die objektive Erfassung von Erythem- und Pigmentwerten, die Dokumentation ihres Verlaufs und die Nachvollziehbarkeit von Therapieeffekten. Dies ist besonders bei Telemedizin- oder Heimüberwachungsanwendungen von Vorteil, da so reproduzierbare Daten für digitale Patientenakten oder Apps geliefert werden.

In Labor-auf-einem-Chip-Systemen oder Schnelltests für Infektionskrankheiten zeigt ein Farbumschlag die Anwesenheit eines Analyten an. Doch gerade bei niedrigen Konzentrationen oder wechselnden Lichtbedingungen stößt das menschliche Auge schnell an seine Grenzen. Der TCS3448 erkennt kleinste Farbveränderungen mit hoher spektraler Auflösung und eignet sich daher für portable Diagnosesysteme mit batterieeffizientem Betrieb. Auch multiplexe Assays mit überlappenden Farbsignalen lassen sich damit sicherer auswerten.

In der pharmazeutischen Industrie und Labortechnik ist die Farbe ein entscheidendes Qualitätskriterium. Abweichungen können auf Verunreinigungen, Degradationen oder Fehlfomulierungen hinweisen. Der TCS3448 unterstützt eine zuverlässige und automatisierbare Farbkontrolle, beispielsweise bei Tabletten, Reagenzien oder Kulturmedien. Auch für die digitale Pathologie oder Laborautomatisierung liefert er robuste und objektive Messdaten.

Neben der Farbanalyse erfasst der Sensor auch Anteile des nahen Infrarotbereichs, wodurch einfache Fluoreszenzmessungen ermöglicht werden. Dies ist zunehmend für kompakte Point-of-Care-Geräte relevant, etwa bei Tests auf Malaria, HIV oder Eisenmangel. Der geringe Energiebedarf und die kompakte Bauform erleichtern zudem den Einsatz in tragbaren Diagnosegeräten.

### Smarte Diagnostik mit optischen Signaturen

Mit der zunehmenden Verbreitung von Wearables und KI-gestützter Diagnostik gewinnen optische Sensorsignale weiter an Bedeutung. Entscheidend ist dabei die Qualität der Ein-

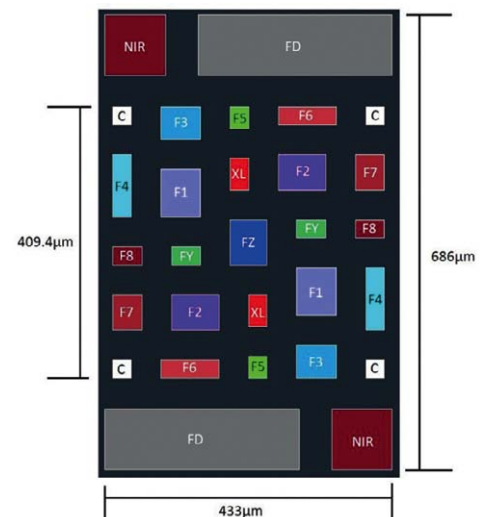


Bild 2: Das Multi-Sensor Array auf einem Chip deckt einen spektralen Bereich von 380 nm bis 900 nm ab.

gangsdaten: Der TCS3448 liefert spektral aufgelöste Informationen über mehrere Wellenlängenbereiche, die sich ohne aufwendige Vorverarbeitung in Machine-Learning-Modelle einspeisen lassen. Dadurch lassen sich Muster in Gewebe, Flüssigkeiten oder Oberflächen erkennen, die für das menschliche Auge nicht sichtbar sind.

Mögliche Einsatzszenarien reichen von intelligenten Hautpflastern zur Messung der Hydratation oder Sauerstoffsättigung über kompakte Homecare-Geräte bis hin zu Smartphone-Zubehör für mobile Gesundheitschecks. Besonders in Kombination mit weiteren Sensorsignalen, z. B. Temperatur, lassen sich umfassende Gesundheitsprofile erstellen. In Kombination mit Cloud-Anbindung und KI-Algorithmen eröffnen sich so neue Möglichkeiten für die personalisierte Medizin – etwa durch kontinuierliche, nicht-invasive Messungen im Alltag. Auch im klinischen Umfeld können Spektralsensoren die digitale Pathologie oder automatisierte Laborprozesse unterstützen, indem sie reproduzierbare, objektive Daten für Diagnose und Therapie liefern.

### Fazit

Spektralsensoren wie der TCS3448 unterstützen Entwicklerinnen und Entwickler dabei, moderne, tragbare Diagnosesysteme kontaktfrei, datengestützt und kompakt umzusetzen. Egal, ob in der Hautanalyse, bei mikrofluidischen Testsystemen oder in der pharmazeutischen Qualitätssicherung: Sie liefern präzise Daten bei geringem Integrationsaufwand und damit eine wichtige Grundlage für die nächste Generation smarter Diagnosesysteme. ■



Interview mit dem Rutronik-CEO

# »Wir dürfen nicht länger auf bessere Zeiten warten – wir müssen sie gestalten«

*Ein Gespräch mit Thomas Rudel, CEO von Rutronik, über wirtschaftliche Herausforderungen, KI als strategischer Hebel und praktisches Werkzeug und warum der Mittelstand jetzt vorangehen muss.*

**Herr Rudel, die wirtschaftliche Lage ist angespannt. Wie beurteilen Sie die Situation für die Elektronikbranche und für Rutronik?**

**Thomas Rudel:** Die Auftragslage ist in vielen Bereichen rückläufig – insbesondere im Automotive- und Industriesektor. Kunden agieren vorsichtig, Investitionen werden verschoben. Das hat sich bereits Mitte 2024 abgezeichnet.

Wir haben in der Vergangenheit viele Krisen erlebt: die Ölkrise in den 1980er-Jahren, die Finanzkrise 2009, die Corona-Pandemie ab 2020 und jede für sich war einschneidend. Doch was wir heute sehen, ist eine Gleichzeitigkeit von Herausforderungen: geopolitische

Spannungen, Lieferketteninstabilität, technologische Umbrüche, hohe Energiepreise, regulatorische Anforderungen und eine spürbare Investitionszurückhaltung. Diese Gemengelage übersteigt alles, was wir bisher kannten.

Aber: 2025 ist kein Jahr für Zauderer. Wer jetzt nur verwaltet, verliert. Wir dürfen nicht länger auf bessere Zeiten warten, sondern wir müssen sie gestalten. Deshalb haben wir bei Rutronik frühzeitig die Weichen gestellt und unser Geschäftsmodell konsequent weiterentwickelt – mit klarer Vision in Richtung digitaler Transformation und KI-Integration, technologischer Substanz und dem strikten Willen zur Veränderung.

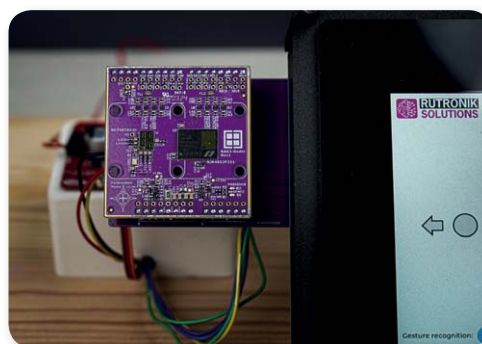
**Was bedeutet das konkret für Rutronik?**

Wir haben nicht nur über Transformation gesprochen, sondern wir haben sie intern angestoßen und sorgen für Impulse in Richtung unserer Hersteller, Kunden und Geschäftspartner. Mit der 30-prozentigen Beteiligung am KI-Spezialisten COMI haben wir ein klares Zeichen gesetzt. Innerhalb von sechs Monaten haben wir gemeinsam zwei KI-basierte Lösungen in unserem Logistikzentrum in Eisingen pilotiert: den Vision AI Document Reader und den Vision AI Label Reader. Diese Systeme automatisieren das Einlesen von Lieferscheinen und Produktlabels und das mit beeindruckender Präzision und Geschwindigkeit.



**Januar 2025**

Pilotierung von zwei KI-basierten Lösungen im Logistikzentrum in Eisingen



**März 2025**

AI on the Edge: Neue Demo für KI-Steuerung mit radarbasierter Gestensteuerung mit Infineons PSOC™ Edge E84



**Februar 2025**

Exklusive Einblicke in KI-optimierte Prozesse in Wareneingang und -annahme beim AI Vision Day



**April 2025**

Erweiterung der Partnerschaft mit GCT



Thomas Rudel, CEO von Rutronik

„Wir denken KI nicht als Einzelprojekt, sondern als Plattform.“

### Was ist der Nutzen?

Zeitgewinn, weniger manuelle Fehler, mehr Qualität. Aber vor allem: Unsere Mitarbeitenden berichten, wie die KI sie entlastet und nicht ersetzt. Das ist für mich der entscheidende Punkt: KI ist kein Selbstzweck, sondern in unserem Logistikzentrum ein Werkzeug. Und wir zeigen, wie Mensch und Maschine als Partner agieren können. Da es etwa 1.000 verschiedene Lieferscheinformate gibt, deren Layouts sich häufig ändern bzw. fortlaufenden Anpassungen unterliegen, was selbst für geschultes Personal eine zeitaufwendige und fehleranfällige Erfassung bedeutet, kann das

Einlesen beschleunigt werden. Der Document Reader ist aber auch für die Erfassung anderer Dokumente geeignet und dabei unabhängig davon, ob diese physisch vorliegen oder bereits digital, z. B. als PDF, Bilddatei o. ä., abgelegt sind. Die Inhalte können jeweils strukturiert erfasst und entsprechend abgelegt werden. So sollen bei uns künftig u. a. auch Anwendungen im Bereich der Auftragserfassung, das Einlesen von Produktinformationen sowie Vertragsprüfungen durch KI unterstützt werden. Wir denken daher weiter und möchten auch in vielen anderen Geschäftsbereichen KI-basierte Prozesse entsprechend den dortigen

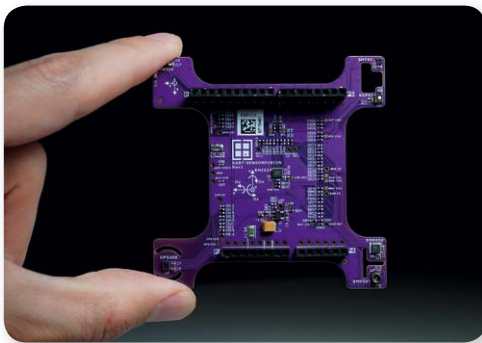
Herausforderungen und zur Reduktion wiederkehrender Aufgaben einführen.



Erfahren Sie im Video mehr über die Vision AI Reader.

### Können auch Kunden und Hersteller von dieser Technologie profitieren?

Ja, selbstverständlich. Nehmen wir beispielsweise die EMS-Unternehmen. Sie sind ein zentraler Pfeiler der modernen Elektronikindustrie. Sie übernehmen für OEMs (Original Equipment Manufacturers) einen großen Teil der Wertschöpfungskette. EMS-Unternehmen, aber auch Hersteller von elektronischen Bauelementen benötigen genauso einen vollautomatisierten, robusten und skalierbaren Wareneingangsprozess, der von der zuverlässigen Erfassung von Lieferinformationen – selbst bei gedruckten Lieferscheinen – bis hin zur eindeutigen Erfassung der Artikelinformationen aus Produktlabels der Hersteller reicht. Die KI-basierte Etikettenerkennung arbeitet nicht nur schneller und präziser, sondern integriert sich auch nahtlos in die bestehende Systemlandschaft. Das heißt, dass wir die Lösungen nicht nur für uns entwickeln, sondern für die gesamte Wertschöpfungskette.



### Mai 2025

Launch des Next-Gen-Adapter Boards RAB7 für Sensorfusion

### Juli 2025

Rutronik-Gründer Helmut Rudel erhält nur zwei Monate vor seinem Tod den Gründerpreis Baden-Württemberg 2025 in der Kategorie »Lebenswerk«



### Cyber Resilience Requirements for Selling Electronic Devices in the EU Post-November 2027

### Juni 2025

Cyber Resilience Act: Rutronik unterstützt seine Partner bei der Umsetzung komplexer EU-Vorgaben



### August 2025

Rutronik nimmt Edge-KI-Pionier Axelera AI ins Portfolio auf





## Wie geht Rutronik mit dem Thema Künstliche Intelligenz daher strategisch um?

Wir konzipieren ganzheitliche Lösungen und passgenaue KI-gestützte Prozesse. Mit einem Rutronik GPT möchten wir eine Infrastruktur schaffen, die nicht nur intern wirkt, sondern auch unseren Kunden zur Verfügung steht. Das ist Mittelstand mit Plattformgedanken – skalierbar, praxisnah, offen. Wir denken dabei KI nicht als Einzelprojekt, sondern als Plattform. Konkret bedeutet das:

- Intuitive Konfigurationsmöglichkeiten für alle Komponenten sorgen dafür, dass die Plattform einfach und verständlich in der Anwendung ist, sowohl für das interne Team als auch für externe Partner.
- Umfassendes Monitoring und Alarmsysteme gewährleisten, dass relevante Ereignisse in Echtzeit erkannt und effizient bearbeitet werden können.
- Die Plattform skaliert flexibel, von IoT-Sensoren über Einzel-PCs und Maschinen bis hin zu Supercomputer-Clustern, und passt sich somit den wachsenden Anforderungen an.

Wir möchten einen modularen Aufbau sicherstellen, der es ermöglicht, die Plattform bei Bedarf um kundenspezifische Komponenten zu erweitern, um maßgeschneiderte Anpassungen vornehmen zu können. Die Verfügbarkeit soll in der Cloud und On-Premise erfolgen, um je nach Bedarf die optimale Einsatzmöglichkeit zu gewährleisten. Außerdem erwei-

tern wir auch unser Portfolio und haben seit dem zweiten Halbjahr mit Axelera AI, ein niederländisches Hardware- und Softwareentwicklungsunternehmen und europäischen Pionier im Bereich KI-Inferenz, eine ernstzunehmende Alternative zum bisherigen Marktführer Nvidia auf dem Embedded-Markt, als Hersteller an unserer Seite. Axelera AI stellt ein deutlich attraktiveres Kosten-Nutzen-Verhältnis bei einem optimalen Rechenleistungs-zu-Energieverbrauch-Verhältnis sicher. Im Edge-Umfeld kommt es auf spezialisierte Hardware mit einem innovativen Design an und genau das liefert Axelera AI.

## Gibt es neben den KI-Projekten weitere Transformationsansätze bei Rutronik?

Wie bereits erwähnt, nehmen wir die digitale Transformation ernst und sehen sie als große Chance. Um hier eine ideale Grundlage innerhalb der Rutronik zu schaffen, implementieren wir aktuell unser ERP vollständig zu SAP. Wir sehen das als Notwendigkeit, um eine einheitliche Systemarchitektur zu führen. So haben wir es bei Rutronik bislang stets gehandhabt und wollen das zukünftig auch weiter forcieren, nur eben nun in der SAP-Welt. Damit schaffen wir das notwendige Fundament für moderne und innovative Prozesse, durch die unsere Mitarbeitenden und unsere Geschäftspartner langfristig profitieren sollen.

## Wie gehen Sie mit der zunehmenden Komplexität in der Distribution um?

Wir bewegen jährlich über 100 Milliarden Bauteile, mit mehr als 1,5 Millionen Auftragspositionen und über 50 Millionen Forecast-Änderungen. Veränderungen der Lieferzeiten, volatile Märkte und geopolitische Spannungen sind die aktuelle Realität und sorgen für

tagtägliche Herausforderungen an vielen Stellen im Unternehmen. Aber wir sehen darin keinen Grund zur Resignation, sondern zur Professionalisierung. Unsere Antwort ist: Transparenz, Automatisierung und partnerschaftliche Kommunikation. Wir sind Navigator in einem komplexen Ökosystem und genau das erwarten unsere Kunden von uns.

## Wie stellen Sie sicher, dass die Kommunikation mit Kunden und Partnern reibungslos funktioniert?

Mit über 40.000 Business Partnern, rund 200 Lieferanten und über einer Million Artikel im Portfolio ist Effizienz in der Datenkommunikation entscheidend. Das Ziel muss sein, dass die Anbindung an unsere Lieferanten und Kunden noch digitaler wird und wir damit unabhängig von Zeit und Ort schnell und effizient Anfragen und Aufträge bearbeiten können. Im Bereich des EDI-Datentransfers erreichen wir eine Erfolgsquote von 99,76 Prozent bei mittlerweile rund 4 Millionen EDI-Nachrichten pro Jahr. Das ist nicht nur technisch sauber, das ist allen voran datengetrieben, strategisch vorausschauend und mit geringen manuellen Eingriffen möglich.

## Was unterscheidet Rutronik von anderen Distributoren?

Wir sind mehr als ein klassischer Distributor. Wir sind Systemanbieter mit eigener Entwicklungsleistung. Unser neuestes Entwicklerboard, das Rutronik Adapter Board RAB7, ist ein gutes Beispiel: Es kombiniert modernste Sensorfusion mit KI-Funktionalität und eignet sich damit ideal für Anwendungen in der Industrie 4.0, Smart Cities oder im Automotive-Bereich. Damit ermöglichen wir unseren Kunden, eigene Sensorfusion-Anwendungen schneller zu realisieren. Und wir bieten Orientierung in komplexen Themen, wie etwa beim Cyber Resilience Act. Mit Webinaren und dazugehörigen On-Demand-Angeboten machen wir unsere Kunden gemeinsam mit Geschäftspartnern wie Infineon und TÜV Süd fit für die neuen EU-Vorgaben ab 2027.



## Oktober 2025

Neuer Kongress: Auf der ersten Rutronik AI³ Connect trafen sich ca. 120 Entscheider aus Automotive und Industrie

## September 2025

Veranstaltungshorizont bei Rutronik mit Tech-Messen in Dresden, Hamburg und Luzern



Im On-Demand Webinar erfahren Sie weitere Details zum Cyber Resilience Act.

## Was waren für Sie persönlich die Highlights des Jahres?

Da gibt es viele. Unser erster gemeinsamer Messeauftritt mit COMI auf der embedded world 2025 war ein starkes Signal. Drei Jahre



in Folge wurden wir außerdem von der Elektronik-Leserschaft auf Platz 1 im Ranking des »Distributor des Jahres« gewählt – das zeigt, dass unser Weg anerkannt wird. Und die Auszeichnung unseres Gründers Helmut Rudel mit dem Gründerpreis Baden-Württemberg in der Kategorie Lebenswerk macht uns alle stolz. Das ist Unternehmertum mit Substanz. Ein weiteres Highlight ist unser neuer Kongress: Die erste Rutronik AI<sup>3</sup> Connect fand vom 14. bis 15. Oktober in der Motorworld München statt. Entscheider aus Automotive und Industrie kamen zusammen. Zwei parallele Tracks zeigten konkrete Use Cases, von Onboard-Charging und intelligenten Batteriemanagementsystemen bis zu Predictive Maintenance und Edge Computing. Dazu gab es ein exklusives Networking-Dinner und jede Menge Raum für Austausch.

Aber auch unser Engagement außerhalb des Kerngeschäfts ist mir wichtig: Unsere Rutronik Stars Keltern wurden 2025 Deutscher Meister im Damenbasketball. Rutronik Racing

Thomas Rudel, CEO von Rutronik

„Wir brauchen mehr Unternehmergeist, mehr Technologieoffenheit und mehr Vertrauen in die eigene Umsetzungsstärke.“

ging als Sieger im diesjährigen GT World Challenge Europe Endurance Cup hervor – ein unglaublicher Erfolg. Und Mitte dieses Jahres haben wir im Rahmen der Woche der Diakonie ein Rutronik-Fuhrparkfahrzeug an die Diakoniestation Ispringen übergeben. Das zeigt Verantwortung für die Region unseres Firmensitzes und darüber hinaus.

#### Was wünschen Sie sich für die deutsche und europäische Wirtschaft?

Mehr Mut. Mehr Tempo. Und mehr Vertrauen in die eigene Stärke. Europa hat enormes Po-

tenzial – wir müssen es nur freisetzen. Und das beginnt nicht nur in den Managementtagen, sondern in den Büros, Produktions- und Logistikstätten, Laboren und Hörsälen. Wir haben in Deutschland eine exzellente Ausbildungslandschaft, starke Hochschulen und ein duales System, das weltweit seinesgleichen sucht. Der Mittelstand ist das Rückgrat unserer Wirtschaft und dabei innovativ, anpassungsfähig, bodenständig. Aber: In vielen Unternehmen steht jetzt der Generationswechsel an. Und das bedeutet auch: Tempo und Mut sind mehr denn je gefragt. Wer heute Verantwortung übernimmt, muss nicht nur verwalten, sondern gestalten wollen. Wir brauchen mehr Unternehmergeist, mehr Technologieoffenheit und mehr Vertrauen in die eigene Umsetzungsstärke. Fortschritt beginnt nicht mit Perfektion, sondern mit dem ersten Schritt. Und genau diesen Schritt gehen wir bei Rutronik: entschlossen und mit dem Blick nach vorne. ■

## In memoriam Helmut Rudel

*Rutronik und die gesamte Elektronik-Branche nehmen mit großer Trauer Abschied von Helmut Rudel, dem Rutronik-Gründer und -Präsidenten. Im Alter von 87 Jahren ist er nach kurzer, schwerer Krankheit verstorben. Bis zuletzt war er Teil der Geschäftsführung.*

Mit großer Betroffenheit und tiefer Trauer nehmen die Rutronik-Geschäftsführung und -Belegschaft Abschied von Helmut Rudel, dem Gründer und Präsidenten der Rutronik Elektronische Bauelemente GmbH, der im Alter von 87 Jahren am 20. September 2025 verstarb.

Helmut Rudel war nicht nur ein visionärer Unternehmer, sondern auch ein Mensch mit außergewöhnlicher Weitsicht, Tatkraft und sozialem Verantwortungsbewusstsein. Mit der Gründung von Rutronik im Jahr 1973 legte er den Grundstein für eines der heute führenden Distributionsunternehmen für elektronische Bauelemente in Europa. Er war einer der Pioniere in einem für damalige Zeiten neuen Geschäftsmodell der autorisierten Bauelemente-Distribution. Erst im Juli dieses Jahres wurde Helmut Rudel vom Sparkassenverband Baden-Württemberg für sein beeindruckendes Lebenswerk mit dem Gründerpreis Baden-Würt-

temberg 2025 ausgezeichnet. Dieser Preis, überreicht von der Wirtschaftsministerin Baden-Württembergs, würdigt seine unternehmerische Leistung und seinen nachhaltigen Beitrag zur Wirtschaft des Landes in besonderer Weise.

Wir verlieren mit Helmut Rudel nicht nur einen außergewöhnlichen Unternehmer, sondern auch einen Menschen, der Rutronik geprägt hat wie kein anderer. Sein Vermächtnis wird weiterleben – in den Werten, die er verkörperte, in den Strukturen, die er geschaffen hat, und in den Erinnerungen derer, die ihn kannten und mit ihm gearbeitet haben.

Wir werden Helmut Rudel ein ehrendes Andenken bewahren.

**Die Geschäftsführung und Belegschaft der Rutronik Elektronische Bauelemente GmbH**



Helmut Rudel, Rutronik-Gründer und -Präsident, bei seiner Willkommensrede auf der 50-jährigen Jubiläumsfeier von Rutronik im November 2023.



Automatisierung in Wareneingang und -annahme bei Rutronik

# KI-basierte Reader als Schlüsselkomponenten einer lückenlosen Traceability

*Moderne Lieferketten stellen immer höhere Anforderungen an Transparenz, Rückverfolgbarkeit und Geschwindigkeit. Besonders Unternehmen der EMS-Industrie (Electronic Manufacturing Services), mit ihrer hohen Varianz an elektronischen Bauteilen verschiedener Hersteller, Versionen und ständigen Änderungen, sehen sich mit einem enormen Datenaufkommen konfrontiert.*

VON TOBIAS HUSEMANN,  
SENIOR CONSULTANT BEI COLLECTIVE MIND  
(COMI), MARKUS FÖRSTE,  
HEAD OF AI BEI COLLECTIVE MIND (COMI),  
UND CHRISTIAN KREBS,  
HEAD OF PROJECTS & PROCESS  
MANAGEMENT BEI RUTRONIK

**E**in Großteil der Daten entsteht im Wareneingang und ein vergleichbares Szenario liefern u. a. auch Distributionsunternehmen. Rutronik als einer der führenden Broadline-Distributoren Europas und die auf Machine Vision spezialisierte COMI zeigen in einem gemeinsamen Projekt, wie sich diese Herausforderung mithilfe von KI effizient bewältigen lässt. Das Ziel: Ein vollautomatisier-

ter, robuster und skalierbarer Wareneingangsprozess, der von der zuverlässigen Erfassung von Lieferinformationen – selbst bei gedruckten Lieferscheinen – bis hin zur eindeutigen Erfassung der Artikelinformationen aus Produktlabels der Hersteller reicht. Die KI-basierte Etikettenerkennung arbeitet nicht nur schneller und präziser, sondern integriert sich auch nahtlos in die bestehende Systemlandschaft.



Der AI Vision Label Reader von COMI zum KI-basierten Erfassen von Produktlabels. (Bild: COMI)

## Von der manuellen Prüfung zur automatisierten Erkennung

Im Rutronik-Logistikzentrum in Eisingen werden täglich tausende Lieferungen bearbeitet. Bisher erfolgte die Datenerfassung physischer Lieferscheine größtenteils manuell. Hierzu wurden diese aufwendig händisch erfasst und deren Informationen mit den dazugehörigen Daten im ERP-System abgeglichen, Artikelnummern wurden per Hands scanner aufgenommen oder eingetippt, Trace- und Date-Codes visuell geprüft und Mengenangaben ergänzt. Dieser Prozess der manuellen Nacherfassung nicht digital vorliegender Lieferscheine war nicht nur zeitaufwendig, sondern auch fehleranfällig. Wichtige Zusatzinformationen wie Chargennummern oder Herkunftsländer mussten ggf. manuell dokumentiert werden. Das stellte wiederum einen kritischen Punkt für die Rückverfolgbarkeit dar. Weitere Nachteile des manuellen Erfassens waren unvollständige oder fehlerhafte Bestandsdaten, eine eingeschränkte Transparenz in der Lieferkette sowie ein hoher Aufwand bei der Nachbearbeitung. Der Bedarf an einer strukturierten, automatisierten Lösung war offensichtlich.



## Strategische Partnerschaft

Seit Oktober 2024 ist Rutronik mit 30 Prozent an COMI beteiligt. Ziel der Partnerschaft ist die gemeinsame Entwicklung skalierbarer KI-Anwendungen für Industrie und Handel. Die Kombination aus Distributionskompe-

tenz und Machine-Vision-Expertise schafft praxisnahe, international einsetzbare Reader-Technologien für die Automatisierung von Prozessen in u. a. Industrie, Logistik und Supply Chain Management.

Rutronik setzte sich dazu ambitionierte Ziele. In einem ersten Schritt wurde hierzu eine automatisierte Dokumentenerfassung (COMI Vision AI Document Reader) angestrebt:

- Das Einlesen, Interpretieren und Zuordnen von Lieferscheininformationen sollte mittels KI-basiertem Scanning automatisiert erfolgen.
- Variable Dokumentenlayouts mussten ebenso zuverlässig erkannt werden wie unterschiedliche Sprachen, Einheiten und Bezeichnungen.

Im weiteren Prozess wurde eine automatisier-

te Artikelerfassung (COMI Vision AI Label Reader) ins Auge gefasst:

- Das manuelle Scanning von Produktlabels sollte durch eine kamerabasierte Erfassung der Daten ersetzt werden.
- Unterschiedliche Etikettenlayouts sowie variabel positionierte QR- und Barcodes mussten zuverlässig erkannt werden.

Alle gewonnenen Informationen sollten anschließend strukturiert verarbeitet und direkt an das ERP-System übergeben werden. Ein weiteres Ziel war es, den gesamten Prozess so flexibel zu gestalten, dass er auch auf neue

Anzeige

# PROFESSIONAL 1AC & 3AC DIN RAIL POWER SUPPLY SOLUTIONS, REDUNDANCY DIODES & E-FUSES

THE NEW RACPRO1 SERIES  
FROM 120 - 960W



**RECOM**  
recom-power.com/racpro  
SINCE 1975, WE POWER YOUR PRODUCTS



reddot winner 2025  
industrial design

**sps**

smart production solutions  
25. - 27.11.2025, Nuremberg  
VISIT US: BOOTH 10.0-541





## Steigende Relevanz von EMS-Unternehmen in der Elektronik-Fertigung

EMS-Unternehmen sind ein zentraler Pfeiler der modernen Elektronikindustrie. Sie übernehmen für OEMs (Original Equipment Manufacturers) die komplette Wertschöpfungskette (Design und Prototyping, Leiterplattenbestückung, Testverfahren, Logistik), sodass diese sich auf ihre Kernkompetenzen wie Forschung und Entwicklung konzentrieren und gleichzeitig Skaleneffekte, Kostenoptimierung und schnellere Markteinführung realisieren können.

Der globale EMS-Markt wurde im Jahr 2024 auf 573,75 Milliarden USD geschätzt

und soll bis 2032 auf 1,1 Billionen USD anwachsen – mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate (CAGR) von 7,4 Prozent. [1]

Zu den Wachstumstreibern zählen unter anderem die steigende Nachfrage nach Elektrofahrzeugen (EV), IoT-Geräten und Verbraucherelektronik sowie die zunehmende Komplexität und Miniaturisierung elektronischer Geräte, die spezialisierte Fertigungsprozesse erfordern.

[1] <https://www.fortunebusinessinsights.com/electronic-manufacturing-services-ems-market-105519>

steigert die Prozesssicherheit und minimiert den Schulungsaufwand.

*Nachweislicher Mehrwert:  
Zeit, Qualität, Transparenz*

Die Umstellung auf das KI-gestützte System zeigt messbare Effekte:

- Steigerung der Leserate von Labels auf über 99 Prozent
- Reduzierung der durchschnittlichen Prüfzeit pro Lieferschein um mehr als 50 Prozent
- Nahezu vollständige Eliminierung von Eingabefehlern
- Strukturierte Speicherung aller Informationen – die Traceability ist lückenlos gewährleistet

Produktarten oder Betriebsanforderungen reagieren kann. Besonderes Augenmerk lag dabei auf der Optimierung der Leserate mit einem Zielwert von über 99 Prozent sowie der Möglichkeit, mehrere Codes gleichzeitig zu erfassen und auszuwerten.

*Die Lösung für den Wareneingang zur automatisierten Lieferscheinerfassung:  
Vision AI Document Reader*

Der gemeinsam von Rutronik mit COMI entwickelte »Vision AI Document Reader« erweitert die Warenannahme um die automatisierte Verarbeitung von Lieferscheinen. Statt mühsam Daten manuell abzutippen, werden gedruckte Lieferscheine einfach eingescannt und von einem KI-System analysiert.

Durch den Einsatz mehrerer spezialisierter Large Language Models (LLMs) ist das System in der Lage, selbst komplexe Dokumente zuverlässig zu interpretieren. Dabei spielt es keine Rolle, welches Layout, welche Sprache oder welche Abkürzungen für Positionen – etwa für Mengen, Mengeneinheiten, Artikel oder Bestellnummern – verwendet werden.

So werden typische Fehler bei der manuellen Eingabe und beim Interpretieren von Lieferscheindaten vermieden. Die erfassten Informationen werden automatisch mit den vom ERP-System bereitgestellten Daten (z. B. auf Basis der Bestell- oder Lieferantennummer) abgeglichen. Dadurch erkennen die Logistik-

Mitarbeitenden direkt, ob eine Lieferung vollständig und korrekt ist. Abschließend werden alle Informationen strukturiert an die relevanten IT-Systeme innerhalb der Prozesskette übergeben und stehen damit in Echtzeit für die weitere Verarbeitung zur Verfügung.

*Die Lösung für die Warenannahme zur automatisierten Artikelerfassung:  
Vision AI Label Reader*

Gemeinsam mit COMI entwickelte Rutronik den »Vision AI Label Reader«, ein System, das industrielle Kameras mit KI-gestützter Software kombiniert. Der Reader erkennt alle gängigen 1D- und 2D-Codes, wie Barcodes und QR-Codes, automatisch und unabhängig von ihrer Position und Ausrichtung. Das System ist auch in der Lage, gedruckten Text sowie handschriftliche Ergänzungen zuverlässig zu erfassen. Dies ist ein entscheidender Vorteil, insbesondere für Unternehmen in der EMS-Industrie, in der handschriftliche Hinweise, etwa beim Rollenwechsel, häufig vorkommen.

Über intelligente Parser-Algorithmen werden Artikelnummern, Mengen, Produktionsdaten und Herkunftsinformationen extrahiert und direkt in die Logistikdatenbank überführt. Das System verarbeitet auch uneinheitlich gestaltete Etiketten zuverlässig und stellt alle Informationen in Echtzeit zur Verfügung. Dank eines visuellen Frontends können Mitarbeitende die erfassten Daten sofort prüfen und somit etwaige Unstimmigkeiten direkt klären. Das

Gerade für EMS-Unternehmen mit Kunden in stark regulierten Branchen wie Automotive, Medical oder Pharma, in denen Rückverfolgbarkeit gesetzlich gefordert ist, bieten der Label Reader und der Document Reader einen klaren Wettbewerbsvorteil.

*Skalierbarkeit für weitere Anwendungen*

Die Systeme sind modular aufgebaut und lassen sich problemlos auf weitere Prozesse anwenden. So kann der Document Reader beispielsweise auch im Auftragseingang eingesetzt werden, um eingehende Bestellungen – ob per E-Mail oder als PDF – automatisiert zu verarbeiten. Durch regelmäßige Software-Updates bleiben beide Systeme flexibel und sind für zukünftige Anforderungen bestens gerüstet.

*Fazit: Automatisierung als strategischer Hebel*

Die Zusammenarbeit zwischen Rutronik und COMI zeigt, wie KI-Technologie konkret in der Logistik der Elektronikindustrie eingesetzt werden kann, um manuelle Prozesse zu automatisieren, die Datenqualität zu steigern und die Wettbewerbsfähigkeit zu sichern. Der Vision AI Label Reader und der Vision AI Document Reader sind damit weit mehr als einzelne Tools, sondern strategische Bausteine für zukunftsfähige, digitale Logistikprozesse. ■



Cybersecurity und Komponentenstrategie

# Der Cyber Resilience Act – eine schöne Bescherung

*Ab Dezember 2027 greift der Cyber Resilience Act:  
Hersteller müssen für fünf Jahre Sicherheitsupdates liefern –  
auch für längst ausgelaufene Produkte. Das zwingt Gerätehersteller,  
Chips und Funkstacks strategischer auszuwählen.*

VON BERND HANTSCHKE, VICE PRESIDENT  
TECHNOLOGY COMPETENCE CENTER  
BEI RUTRONIK

**E**s ist Freitag, der 10. Dezember 2027. Wie jedes Jahr: In zwei Wochen ist Weihnachten – und noch immer fehlen mir Geschenke. Mein Neffe, ein Technikfreak, schwärmt von einem smarten Fingerring, meine Tante träumt von einer neuen Küchenmaschine – also ab in den Elektronikmarkt. Dort war jedoch bereits Feierabend, sodass ich am Samstag wiederkommen musste. Glück im Unglück: Die Geräte, die ich am 11. Dezember 2027 kaufte, fielen unter eine neue Regelung – den Cyber Resilience Act (CRA). Damals war mir nicht bewusst, dass dieser »verpasste« Freitag einmal entscheidend sein würde.

Fünf Jahre später im Jahr 2032. Die Geschenke werden noch genutzt – bis plötzlich Probleme auftreten. Der Ring zeigt falsche Gesundheitswerte an und die Küchenmaschine macht merkwürdige Kaufvorschläge. Eine Untersuchung im Labor der Digitalforensik ergibt: Beide Geräte wurden kompromittiert. Im Ring wurde die Firmware aktualisiert, allerdings nicht vom Hersteller. Auch der Kochau-

tomat wurde per Funk von unbekannten Dritten umprogrammiert. Solche Manipulationen sind bei Geräten möglich, die einen Rechenkern für Software sowie eine Schnittstelle zur Änderung der Software enthalten – und genau hier greift der CRA.

## Qualität neu gedacht

Um europäische Verbraucherinnen und Verbraucher besser vor Cyberangriffen zu schützen, hat die Europäische Union bereits im Jahr 2024 den CRA verabschiedet. Dieser verpflichtet Hersteller – für alle Produkte, die ab dem 11. Dezember 2027 im EU-Wirtschaftsraum verkauft werden – mindestens fünf Jahre lang Sicherheitsupdates bereitzustellen und die Rückverfolgbarkeit sicherzustellen.

Das Beispiel des smarten Vitalfingerrings zeigt, welche Folgen das hat. Der Hersteller muss für die zu erwartende Nutzungsdauer, jedoch in meinem Fall mindestens bis zum 11.



Bild: Rutronik



Dezember 2032 bekanntwerdende Sicherheitslücken schließen. Wird etwa der Bluetooth-Pairing-Prozess manipuliert, liegt die Verantwortung zunächst beim Ringhersteller. Dieser muss sich wiederum an den Lieferanten des verbauten Bluetooth-Systemchips wenden. Ist der Chip mängelfrei, liegt das Problem also nicht in der Hardware, sondern in der Protokollsoftware, also im Bluetooth-Stack. Und dieser stammt oft von Drittanbietern, häufig aus Asien. Dann bleibt nur zu hoffen, dass der Chiphersteller mit dem Stack-Entwicklungsunternehmen auch einen langfristigen Support vertraglich geregelt hat. Fünf Jahre sind in Standardverträgen bislang keine übliche Frist. Im Industrieumfeld ist die zu erwartende Nutzungsdauer sogar zumeist erheblich länger.

Ganz so fiktiv ist dieses Szenario nicht: Im Jahr 2020 wurde tatsächlich eine gravierende Bluetooth-Sicherheitslücke entdeckt. Alle Hersteller von Bluetooth-ICs – und damit von Softwarestacks – hatten diesen Fehler übernommen und in ihre Produkte eingebaut. Hätte einer der Halbleiterhersteller den Fehler eigenmächtig korrigiert, wäre seine Software nicht mehr Bluetooth-konform gewesen. Erst als die Bluetooth Special Interest Group (BSIG) die Spezifikation korrigierte, konnten die Halbleiterhersteller Updates erstellen und die Geräte nachträglich patchen. [1]

Die Lehre daraus ist: Hersteller, die ihre Prozesse im Griff haben, werden vom CRA profitieren, während andere an den neuen hohen Anforderungen scheitern werden. Es reicht nicht mehr aus, dass eine Baugruppe einfach funktioniert. Entscheidend ist, ob auch in fünf Jahren noch Updates möglich sind – und ob die Lieferanten dafür einstehen.

Mit Weitsicht wählt man heute Chipproduzenten, die Hardware und Software aus einer Hand liefern. So sitzt das Know-how unter einem Dach und der Kunde erhält eine durchgängige, sichere Lösung. Die mühselige Fehlersuche an Schnittstellen verschiedener Zulieferer entfällt, ebenso wie Verhandlungen mit Partnern, für die die EU oft nicht der Hauptabsatzmarkt ist.

Das Problem ist jedoch, dass Chipdesign und Funkstacks oft so vermarktet werden, als stammten sie aus einer Hand – in der Praxis ist das jedoch nicht immer gegeben. Einige Bluetooth-Chip-Hersteller konzentrieren sich auf das Hardwaredesign, während die Stacks zugekauft werden. Genau diese Trennung erschwert spätere Updates und macht die rechtliche Absicherung kompliziert.

Rutronik setzt hier bewusst auf eine redundante Alles-aus-einer-Hand-Strategie: Für Bluetooth- und WiFi-SoC-Lösungen werden Chips zweier konkurrierender Hersteller vermarktet, die jedoch ihre enthaltene Software selbst programmieren, sodass Hardware und Software aus einer Hand kommen. Infineon und Nordic Semiconductor – beide europäische Hersteller – setzen auf hauseigenes Know-how, sowohl was das Design des Siliziums als auch die Algorithmen betrifft. Ein Update für einen 2027 abgekündigten Chip ist 2032 problemlos möglich, weil keine weiteren Firmen in die Entwicklung eingebunden sind und somit keine »Blackboxes« verbaut wurden.

Ein weiterer Trend zeichnet sich ab: KI-Software für Mikrocontroller wird immer wichtiger und die Hersteller wollen sich hierbei nicht allein auf Drittanbieter verlassen. Neben hauseigenen Funkstacks bieten Infineon und Nordic inzwischen auch eigene Machine-Learning-Tools an. Infineon setzt bei seinen PSOC-Mikrocontrollern auf Imagimob Deepcraft, Nordic positioniert seine nRF-Controller mit Neuton neu – für Anwendungen von Bewegungs- und Geräuscherkennung bis hin zu Predictive-Maintenance-Szenarien. Beide Hersteller werden die so vom Kunden erstellten KI-Funktionen auch mittels dafür optimierten Rechenkernen zukünftig noch weiter auf Energieeffizienz trimmen.

Grundsätzlich hat der CRA den Qualitätsprozess im Herstellermanagement des Distributors bereits beeinflusst und wird mittelfristig auch in die Komponentenauswahl der Gerätehersteller einfließen. Europäische Halbleiterhersteller, die ihre eigene Software verwenden, versprechen im Hinblick auf die vielen CRA-Auflagen einige Sorgenfalten weniger für Gerätehersteller als der Einsatz von SoCs, deren Stacks nur zugekauft und gelabelt wurden.

### Ein Gesetz mit weitreichenden Folgen

Der CRA polarisiert: Für die einen ist er ein Bürokratiemonster mit Wettbewerbsnachteilen gegenüber anderen Weltregionen, für die anderen ein notwendiger Schutzschirm – auch, weil er weniger professionelle Marktteilnehmer aussiebt und so verlässliche Hersteller stärkt. Er ist Teil der Cybersicherheitsagenda des Bundesinnenministeriums. Diese baut unter anderem das BSI als zentrale Anlaufstelle aus und versteht Cybersicherheit als gemeinsame Aufgabe von Wirtschaft, Staat und Gesellschaft. [2]

Absehbar ist: Gerade für Start-ups und kleine Firmen werden die Auflagen zur Hürde. So schreibt der CRA-Meldeprozesse mit einer Reaktionszeit von je nach Anwendungsfall 24 bis 72 Stunden vor – unabhängig davon, ob es sich um einen Werktag oder einen Feiertag



## Technologieentscheidungen im Kontext des CRA

Mit dem CRA verschiebt sich der Fokus vieler Hersteller: Es reicht nicht mehr aus, einfach »funktionierende« Chips einzukaufen, denn die Updatepflicht zwingt zu strategischen Entscheidungen. Es gilt die verschuldensunabhängige Haftung. Das bedeutet, dass der Gerätehersteller für die Cybersicherheit seines Gerätes haftet und sich nicht einfach auf Sicherheitslücken in verbauten Komponenten und Bauteilen berufen kann.

Ein Beispiel: Ein Hersteller setzt auf einen Bluetooth-Chip in seinem Produkt. Treten in den folgenden fünf Jahren Sicherheitslücken im Funk-Stack auf, muss er Patches bereitstellen. Hat der Chip-Hersteller den Funk-Stack nur zugekauft, bedeutet das für den Gerätehersteller oft mühsame Nachverhandlungen, unklare Zuständig-

keiten und ein Wettrennen gegen Fristen. Besser aufgestellt sind Anbieter wie Infineon und Nordic Semiconductor, die Hardware und Funkstacks unter einem Dach entwickeln. Das senkt das Risiko von Supportlücken und vereinfacht die rechtliche Absicherung.

Für OEMs bedeutet das: weniger Schnittstellen, mehr Kontrolle und vor allem eine realistische Chance, auch 2032 noch Updates für Chips liefern zu können, die bereits 2027 angekündigt wurden.

Zum On-Demand Webinar  
»Cyber Resilience Act:  
Folgen für den Verkauf  
von elektronischen Geräten  
in der EU ab November 2027«  
mit Experten von Infineon,  
TÜV Süd und 1ACUE  
geht es hier.





handelt. So macht er das CE-Zeichen ab Ende 2027 zu einem Nachweis der Cybersicherheitskonformität. Damit steigen die Zertifizierungs- und Dokumentationspflichten erheblich.

Herausfordernd ist insbesondere die Tatsache, dass Hersteller auch fünf Jahre nach dem letzten Produktverkauf Sicherheitsupdates liefern müssen, sofern die erwartete Produktnutzungsdauer nicht noch länger ist, selbst wenn das Gerät längst nicht mehr am Markt ist. Das können Konzerne eher stemmen als kleine Manufakturen, die ihre Nischenprodukte fast handgefertigt ausliefern. Klar ist aber auch: Die Größe oder das Alter eines Unternehmens dürfen nicht zulasten der Produktsicherheit gehen. Distributoren wie Rutronik unterstützen ihre Kunden daher bereits heute mit Beratung, Webinaren und Partnerschaften, beispielsweise mit dem TÜV Süd, um die CRA-Anforderungen praxisnah umzusetzen. [3]

Der Fachverband Bauelemente Distribution e. V. (FBDi) unterstützt seine Mitglieder frühzeitig mit juristischem Beistand, FAQs und Leitfäden, um die Anforderungen des CRA möglichst früh greifbar zu machen. Eine eigens dafür eingerichtete Projektgruppe arbeitet an der Einstufung von Produkten, der Auslegung von Meldepflichten und der Unterstützung der Distributoren, damit die neuen Pflichten praxisnah umsetzbar bleiben. Der Verband entlastet damit nicht nur seine Mitglieder, sondern schafft auch Orientierung für Gerätehersteller, die sich auf verlässliche Lieferketten und rechtskonforme Beratung stützen müssen. Eine von der EU-Kommission eingesetzte Expertengruppe – zu deren Teilnehmern auch als Teil von Eurosmart der Halbleiterspezialist Infineon, der größte Franchisepartner von Rutronik zählt – arbeitet zudem u. a. an genaueren Spezifikationen für die Risikobewertung von elektronischen Bauelementen. Gegen Ende dieses Jahres sollte sich eine Rechtsverbindlichkeit abzeichnen, wann ein Mikrocontroller juristisch manipulationssicher ist oder nur sicherheitsrelevante Funktionen erhält.

### Fazit

Der CRA verändert die Branche grundlegend. Gerätehersteller werden künftig nicht mehr nur nach Preis und Leistung entscheiden, sondern auch nach der Frage: »Wer hilft mir, fünf Jahre lang sicher zu bleiben?« Zulieferer, die inhouse entwickelte Hardware und Software anbieten, nehmen ihren Kunden damit entscheidende Sorgen ab.

Denn klar ist: Küchenmaschinen dürfen nicht von Fremden zu Werbeträgern umfunktioniert werden und Vitalringe sollten keine falschen Gesundheitswarnungen verbreiten. Diese Beispiele wirken harmlos im Vergleich zu den Szenarien, die entstehen, wenn Schließsysteme, Identifikations- oder Zugangsfunktionen kompromittiert oder Botnetze für DDoS-Angriffe aufgebaut werden. Darum gilt: Wir müssen jetzt gemeinsam handeln – als europäischer Distributor unterstützt Rutronik Hersteller weltweit dabei, ihre Produkte an die Anforderungen des europäischen Marktes anzupassen – auch nach dem 11. Dezember 2027.

### Referenzen

[1] [https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Warnmeldungen/DE/TW/2020/05/warnmeldung\\_tw-t20-0086\\_update\\_1.html](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Warnmeldungen/DE/TW/2020/05/warnmeldung_tw-t20-0086_update_1.html)

[2] <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/themen/sicherheit/cybersicherheitsagenda-20-legislatur.pdf>

[3] [https://www.rutronik.com/de/events/seminars/cyber-resilience-act-webinare/on-demand-inhalte-cyber-resilience-act-webinar?em\\_src=cp&em\\_cmp=Rutronik/2025/06\\_2025\\_CRA-Webinar/LP/de/webinar](https://www.rutronik.com/de/events/seminars/cyber-resilience-act-webinare/on-demand-inhalte-cyber-resilience-act-webinar?em_src=cp&em_cmp=Rutronik/2025/06_2025_CRA-Webinar/LP/de/webinar)

**molex**



## High-Power Connectivity Made Reliable With COEUR Socket Technology

COEUR socket technology delivers compact, efficient and reliable high-power connectivity. It reduces contact resistance and heat for safe, long-lasting performance. With COEUR enabled products such as PowerWize and SW1, Molex supports automotive, industrial, energy and data center power applications worldwide.



SCAN AND CONNECT





Gesten, Sprache, Display: HMI mit Edge-KI im Kleinformat

# Multimodale Schnittstelle auf PSOC™-Basis

*Berührung, Sprache, Gesten: Ein Demonstrator zeigt, wie moderne Mensch-Maschine-Interaktion auf engem Raum umgesetzt werden kann. Eingebettete Intelligenz und flexible Schnittstellen ermöglichen reaktionsschnelle, intuitive Bedienkonzepte.*

VON JORDAN ROSE,  
FIELD APPLICATION ENGINEER  
BEI RUTRONIK, UND  
STEPHAN MENZE, HEAD OF GLOBAL INNO-  
VATION MANAGEMENT BEI RUTRONIK

Die Art und Weise, wie Menschen mit Maschinen interagieren, verändert sich rasant. Während Touch Displays inzwischen zum Standard gehören, gewinnen berührungslose Bedienkonzepte zunehmend an Bedeutung, und zwar insbesondere für Anwendungen, bei denen Hygiene, Umwelteinflüsse oder physische Einschränkungen eine Rolle spielen.

Der hier vorgestellte Demonstrator (Bild 1) zeigt exemplarisch, wie sich unterschiedliche Sensorprinzipien – Radar, Sprache und Berührung – in einem einzigen Embedded-System zu einer robusten Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) kombinieren lassen. Ziel war es, die Robustheit der Erkennung gegenüber Fremdeinflüssen wie starkem Sonnenlicht, Regen oder Umgebungsgeräuschen ebenso zu demonstrieren wie bei verschmutzten Händen oder mit Handschuhen. Der Demonstrator entstand im Rahmen von Kunden- und internen Entwicklungsprojekten und dient als praxis-

nahe Grundlage, um Know-how zu Hard- und Software sowie Algorithmen für die Radar-Gestenerkennung und Sprachsteuerung bereitzustellen.

## Systemarchitektur im Überblick

Der Demonstrator vereint alle zentralen Elemente einer modernen, multimodalen Mensch-Maschine-Schnittstelle in einem kompakten Aufbau. Die Integration von Gesten- und Sprachsteuerung, Motorregelung sowie grafischer Anzeige erfordert eine sorgfältig abgestimmte Architektur, die sowohl die unterschiedlichen Sensor- und Aktorschnittstellen als auch die parallele Verarbeitung in Echtzeit berücksichtigt.

Eine besondere Herausforderung bestand darin, heterogene Komponenten mit verschiedenen elektrischen Schnittstellen, von Hochgeschwindigkeits-Displayanbindungen bis zu



Bild 1: Gesamtansicht des Demonstrators mit Display, Radarmodul, Mikrocontroller-Board, Display und Motor. (Bilder: Rutronik System Solutions)

latenzkritischen Sensoreingängen, auf einer einzigen Mikrocontrollerplattform zu kombinieren. Der eingesetzte PSOC™ Edge von Infineon stellt die Rechenleistung und die Peripherie für Signalverarbeitung und Ansteuerung bereit, während das Echtzeitbetriebssystem FreeRTOS die einzelnen Aufgaben koordiniert und die Datenströme sowie Steuerbefehle über den internen AHB-Interconnect-Bus verwaltet.

Tabelle 1 zeigt die zentralen Hardwarekomponenten des Demonstrators, ihre wichtigsten Eigenschaften und Funktionen.

Gestenerkennung mit 60-GHz-Radar

Die Gestenerkennung ist das zentrale Steuerelement des Demonstrators. Erfasst werden Links- und Rechtsbewegungen, die den Motor entsprechend schneller oder langsamer drehen, sowie eine »Push«-Bewegung, um den Motor zu stoppen. Herzstück ist ein 60-GHz-FMCW-Radarsensor zur Bewegungsdetektion. Die Signalverarbeitung erfolgt vollständig auf dem Cortex-M55-Kern des PSOC™ Edge. Machine Learning wird hier nicht eingesetzt, wodurch sich die Entwicklungszeit verkürzt, und der Trainingsaufwand entfällt.

Ablauf der Gestenerkennung im Demonstrator (Bild 2):

- **Eingangsdaten:** Magnitude und AoA (nur Azimut, da aktuell nur die Richtungen »links« und »rechts« unterschieden werden).
- **Erfassung:** Ein 60-GHz-FMCW-Radarsensor mit einer Sende- und drei Empfangsantennen liefert pro Antenne ein separates Signal.

- **Bewegungserkennung:** Doppler-FFT pro Antennensignal zur Identifikation bewegter Ziele und zur Unterdrückung statischer Objekte.
- **Richtungsbestimmung:** Berechnung des Azimutwinkels aus den Phasendifferenzen der Empfangsantennen.
- **Gestenklassifikation:** Auswertung des zeitlichen Verlaufs des Azimutwinkels, um Bewegungsarten wie »Left Swipe«, »Right Swipe« oder »Click« zu erkennen.

Die Latenzzeit beträgt etwa 10 Millisekunden nach Ende einer Bewegung. Eine Geste kann aus einer Entfernung von rund 5 bis 30 Zentimetern oder bei entsprechender Konfiguration auch aus größerer Entfernung zuverlässig erkannt werden, selbst bei komplexen Reflexionsverhältnissen und unter typischen Umweltfaktoren wie Sonnenlicht. Durch die Einbeziehung der Elevation (vertikaler Winkel) besteht Erweiterungspotenzial zur Erkennung zusätzlicher Gesten wie »Up/Down«.

Ergänzt wird die Gestenerkennung durch eine Sprachsteuerung mittels Keyword Spotting. Hierbei erfasst ein MEMS-Mikrofon die Sprachsignale, die auf dem Cortex-M55 des PSOC™-Edge-Mikrocontroller vorverarbeitet und mit einem trainierten neuronalen Netz ausgewertet werden. Das Netz mit mehreren Convolution-Layern ist speziell für die Erkennung weniger, klar definierter Schlüsselwörter, wie »Start« oder »Stopp« optimiert.

Das Modell wurde in Python mit den Bibliotheken Keras und TensorFlow entwickelt und anschließend mit dem ML Configurator von Infineon für den Einsatz auf dem PSOC™ Edge portiert. Die Inferenz läuft auf dem Cortex-M55 mit einer optimierten TensorFlow-Lite-Micro-Laufzeitumgebung.

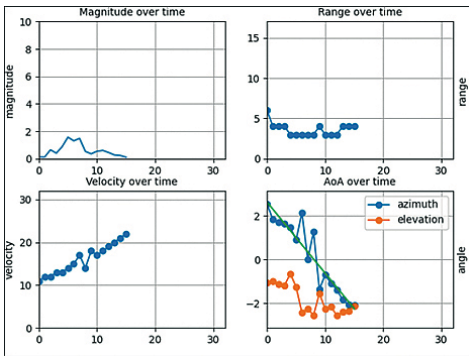


Bild 2: Gestenerkennung mit dem Radar BGT60TR13C von Infineon.

Ablauf des Keyword-Spotting-Prozesses (Bild 3):

- **Audioaufnahme:** Das digitale MEMS-Mikrofon (16 kHz Abtastrate) liefert PDM-Daten.
- **Vorverarbeitung:** Umwandlung in eine MEL-Filterbank per Window Slicing (Dauer: ~530 µs).
- **Inferenz:** Auswertung der MEL-Spektren durch das CNN (mehrere Convolution Layer).
- **Ergebnis:** Das erkannte Schlüsselwort wird als Steuerbefehl an die Motorsteuerung oder andere Systemfunktionen weitergegeben.

Motorsteuerung für BLDC mit Hall-Sensoren

Als direktes Feedback für die Gesten- oder Sprachbefehle dient ein bürstenloser Gleichstrommotor (24 V, max. 4.800 RPM), der direkt vom Mikrocontroller angesteuert wird. Über integrierte Hall-Sensoren erfasst das System die aktuelle Drehzahl und passt sie abhängig von Gesten- oder Sprachbefehlen an.

Für die Ansteuerung kommt das Dreifach-Halbbrückenmodul IFX007T von Infineon zum Einsatz, das über PWM-Signale und digitale Steuerleitungen angesteuert wird. Die Regelung der Motordrehzahl erfolgt mit einer Abtastrate von 1 kHz, sodass Drehzahländerungen schnell und präzise umgesetzt werden. Die Motorfunktion ist vor allem als Demonstrationsobjekt gedacht, lässt sich jedoch leicht durch andere Aktoren oder Anzeigesysteme ersetzen.

Benutzeroberfläche mit Touch Display

Zur Visualisierung der Systemzustände dient ein kapazitives 7-Zoll-Touch-Display (mit ei-

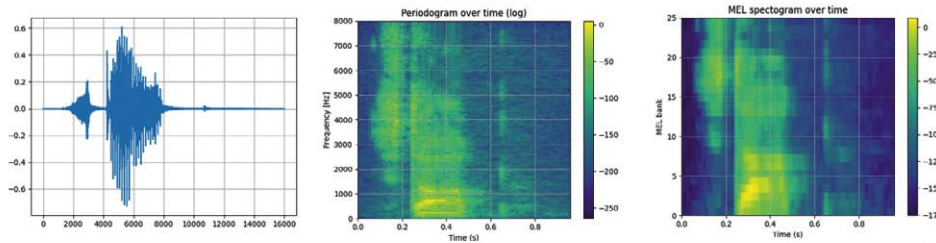
Komponente	Eigenschaft	Funktion
BLDC-Motor mit Hall-Sensoren	Steuerung über PWM und GPIOs (Hall-Sensoren)	Rotationsgeschwindigkeit und -Richtung sind einstellbar, Rückmeldung der Rotorposition
Digitales Mikrofon IM69D130 XENSIV MEMS von Infineon	Anbindung über digitale PDM-Schnittstelle	Erfassung von Audiosignalen für Keyword Spotting
1024-600 IPS TFT LCD Touch Display von Raystar	Anbindung über MIPI DSI, kapazitive Touch-Technologie	Visualisierung von Systemzuständen, Bedienung per Touch
60-GHz-Radar-IC BGT60TR13C von Infineon	Anbindung über Anbindung über SPI und GPIOs	Erfassung von Audiosignalen für Keyword Spotting
Motor Control Board IFX007T von Infineon	Dreifach-Halbbrückenmodul	Leistungsansteuerung des BLDC-Motors
Evaluation Board mit PSOC™ Edge von Infineon	Multikern-Mikrocontroller mit NPU (Neural Processing Unit)	Zentrale Verarbeitung von Radar-, Audio-, Display- und Motorsteuerungssignalen

Tabelle 1: Zentrale Hardwarekomponenten des Demonstrators mit ihren Eigenschaften und Funktionen.





## 1. Audio source: Infineon's M69D130 XENSIV™ MEMS Microphone



## 2. Signal processing on Cortex-M55



## 3. NN inference on ARM Ethos-U55

ner Auflösung von  $1.024 \times 600$  Pixeln). Es zeigt unter anderem Drehzahlwerte, erkannte Gesten und den Status der Sprachsteuerung an.

Die grafische Oberfläche wird mit der Open-Source-Bibliothek LVGL direkt auf dem Mikrocontroller erzeugt. Dank effizienter Speicher- und Prozessornutzung können Bedienoberfläche, Gestenerkennung und Sprachverarbeitung gleichzeitig in Echtzeit ausgeführt werden. Die Bildwiederholrate von rund 10 FPS reicht für Statusanzeigen und Bedienrückmeldungen vollkommen aus.

### Besondere Herausforderungen und Learnings

Ein zentrales Merkmal des Demonstrators ist der direkte Vergleich zweier Ansätze: klassische Signalverarbeitung und Machine Learning (ML). Bei der Gestenerkennung per 60-GHz-Radar wurde bewusst auf ML verzichtet, da es funktional nicht erforderlich war. Dadurch wurde eine robustere, latenzarme Erkennung ohne Trainingsaufwand möglich. Das Verfahren ist unempfindlich gegenüber Fremdlicht, Störgeräuschen und variierenden Handpositionen.

Im Gegensatz dazu setzt die Sprachsteuerung per Keyword Spotting auf ein vortrainiertes neuronales Netz, das speziell für wenige, klar definierte Schlüsselwörter wie »Start« und »Stopp« optimiert wurde. Hier spielt Machine Learning seine Stärken aus, da es gezielt auf wiederkehrende, genau spezifizierte Ereignisse reagieren kann. Die Algorithmen basieren auf öffentlich verfügbaren Datensätzen, die zur Stabilisierung der Erkennung verwendet wurden.

Dieser hybride Ansatz, bei dem klassische Signalverarbeitung dort zum Einsatz kommt, wo sie schneller und robuster ist, und Machine Learning dort, wo es die Erkennung gezielt verbessert, zeigt, wie sich unterschiedliche Verfahren optimal kombinieren lassen, um eine vielseitige und praxistaugliche HMI-Lösung zu schaffen.

Das Ziel bestand zudem darin, zu demonstrieren, dass sich alle Funktionen, wie Gestenerkennung, Sprachsteuerung, Motorregelung und grafische Anzeige, vollständig auf einem einzigen Mikrocontroller implementieren lassen. Dies erforderte eine enge Verzahnung von Hard- und Softwarekomponenten sowie die Echtzeitverarbeitung mehrerer Sensordatenströme unter den begrenzten Ressourcen einer Embedded-Plattform. Dabei mussten unterschiedliche Schnittstellen koordiniert, Latenzen minimiert und Prioritäten sinnvoll verteilt werden. Die modulare Architektur und die klare Trennung der Funktionseinheiten ermöglichen eine flexible Anpassung an verschiedene Anwendungsszenarien und bieten Entwicklerinnen und Entwicklern eine sofort nutzbare Grundlage für eigene Projekte.

### Ausblick und Übertragbarkeit in reale Anwendungen

Die Kombination aus Radar-, Audio- und Motorsteuerung in einem einzigen System dient nicht nur als technische Machbarkeitsstudie, sondern auch als praxisnahe Basis für den Know-how-Transfer. Kunden profitieren von sofort einsatzbereiten Softwarebeispielen, mit denen sie eigene Tests durchführen oder auf dieser Grundlage schnell eigene Umgebungen entwickeln können. Das spart erheblich Zeit bei der Projektumsetzung.

Bild 3: Ablauf des Keyword-Spottings.

Der Demonstrator eignet sich als Referenzplattform und kann bei Bedarf an Kundenprojekte angepasst werden. Anwendungen sind auch in speziellen Laborumgebungen wie Reinräumen oder Gloveboxen möglich. Auf Anfrage stehen nicht nur die Hard- und Softwarebasis, sondern auch begleitende Materialien wie Beispielcode, Schaltpläne, Application Notes oder Anleitungen zur Verfügung. Anpassungen an individuelle Anforderungen sind umsetzbar, etwa durch die Integration zusätzlicher Funktionen, Änderungen an der Spracherkennung oder Erweiterungen im Bereich der Gestenerkennung.

Ein Beispiel für die Übertragbarkeit ist der Einsatz eines neuronalen Netzes auf einer RDK2-Plattform in Kombination mit einem RAB3-Radar. Wer die Prinzipien von Datensammlung, Training und Implementierung eines neuronalen Netzes einmal verstanden hat, kann diese Methoden auf andere Plattformen übertragen. Das Toolset von Infineon unterstützt diesen Prozess und erleichtert die Portierung erheblich.

Darüber hinaus sind weitere Entwicklungen mit Radartechnologie geplant, um zusätzliche Anwendungsbeispiele zu realisieren und den Funktionsumfang zu erweitern. Der Demonstrator ist somit nicht nur ein konkreter Technologiebaustein, sondern auch eine offene Plattform für die Entwicklung smarter, sensorbasierter HMI-Lösungen im Embedded-Umfeld.

### Referenzen

[1] [https://github.com/RutronikSystemSolutions/RAB3-Radar\\_Documents/blob/main/RAB3-Radar\\_AppNote\\_Signal\\_Processing.pdf](https://github.com/RutronikSystemSolutions/RAB3-Radar_Documents/blob/main/RAB3-Radar_AppNote_Signal_Processing.pdf) (App Note "Signal Processing" von Rutronik System Solutions, August 2024)



Timing-Komponenten für Automotive und Industrie

# Quarze optimal auf ICs abstimmen

*Taktsignale sind das Herz jeder digitalen Schaltung. Doch schon kleinste Abweichungen in der Peripherie können zu Instabilitäten führen. Erfahren sie, warum exakte Schaltungsabstimmung essenziell ist und wie sich typische Fehler vermeiden lassen.*

VON ALEXANDER RZYPEK,  
SENIOR MANAGER PRODUCT MARKETING  
INDUCTORS BEI RUTRONIK

In der Welt der Elektronik sind präzise Taktgeber das Herzstück vieler Anwendungen – von der Automobiltechnik bis zur Industrieautomation. Während integrierte Schaltungen (ICs) in der Regel mit verschiedensten Timing-Bausteinen funktionieren, sind Quarzeinheiten (engl. Crystal Units) aufgrund ihrer hohen Frequenzstabilität und Zuverlässigkeit häufig die erste Wahl.

Doch nur mit einer sorgfältigen Abstimmung der Peripheralschaltung lässt sich das volle Potenzial dieser Bauteile ausschöpfen.

## Was ist eine Quarzeinheit?

Eine Quarzeinheit ist ein passives Bauteil, das auf dem piezoelektrischen Effekt basiert: Wird an einen Quarzkristall eine Spannung angelegt, beginnt dieser zu schwingen. Diese mechanischen Schwingungen werden in elektrische Signale umgewandelt und liefern eine präzise Frequenz. Um diese Schwingungen zu

erzeugen, ist jedoch eine geeignete Oszillatorschaltung erforderlich. Dabei bestimmt der Quarz selbst die Taktfrequenz des gesamten Systems.

## Herausforderungen bei der Schaltungsabstimmung

Die korrekte Funktion einer Quarzeinheit hängt maßgeblich von der Auslegung der umgebenden Schaltung (Bild 1) ab. Wichtige Parameter sind:

- Lastkapazitäten ( $C_1$ ,  $C_2$ ) beeinflussen die Schwingfrequenz und die Stabilität.
- Der Rückkopplungswiderstand ( $R_f$ ) sichert die notwendige Verstärkung.
- Der Dämpfungswiderstand ( $R_D$ ) verhindert unerwünschte Schwingungen.
- Layoutbedingte parasitäre Kapazitäten beeinflussen ggfs. die Gesamlastkapazität.

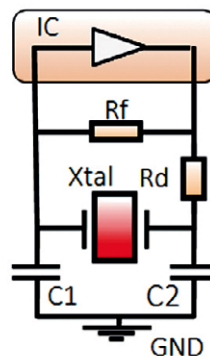


Bild 1: Typische Schaltung zur Ansteuerung eines Quarzes mit externen Lastkondensatoren ( $C_1$ ,  $C_2$ ), Rückkopplungswiderstand ( $R_f$ ) und Dämpfungswiderstand ( $R_D$ ). Eine korrekte Dimensionierung dieser Komponenten ist entscheidend für eine stabile Oszillation. (Bilder: Kyocera AVX)

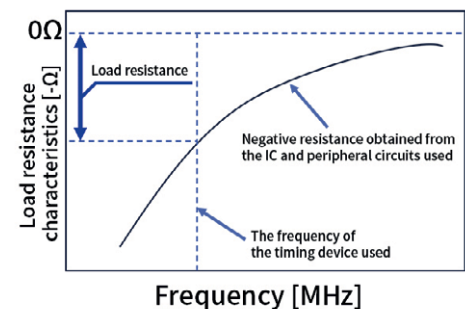
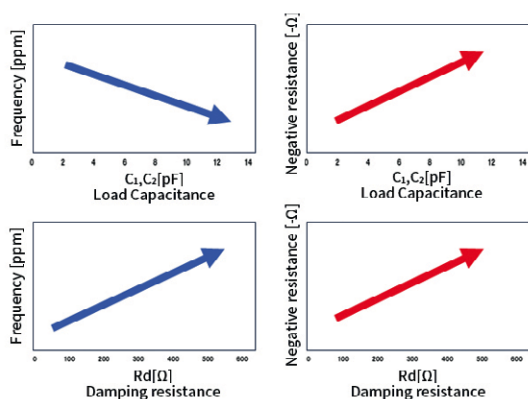


Bild 2: Darstellung der Lastwiderstandseigenschaften in Abhängigkeit von der Frequenz. Der negative Widerstand der Schaltung muss betragsmäßig größer sein als der Resonanzwiderstand des Quarzes, um eine stabile Oszillation sicherzustellen.



How to calculate the load capacitance  $C_L$

$$C_L = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} + C\alpha$$

\* $C\alpha$  is the stray capacitance of patterns, etc. and the input/output capacitance of the IC, and is about 5 pF.

Bild 3: Einfluss von Last- und Dämpfungswiderständen auf Frequenz und negativen Widerstand. Die Lastkapazität  $C_L$  ergibt sich aus  $C_1$ ,  $C_2$  und parasitären Anteilen (z. B. Leiterbahnkapazität), gemäß der dargestellten Berechnungsformel.

Eine fehlerhafte Dimensionierung dieser Komponenten kann zu Fehlfunktionen wie Startproblemen und Frequenzabweichungen führen oder einen instabilen Betrieb zur Folge haben.

### Das Prinzip des negativen Widerstands

Ein zentrales Kriterium für eine zuverlässige Oszillation ist das Verhältnis zwischen dem negativen Widerstand der Schaltung und dem Resonanzwiderstand des Quarzes ( $R_L$ ). Nur wenn der negative Widerstand ausreichend groß ist, kann die Schaltung die Verluste des Quarzes kompensieren und stabile Schwingungen erzeugen:

Startbedingung der Oszillation:  $R_L < |-R|$

Betriebszustand der Oszillation:  $R_L = |-R|$

mit  $R_L$  = Resonanzwiderstand der Quarzeinheit unter Last

Bild 2 zeigt die Lastwiderstandseigenschaften in Abhängigkeit von der Frequenz.

Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, startet die Oszillation nicht oder es entstehen instabile Taktsignale. Typische Fehler aufgrund nicht optimierter Quarzsaltungen sind:

- Keine Oszillation oder sporadisches Startverhalten
- Frequenzabweichung jenseits der Toleranzgrenzen
- Instabile Kommunikation mit Peripherie-ICs
- Beeinträchtigung von EMV-Eigenschaften

### Einfluss der Peripherieschaltung

Die Wahl und Abstimmung der Schaltungskomponenten wirken sich sowohl auf die Frequenz als auch auf die Stabilität der Oszillation aus. Dies ist besonders kritisch bei modernen, hochintegrierten ICs, die oft sehr spezifische Anforderungen an den Taktgeber stellen. Bereits kleine Abweichungen in den Kapazitätswerten können zu erheblichen Frequenzverschiebungen oder sogar zum Ausfall der Schaltung führen.

### Matching Service und Design Support

Abhilfe schaffen exakte Berechnungen und Simulationen der Schaltung inklusive Matching Service. Dabei werden realistische IC-Parameter, Layoutgegebenheiten und Umgebungseinflüsse berücksichtigt. Die Matching-Berichte enthalten konkrete Empfehlungen für die  $C_1/C_2$ -Werte, die Oszillatorverstärkung und die Layoutanpassungen. Kyocera AVX bietet ein umfangreiches Portfolio an Quarzen für verschiedenste Anwendungen. Einen Überblick zeigt Tabelle 1.

### Fazit

Die Auswahl und korrekte Einbindung einer Quarzeinheit ist entscheidend für die Zuverlässigkeit und Präzision elektronischer Schaltungen. Matching Services, ein durchdachtes Schaltungsdesign und die Wahl der passenden Quarzserie bieten Entwicklerinnen und Entwicklern im Automotive- und Industriebereich praxisnahe Lösungen.

Globale Support Center unterstützen mit technischer Beratung zur Schaltungsabstimmung sowie IC-Kompatibilitätstests in Zusammenarbeit mit Halbleiterherstellern. Freigaben für Quarzprodukte werden gezielt eingeholt, beispielsweise für den Einsatz in Bluetooth-ICs eines führenden nordischen Herstellers. Diese Services helfen dabei, Designzyklen zu verkürzen und die Systemstabilität frühzeitig abzusichern. ■

Serie	Gehäuse (mm)	Frequenz (MHz)	Temperatur (°C)	Toleranz (ppm)	Anwendungen
CX2016SA	2,0 x 1,6	16 - 60	-40 bis +125	±15 / ±50	Automotive: ADAS (Kamera, Radar, LiDAR), ECU, BMS, Infotainment, EPS, Wechselrichter, Eps, V2X
CX3225GA	3,2 x 2,5	12 - 30	-40 bis +150	±15 / ±150	
CX2016DB	2,0 x 1,6	12 - 50	-40 bis +85	±10 bis ±30	Industrie: Fabrikautomation, Messgeräte, Sicherheit, Energie Verbraucher: Wearables, Haushaltsgeräte
CX2016FB	2,0 x 1,6	12 - 50	-40 bis +85	±20 bis ±50	
CX3225FB	3,2 x 2,5	8 - 54	-40 bis +85	±20 bis ±50	

Tabelle 1: Quarzserien im Vergleich.





Aluminium-Elektrolytkondensatoren in Rechteckbauform

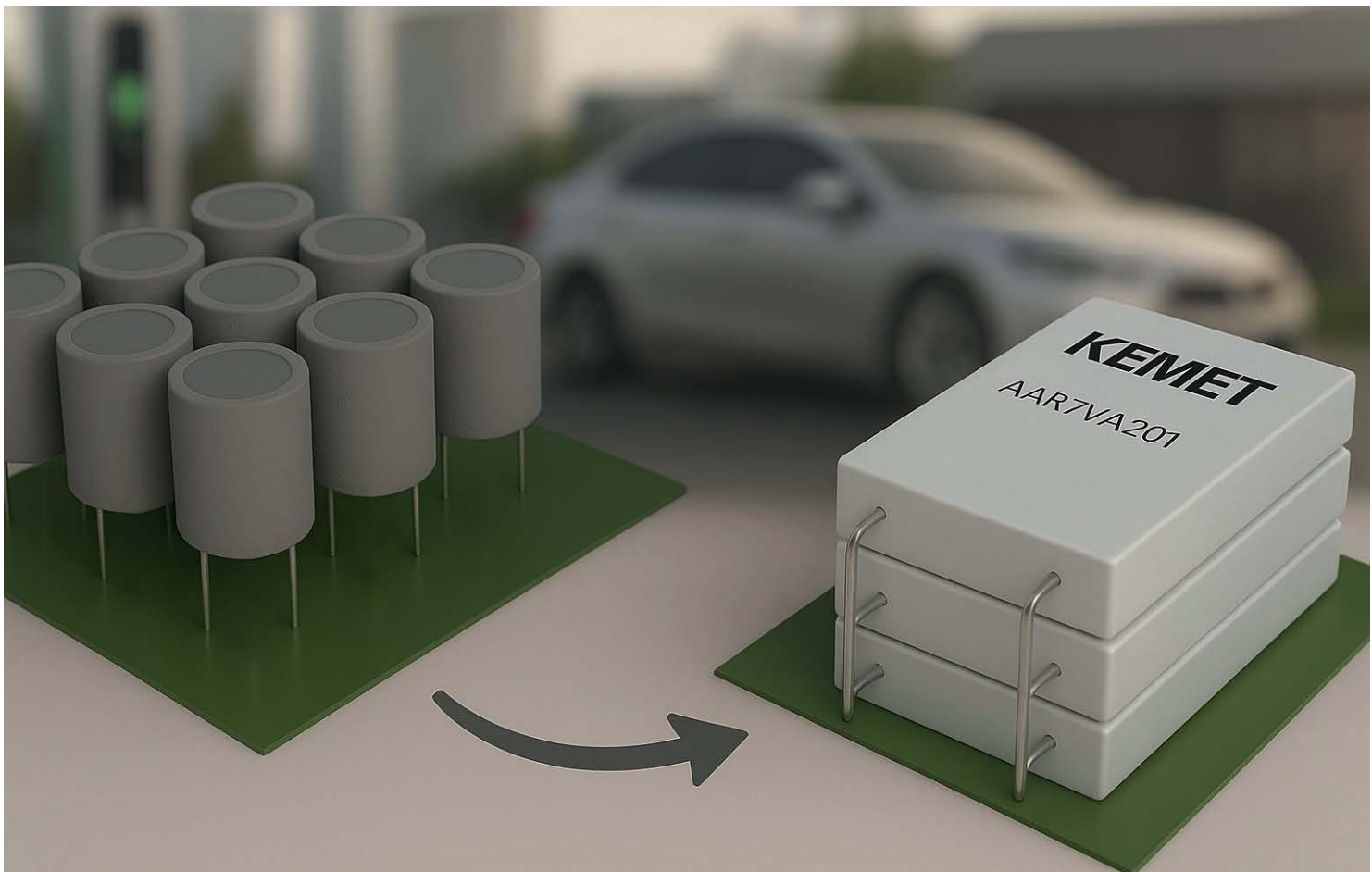
# Aus Rund wird eckig – Platz effizienter nutzen

*Rechteckige Aluminium-Elektrolytkondensatoren bieten eine platzsparende, modulare Bauweise und hohe Strombelastbarkeit. Sie überzeugen durch effiziente Kühlung, hohe Vibrationsfestigkeit und geringen Footprint – und sind jetzt auch als SMD-Version für die automatisierte Fertigung erhältlich.*

VON GERD FISCHER,  
LINE MANAGER BEI RUTRONIK

**D**ie Leistungsdichte moderner Leistungselektronik steigt kontinuierlich, insbesondere in den Bereichen Elektromobilität und dezentrale Energieversorgung. Gleichzeitig werden höhere Anforderungen an die Zuverlässigkeit, Vibrationsfestigkeit, das thermische Management und die Integration in immer kompaktere Baugruppen gestellt. Dabei spielt die Auswahl geeigneter passiver Komponenten, insbesondere von Aluminium-Elektrolytkondensatoren, eine entscheidende Rolle.

Zylindrische Standardbauformen stoßen bei hohen Anforderungen an Packdichte und thermisches Management zunehmend an ihre Grenzen, da sie den verfügbaren Bauraum nicht optimal ausnutzen, in der mechanischen Integration eingeschränkt sind und sich nur bedingt effizient kühlen lassen. Rechteckige Aluminium-Elektrolytkondensatoren mit flüssigem Elektrolyt bieten hier einen alternativen Ansatz. Unter Berücksichtigung von Einbauempfehlungen können sie das thermische Ver-



Bilder: Yageo/Kemet



halten, die Packdichte und die mechanische Robustheit deutlich verbessern.

*Modular stapelbar, vibrationsfest  
und jetzt auch SMD-fähig*

Hier kommen die rechteckigen AAR-Kondensatoren im Low-Profile-Aluminiumgehäuse mit Flüssigelektrolyt ins Spiel. Durch ihre Geometrie ist eine besonders effiziente Platzausnutzung möglich. Im Vergleich zu konventionellen, zylindrischen Snap-in-Kondensatoren kann die Grundfläche eines Kondensatorbanksystems um bis zu 35 Prozent reduziert werden. Die kompakte Bauform macht sie besonders für Anwendungen mit beschränktem Bauraum attraktiv, etwa in On-Board-Chargern, Wechselrichtern oder Wandladestationen (Bild 1).

Die AAR-Kondensatoren lassen sich zu stapelbaren Modulen kombinieren, wahlweise in liegender oder stehender Ausrichtung. Sie sind mechanisch robust ausgelegt. So widersteht die Serie AAR70 sinusförmiger Vibration bis zu 40 g und die Serie AAR80 bis zu 20 g – jeweils bezogen auf die sogenannte SIN-Vibration. Dabei



Bild 1: Der rechteckige Aluminium-Elektrolytkondensator AAR7V wird vor allem im Bereich der Elektromobilität eingesetzt, beispielsweise in Bordladegeräten, Wechselrichtern oder Wallboxen, die eine höhere Spannungsfähigkeit benötigen.

handelt es sich um eine standardisierte Prüfung mit sinusförmigem Schwingprofil über einen definierten Frequenzbereich, wie sie etwa in der AEC-Q200-Qualifikation für Automotive-Komponenten vorgeschrieben ist. Für das Erreichen dieser Vibrationsfestigkeit ist eine steife Montage des Bauteils auf der Leiterplatte oder dem Gehäuse entscheidend, möglichst unter Verwendung eines wärmeleitenden Klebers.



Bild 2: Die AAR85-Serie wurde für die vollautomatische Bestückung entwickelt und eignet sich besonders für Anwendungen mit hohen Stückzahlen, wie sie in der Automobilindustrie und Elektromobilität typisch sind.

Nur so lässt sich die hohe mechanische Belastbarkeit in der Applikation zuverlässig umsetzen. Wird die Verbindung nicht ausreichend versteift, drohen Ermüdungsbrüche an den Drahtanschlüssen.

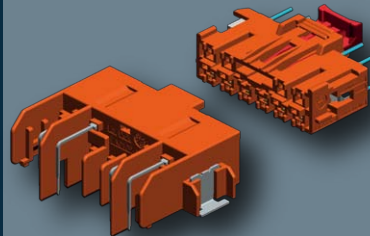
Mit der AAR85-Serie (Bild 2) steht erstmals eine SMD-fähige Version der Kondensatoren zur Verfügung. Sie wurde für die vollautomatische Bestückung entwickelt und eignet sich

Anzeige



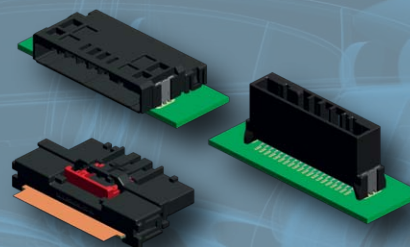
Upgrade Your Driving  
Experience with JAE

MY05



High-Voltage (1000V),  
Low-Current,  
Connectors for  
Battery Management  
Systems

MW24A



FPC Connectors for Battery  
Management Systems,  
Up to 125V

(Under Development)

KW21A



Charging Connectors  
Compatible with the CCS2  
EV Charging Standard

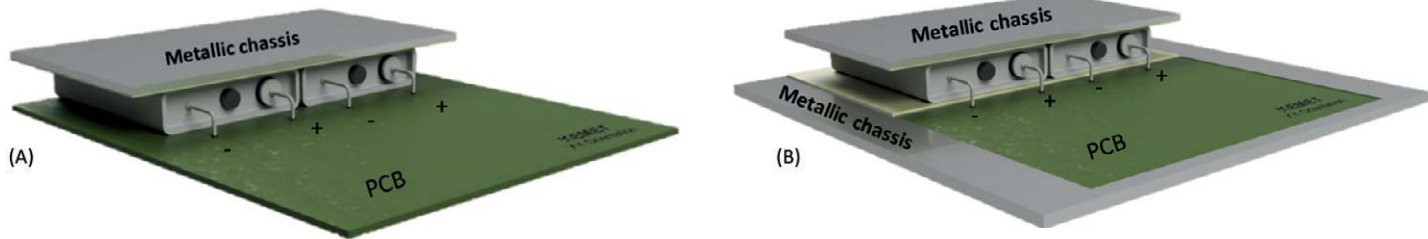


Bild 3: (A) Waagerechte Einbaulage mit einseitiger Wärmeabgabe. (B) Horizontale Einbaulage mit zweiseitiger Wärmezufuhr. Die Biegungen der Leitungen sind repräsentativ.

besonders für Anwendungen mit hohen Stückzahlen, wie sie in der Automobilindustrie und Elektromobilität typisch sind. Die AAR8S-Serie weist eine hohe Kapazität, gute Ripplestromfähigkeit und einen kompakten Formfaktor mit niedrigem Profil auf. Letzteres ist besonders vorteilhaft für Anwendungen mit begrenzter Bauhöhe. Die Baureihe ist für Betriebstemperaturen bis 105 °C spezifiziert. Ihre Gehäusegeometrie erleichtert die thermische Anbindung an einen Kühlkörper, wodurch sich das Wärmemanagement verbessern lässt und somit einen wesentlichen Beitrag zur Lebensdauer und Zuverlässigkeit des Bauteils leistet. Die AAR-Serie ist AEC-Q200-qualifiziert und damit auch für den Einsatz in automobilen Umgebungen geeignet.

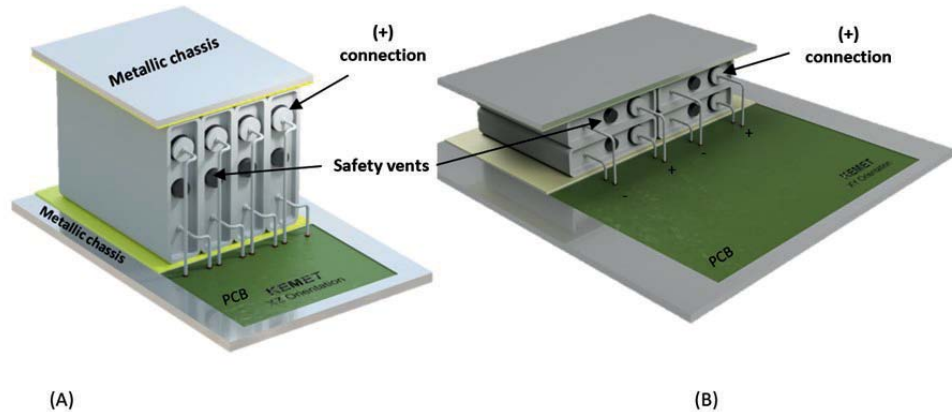


Bild 4: (A) Aufrechte Position mit zweiseitigen Kühlkörpern in einer Reihenanordnung. (B) Waagerechte Einbaulage mit zweiseitigem Kühlkörper und Stapelbaugruppe. Die Biegungen der Leitungen sind repräsentativ.

#### Mechanisch sichere und thermisch optimierte Montage

AAR-Kondensatoren lassen sich flexibel montieren – liegend oder stehend, mit und ohne Kühlkörper. Wird das Gehäuse thermisch an ein metallisches Chassis angebunden, verbessert dies die Ripple-Strombelastbarkeit deutlich. Auch wärmeleitender Kleber oder Paste tragen zur besseren Wärmeabfuhr bei (Bild 3 und 4). Für die Vibrationsfestigkeit ist eine steife Montage entscheidend: Eine nicht ausreichend fixierte Leiterplatte kann wie eine Membran schwingen und Resonanzspitzen erzeugen, die bis zu zehnfach höhere Beschleunigungen verursachen. Bewegt sich der Kondensator relativ zur PCB, drohen Ermüdungsbrüche an den Drahtanschlüssen. Deshalb sollten die Befesti-

gungspunkte auf der Leiterplatte eng gesetzt und der Kondensator starr mit PCB oder Chassis verbunden werden. Hinweise zur Montage:

- Kondensator steif auf PCB oder Chassis fixieren
- Wärmeleitkleber oder -paste für effiziente Kühlung verwenden
- Sicherheitsventil und Gummidichtung am Pluspol nicht mit Klebstoff bedecken
- Sicherheitsventil nicht nach unten ausrichten (außer bei vertikaler Platine)
- Zur Reinigung auf halogenierten Kohlenwasserstoffen (z. B. chlorierte Lösungsmittel) verzichten, um Schädigung der Kondensatoren zu vermeiden

- Individuelle Lösungen: Isolierung und weitere Montageoptionen sind auf Anfrage möglich

#### Fazit

Die AAR-Serie bietet eine fortschrittliche Lösung für leistungsstarke und kompakte Kondensatoranwendungen. Ihre spezielle Form ermöglicht modulare Konzepte mit hoher Vibrationsfestigkeit, verbesserter Wärmeabfuhr und optimierter Platzausnutzung. Mit der Einführung der SMD-fähigen AAR8S-Serie ist nun auch eine vollautomatisierte Fertigung möglich, was einen entscheidenden Schritt in Richtung moderne Power-Elektronik darstellt. ■

Merkmal	AAR8S	AAR70	AAR7V	AAR80
Montageart	SMD	THT	THT	THT
Fertigung	vollautomatisierbar	teilautomatisierbar	teilautomatisierbar	teilautomatisierbar
Bauhöhe	besonders niedrig	Standard	Standard	Standard
Kühlkörperanbindung	einfach möglich	möglich	möglich	möglich
AEC-Q200-Qualifikation	ja	ja	ja	ja
Vibrationsfestigkeit	bis 20 g (SIN)	bis 40 g (SIN)	bis 40 g (SIN)	bis 20 g (SIN)
Temperaturbereich	-40 bis +105 °C	-40 bis +85 °C	-40 bis +85 °C	-40 bis +105 °C
Spannungen	450 V	400 bis 450 V	500 V	450 V
Besonderheiten	SMD-fähig, niedriges Profil, für höhere Temperaturen optimiert	höchste Vibrationsfestigkeit, modular stapelbar	hohe Spannung bis 500VDC, modular stapelbar	für höhere Temperaturen optimiert, modular stapelbar

Tabelle 1: Unterschiede und Stärken der AAR-Kondensatoren.





Neue Legierungen für die Leistungselektronik

# Induktoren für das KI-Zeitalter

*Mit zunehmender Leistungsdichte und steigenden Stromstärken in KI-Systemen geraten klassische Ferritmaterialien an ihre Grenzen. Eine neue nanokristalline Fe-Legierung bietet hier deutliche Vorteile hinsichtlich Effizienz, Baugröße und Energieverlusten.*

VON GERD FISCHER,  
LINE MANAGER BEI RUTRONIK

**M**it dem rasanten Fortschritt im Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI) steigen auch die Anforderungen an die Energieversorgung moderner Rechenzentren und KI-Systeme erheblich. KI-Server verbrauchen heute bis zu dreimal mehr Energie als herkömmliche Systeme. Der Energiebedarf von Rechenzentren steigt exponentiell und macht bereits über 2 Prozent des globalen Stromverbrauchs aus. Einzelne Hyperscale-Rechenzentren haben Gesamtleistungsaufnahme von mehr als 20 MW.

In den Zwischenkreisspannungsebenen und den Verteilerebenen zur Versorgung der Hochleistungskomponenten wie CPUs, GPUs und FPGAs werden heute Ströme von weit über 1.000 Ampere benötigt, während gleichzeitig kompakte Bauformen und höchste Energieeffizienz gefordert sind. Herkömmliche magnetische Werkstoffe stoßen hierbei zunehmend an ihre Grenzen. Kompakte, hocheffiziente Induktoren, die extreme Ströme

und hohe Schaltfrequenzen problemlos bewältigen, stehen im Fokus aktueller technischer Entwicklungen.

Der Bedarf an höherer Rechenleistung erfordert elektronische Komponenten mit besonderen Eigenschaften. Eine hohe Leistung bedeutet jedoch auch, dass sich alle parasitären Verluste in den Bauteilen erhöhen, sodass kapazitive und magnetische Bauteile mit extrem geringen Verlusten benötigt werden. Gleichzeitig müssen diese Komponenten unter rauen Bedingungen eine hohe Zuverlässigkeit aufweisen. Da zur Unterstützung der KI-Prozessoren eine Vielzahl an Komponenten benötigt werden, ist auch eine Miniaturisierung der Komponenten unerlässlich. Aber auch in Hochleistungsanwendungen im industriellen Umfeld oder im Bereich der Bahntechnik sind Bauelemente mit extrem geringen Verlusten gefordert. Typischerweise sind hier gleiche Spannungsebenen vorhanden wie 48 V, 400 V und 800 V.

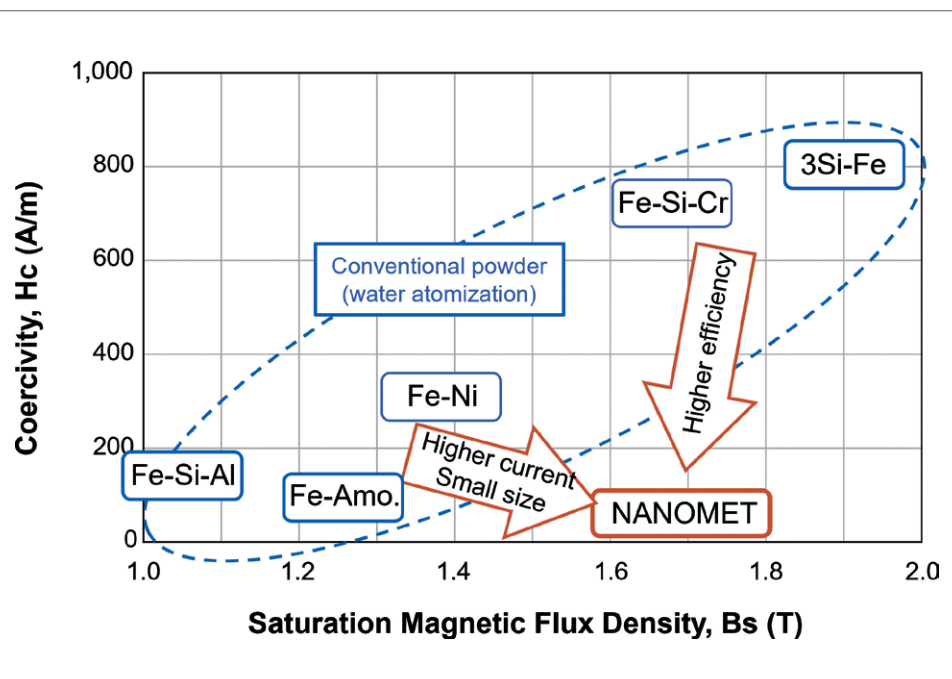


Bild 1: Gegenüberstellung magnetischer Kenngrößen gängiger Kernmaterialien. (Bilder: Yageo Group)

Für eine effiziente Leistung von Induktoren in elektronischen Geräten sind eine hohe Sättigungsmagnetflussdichte ( $B_s$ ) und eine niedrige Koerzitivfeldstärke ( $H_c$ ) erforderlich. Ein hoher  $B_s$ -Wert ermöglicht es dem Induktor, stärkere Magnetfelder zu bewältigen, ohne in die Sättigung zu geraten. Dadurch kann er höhere Ströme übertragen und mehr Energie speichern. Dies ist besonders wichtig für Anwendungen, die kompakte Designs mit hoher Leistung erfordern, beispielsweise KI-Systeme. Ein niedriger  $H_c$ -Wert bedeutet, dass das Material weniger Energie zum Magnetisieren und Entmagnetisieren benötigt. Dadurch werden Energieverluste verringert und der Gesamtwirkungsgrad verbessert. Herkömmliche Magnetkernmaterialien wie Mn/Ni-Zn-Ferrite oder Fe-Si-Legierungen werden zwar seit Langem für diese Anwendungen eingesetzt, erreichen aber oft nicht die richtige Balance zwischen einem hohen  $B_s$ -Wert und einem niedrigen  $H_c$ -Wert.

.....  
*Formbarkeit, Integration und AC-Verluste im Hochfrequenzbetrieb*  
.....

Die Kombination aus hoher Sättigungsflussdichte und niedrigen Kernverlusten ist seit Jahren ein Ziel der Entwicklung magnetischer Werkstoffe. Besonders im Fokus stehen dabei nanokristalline Fe-B-P-Cu-Legierungen (Bild 1).

Für das neue Material Nanomet ist eine Fe-basierte Legierung die Basis. Die Fe-B-P-Cu-Legierung ergibt durch schnelles Abschrecken ein feines, sphärisches Pulver. Mithilfe des Heißpressverfahrens lässt sich die Legierung in komplexe 3D-Formen überführen. Dies reduziert Streufelder und ermöglicht eine optimale Anpassung an Leiterplattenlayouts. Die sphärische Morphologie der Pulverteilchen fördert eine dichte und gleichmäßige Packung. Dadurch entstehen Kerne mit gleichmäßiger Magnetfeldverteilung, reduzierten Hotspots und optimierter magnetischer Flussführung. Nach gezieltem Glühen bildet sich eine nanokristalline Struktur mit optimierten magnetischen Eigenschaften.

Das Ergebnis sind Magnetkerne mit einer Sättigungsflussdichte von 1,55 T in Kombination mit einer Koerzitivfeldstärke von nur 23 A/m

Material	$B_s$ (T)	$H_c$ (A/m)	AC-Verluste bei 1 MHz
Fe-B-P-Cu / Nanomet	1,55	23	sehr niedrig
Fe-Si-Cr	1,28	720	hoch
Ferrit	0,49	32	gering

Tabelle 1: Vergleich der magnetischen Kenngrößen. (Quelle: Yageo Group)

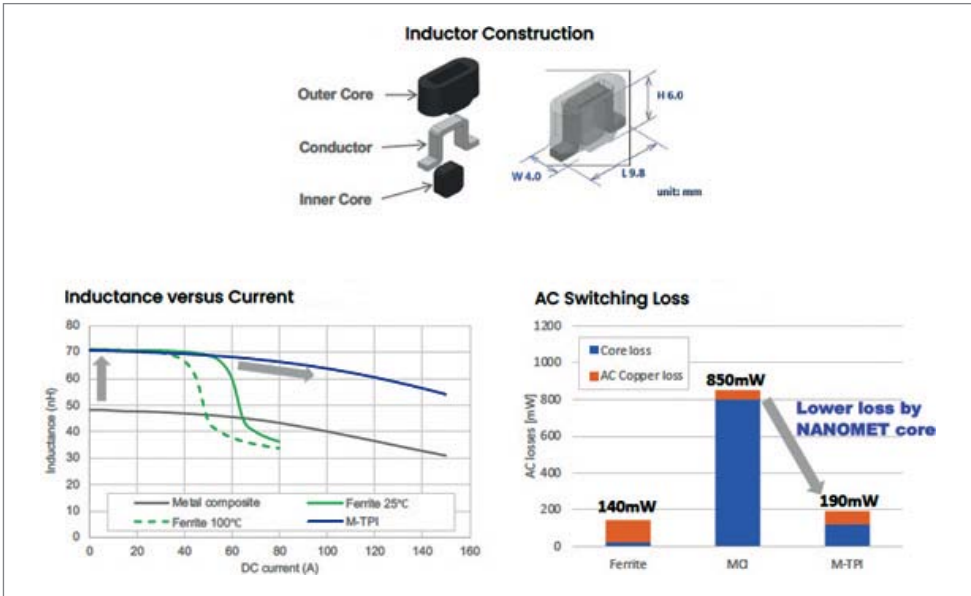


Bild 2: Anwendung im Buck-Converter: a) Schematischer Aufbau, b) Induktivität in Abhängigkeit vom Strom, c) AC-Schaltverluste im Vergleich.

(Tabelle 1). Diese Materialkombination war mit klassischen Ferriten oder Fe-Si-Legierungen bislang nicht erzielbar. Zum Vergleich: Fe-Si-Cr-basierte Pulverkernmaterialien erreichen lediglich  $B_s = 1,28$  T und  $H_c = 720$  A/m.

Auch unter Hochfrequenzbedingungen zeigt sich das Potenzial des Materials deutlich. Bei 1 MHz liegen die AC-Verluste der neuen Kerne bis zu 4,5-fach unter jenen konventioneller metallischer Kompositkerne und nur etwa 50 mW über klassischen Ferriten. Die Legierung zeigt zudem ein »Soft-Saturating«-Verhalten, was die Energieeffizienz weiter erhöht.

.....  
*Buck-Converter in der Anwendung*  
.....

Wie sich diese Materialeigenschaften konkret in der Anwendung auswirken, zeigt ein typisches Beispiel aus der Spannungswandlung: Ein Buck-Converter, der eine Eingangsspannung von 6 V auf 1,8 V bei 1 MHz Taktfrequenz konvertiert (Bild 2). In dieser Konfiguration kommt ein 70-nH-Induktor auf Basis der neuen FeBPCu-Legierung zum Einsatz. Dieser erreicht eine magnetische Sättigung oberhalb von 160 A und dies selbst bei erhöhten Temperaturen. Zum Vergleich: Ein Ferritkern gleicher Größe zeigt unter denselben Bedingungen ein Sättigungsverhalten bereits bei rund 50 A (bei 100 °C).

Die neue Legierung ermöglicht eine um 40 Prozent höhere Energiepufferung bei identischem Bauraum. Die Formel zur Berechnung hierzu:

$E = 0,5 \cdot L \cdot I^2$ ; mit E = Energie (J), L = Induktivität (H) und I = Stromstärke (A)

Diese Eigenschaft erlaubt es, kleinere Spulen für gleiche Leistung zu verwenden oder bei gegebenem Volumen die Leistungsdichte weiter zu steigern.

Darüber hinaus zeigt der Induktor ein stabiles Verhalten über einen weiten Temperaturbereich hinweg und damit einen entscheidenden Vorteil in thermisch anspruchsvollen Anwendungen wie GPU-Stromversorgungen und anderen Hochleistungsstromversorgungen. Die verbesserte Strombelastbarkeit führt zu weniger Parallelschaltungen und damit zu einem vereinfachten Layout, einem geringeren Bauteilaufwand und potenziell niedrigeren Systemkosten.

.....  
*Fazit*  
.....

Die Kombination aus hoher magnetischer Leistungsfähigkeit, geringer Verlustleistung und thermomechanischer Formbarkeit macht die neue nanokristalline Fe-Legierung zu einem idealen Werkstoff für die KI-Leistungselektronik der nächsten Generation. Insbesondere für CPU-/GPU-Versorgungsanwendungen und Hochleistungsstromversorgungen kann so eine signifikante Effizienzsteigerung erzielt und ein entscheidender Beitrag zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks geleistet werden. ■



Strom- und Datenversorgung über ein einziges Koaxialkabel

# Energie und Daten gemeinsam übertragen

*Kamerasysteme im Fahrzeug erfordern eine platzsparende und störsichere Übertragung von Daten und Strom. Power-over-Coax wird dabei zum Schlüssel – wenn die Filtertechnik stimmt.*

VON JOCHEN NELLER,  
TECHNICAL EXPERT INDUCTORS  
BEI RUTRONIK

**F**ortschrittliche Fahrerassistenzsysteme (ADAS) sind aus modernen Fahrzeugen nicht mehr wegzudenken. Sie verbessern die Fahrdynamik, Sicherheit und den Komfort durch Funktionen wie Notbremsung oder Spurhalteassistent (Bild 1). Dabei sind ADAS auf eine Vielzahl von Kameras angewiesen, um die Fahrumgebung genau zu überwachen und Hindernisse zu erkennen. Mit der steigenden Nachfrage nach solchen Systemen besteht ein Bedarf an Komponenten, die den hohen Leistungsanforderungen gerecht werden und gleichzeitig eine stabile Signalintegrität gewährleisten.

Power-over-Coax (PoC) ist ein Übertragungskonzept, bei dem sowohl Gleichstrom als auch Daten- und Steuersignale über ein einziges Koaxialkabel geleitet werden (Bild 2). Dies bietet insbesondere in Fahrzeuganwendungen große Vorteile, da die sonst üblichen drei separaten Leitungen – für die Stromversorgung, die Steuerdaten (Control-Backend) und die Videodaten (Data-Frontend) – durch ein einziges Kabel ersetzt werden können. Dadurch werden nicht nur der Verkabelungsaufwand, sondern auch die Kosten, das Gewicht und der Platzbedarf reduziert – unter der Voraussetzung, dass die Filterung der Gleichstromleitung präzise auf das System abgestimmt ist.

Koaxialkabel eignen sich ideal für die kombinierte Übertragung von Strom und Daten, da sie über eine hervorragende elektromagnetische Abschirmung verfügen.



Bild 1: Fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme (ADAS) sind heute ein unverzichtbarer Bestandteil moderner Fahrzeuge. Durch Funktionen wie Spurhaltehilfe, Notbremsung oder Abstandsregelung erhöhen sie Komfort, Sicherheit und Fahrdynamik. (Bild: Anastasiia/stock.adobe.com)

## Trennung von Gleichstrom und Hochfrequenz

Am effektivsten ist sie, wenn beide Kabelenden gemeinsam geerdet sind, da so die Aufnahme und Abstrahlung von Störungen deutlich reduziert wird. Gerade in ADAS-Kamerasystemen mit hochsensibler Elektronik können selbst kleinste Störungen die Bildqualität beeinträchtigen oder zu Fehlfunktionen führen, was sich potenziell auf die Fahrsicherheit auswirken kann. Deshalb ist eine saubere Trennung von Gleichstrom (DC) und Hochfrequenzanteilen (AC) essenziell.

Zur Trennung kommen abgestimmte Filter- und Entkopplungsschaltungen zum Einsatz, beispielsweise durch die Kombination von Spulen und Kondensatoren.

## Entkopplung und Filterdesign für PoC-Leitungen

Eine saubere DC-Entkopplung gewährleistet, dass die Stromversorgung störungsfrei in das Koaxialkabel eingespeist werden kann, ohne die parallele Hochfrequenzübertragung zu beeinträchtigen.

Die zentralen Anforderungen an den Filter sind:

- **Geringer DC-Widerstand:** Um Spannungsverluste zu vermeiden und eine stabile Stromversorgung sicherzustellen, muss die Impedanz des Gleichstrompfads unter  $1\ \Omega$  liegen.
- **Hohe Stromtragfähigkeit:** Auch bei Strömen bis 300 mA darf keine magnetische Sättigung auftreten.
- **Hohe HF-Impedanz:** Im Nutzfrequenzbereich – sowohl für das Steuerinterface (1 bis 5 MHz) als auch für das Kamerasignal (35 MHz bis 2 GHz) – muss der Filter eine Impedanz von über  $1\ \text{k}\Omega$  aufbauen, um Rückwirkungen auf die Datenübertragung zu verhindern.

Die Praxis zeigt: Diese Anforderungen lassen sich nur mit gezielt abgestimmten Induktivitäten und Dämpfungsnetzwerken erfüllen, die idealerweise auf die jeweilige Fahrzeugarchitektur optimiert sind.

Die technische Umsetzung basiert auf einem LC-Filterkonzept mit den folgenden Elementen (Bild 3):



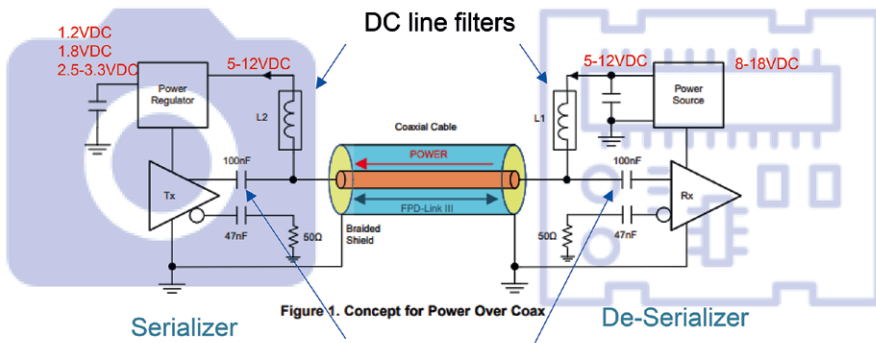


Figure 1: Concept for Power Over Coax

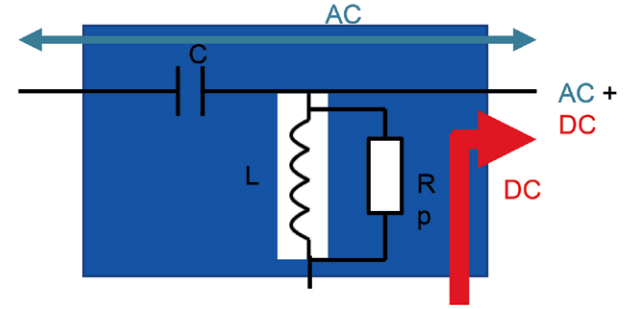


Bild 3: Typisches Design einer abgestimmten PoC-Filtertopologie zur Entkopplung von DC und HF.

Bild 2: Gemeinsame Strom- und Datenübertragung über ein Koaxialkabel: Durch die Kombination von DC-Versorgung und Hochfrequenzdaten auf einer Leitung lässt sich die Anzahl separater Kabel reduzieren. Voraussetzung ist eine saubere Trennung beider Signalanteile sowie eine durchgängige Erdung zur Minimierung von Gleichtaktstörungen. (Bilder: Eaton)

- **Serielle Induktivität (L):** In die Gleichstromleitung wird eine Induktivität eingefügt, die für hohe Frequenzen einen hohen Blindwiderstand bietet und so eine effektive Entkopplung zwischen DC und Hochfrequenzsignal erreicht.
- **Paralleler Dämpfungswiderstand (Rp):** Um unerwünschte Resonanzeffekte und eine übermäßige Drosselwirkung bei bestimmten Frequenzen zu vermeiden, wird parallel zur Induktivität ein Widerstand im Bereich von 1 bis 5 kΩ geschaltet. Dieser reduziert den Blindwiderstandseffekt bei sehr hohen Frequenzen.

Diese Filtertopologie stellt sicher, dass der Gleichstrom effizient übertragen wird, die Signalübertragung im HF-Bereich stabil bleibt, und das System gegen Störkopplungen über die Versorgungsleitung geschützt ist.

#### Automotive-gerechte Lösung

Um diese Anforderungen zu erfüllen, hat Eaton die PCA-Familie von PoC-Induktivitäten entwickelt. Die Serien PCA1V und PCA2V bieten ein breites Spektrum an Hochstromfestigkeit und hoher Eigenresonanzfrequenz, wie es für die Breitbandfilterung in Power-over-Coax-Anwendungen (PoC) erforderlich ist (Bild 4). Aufgrund der hohen Impedanz über einen weiten Frequenzbereich vereinfacht dieses Bauelement das PoC-Filterdesign.

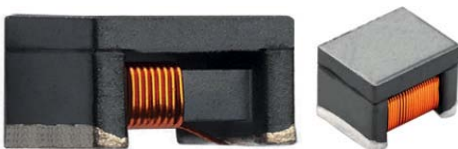


Bild 4: PCA-Familie von Eaton: Automotive-taugliche PoC-Induktivitäten für Breitbandfilterung.

Sie sind in der beliebten, kompakten Industriegröße 1210 (3225 metrisch) verpackt und benötigen weniger Platz auf der Platine. Die präzise Spulenwicklung unterstützt stabile Filtereigenschaften für verschiedene PoC-Anwendungen im Automobilbereich.

Sie werden gemäß AEC-Q200 für die Automobilindustrie getestet. Die magnetische Abschirmung trägt zur EMI-Immunität bei und die Produkte bieten einen breiten Betriebstemperaturbereich von -55 °C bis +150 °C.

#### Fazit

PoC-Induktivitäten unterstützen die Entkopplung von Gleichstrom- und Hochfrequenzanteilen in ADAS-Kamerasystemen. Durch ihre kompakte Bauform lassen sie sich direkt in Kameramodule integrieren, wodurch sich externe Filterkomponenten einsparen lassen. Dies ermöglicht eine platzsparende Integration, etwa in Fahrzeugen mit kleinem Formfaktor. ■

	PCA1V3223	PCA2V3223	PCA1V3230
<b>AEC-Q200 Standard</b>	Ja	Ja	Ja
<b>Betriebstemperaturbereich</b>	-55 °C bis +150 °C	-55 °C bis +150 °C	-55 °C bis +140 °C
<b>Standard-PAD-Layout</b>	3225	3225	3225
<b>Höhe (mm)</b>	2,3	2,3	3,0
<b>I<sub>sat</sub> @ 25 °C (Amps)</b>	1,0	1,1	2,2
<b>I<sub>Rms</sub> @ 25 °C (Amps)</b>	1,0	1,35	1,9
<b>I<sub>Rms</sub> @ 125 °C (Amps)</b>	0,52	1,05	1,0

Tabelle 1: Übersicht der Eigenschaften der PCA-Familie von Eaton.

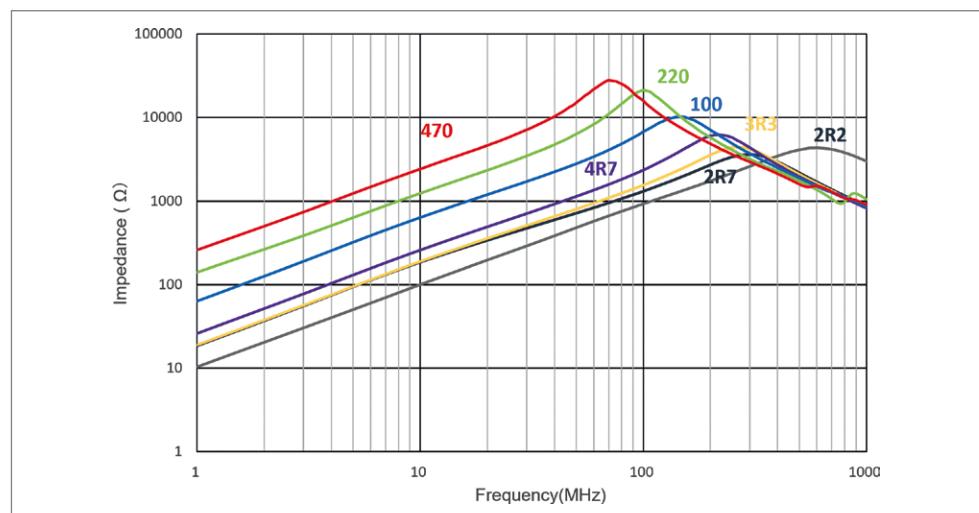


Bild 5: Impedanzverlauf über die Frequenz der PCA1V3223.



Relais für Hochstrom- und Hochspannungsanwendungen

# Effizientes Schalten auf kleinstem Raum

*Wachsende Anforderungen in den Bereichen Energie und Laden erfordern kompakte Lösungen für das Schalten hoher Ströme und Spannungen. Leiterplattenmontierte Relais kombinieren eine geringe Verlustleistung mit einer hohen Schaltfestigkeit und ermöglichen so platzsparende Designs.*

VON NORMAN MAJER,  
CORPORATE PRODUCT MANAGER  
MECHANICS BEI RUTRONIK, UND  
MARTIN UNSÖLD, SENIOR MANAGER  
PRODUCT MARKETING MECHANICS  
BEI RUTRONIK

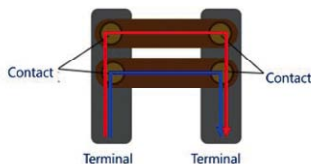


Bild 1: Das Relais G9KA (links) verfügt über eine platzsparende Doppelkontaktstruktur (rechts). (Bilder: Omron)

Bild 2: Das G9KB verwendet ein zuverlässiges Permanentmagnet-System zur Lichtbogenunterdrückung.

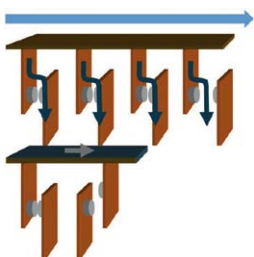


Bild 3: Vierpolige Ausführung G9KC mit integriertem Spiegelkontakt.

**D**er Trend zu immer größeren Batteriekapazitäten in Fahrzeugen bei gleichzeitig immer kleineren Ladegehäusen mit maximaler Ladeleistung und Haltbarkeit ist seit Jahren ungebrochen. Für Endverbraucherinnen und -verbraucher zählen, ob zuhause oder unterwegs, Ladegeschwindigkeit und Reichweitenangst zu den wichtigsten Kriterien bei der Wahl eines Ladegeräts.

Damit steigen auch die technischen Anforderungen: Höhere Ströme und Spannungen müssen auf engem Raum sicher geschaltet werden. Gleichzeitig müssen thermische Verluste minimiert, Normvorgaben wie IEC 62109, IEC 61851, IEC 60947-4-1 und IEC 62955 eingehalten und die Lebensdauer der Komponenten verlängert werden, da Ladegeräte meist über viele Jahre zuverlässig arbeiten sollen.

## Grenzen herkömmlicher Relais

In Photovoltaikanlagen, Batteriespeichersystemen, Schnellladestationen und industriellen Energiesystemen übernehmen oft noch konventionelle Relais das Schalten hoher Ströme. Diese sind zwar bewährt, beanspruchen jedoch meist viel Platz und erfordern Schraubklemmen, eine aufwendige Verdrahtung sowie eine vergleichsweise hohe Halteleistung. Zudem verursachen ihre hohen Kontaktwiderstände Wärmeverluste, die eine zusätzliche Kühlung erforderlich machen.

## Leiterplattenrelais als kompakte Alternative

Eine neu entwickelte Relaisfamilie bietet eine platzsparende und energieeffiziente Option.

Die für die Leiterplattenmontage ausgelegte G9K-Serie von Omron reduziert Montagezeit und -kosten und eliminiert potenzielle Fehlerquellen durch Verdrahtung (Bilder 1 bis 3). Gegenüber DIN-Schienen- oder Panelmontage ergeben sich zudem deutliche Platzvorteile. Geringe Übergangswiderstände reduzieren Wärmeverluste und steigern die Energieeffizienz. Robuste Kontakte und eine optimierte Mechanik sorgen für eine lange Lebensdauer, auch unter hohen Lasten. Energieeffiziente Spulen ermöglichen einen reduzierten Haltestrom. In einigen Ausführungen ist zudem eine Ansteuerung per Pulsweitenmodulation (PWM) möglich.

Mit einer Dauerstromtragfähigkeit von bis zu 300 A (AC und DC) und einem Schaltstrom bis zu 100 A (DC) eignen sich die Relais für anspruchsvolle Hochlastanwendungen. Der breite Einsatztemperaturbereich von typischerweise -40 °C bis +85 °C erlaubt den Einsatz in unterschiedlichen Umgebungen. Dank internationaler Zulassungen, unter anderem UL, IEC und VDE, lässt sich die Serie problemlos in Geräte für verschiedene Märkte integrieren.

Die Baureihe umfasst mehrere Ausführungen mit zusätzlichen Funktionen für spezifische Einsatzbereiche. Tabelle 1 gibt einen Überblick.

## Kontaktwiderstand als kritischer Faktor

Ein niedriger und stabiler Kontaktwiderstand ist für alle Ladeanwendungen entscheidend. Eine Simulationsstudie von Omron kam zu dem Ergebnis, dass eine Erhöhung des Kontaktwiderstands um lediglich 1 mΩ die Temperatur am Lastanschluss um bis zu 18 °C steigen lassen kann. Dies verkürzt nicht nur

Modell	Schaltkonfiguration	Max. Spannung und Strom	Spulenspannung	Kontaktwiderstand	Besonderheiten	Anwendungen
G9KA	SPST-NO, Doppelunterbrechungskontakt +A Aux (optional)	bis 1.000 VAC bei 300 A Dauerlast; 10 kV Impulsfestigkeit	12 V / 24 V DC	0,2 mΩ (@200 A 6 VDC min. 30 mins)	Minimaler Widerstand durch Doppelkontakt-Design, hohe Energieeffizienz	Photovoltaik-Wechselrichter, USV-Systeme und industrielle Energiespeicher
G9KB	SPST-NO, bidirektional	bis 800 VDC, 100 A	12 V / 24 VDC	≤5 mΩ	Polaritätsfreies Design, Arc-Cut-Off-Technologie, bidirektionaler Gleichstrom	Fokus auf Energiespeicherung (DC-DC-Konverter, DC-Schnellladegeräte, Solaranlagen, Batteriespeicher, Vehicle-to-Grid-Systeme)
G9KC	4PST-NO + Aux (Option)	480 VAC, 40 A je Pol, kurzschlussfest bis 10 kA	12 V / 24 VDC	≤6 mΩ (Typ. 1 mΩ, 40 A @ 480 VAC ref. Only)	Mehrphasige Wechselstromschaltung, Spiegelkontakt	Dreiphasige Wallboxen (bis 22 kW), HVAC-Systeme, industrielle Motorsteuerungen

Tabelle 1: Technische Eckdaten der Modellvarianten.

die Lebensdauer der Kontakte, sondern erhöht auch die thermische Belastung benachbarter Komponenten.

Simulationen zeigen, dass sich mit der mehrpoligen Ausführung (G9KC) eine Reduzierung des Temperaturanstiegs um mindestens 10 °C erreichen lässt und damit ein wichtiger Beitrag zur Zuverlässigkeit langlebiger Ladegeräte erzielt werden kann. In der Praxis trägt die geringere Wärmeentwicklung des G9KC nachweislich zu effizienteren und kürzeren Ladezyklen bei, da die niedrigeren Betriebs-

temperaturen eine Reduzierung der Ausgangsstrombegrenzung (Crowbar) ermöglichen.

Fazit

Die G9K-Serie bietet eine technisch ausgereifte, platzsparende und energieeffiziente Alternative zu konventionellen Relais. Durch die Kombination aus geringen Übergangswiderständen, hoher Schaltleistung und spezifischen Modellvarianten lassen sich sowohl AC-

als auch DC-Anwendungen normgerecht realisieren. Dies eröffnet Entwicklerinnen und Entwicklern von Ladeinfrastruktur, Photovoltaikanlagen und Energiespeichern neue Möglichkeiten, kompakte, effiziente und zuverlässige Systeme zu gestalten. Es ist zu erwarten, dass die Entwicklung in Richtung erweiterter Überwachungsfunktionen und weiterführender Miniaturisierung voranschreitet. Die G9K-Serie bildet damit eine technische Grundlage für den Ausbau leistungsfähiger und nachhaltiger Energiesysteme der Zukunft.

Anzeige



# Polymer Capacitors

**Broad Range of Conductive Polymer Capacitors for Commercial, Industrial, and High Reliability Markets.**

- **TCJ, TCO Series:** J-lead, General Purpose Polymer Capacitors
- **TCSO, TCTO Series:** Small Case Size Polymers with Undertab Termination
- **TCN Series:** High Capacitance, Low Profile Polymers, Undertab Termination
- **TCB, TCS, TCD Series:** COTS-Plus, High Reliability Polymers







Taktile Schalter für robuste Anwendungen

# Batterieanzeige zuverlässig schalten

*Ein europäischer Hersteller suchte für die neue Generation tragbarer Akku-Werkzeuge einen Taster zur Batterieanzeige, der kompakt, langlebig und zuverlässig auch unter Staub, Feuchtigkeit und Belastung arbeitet. Ein versiegeltes Schalterdesign brachte die Lösung.*

VON PAULIUS JUSKEVICIUS,  
STRATEGIC MARKETING MANAGER  
FÜR DIE ELECTRONICS BUSINESS UNIT  
BEI LITTELFUSE, UND JEANNETTE RAQUET,  
LINE MANAGERIN BEI RUTRONIK

**B**ei der Entwicklung neuer handgeführter Akkuwerkzeuge, etwa Bohrmaschinen und Schleifgeräte, standen die Ingenieurinnen und Ingenieure eines europäischen Herstellers vor einem scheinbar einfachen Detail: dem Schalter für die Batterieanzeige. Im professionellen Einsatz zeigte sich jedoch, wie sensibel diese Funktion ist. Staub, Feuchtigkeit und hohe Schaltheufigkeiten können die Lebensdauer konventioneller Taster drastisch verkürzen, während die Integration in die dichte Baugruppenarchitektur der Werkzeuge zusätzliche Hürden mit sich bringt. Gefordert war daher eine Lösung, die nicht nur kompakt und robust ist, sondern

auch tägliche Belastungen über Jahre hinweg übersteht, resistent gegen Staub, Feuchtigkeit und mechanische Stöße bleibt, eine klare haptische Rückmeldung mit Handschuhen erlaubt und zugleich zuverlässig in die Schutz- und Energiemanagementkonzepte des Batteriemanagementsystems eingebunden werden kann.

Die Batteriestandanzeige ist ein wichtiges Element der Benutzeroberfläche, denn mit nur einem kurzen Tastendruck erhalten Nutzerinnen und Nutzer Informationen zur Restkapazität des Akkus. Für professionelle Anwenderinnen und Anwender muss diese Funktion unter allen Bedingungen und während der gesamten Lebensdauer des Werkzeugs – oft mehrere Jahre intensiver Nutzung – zuverlässig funktionieren.

## Erste Ansätze und ihre Grenzen

In frühen Prototypen kamen Standard-Drucktaster zum Einsatz, wie sie aus der Unterhaltungselektronik bekannt sind. Doch schon bei den ersten Belastungstests traten typische Einschränkungen auf. Der mechanische Verschleiß setzte deutlich früher ein, als es die für Profiwerkzeuge geforderte Lebensdauer erlaubt; die Schalter waren für etwa 100.000 Betätigungen ausgelegt, was im harten Baustellenalltag oft nicht einmal ein Jahr bedeutet hätte. Auch die Dichtigkeit erwies sich als Problem: Feiner Bohrstaub drang durch Ritzen ins Innere ein und führte zu klemmenden Mechaniken und gestörten Kontakten, während Feuchtigkeit und Kondenswasser Korrosionsprozesse auslösten. Zusätzlich erwies sich ihre Bauform – höher und breiter als vorgesehen – als schlecht geeignet für das enge Layout der Steuerplatine im



Bild: BillionPhotos.com/stock.adobe.com

Werkzeuggriff. Hinzu kam ein diffuses Schaltgefühl, das zu unbeabsichtigten Auslösungen oder unzuverlässigem Kontakt führte und damit sicherheitsrelevante Fragen aufwarf.

*Kompakter, abgedichteter  
SMD-Taster als Lösung*

Nach weiteren umfangreichen Tests und Beratungen entschied sich das Team für einen versiegelten taktilen Schalter zur Oberflächenmontage: Den KSC222J von Littelfuse (Bild 1). Dieser Schalter bot die richtige Kombination aus Robustheit, Kompaktheit und elektrischer Leistung, um alle Anwendungsanforderungen zu erfüllen.

Mit Abmessungen von nur 6,2 mm x 6,2 mm x 3,5 mm benötigt der Schalter 20 Prozent weniger Platz auf der Leiterplatte als das Vorgängermodell, wodurch er sich leichter in das bereits dicht bestückte Layout der Steuerplatine des Bohrers integrieren lässt. Die enge Maßtoleranz von  $\pm 0,2$  mm reduzierte außerdem Ausrichtungsprobleme um 50 Prozent und verbesserte sowohl die Platzierungsgenauigkeit als auch die Gesamtmontageausbeute.

*Warum die elektrische Höhe  
für die präzise Integration wichtig ist*

Zwei wichtige Maße bestimmen die Betätigung eines taktilen Schalters: der elektrische Weg ( $T_e$ ), also die Strecke, die der Aktuator zurücklegen muss, um den Stromkreis zu schließen, und die elektrische Höhe ( $H_e$ ), also die Höhe von der Leiterplatte bis zum elektrischen Schalterpunkt (Bild 2). Die Verwendung des elektrischen Weges bei Stapelberechnungen führt oft zu zusammengesetzten Toleranzen von  $\pm 0,4$  mm oder mehr, was das taktile Gefühl und die Zuverlässigkeit beeinträchtigen kann. Die Priorisierung der elektrischen Höhe ermöglicht dagegen eine direktere und präzisere Messung von der Leiterplatte aus, wodurch Summierungstoleranzen minimiert und die mechanische Einpassung deutlich verbessert werden. In der Praxis reduziert sich so die Fehlerquote beim Einpassen des Schalters spürbar. Mit Standardtoleranzen von nur  $\pm 0,2$  mm sorgt die elektrische Höhe für eine konsistentere Schalterleistung, eine erleichterte mechanische Ausrichtung während der Endmontage und eine insgesamt robustere Integration. Ergänzend verlief auch die elektrische Anbindung unkompliziert: Der Taster arbeitet als kurzzeitiger Schließer, weckt das Batteriemanagementsystem auf und bleibt

# RAMXEED

## Zuverlässiger als EEPROM. Schneller als Flash.



FeRAM von RAMXEED – der nichtflüchtige Speicher für industrielle Systeme, bei denen kein Bit verloren gehen darf.

### Warum FeRAM?

	FeRAM	EEPROM	Flash
Schreibzyklen	$10^{13}-10^{14}$	$10^6$	$10^4-10^6$
Schreibgeschwindigkeit	ns-Bereich	ms-Bereich	$> 1 \mu s$
Energieverbrauch	sehr gering	mittel	hoch
Datensicherheit bei Stromausfall	sofort	verzögert	verzögert

### SPS

Dauerhafte Speicherung von Steuerparametern in industriellen Automatisierungssystemen

### SMART METER

Ereignisprotokollierung und Manipulationserkennung bei Spannungsschwankungen

### HMI

Zuverlässige Datenspeicherung bei Interaktionen mit Mensch-Maschine-Schnittstellen

### EMBEDDED IOT-GERÄTE

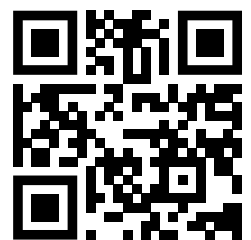
Energieeffiziente Datenerfassung und sofortige Sicherung in vernetzten Sensoren

### Ihre Vorteile

- Nichtflüchtiger Speicher mit 10 bis 100 Billionen Schreibzyklen – Schreibzeit im ns-Bereich – kein Refresh nötig
- Minimaler Energieverbrauch ideal für batteriebetriebene Systeme
- Interfaces: SPI, I<sup>2</sup>C, parallel

Direkt zum Hersteller:

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



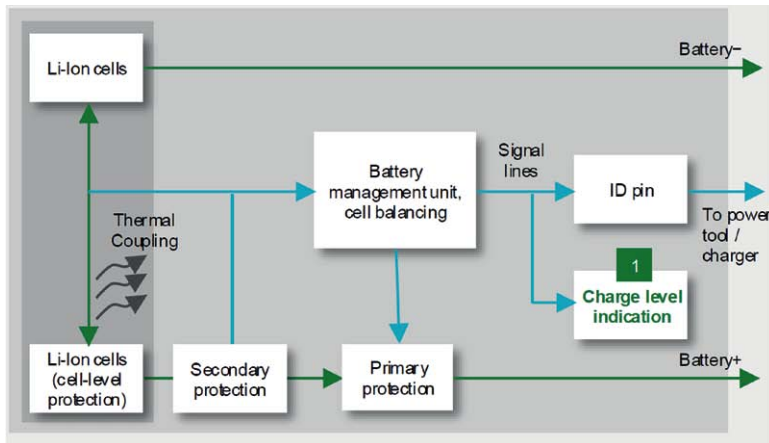


Bild 1: Taktile Schalter zur Ladezustandsanzeige.  
(Bilder: Littelfuse)

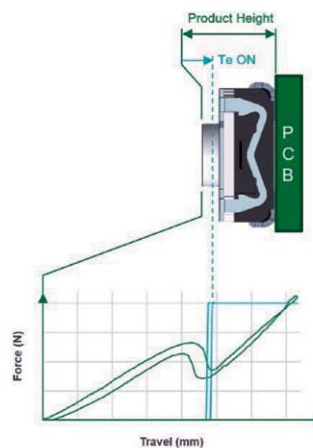
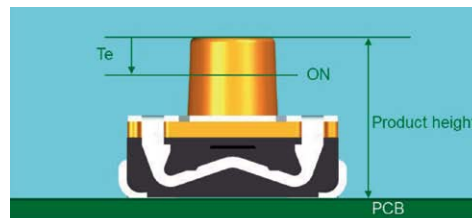
galvanisch entlastet und bietet so den Vorteil einer langfristigen Zuverlässigkeit. Dank vollständiger Abdichtung werden zudem Feuchtigkeit und leitfähige Staubpartikel sicher von den Signalfaden ferngehalten.

### Eignung im Feldtest bestätigte Lösung

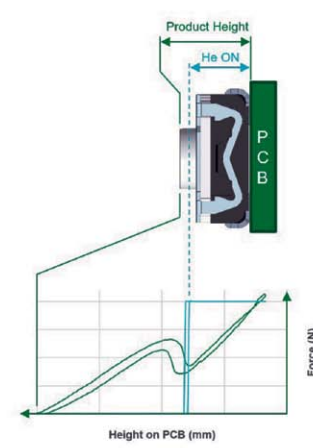
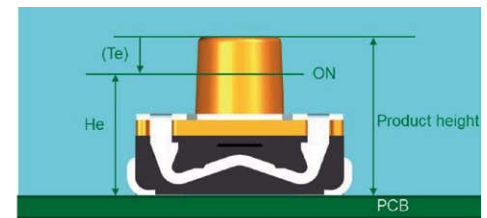
Die Praxiserprobung zeigte, dass der kompakte Schalter das Layout vereinfachte und dank seiner Abdichtung auch unter staubigen Bedingungen zuverlässig arbeitete. Der taktile Rückmeldungsmechanismus war so abgestimmt, dass er auch mit Handschuhen klar spürbar blieb, gleichzeitig, aber versehentliche Betätigungen verhinderte, was wiederum ein häufiges Problem bei überempfindlichen Designs darstellt. Dies erhöhte nicht nur den Bedienkomfort, sondern auch die Betriebssicherheit, insbesondere bei Arbeiten in erhöhten Positionen oder ungünstigen Winkeln.

Die direkte Anbindung an das Batteriemanagementsystem ermöglichte eine sichere Anzeige des Ladezustands, ohne den Haupt-

regelkreis zu beeinflussen. Gleichzeitig schützte die vollständige Versiegelung zuverlässig vor Feuchtigkeit und leitfähigen Staub-



Electrical Travel (Te)



Electrical Height (He)

Bild 2: Vergleich zwischen elektrischer Höhe (He) und elektrischem Weg (Te).

partikeln, wodurch Kontaktfehler vermieden wurden. Für den Hersteller bedeutete dies höhere Betriebssicherheit, weniger Nacharbeit in der Montage, geringere Garantieraten und insgesamt eine verbesserte Gebrauchstauglichkeit der Werkzeuge.

### Fazit

Gerade unscheinbare Komponenten wie Taster erweisen sich in robusten Endprodukten oft als kritischer Faktor. Die konsequente Auswahl eines abgedichteten und hochlebensdauerfähigen Schalters, abgestimmt auf mechanische und elektronische Randbedingungen, ermöglicht langlebige und sichere Bedienkonzepte auch in rauer Baustellenumgebung.



## Technische Eckdaten des eingesetzten SMD-Tasters

- **Abmessungen:** 6,2 mm × 6,2 mm × 3,5 mm
- **Toleranz Gehäusehöhe:** ±0,2 mm – erleichtert die präzise Integration und reduziert Montagefehler
- **Elektrische Daten:** 12 V DC; Schaltstrom im µA – mA-Bereich; Kontaktwiderstand

< 100 mΩ – ideal für Logikeingänge im Batteriemanagementsystem

- **Lebensdauer:** Bis zu 1 Mio. Betätigungen – rund Faktor 10 über Standardtastern für Consumer-Elektronik
- **Schutzart:** IP67 – staubdicht und bis 30 Minuten in 1 m Wassertiefe tauchfest;

unempfindlich gegen Staub, Spritzwasser und Feuchtigkeit

- **Besonderheit:** Präzise Charakterisierung über Electrical Height statt Electrical Travel – verbessert Konsistenz und Montagegenauigkeit





Energieeffiziente Stromversorgung für kompakte Elektronik

# Schaltregler als Ersatz für LDOs

*Lineare Spannungsregler sind zwar nach wie vor milliardenfach im Einsatz, verschwenden dabei jedoch viel Energie in Form von Wärme. Moderne Schaltregler reduzieren diese Verluste, machen Kühlkörper überflüssig, senken die Material- und Produktionskosten und leisten so einen Beitrag zur Dekarbonisierung.*

VON ANDREAS MÜNZER,  
SENIOR MANAGER PRODUCT MARKETING  
POWER BEI RUTRONIK

**D**ie Auswirkungen der globalen Erwärmung sind unübersehbar: Hitzewellen im Frühjahr, Schnee in warmen Regionen, langanhaltende Regenfälle oder Stürme, die ganze Wälder in Mitleidenschaft ziehen. Viele fragen sich, wie sie zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen können, ohne dass der eigene Einfluss unbedeutend wirkt. Hier hilft ein Vergleich: Ein einzelner Sandsack kann ein Hochwasser nicht aufhalten, doch eine Million Sandsäcke können eine Gemeinde vor der Flut bewahren.

Nach demselben Prinzip wirken auch technische Verbesserungen: Selbst, wenn die Einsparung bei einem einzelnen Bauteil gering erscheint, ergibt die Summe über Millionen oder gar Milliarden Einheiten einen beträchtlichen Effekt. Genau dies gilt für lineare Spannungsregler (LDOs, Bild 1), die weltweit milliardenfach eingesetzt werden. Aufgrund ihrer geringen Effizienz kommt es zu erheblichen Energieverlusten, wodurch sich zugleich ein enormes Einsparpotenzial ergibt. Moderne Schaltregler können diese Verluste reduzieren und so sowohl die Energieeffizienz als auch die Nachhaltigkeit verbessern. Die geringe Effizienz von Linearreglern lässt sich an einem einfachen Beispiel (siehe Infokasten) verdeut-

lichen. Schon bei kleinen Lasten wird ein Vielfaches der benötigten Leistung in Wärme umgesetzt. Schaltregler hingegen wandeln dieselbe Energie mit deutlich geringeren Verlusten um.

## Drop-in-Alternative mit Schaltreglern

Schaltregler (Bild 2) gelten als energieeffizientere Alternative zu linearen Reglern. Sie regeln die Ausgangsspannung, indem sie den Leistungstransistor schnell ein- und ausschalten. Dadurch wird die Verlustleistung stark reduziert. Wärme entsteht nur während der kurzen Schaltvorgänge; im Ein- und Aus-Zustand dagegen kaum. Somit kommen Schaltregler selbst bei 90 °C Umgebung ohne Kühlkörper aus. Zudem liegt ihr Ruhestrom (ohne Last) deutlich unter dem von Linearreglern, da sich die internen Regelkreise bei Nichtbenutzung abschalten. Ein linearer Regler benötigt typischerweise etwa 8 mA Ruhestrom, um den internen Komparator zu versorgen. Dieser Strom ist unabhängig vom Laststrom. Die Schaltregler der Serie R-78-K-0.5 haben einen typischen Standby-Strom von nur 1 mA.

Die R-78-Serie von Recom ist pincompatibel zu den klassischen 78xx-Reglern. Die neue R-78K-Serie (Tabelle 1) setzt diese Tradition fort und bietet einen höheren Wirkungsgrad, einen größeren Eingangsspannungsbereich und ein geringeres Gewicht. Im gleichen Szenario wie oben dissipiert der Schaltregler nur 0,2 W und kommt ohne Kühlkörper aus.

Neben der Effizienz unter Last spielt insbesondere bei Geräten, die dauerhaft eingeschaltet sind, aber nur selten aktiv werden, der Ruhestrom eine wichtige Rolle. Ein Entwurf mit linearem Regler verbraucht im Stand-by-Betrieb bei einer Eingangsspannung von 24 V rund 2 W und damit hochgerechnet etwa

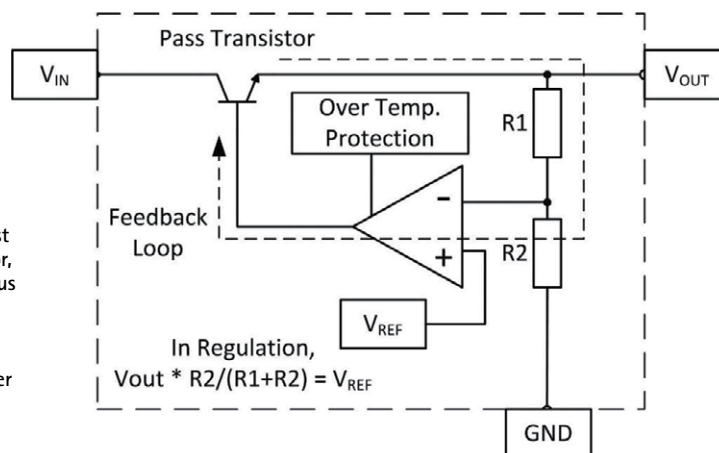


Bild 1: Ein linearer Regler ist im Grunde nur ein Transistor, der in seinem linearen Modus als variabler Leistungswiderstand verwendet wird. Die Differenz zwischen der Eingangsleistung und der Ausgangsleistung wird als Wärme abgeführt. (Bilder: Recom)

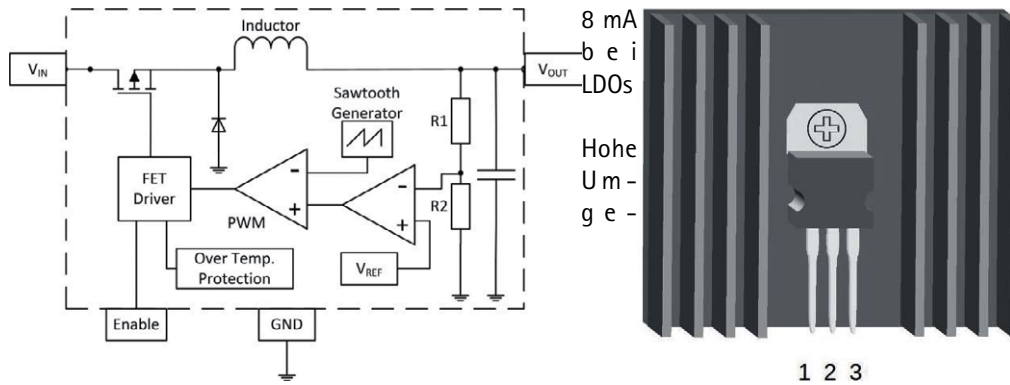
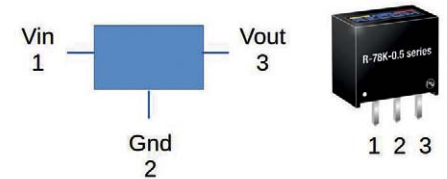


Bild 2: Schaltplan des Schaltreglers (links) sowie pin- und funktionskompatible Schaltregler der 78xx- und R-78K-Serie (rechts).



Merkmale	R-78-K-0.5	R-78-K-1.0	R-78-K-2.0
Eingangsspannung	4,5 36 V DC (modellabhängig)	4,5 36 V DC (modellabhängig)	4,5 36 V DC (modellabhängig)
Wirkungsgrad	bis 93 %, ohne Kühlkörper	bis 95 %, ohne Kühlkörper	bis 96 %, ohne Kühlkörper
Betriebstemperatur	-40 °C bis +90 °C ohne Derating	-40 °C bis +90 °C ohne Derating	-40 °C bis +90 °C ohne Derating
Schutzfunktion	Unterspannungs- und Kurzschlusschutz	Unterspannungs- und Kurzschlusschutz	Unterspannungs- und Kurzschlusschutz

Tabelle 1: Vergleich der Modelle der R-78K-Serie nicht-isolierter Schaltregler.

1,75 kWh pro Jahr. Ein Schaltregler benötigt dagegen nur rund ein Achtel davon. Da Schaltregler im TO-220-Format (Bild 2) verfügbar sind, lassen sie sich direkt als Ersatz einsetzen und auch in bestehende Designs nachrüsten. Trotz des höheren Stückpreises sinken die Gesamtkosten, da Kühlkörper, Wärmeleitpaste, Befestigungsmaterial und Montage entfallen. Zusammenfassend ergeben sich folgende Vorteile:

- Kein Kühlkörper erforderlich → Einsparung von Material, Montageaufwand und Produktionskosten.
- Niedriger Ruhestrom → typ. 1 mA statt ca.

10 mA bei Umgebungstemperaturen bis 90 °C ohne zusätzliche Kühlung

- Kompakte Bauform und geringes Gewicht, geeignet für platzkritische Designs
- Fertigung in Asien, wodurch ein wettbewerbsfähiger Preis möglich wird

Das Einsparpotenzial wird besonders deutlich, wenn man die Verluste hochrechnet. Bei typischen Anwendungen (28 V → 5 V, 0,5 A) erzeugt ein einzelner Linearregler rund 11,5 W Verlustwärme, ein effizienter Schaltregler nur etwa 0,55 W. Bei einer jährlichen Verkaufsmenge von einer Milliarde Linearreglern ergibt

sich ein Einsparpotenzial von etwa 11 GW, was der Leistung von neun mittelgroßen Kernkraftwerken entspricht. Schon geringe Wirkungsgradverbesserungen bei Standardbauteilen können also einen maßgeblichen Beitrag zur globalen Energieeinsparung leisten.

### Türöffnungssystem im IP67-Gehäuse

Bei der Berechnung der Total Cost of Ownership müssen weitere Faktoren berücksichtigt werden. Ein Hersteller plante ein eigenständiges Türöffnungssystem mit Fingerabdruckleser, Mikrocontroller in einem IP67-Gehäuse, Türöffnermagnet und 12-V-Akku mit Ladegerät in einem IP67-Gehäuse. Die Grundanforderungen waren:

- sichere Zugangskontrolle über ein Fingerabdruck-Erkennungssystem im Außenbereich,
- Umgebungstemperaturen bis 50 °C und Gehäusetemperaturen bis 65 °C,



## Technischer Vergleich zwischen Linear- und Schaltregler

Szenario: 24 V → 3,3 V, Last 300 mA

### Linearregler (z. B. 78xx)

- Ausgangsleistung:  $P_{out} = 3,3V \cdot 0,3A \approx 1,0W$
- Eingangsleistung (ohne Ruhestrom):  $P_{in} = 24V \cdot 0,3A = 7,2W$
- Verlustleistung:  $P_{loss} \approx 6,2W$
- Wirkungsgrad:  $\eta \approx 1,0/7,2 \cdot 100\% \approx 13,7\%$  → Hohe Verlustwärme, meist Kühlkörper erforderlich

### Schaltregler (z. B. R-78K3.3-0.5)

- Ausgangsleistung: 1,0W
- Eingangsleistung (Mess-/Datenblattbeispiel):  $24V \cdot 0,05A = 1,2W$

- Verlustleistung: 0,2W
- Wirkungsgrad:  $\eta \approx 1/1,2 \cdot 100\% \approx 83\%$  → Deutlich weniger Wärme, kein Kühlkörper nötig (bis ~90 °C Umgebung)

### Ruhestrom-Vergleich (Standby, 24 V)

- Linearregler typ. ~8 mA →  $P \approx 0,192W$  → ~1,68 kWh/Jahr
- R-78K-0.5 typ. ~1 mA →  $P \approx 0,024W$  → ~0,21 kWh/Jahr

Ein Linearregler verliert also mehr als siebenmal so viel Energie, wie die Last tatsächlich verbraucht. Bei einem so geringen Wirkungsgrad ist selbst bei einer geringen Last von nur 1 W ein Kühlkörper notwendig, um die Verlustwärme abzuführen.

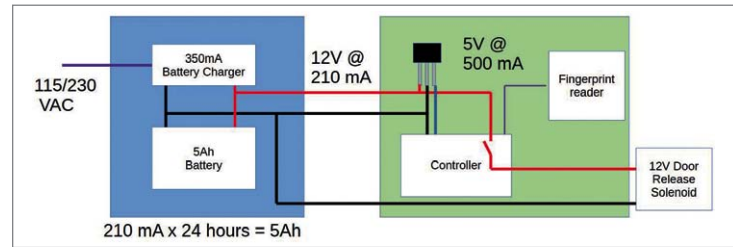
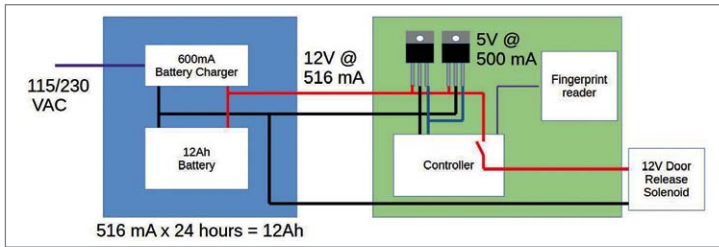


Bild 3: Vergleich zwischen Türeinstiegssystemen mit linearem Regler (links) bzw. Schaltregler (rechts).

- Notbetrieb für 24 Stunden bei Stromausfall über Akku,
- möglichst geringe Kosten bei hoher Zuverlässigkeit.

Im Folgenden werden zwei Lösungen, mit linearen bzw. mit Schaltreglern verglichen. Die Lösung des Kunden (Bild 3, links) setzte auf lineare Regler für die 5-V-Versorgung. Bei hohen Temperaturen überhitzten die Bauteile jedoch, sodass die Spannung instabil wurde. Um den Strom zu teilen, wurden zwei Regler parallel betrieben – eine nicht empfehlenswerte Maßnahme. Zwar kam ein kleiner Kühlkörper zum Einsatz, doch im abgedichteten IP67-Gehäuse stieg die Temperatur weiter an, bis die Regler schließlich in die thermische

Abschaltung gingen. Dadurch wurde das System unzuverlässig.

Bild 3 rechts zeigt eine alternative Lösung mit Schaltreglern, die von Recom vorgeschlagen wurde. Trotz der höheren Anschaffungskosten konnte der Eingangsstrom damit auf weniger als die Hälfte reduziert werden. Dadurch konnten Akku und Ladegerät kleiner dimensioniert werden (5 Ah statt 12 Ah). Das senkte die Gesamtkosten sowie das Gewicht und das Volumen der Komponenten. Verpackung und Transport wurden einfacher und der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck sank. Entscheidend war zudem die Betriebssicherheit: Auch bei hohen Temperaturen blieb die Versorgung stabil, ohne dass Gefahr für den Fingerabdrucksensor und den Mikrocontroller bestand. Trotz des höheren Stückpreises für

den Schaltregler ist die Gesamtlösung günstiger, zuverlässiger und nachhaltiger.

### Technischer Fortschritt und Nachhaltigkeit im Einklang

Die Beispiele zeigen, dass technische Weiterentwicklung und Nachhaltigkeit Hand in Hand gehen können. Schaltregler reduzieren Verluste, senken die Material- und Produktionskosten und erhöhen die Zuverlässigkeit. Damit leisten sie einen messbaren Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Reduktion, ohne dass die Gesamtkosten erhöht werden. Angesichts der jährlich in Milliardenstückzahlen eingesetzten Linearregler bietet der Umstieg ein erhebliches Potenzial zur Dekarbonisierung. ■

Anzeige



The DNA of tech.®

## At the Heart of Healing Is The DNA of tech.®



Discover our comprehensive range of standard and customizable semiconductors and passive electronic components designed for medical devices of all sizes.

From implantable and wearable devices to advanced imaging machines and surgical robotics, we offer solutions that meet your needs.

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

© 2025 VISHAY INTERTECHNOLOGY, INC. ALL RIGHTS RESERVED.





Kondensatortechnologie für moderne Elektronikanwendungen

# Polymerkondensatoren als clevere Alternative zu MLCC

*Keramikkondensatoren sind allgegenwärtig, stoßen bei steigenden Anforderungen jedoch an ihre Grenzen. Polymerkondensatoren weisen dagegen nahezu keine Kapazitätsverluste durch DC-Bias auf und eliminieren piezoelektrische Effekte größtenteils.*

VON MARC HÖFERER,  
CORPORATE PRODUCT MANAGER  
CAPACITORS BEI RUTRONIK

**M**ehrschicht-Keramikkondensatoren (Multilayer Ceramic Capacitors, MLCCs) sind heute die am häufigsten verwendeten Kondensatoren in elektronischen Schaltungen. Sie überzeugen durch ihre kompakte Bauform, ihren niedrigen Ersatzserienwiderstand (Equivalent Series Resistance, ESR) und ihre geringe Ersatzinduktivität (Equivalent Series Inductance, ESL). Aufgrund dieser Eigenschaften und ihrer geringen Kosten werden sie insbesondere bei der Verwendung in Eingangs- und Ausgangsfiltern von DC/DC-Wandlern am häufigsten eingesetzt. Aber auch in vielen anderen Designs sind sie die erste Wahl: Sie finden sich in nahezu allen elektronischen Geräten, von der Unterhaltungselektronik bis hin zu Industrieanlagen.

Doch MLCCs zeigen Schwächen, die in anspruchsvollen Anwendungen zunehmend zum Tragen kommen:

- **DC-Bias-Effekt:** Die Kapazität dieser Bauelemente variiert mit der angelegten Gleichspannung. Das kann zu einem Kapazitätsabfall von mehr als 70 Prozent im Vergleich zu den Angaben auf dem Datenblatt führen, sodass die ursprünglich spezifizierte Kapazität in der Praxis oft nicht zur Verfügung steht.
- **Inverser piezoelektrischer Effekt:** Das Anlegen einer Gleichspannung an ein MLCC kann durch mechanische Spannungen im Material zu geringen, statischen Verformungen führen. Werden jedoch hochfrequente Spannungen angelegt oder treten bestimmte Betriebsbedingungen auf, kann dies in Verbindung mit elektromagnetischen Schwingungen zu Vibrationen führen, die als unangenehmes Kreischgeräusch wahrgenommen werden.

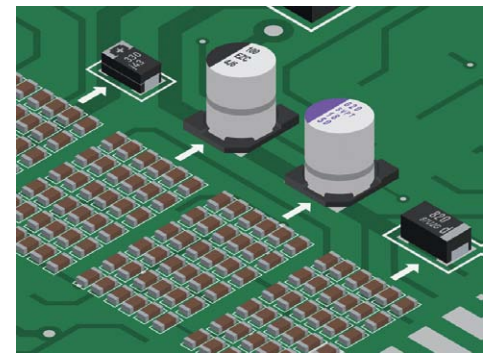


Bild 1: Die Vielfalt an Kondensatortypen – von MLCCs bis zu Polymerlösungen – erlaubt eine bedarfsgerechte Kombination oder gezielten Ersatz, um Funktion, Bauraum und Effizienz zu optimieren. (Bild: Panasonic Industry Europe)

- **Sprödigkeit:** MLCCs sind aufgrund ihrer spröden keramischen Struktur anfällig für Risse, beispielsweise bei Durchbiegung der Leiterplatte. Solche Risse können sich unter thermischer oder mechanischer Belastung ausbreiten. Dabei werden nicht nur die Kapazität, sondern auch die elektrischen Parameter ESR (Equivalent Series Resistance) und ESL (Equivalent Series Inductance) negativ beeinflusst. Selbst kleinste Risse können mit der Zeit fortschreiten (»Crack Growth«) und die Lebensdauer des Bauteils erheblich verkürzen.
- **Starke Kapazitätsänderung bei Frequenz- und Temperaturwechseln:** Die Kapazität variiert je nach Umgebungseinfluss erheblich, was die Stabilität im System beeinträchtigen kann.

*Polymer-Kondensatoren –  
stabile Kapazität, weniger Störungen*

Dank ihrer speziellen Bauweise umgehen leitfähige Polymer-Kondensatoren viele typische

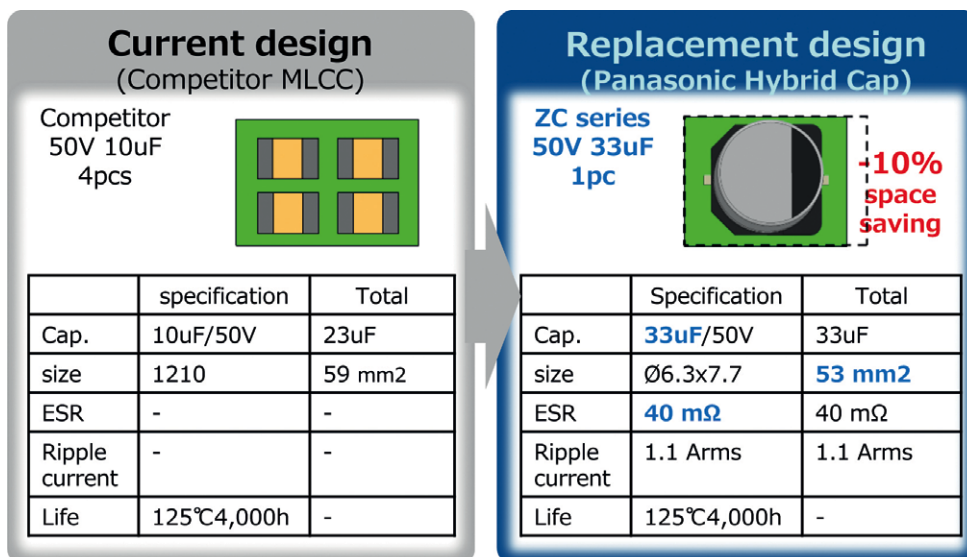


Bild 2: Der Ersatz von MLCCs durch Polymerkondensatoren führt zu einer stabileren Lichtleistung, einer höheren mechanischen Zuverlässigkeit und einer geringeren Anzahl von Bauteilen auf der Leiterplatte.

Schwächen herkömmlicher MLCCs (Bild 2). Anstelle eines keramischen Dielektrikums kommen beispielsweise Aluminium oder Tantal mit einer dünnen Oxidschicht zum Einsatz, kombiniert mit einem festen Elektrolyten aus leitfähigem Polymer.

Diese Bauweise bringt entscheidende Vorteile mit sich: Im Vergleich zu MLCCs weisen leitfähige Polymer-Elektrolyt-Kondensatoren deutlich geringere Kapazitätsverluste durch Gleichstromvorspannung und Temperaturschwankungen auf. Der DC-Bias-Effekt ist vernachlässigbar gering, sodass die effektive Kapazität auch unter Last stabil bleibt und Schaltungen präziser ausgelegt werden können. Dank ihrer hohen Kapazitätsdichte ermöglichen Polymerkondensatoren eine kompakte Bauweise bei gleichzeitig hoher effektiver Kapazität. Für die gleiche Systemleistung sind oft deutlich weniger Bauteile erforderlich. Das reduziert die benötigte Montagefläche sowie die Gesamtkosten – einschließlich Verpackung und Bestückung. Aufgrund ihrer Bauweise sind Polymerkondensatoren weniger empfindlich gegenüber mechanischen Belastungen und thermischem Stress. Ihre geringe Riss-

anfälligkeit und hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber thermischem Stress erhöhen die Zuverlässigkeit. Da piezoelektrische Effekte nicht auftreten, entstehen weder Störgeräusche noch Mikrovibrationen – ein entscheidender Vorteil gerade für sensible Anwendungen. Polymerkondensatoren bieten vorhersagbare, lange Betriebszeiten ohne die für herkömmliche Elektrolytkondensatoren typische Alterung. Durch ihre SMD-Bauform lassen sie sich platzsparend integrieren und eignen sich besonders für flache Geräte wie Sensormodule, Displaytreiber oder Treiberboards für Leistungsendstufen. Sie ermöglichen eine automatisierte Bestückung, reduzieren den Platzbedarf auf der Leiterplatte und vereinfachen die Montageprozesse – insbesondere bei hohen Stückzahlen. Sie besitzen einen niedrigen ESR über ein breites Frequenzspektrum. Dies ermöglicht eine effektive Glättung von Ripple-Strömen, sodass sie sich ideal für Power-Management-Schaltungen eignen.

Tabelle 1 zeigt: Jeder Kondensatortyp hat spezifische Stärken und Schwächen. Für eine ge-

	Kapazität	Temperaturverhalten	DC-Bias	Spannungsbereich	Größe	ESR	Ripple
Aluminium Electrolytic Cap. (SP-Cap)	o	+	++	o	+	++	++
Tantalum Solid Cap. (POSCAP)	+	++	++	o	++	++	++
Aluminium Solid Cap. (OS-CON)	++	++	++	+	o	++	++
Hybrid Cap.	++	++	++	+	o	++	++
MLCC	x	o	x	++	++	++	++

Tabelle 1: Vergleich der Eigenschaften der unterschiedlichen Kondensatortechnologien.  
Legende: ++: sehr gut, +: gut, o: mittel, x: schlecht

eignete Bauteilauswahl müssen neben elektrischen Parametern wie ESR, Kapazität oder Spannungsfestigkeit auch Faktoren wie Bau- raum, Kosten und das Alterungsverhalten berücksichtigt werden. Aufgrund ihrer hohen Spannungs- und Rückspannungsfestigkeit eignen sich MLCCs besonders für Anwendungen mit hohen Spannungsanforderungen und extrem geringem ESR.

Polymerkondensatoren zeigen ihre Stärken vor allem bei Anwendungen mit hohem Strombedarf, engen Platzverhältnissen und der Notwendigkeit einer konstanten Kapazität unter Last. Ihr niedriger ESR, ihre hohe Kapazitätsdichte und ihr robustes Verhalten unter Temperatur- und mechanischer Belastung machen sie zu einer zuverlässigen Alternative – insbesondere, wenn mehrere MLCCs durch ein einziges Polymerbauteil ersetzt werden können.

#### Effizienzsteigerung bei LED-Anwendungen

In modernen LED-Treiberanwendungen, etwa im Automobilbereich, stehen Entwicklerinnen und Entwickler vor der Herausforderung, hohe Ströme und kompakte Bauformen zu realisieren. Ein Praxisbeispiel zeigt, wie sich durch den Einsatz von Hybrid-Polymer-Kondensatoren die Anzahl der benötigten Bauteile und der Platzbedarf auf der Leiterplatte deutlich reduzieren lassen: Anstelle von vier 10-µF/50-V-MLCCs mit insgesamt 23 µF und einem Footprint von 59 mm<sup>2</sup> genügt ein einziger 33-µF/50-V-Hybrid-Kondensator mit nur 53 mm<sup>2</sup>. Neben der Platzersparnis von rund 10 Prozent zeichnet sich der Hybrid-Kondensator durch einen niedrigen ESR von 40 mΩ, eine hohe Ripple-Strom-Belastbarkeit von 1,1 Arms und eine spezifizizierte Lebensdauer von 4.000 Stunden bei 125 °C aus. Die Nutzung von Polymertechnologie ermöglicht eine stabile Lichtleistung, eine verbesserte mechanische Zuverlässigkeit und vereinfachte Montageprozesse.

#### Fazit

MLCCs bleiben in vielen Anwendungen unverzichtbar – insbesondere dort, wo eine geringe Baugröße und ein niedriger ESR gefragt sind. Doch ihre physikalischen Einschränkungen machen sie in kritischen Anwendungen angreifbar. Leitfähige Polymerkondensatoren bieten hier eine robuste und kapazitätsstabile Alternative. Sie ermöglichen zuverlässige, platzsparende Designs mit hoher Strombelastbarkeit und sind somit eine wertvolle Ergänzung in der modernen Elektronikentwicklung. ■



Hochpräzise Positionierung in der Landwirtschaft

# Smart Farming mit 5G und Real-Time Kinematics

*Hochpräzise Positionierung und IoT-Technologien verändern die Landwirtschaft: Sie ermöglichen durch genaue Standortdaten, vernetzte Sensoren und automatisierte Prozesse effizientes und nachhaltiges Smart Farming mit einem optimierten Ressourceneinsatz und stellen bessere Ernteerträge in Aussicht.*

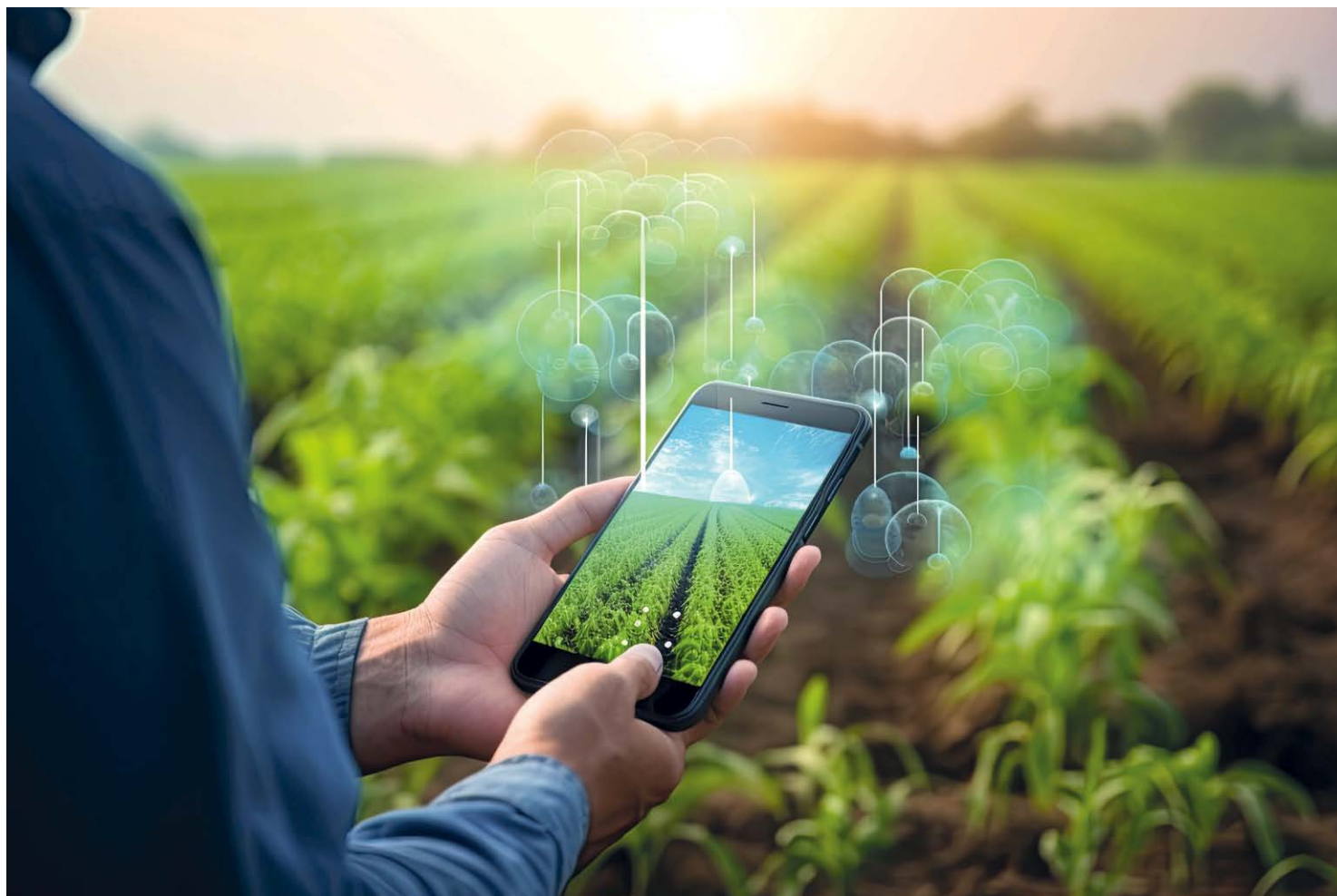


Bild: Mayava/stock.adobe.com

VON LUISA LETZGUS,  
CORPORATE PRODUCT MANAGER WIRELESS  
BEI RUTRONIK

**D**ie Landwirtschaft in Deutschland steht zunehmend unter Druck: Hitzeperioden, Trockenphasen, Starkregen, Stürme, plötzliche Kälteeinbrüche und damit die Folgen des Klimawandels sind längst Realität. Diese extremen Wetterereignisse stellen landwirtschaftliche Betriebe vor enorme Herausforderungen. Gleichzeitig verschärft der Fachkräftemangel die Situation zusätzlich. Eine vielversprechende Antwort auf diese

komplexen Problemlagen bietet die Künstliche Intelligenz (KI). So verzeichnet der Markt ein dynamisches Wachstum.

Prognosen zufolge wird dieser Sektor zwischen 2024 und 2030 mit durchschnittlichen jährlichen Wachstumsraten von 25,5 Prozent expandieren, was als klares Indiz für die zunehmende Relevanz intelligenter Technologien in der Agrarbranche zu werten ist. [1] Diese





Bild 1: Das modulare LGA-Design der FE990-Serie ermöglicht lokale Datenverarbeitung und robuste 5G-Konnektivität direkt im Feld und ist damit für Umweltmonitoring, Stallautomatisierung und Gateway-Anwendungen geeignet. (Bilder: Telit Cinterion)

intelligenten Systeme können in der Agrarwirtschaft gezielt eingesetzt werden, um Nachhaltigkeit zu fördern, Anbaustrategien zu optimieren und das Tierwohl zu verbessern. Dabei geht es nicht nur um Effizienzsteigerung und wirtschaftlichen Erfolg, sondern auch um die Entlastung der Landwirtinnen und Landwirte bei körperlich anspruchsvollen und zeitintensiven Tätigkeiten:

- **Maschinenführung mit Assistenzsystemen:** Der Fuhrpark landwirtschaftlicher Betriebe, bestehend aus Traktoren, Saatmaschinen und Häckslern, bietet ein enormes Potenzial für den Einsatz von KI. Durch intelligente Steuerungssysteme können diese Maschinen nicht nur präziser arbeiten, sondern auch benutzerfreundlicher gestaltet werden. Ergänzt durch Drohnen oder autonome Reinigungsroboter lassen sich Routineaufgaben automatisieren und wertvolle Arbeitszeit einsparen.
- **KI in der Tierhaltung:** Auch in der Viehwirtschaft eröffnet KI neue Möglichkeiten. Systeme zur Verhaltensanalyse können frühzeitig Auffälligkeiten erkennen und Rückschlüsse auf den Gesundheitszustand der Tiere ziehen. Gleichzeitig lässt sich die Fütterung durch KI optimieren – etwa durch bedarfsgerechte Mengensteuerung und automatisierte Vorratskontrolle. So gewinnen Viehhalterinnen und Viehhalter mehr Zeit für die direkte Tierbetreuung und verbessern gleichzeitig die Haltungsbedingungen.
- **Pflanzenpflege und Züchtung:** Im Pflanzenbau unterstützt KI bei der Sortierung von Saatgut, der Erkennung von Unkraut und der Identifikation unbrauchbarer Pflanzen. Mithilfe von Bilderkennungssystemen können diese Aufgaben automatisiert und mit hoher Präzision durchgeführt werden. Ein entscheidender Vorteil in Zeiten zunehmender Wasserknappheit ist, dass sich auch die Bewässerung durch sensorbasierte KI-Lösungen bedarfsgerecht steuern lässt. [2]

### 5G und RTK-Technologie für moderne Landwirtschaftssysteme

Die Anforderungen moderner Landwirtschaftssysteme an Präzision, Konnektivität und Verfügbarkeit können nur mit einer modular aufgebauten IoT-Infrastruktur erfüllt werden. Dafür stellt Telit Cinterion verschiedene, für den Feldeinsatz ausgelegte Bausteine zur Verfügung, die sich von der einzelnen Sensoreinheit bis zur vernetzten Maschinenflotte skalieren lassen (Bilder 1 bis 4). Mithilfe dieser Bausteine lassen sich Anwendungen realisieren, die von der autonomen Traktornavigation bis zur vernetzten Feldüberwachung reichen.

- GNSS-Module mit Mehrfrequenz- und RTK-Funktionalität ermöglichen eine zentimetergenaue Positionierung für automatisierte Fahrspuren und eine präzise Feldbearbeitung.
- 5G-Datenkarten stellen hohe Übertragungsraten bereit, z. B. für die Bildübertragung von Drohnen, Videostreams oder die Anbindung stationärer Systeme.

## Entdecken Sie das Potenzial Ihres Designs mit den Hybridkondensatoren von Panasonic!

Moderne Designs erfordern höhere Leistung und Miniaturisierung. Kunden – aus der Automobilbranche und darüber hinaus – steigen vom herkömmlichen Elektrolytkondensator auf Panasonic's Hybridkondensatoren um!

Auch wenn sie oft als teurer gelten, widerlegt unsere ZC-Serie diese Annahme. Durch die Kombination der Vorteile der Hybridtechnologie und Erschwinglichkeit ist ZC Ihr Zugang zur Hybridwelt!

**ZC**



Spannung	25 bis 80 V
Kapazität	10 bis 330 µF
Ripplestrom	bis zu 2000 mArms
Lebensdauer	4000 Std. bei 125°C
Größe	5x5,8 bis 10x10,5mm

Stehen Sie vor anspruchsvollen Anforderungen? Entdecken Sie die besten Leistungen auf dem Markt – die ZVU- und ZUU-Serien von Panasonic, die in ihrem jeweiligen Größenbereich in anspruchsvollen Anwendungen überzeugen.

**ZUU**



Spannung	25 bis 63 V
Kapazität	120 bis 1000 µF
Ripplestrom	bis zu 4300 mArms (bei 135°C) bis zu 6100 mArms (bei 125°C)
Lebensdauer	4000 Std. bei 135°C/125°C
Größe	10x12,5mm & 10x16,8mm

**ZVU**



Spannung	25 bis 63 V
Kapazität	56 bis 560 µF
Ripplestrom	bis zu 3400 mArms (bei 135°C) bis zu 4600 mArms (bei 125°C)
Lebensdauer	4000 Std. bei 135°C/125°C
Größe	8,0x10,2mm to 10x10,5mm

**Neugierig geworden? Kontaktieren Sie uns bei Fragen oder für Muster:**  
[capacitor@eu.panasonic.com](mailto:capacitor@eu.panasonic.com)



Bild 2: Das FN990B34-Modul unterstützt 5G-Sub-6 mit GNSS L1+L5 und eignet sich für Edge-Applikationen mit erhöhtem Datenaufkommen, wie etwa zur Steuerung von Traktoren oder Drohnen in Echtzeit.



Bild 3: Mit bis zu 4,9 Gbit/s im Downlink, RTK-fähigem GNSS und OpenWRT-Unterstützung ist das FN990B40 auf anspruchsvolle Echtzeitanwendungen in der Präzisionslandwirtschaft ausgelegt.



Bild 4: Das SE868K5-RTK-Modul verfügt über ein kompaktes Design mit integrierter RTK-Technologie für eine zentimetergenaue Positionsbestimmung mittels Dual-Frequenz-Empfang (L1/E1 und L5/E5). Es eignet sich somit für Anwendungen im Bereich Drohnen und Landwirtschaft.

- Kompakte LGA-Module mit integrierter Recheneinheit und OpenWRT unterstützen dezentrale Datenverarbeitung, z. B. in Sensorstationen oder Mobilroutern.
- Mobilfunkmodule (5G, LTE, LPWA, NB-IoT) ermöglichen stabile Datenverbindungen mit geringer Latenz, auch für Anwendungen in wenig erschlossenen Regionen.
- Edge- und IoT-Gateways dienen als Schnittstelle zwischen Sensorik, Maschinensteuerung und Cloudsystemen zur Datenerfassung, -übertragung und -auswertung.

Alle Komponenten sind für den anspruchsvollen Einsatz im Feld ausgelegt (Stoß, Vibration, Temperaturbereich von -40 °C bis +85 °C) und lassen sich auf verschiedensten Geräten und Anwendungsfällen, von einzelnen Sensoren bis zu autonomen Maschinenflotten, skalieren.

Wie diese Bausteine ineinandergreifen, zeigt die Übersicht in Tabelle 1.

#### Echtzeitdaten für die vernetzte Hühnerfarm

Moderne landwirtschaftliche Betriebe setzen zunehmend auf digitale Technologien, um ihre Prozesse zu optimieren und ihre Ressourcen effizienter zu nutzen. Insbesondere dort, wo große Datenmengen aus unterschiedlichen Quellen zusammenlaufen, bietet die Mobilfunktechnologie 5G entscheidende Vorteile. Ein typisches Beispiel ist die industrielle Geflügelhaltung: In solchen Anlagen erfassen Thermostate, Fütterungsautomaten und weitere Sensoren kontinuierlich Betriebsdaten. Zwar erzeugt jeder einzelne Sensor nur geringe Datenmengen, doch in der Summe entsteht ein komplexes Informationsnetz mit Tausenden Datenpunkten. Die direkte Anbindung jedes Sensors an eine eigene 5G-Leitung wäre

jedoch wirtschaftlich nicht sinnvoll und technisch zu komplex.

Die Lösung liegt in der intelligenten Aggregation: Werden die Sensordaten in lokal dimensionierten Clustern zusammengeführt, entspricht die resultierende Datenrate dem Leistungsprofil einer mobilen 5G-Breitbandverbindung. So lassen sich die gesammelten Informationen effizient über 5G ins zentrale System übertragen, was auch als »Backhauling« bezeichnet wird. 5G erweist sich damit als ideale Technologie für die Bündelung und Weiterleitung von Daten in vernetzten Agrarsystemen. Es ermöglicht nicht nur hohe Übertragungsgeschwindigkeiten, sondern auch eine flexible Infrastruktur, die mit den Anforderungen moderner Landwirtschaft Schritt hält. Mit dem 5G-Standard Release 17 erweitert sich der Handlungsspielraum weiter: Satellitengestützte Non-Terrestrial Networks (NTN) ermöglichen die Einbindung auch abgelegener Ställe ohne Mobilfunkabdeckung in das digitale Stallmonitoring. Fortschritte bei Mobilfunkstandards und Chipdesigns ermöglichen zudem die Nutzung neuer, noch energiesparenderer und flexibler integrierbarer Sensorklassen.

Anwendung	Benötigte Funktion(en)	Eingesetzte Module/M.2 Karten
Autonome Traktoren und Robotik	Hochpräzises GNSS und zuverlässige 5G/LTE-Verbindung für Navigation und Steuerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SE868K5-RTK für zentimetergenaue Positionsbestimmung</li> <li>• FE990B34/40-Modul für autonome Landmaschinen, die direkt vor Ort Entscheidungen treffen</li> </ul>
Präzise Aussaat und Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln	Echtzeit-Positionierung und Datensynchronisierung senken Inputkosten und steigern Produktivität	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SE868K5-RTK für zentimetergenaue GNSS-Daten</li> <li>• FE990B34/40-Modul für lokale Datenverarbeitung via OpenWRT</li> </ul>
Tier- und Objektüberwachung	Energieeffiziente Module für Wearables und Sensorik zur Bewegungserfassung und Gesundheitsüberwachung	LPWA/NB-IoT-fähige Mobilfunkmodule, kombiniert mit SE868K5-RTK bei Bedarf nach präziser Ortung
Umwelt- und Bodensensorik	Kompakte, robuste Module vernetzen Felddaten mit Cloud-Dashboards in Echtzeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FE990B34/40-Serie für Edge-Computing im Feld</li> <li>• FN990B34/40 M.2 Karte für IoT Sensoren mit Cloudanbindung, Telemetrie und Flottenmanagement sowie Remote-Monitoring und Remote-Wartung</li> </ul>
Kartierung und Bildgebung per Drohne	Leichte GNSS-Module und schnelle Datenverbindung für Luftvermessung und Analyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SE868K5-RTK multikonstellationsfähiges GNSS-Modul</li> <li>• FN990B34/40 M2. Karte für zentrale Bild- und Videodaten</li> </ul>

Tabelle 1: Mögliche Einsatzbereiche im Smart Farming und die dafür eingesetzten Module und M.2 Karten.

## Echtzeitkinematik für die Präzisionslandwirtschaft

Für automatisierte Anwendungen in der Landwirtschaft ist die Genauigkeit klassischer GPS-Systeme häufig nicht ausreichend. Insbesondere bei der Spurführung autonomer Maschinen oder der präzisen Ausbringung von Saatgut, Dünger und Pflanzenschutzmitteln ist eine Positionierungsgenauigkeit im Zentimeterbereich erforderlich. Diese wird mit Real-Time Kinematic GPS (RTK-GPS) erreicht, einer Erweiterung der GNSS-Positionsbestimmung mittels Korrekturdaten.

RTK-GPS verbessert die Wiederholbarkeit und Genauigkeit mechanisierter Arbeitsvorgänge. Fahrspuren lassen sich exakt dokumentieren und in späteren Saisons erneut nutzen. Auch die punktgenaue Platzierung von Saatgut oder Dünger ist möglich. Typische Merkmale von RTK zeigt Tabelle 2 auf.

Ein RTK-System besteht aus einer stationären Basisstation und einer mobilen Rover-Einheit. Die Basisstation empfängt GNSS-Signale (z. B. GPS, Galileo, GLONASS) und vergleicht diese mit der ihr bekannten Position. Aus der Differenz zwischen Ist-Position und Satellitensignal berechnet sie Korrekturdaten, die in Echtzeit an den Rover übertragen werden. Dadurch kann dieser seine eigene Position auf Zentimeterniveau anpassen.

In dieser Anwendung unterstützt das Modul SE868K5-RTK den Mehrfrequenzbetrieb (L1/L5) sowie verschiedene GNSS-Systeme

Eigenschaften der RTK-Technologie	Ergebnis
Zentimetergenaue Positionsbestimmung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Effizienzsteigerung durch weniger Überlappungen, präzise Fahrspuren und optimierte Ressourcennutzung sparen Zeit, Kraftstoff und Betriebsmittel</li> <li>Umweltschutz: Durch präzise Ausbringung wird Überdosierung reduziert und Ressourcen geschont</li> </ul>
Echtzeit-Korrekturdaten	Zeitgewinn und Ertragsoptimierung durch schnellere Feldbearbeitung, weniger Korrekturen, bessere Nutzung von Wetterfenstern/Flächennutzung, weniger Verluste
Multi-GNSS-Unterstützung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maximale Stabilität: Automatische Lenkung der Maschinen unabhängig von der Tages- oder Jahreszeit</li> <li>Wiederholgenauigkeit: Fahrspuren können über Saisons hinweg exakt wiederverwendet werden</li> </ul>

Tabelle 2: Vorteile der RTK-Technologie im Praxiseinsatz.

(Bild 4). Es eignet sich für die Maschinen- und Drohnnavigation in RTK-Anwendungen. Dank seines kompakten Formfaktors (11 mm x 11 mm) kann es auch in mobilen Geräten mit begrenztem Bauraum eingebaut werden.

### Fazit

IoT-Technologien haben sich als zentrale Grundlage für eine moderne, effiziente und nachhaltige Landwirtschaft etabliert. Präzise GNSS-Module, leistungsstarke 5G-Konnektivität und robuste Edge-Computing-Komponenten ermöglichen eine smarte, datengestützte Betriebsführung und damit u. a. autonome, landwirtschaftliche Fahrzeug, vernetzte Tierhaltung und Umweltmonitoring.

Die Kombination aus RTK-Positionierung und energieeffizienten Übertragungstechnologien wie NB-IoT und LTE-M sorgt dabei für zuverlässige, ressourcenschonende Prozesse, und

zwar selbst dort, wo herkömmliche Netze an ihre Grenzen stoßen. Mit dem Ausbau satellitengestützter 5G-Netze (NTN) durch Release 17 werden Funklücken endlich geschlossen und die Digitalisierung auch auf entlegene Standorte ausgedehnt.

5G-Module der FN990B34/40- und FE990B-Serie sowie das GNSS-Modul SE868K5-RTK stehen dabei für Skalierbarkeit und Zukunftssicherheit. Sie bilden die technologische Grundlage für automatisierte Abläufe, vernetzte Systeme und intelligente Logistik in der Landwirtschaft von morgen. ■

### Referenzen

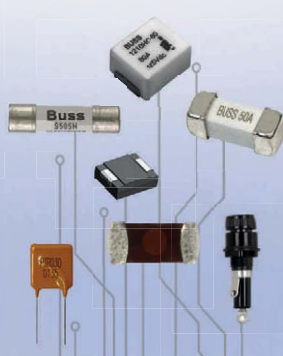
- <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/artificial-intelligence-in-agriculture-market#:~:text=The%20global%20artificial%20intelligence%20in%20agriculture%20market%20size,a%20CAGR%20of%2025.5%25%20from%202024%20to%202030>
- pdf ki-news-impulspapier-landwirtschaft\_web\_final

Anzeige



## Protect what powers performance.

Over 100 years of Bussmann series circuit protection for electrification, automation, and next generation computing – trusted performance since 1914.



Website



Samples

From server drives to battery management and AI scale computing, Eaton's circuit protection keeps critical systems safe, reliable, and compliant. We offer SMD fuses, cartridge fuses, PPTCs, TVS diodes and fuse holders – all designed to save space, maintain reliability, and enhance performance.





Satellitenbasierte IoT-Vernetzung für entlegene Regionen

# Weltweite Vernetzung mit NTN

*Die klassische Funknetzabdeckung stößt in vielen Regionen an ihre Grenzen. Doch neue Non-Terrestrial Networks (NTN) schaffen Konnektivität dort, wo bisher kein Mobilfunk vorhanden war – mit Technik, die selbst entlegenste Orte erschließt.*

VON JULIAN CLAUSS,  
CORPORATE PRODUCT MANAGER WIRELESS  
BEI RUTRONIK



Bild: Gorodenkoff/stock.adobe.com

**M**it dem Siegeszug des Internets der Dinge (Internet of Things, IoT) wächst der Bedarf an flächendeckender, zuverlässiger Konnektivität rasant. Während LTE-Mobilfunknetze etwa 90 Prozent der Weltbevölkerung abdecken, erstrecken sie sich nur etwa über 15 Prozent der Erdoberfläche. Durch die Einbeziehung von 2G/3G erhöht sich dieser Wert auf 30 bis 35 Prozent. Viele abgelegene Regionen sind daher nach wie vor eine Herausforderung für eine Vernetzung. Durch die Abschaltung von 2G verringert sich zudem die globale Abdeckung. Nicht-terrestrische Netze (NTN) sollen

hierbei entgegenwirken, wobei die Datenübertragung nicht über Funkmasten, sondern direkt über Satellitensysteme erfolgt.

## NTN ermöglicht IoT-Konnektivität über Satelliten

Nicht-terrestrische Netze (Non-Terrestrial Networks, NTN) sind Funkkommunikationssysteme, die hoch über der Erdoberfläche arbeiten. Dazu zählen Satelliten in niedrigen (Low Earth Orbit, LEO), mittleren (Medium Earth Orbit, MEO) und geostationären (GEO) Umlaufbahnen ebenso wie Höhenplattformen (HAPS) und Drohnen. Gemeinsam sorgen diese Komponenten für eine lückenlose Abdeckung und versorgen auch entlegene Regionen, die bislang keinen Zugang zu herkömmlichen Mobilfunknetzen haben. Heute können sich Endgeräte entweder mit terrestrischen 3GPP-Netzen oder mit Satelliten verbinden. Wer auf Satellitenkommunikation angewiesen ist, braucht daher bisher zusätzliche Hardware neben dem Smartphone. Mit NTN wird sich dies ändern: Künftig werden sich alle Mobilfunkgeräte nahtlos sowohl mit terrestrischen als auch satellitengestützten

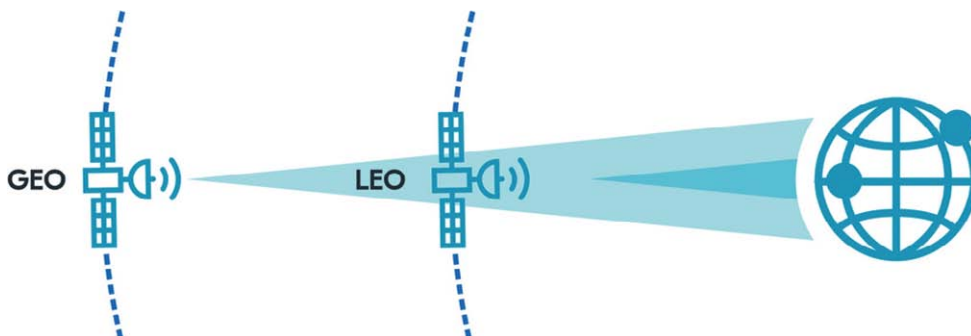


Bild 1: Bei NTN kommen LEO- und GEO-Satellitensysteme zum Einsatz, um möglichst effizient funken zu können. (Bilder: Nordic Semiconductor)

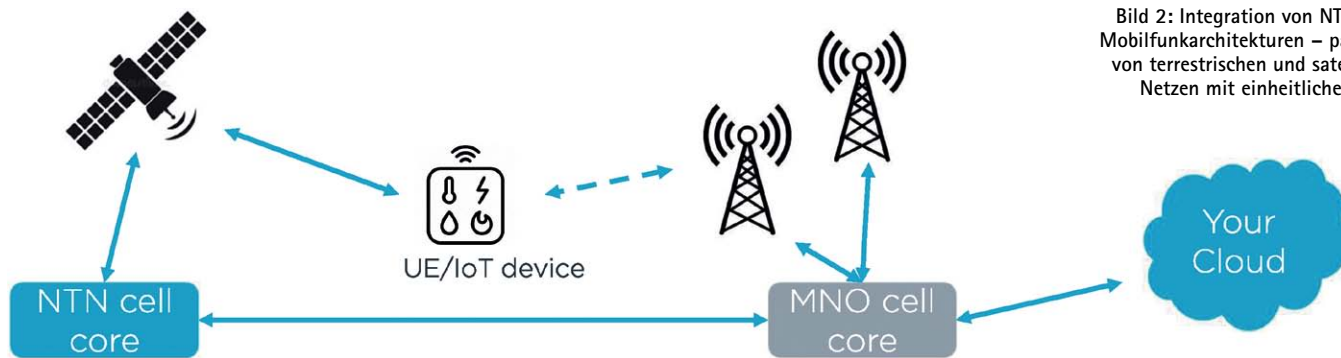


Bild 2: Integration von NTN in bestehende Mobilfunkarchitekturen – parallele Nutzung von terrestrischen und satellitengestützten Netzen mit einheitlichem Core-Zugang.

Netzen im 3GPP-Ökosystem verbinden können. Mit dem technischen Fortschritt übernehmen die Satelliten dabei nach und nach sogar die Funktion von Basisstationen. So werden Endgeräte zukünftig unabhängig von teils schlechter Abdeckung stationärer 3GPP-Netze – und das ohne zusätzliche Hardware.

Bei Abbruch der terrestrischen Verbindung kann durch NTN der nahtlose Übergang ins Satellitennetz ermöglicht werden, was bei kritischen Anwendungen, beispielsweise in Bereichen der Land- und Forstwirtschaft, Öl- und Gasindustrie besonders relevant ist. Aufgrund der stationären und größeren Geräte wird die Einführung von NTN unkompliziert sein. Besonders im Bereich Asset Tracking sowie der Logistik wird NTN eine wichtige Rolle spielen, jedoch könnten Probleme mit Roaming entstehen. Die ersten Netzbetreiber arbeiten aber bereits an Lösungen.

Neue Satellitenanbieter stellen neben der Infrastruktur im Erdorbit auch zellulare Kernnetze bereit. Dadurch ist es möglich, Mobilfunkdienste über Satelliten zu nutzen. Für Endgeräte bedeutet das: Sie können über NTN-fähige SIM-Karten und vorhandene Mobilfunkverträge (MNO/MVNO) automatisch ins Satellitennetz roamen bzw. dynamisch zwischen terrestrischen und satellitengestützten Netzen wechseln, insbesondere dann, wenn

kein terrestrisches Netz erreichbar ist. Die Integration von NTN in bestehende Netze erfolgt über dieselben APNs und Core-Netzwerkstrukturen. Die Unterschiede liegen vor allem in der höheren Latenz und geringeren Bandbreite.

#### Zwei Satellitentypen für unterschiedliche Anforderungen

Um möglichst effizient kommunizieren zu können, kommen für NTN zwei Satellitensysteme zum Einsatz. Je nach Anwendung bieten GEO- und LEO-Satelliten unterschiedliche Vor- bzw. Nachteile.

GEO (Geostationary Earth Orbit):

- Höhe: ca. 36.000 Kilometern
- stationär und dauerhaft über derselben Region erreichbar
- Hohe Latenz, hoher Stromverbrauch, niedrige Datenrate (2–4 kbps)

LEO (Low Earth Orbit):

- Höhe: 600–800 km
- Höhere Datenraten (20–40 kbps), geringerer Energieverbrauch
- Satelliten bewegen sich schnell, daher »Store and Forward«-Architektur notwendig
- Ideal für regelmäßige Datenerfassung, bei der keine Echtzeit notwendig ist

Welche Orbit-Lösung gewählt wird, hängt letztlich von den Anforderungen der jeweiligen Anwendung ab. GEO-Netzwerke eignen sich für Notfall- und Alarmkommunikation mit niedriger Datenrate, während LEO-Netzwerke eine effiziente und flexible Kommunikation für allgemeine IoT-Daten mit moderaten Latenzanforderungen ermöglichen. Lösungen auf Basis von 5G werden dabei überwiegend mit LEO-Systemen betrieben.

#### Frequenznutzung und Antennendesign für NTN

NTN hat zwei Hauptbänder: das n255 (NTN 1,6 GHz oder L-Band) und das n256 (NTN 2 GHz oder S-Band). Diese Bänder überschneiden sich teilweise mit terrestrischen Mobilfunkbändern, was die Nutzung bestehender Antennendesigns erleichtert. L-Band-Anwendungen benötigen ggf. eine gesonderte Antennentrennung zu GNSS.

#### Erste NTN-Module für weltweite IoT-Anbindung

Das nRF9151-Modul von Nordic Semiconductor unterstützt sowohl terrestrische als auch satellitengestützte IoT-Kommunikation (NTN). Es handelt sich um eine kompakte System-in-Package (SiP) Lösung, die für zellulare IoT- und DECT-NR+ Anwendungen ausgelegt ist. Neben energieeffizienter LTE-Technologie bietet das Modul integrierte Verarbeitungsfunktionen, Sicherheitsmechanismen sowie GNSS zur Positionsbestimmung. Es unterstützt 3GPP Release 14 LTE-M/NB-IoT sowie DECT NR+. Die vollständige NTN-Funktionalität (inkl. GEO/LEO-Support) ist seit dem zweiten Halbjahr 2025 (durch ein Firmware-Update) verfügbar und erlaubt weltweite Konnektivität unabhängig vom Zugang zu Mobilfunknetzen. Nordic Semiconductor arbeitet mit Anbietern wie Iridium, Skylo und Myriota zusammen, um NTN-Lösungen bereitzustellen. Bis Ende des Jahres wird auch Telit erste NTN-Module im Portfolio haben.

#### Fazit und Ausblick

Mit der Abschaltung der 2G/3G-Netze und dem wachsenden Bedarf an globaler Konnektivität wird NTN zur Schlüsseltechnologie für das IoT. Die Kombination aus moderner Satellitentechnologie und stromsparenden Modulen eröffnet neue Geschäftsmöglichkeiten und macht bislang unerreichbare Regionen zugänglich.



Bild 3: Moderne IoT-Module wie der nRF9151 unterstützen sowohl terrestrische als auch satellitengestützte Kommunikation.



Präzise Distanzmessung mit Bluetooth

# Channel Sounding erweitert BLE

*Mit Bluetooth 6.0 wird Channel Sounding eingeführt. Diese Technik ermöglicht präzise Distanzmessungen mit Bluetooth Low Energy und eröffnet neue Möglichkeiten für Ortung, Sicherheit und Interaktion – auch dort, wo bisher Ultra-Wideband dominierte.*

VON CHETAN JOSHI, LEAD PRODUCT  
MANAGER BEI PANASONIC  
INDUSTRY EUROPE GMBH, UND  
TORSTEN KILLINGER, CORPORATE PRODUCT  
MANAGER WIRELESS BEI RUTRONIK

Die Lokalisierung von Geräten ist aus vielen Anwendungen nicht mehr wegzudenken. GPS und Mobilfunknetze liefern zwar im Außenbereich präzise Daten, stoßen jedoch in Innenräumen oder bei Sub-Meter-Anforderungen an ihre Grenzen. Zwar lässt sich die Präzision mithilfe von Mobilfunknetzen verbessern, jedoch steigen dadurch die Kosten und der Energieverbrauch so stark an, dass eine solche Lösung kaum praktikabel ist. Eine wachsende Zahl von Anwendungen liegt heute im Bereich von Kurzstreckengeräten, also der Verfolgung von Objekten in lokalen Netzwerken über kurze Distanzen, um lokale Positionsintelligenz zu schaffen. Genau hier zielen verschiedene Standards und proprietäre Technologien darauf ab, sich zu etablieren. An dieser Stelle setzt Bluetooth mit Channel Sounding an.

Bluetooth ist eine etablierte Technologie, die in vielen Bereichen des modernen Lebens integriert ist. Seit Jahren ist Bluetooth Low Energy (BLE) das Arbeitspferd der Kurzstreckenkommunikation und ermöglicht eine energieeffiziente Datenübertragung in Milli-

arden von Geräten. Seit seiner Einführung basieren BLE-Lokalisierungslösungen auf dem Received Signal Strength Indicator (RSSI), um die Entfernung zu einem anderen Gerät abzuschätzen. Für eine grobe Näherungserkennung, also um festzustellen, ob sich ein Gerät in der Nähe befindet, ist RSSI ausreichend. Für präzisere Messungen hingegen nicht. Umweltvariablen, Störungen und Mehrwegeeffekte (Multipath-Reflections) führen dazu, dass RSSI als Distanzmaß unzuverlässig ist. Unternehmen, die zu Bluetooth Real-Time Location Services (RTLS) beigetragen haben, erkannten dies früh und mit Bluetooth 5.0 wurde die Funktion »Direction Finding« (DF) eingeführt. Sie bildet heute das Rückgrat vieler smarterer, Bluetooth-basierter RTLS-Systeme.

Die Einschränkungen von RSSI-basierten Ansätzen machen Bluetooth für industrielle RTLS-Anwendungen ungeeignet. Bislang werden diese von Ultra-Wideband-(UWB)-Speziallösungen dominiert. Hinzu kommt, dass UWB-Systeme zwar Distanzdaten im Zentimeterbereich liefern, jedoch mit einem höheren Entwicklungsaufwand im HF-Design

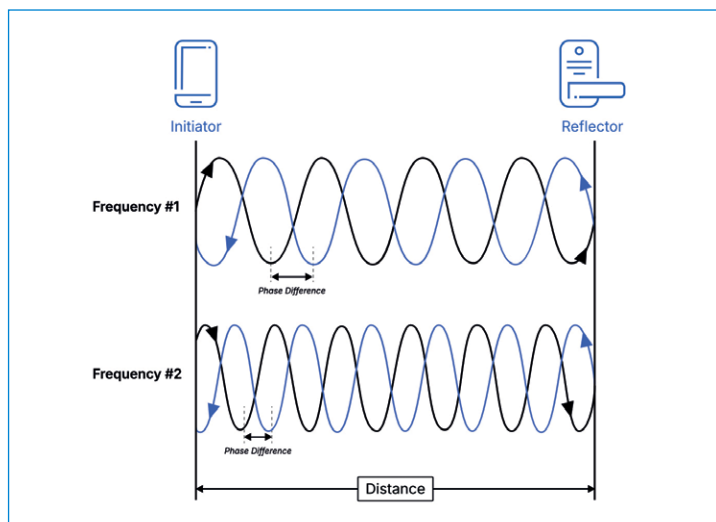


Bild 1: Prinzip der phasenbasierten Distanzmessung (Phase-Based Ranging, PBR): Durch den Vergleich der Phasenverschiebung auf unterschiedlichen Frequenzen lässt sich der Abstand zwischen zwei Geräten berechnen. (Bild: Bluetooth SIG)

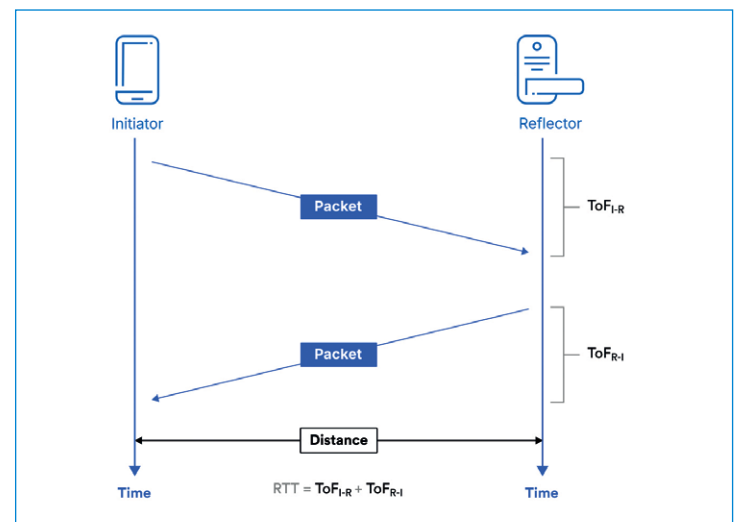


Bild 2: Prinzip der Laufzeitmessung (Round-Trip Time, RTT): Die Distanz wird aus der Zeitdifferenz zwischen Senden und Empfangen von Datenpaketen ermittelt. (Bild: Bluetooth SIG)



sowie mit zusätzlichen regulatorischen Anforderungen verbunden sind. Für viele Anwendungen, in denen eine Sub-Meter-Genauigkeit ausreicht, sind UWB-Systeme damit zu komplex oder zu kostspielig. Channel Sounding in Bluetooth 6.0 schließt diese Lücke. Es bietet eine Genauigkeit, die in zahlreichen Einsatzfeldern ausreicht, ohne den Integrationsaufwand von UWB mit sich zu bringen.

BLE-basiertes Channel Sounding ermöglicht sichere und präzise Distanzmessungen mit kostengünstiger und einfach zu entwickelnder Hardware. Während frühere Bluetooth-Generationen RSSI-Werte nutzten, um eine grobe Schätzung der Distanz zwischen zwei Geräten zu erstellen, erlaubt Channel Sounding nun die Charakterisierung des Funkkanals selbst.

#### Wie funktioniert Channel Sounding?

Im Kern geht es beim Channel Sounding um Zeit und Phase. Mithilfe der phasenbasierten Distanzmessung (Phase-Based Ranging, PBR) und der Laufzeitmessung (Round-Trip Time, RTT) lassen sich die exakten Abstände zwischen zwei Geräten bestimmen. Bei PBR tauschen die Geräte Signale auf mehreren Frequenzen aus und vergleichen die Phasenverschiebungen. So lässt sich die Distanz eindeutig berechnen (Bild 1). RTT funktioniert ähnlich wie Radar: Ein Gerät sendet ein Paket, das Gegenüber antwortet, und die Laufzeitdifferenz liefert die Entfernung (Bild 2). Durch die Kombination beider Verfahren erreicht Bluetooth eine Genauigkeit, die mit RSSI nicht möglich war. Entscheidend ist dabei nicht nur die Genauigkeit, sondern auch, dass diese Weiterentwicklung auf derselben BLE-Technologie basiert, die heute zu den Grundpfeilern des Internets der Dinge (Internet of Things, kurz: IoT) gehört.

PBR und RTT funktionieren in den meisten realen Szenarien zwar zuverlässig, benötigen jedoch zusätzliche Unterstützung, um Effekte wie Mehrwegeausbreitung, Störungen oder Angriffe wie Relay-Attacken abzuwehren. Bluetooth 6.0 enthält deshalb zusätzliche Sicherheitsmechanismen, die Channel Sounding ergänzen. Signale können randomisiert, verschlüsselt und verifiziert werden, um sicherzustellen, dass die ermittelten Distanzen nicht manipuliert werden. Zudem können Geräte mehrere Antennen einsetzen, um durch räumliche Diversität Fehler durch Reflexionen zu reduzieren. Diese Kombination aus Zeitmessung, Phasenvergleich und kryptografischem Schutz macht Channel Sounding zu einem praxistauglichen Werkzeug für reale Anwendungen.

#### Hardware-Basis für Channel Sounding

Ein Beispiel für die Umsetzung ist die neue PAN-B611-Modulfamilie von Panasonic. Sie führt Channel-Sounding-Funktionalität in einem kompakten, vorzertifizierten Gehäuse ein. Grundlage ist der nRF54L15 von Nordic Semiconductor, einer der ersten Bluetooth-SoCs mit Unterstützung für präzise Distanz- und Winkelmessungen. Der Chip integriert ein Funksystem für Phasen- und Laufzeitanalysen, einen leistungsfähigen Cortex-M33-Prozessor sowie kryptografische Schutzmechanismen. Ein separater RISC-V-Coprozessor übernimmt zeitkritische Aufgaben. Die Unterstützung mehrerer Antennen ermöglicht neben Distanzmessungen auch winkelbasierte Positionierungen und somit eine detailliertere Erfassung in zwei und drei Dimensionen.

Das PAN-B611 führt alle Pins des nRF54L15 auf einem Hybrid-Footprint mit halbdurchkontaktierten Leiterplattenrändern (castellated edges) und LGA-Pads heraus. Mit Abmessungen von nur 10,35 mm x 9,6 mm x 1,9 mm eignet sich das Modul für Designs mit engen Platzvorgaben. Versionen mit integrierter Chipantenne sind für kompakte Designs geeignet, während Modelle mit externer Antennenanbindung auch Multi-Antennen-Setups erlauben. Alle Pins des nRF54L15 sind auf den PAN-B611-1x-Modulen herausgeführt, sodass beispielsweise ein PAN-B611-1B für ein Multi-Antennen-Channel-Sounding-Setup genutzt werden kann, bei dem ein Antennenschalter mit bis zu vier GPIOs angesteuert wird. In vielen Anwendungen reicht hingegen die Nutzung der integrierten Antenne im PAN-B611-1C für eine grobe Distanzschätzung aus. Dies spart kundenspezifische Antennenanpassungen oder zusätzliche Zulassungen und verkürzt die Entwicklungszyklen.

Für speicherintensive Anwendungen bietet Panasonic die PAN-B611-Modulfamilie optional mit einem kompakten 4-MB-Flash-Speicherchip an, ohne dass sich der Formfaktor verändert. Der zusätzliche Speicher ermöglicht die Hinterlegung von Messdaten für die weitere Verarbeitung, beispielsweise für kryptografische Verfahren oder Machine-Learning-Algorithmen am Edge-Gerät. Auch die Ausführung nicht zeitkritischer Routinen direkt aus dem Speicher (Execute-in-Place, XiP) sowie die Verwaltung größerer Firmware-Pakete und Over-the-Air-(OTA)-Updates werden dadurch unterstützt. Bild 3 zeigt das Modul PAN-B611 in der Ausführung mit integrierter Antenne. Der modulare Ansatz erleichtert die Integration in bestehende Designs und ver-



Bild 3: PAN-B611-Modul mit integrierter Antenne. (Bild: Panasonic)

kürzt die Entwicklungszeiten. Entwicklerinnen und Entwickler können sich auf die Anwendungslogik konzentrieren, während Zertifizierung und HF-Design auf Modulebene gelöst sind.

#### Von Asset-Tracking bis Augmented Reality (AR)

Standortinformationen schaffen in vielen Lebensbereichen Mehrwert. Entsprechend vielfältig sind die möglichen Anwendungen. Im Gesundheitswesen oder in der Logistik kann eine kostengünstige Genauigkeit im Sub-Meter-Bereich die Effizienz deutlich steigern. Geräte lassen sich sofort auffinden, Bestände können automatisch abgeglichen werden und Abläufe lassen sich ohne menschliche Fehler optimieren. In Consumer-Anwendungen können Smartphones mit Channel Sounding künftig sicherer mit Smart Locks oder Fahrzeugen interagieren, da die tatsächliche physische Nähe überprüft wird. In Augmented- und Virtual-Reality-Systemen verbessert die präzise Positionsbestimmung die Synchronisation zwischen digitaler und physischer Umgebung. Auch im Smart Home lassen sich Szenarien umsetzen, die auf den exakten Standortdaten jedes Familienmitglieds basieren, etwa die raumgenaue Steuerung von Licht und Klima.

Ein mögliches Beispiel ist ein Smart Lock, das Channel Sounding zur Distanzverifikation nutzt und parallel ein Smart-Home-Protokoll wie Matter unterstützt. Damit lässt sich die tatsächliche Nähe eines Bluetooth-Schlüssels oder Smartphones prüfen und zugleich die Integration in ein interoperables Smart Home umsetzen. Der optionale 4-MB-Flash-Speicher des PAN-B611 bietet dabei ausreichend Platz für größere Firmware-Pakete mit Protokoll-Stacks, Kryptografie-Bibliotheken und OTA-Funktionen. ■



K4021-Ux mSTX. Dank der integrierten NPU (Neural Processing Unit) bzw. des KI-Coprocessors ist eine beschleunigte Verarbeitung von hochauflösenden Bilddaten möglich, die mit einer 5GbE-IP-Kamera aufgenommen werden.

In einem möglichen Anwendungsszenario würde die Kamera die Äpfel auf dem Sortierband in Echtzeit aufnehmen und Bilder jedes einzelnen Produkts liefern. Ein speziell trainiertes neuronales Netz würde diese Bilder auswerten. Dazu wäre es zuvor mit Bilddatensätzen von tausenden verschiedenen Apfelsorten, Reifestadien und Fehlerbildern trainiert worden. Nach folgenden Kriterien könnte das System in diesem Fall hypothetisch Entscheidungen treffen:

- Handelt es sich um einwandfreies Obst?
- Ist der Apfel reif (rot) oder unreif (grün)?
- Liegen äußere Schäden oder Qualitätsmängel vor?
- In welche Qualitäts- oder Sortierklasse soll der Apfel eingestuft werden?

Diese Entscheidungen erfolgen mit einer Geschwindigkeit und Präzision, die manuell nicht erreichbar wären. Gleichzeitig wird jedes einzelne Bewertungsergebnis zusammen mit den erfassten Bilddaten dokumentiert und kann später für Qualitätsaudits oder Prozessoptimierungen herangezogen werden.

#### *Kompakte Bauweise für flexible Integration*

Das Embedded-System K4021-Ux mSTX wurde für Anwendungen mit begrenztem Bauraum konzipiert. Es kann direkt oder in dem Gehäuse SMARTCASE S502 in bestehende Sortieranlagen integriert werden. Das System ist für die Verarbeitung von Bild- und Sensordaten in Echtzeit ausgelegt und ermöglicht auf diese Weise eine prozessintegrierte Bewertung erfasster Merkmale im laufenden Betrieb.

Über eine duale Netzwerkschnittstelle lassen sich Ergebnisse direkt an nachgelagerte Systeme übermitteln. Dank der langfristigen Verfügbarkeit der Hardware über mindestens sieben Jahre, eines zusätzlichen Longevity-Plus-Programms und BIOS-Support bis zu drei Jahre nach dem Produktende lassen sich die Systeme über mehrere Jahre hinweg zuverlässig betreiben und instand halten.

#### *Datenkonsolidierung auf dem Edge-Server*

Während das Industrie-Motherboard K4021-U mSTX die Analyse und Sortierung der Äpfel in Echtzeit direkt an der Linie übernimmt, werden sämtliche dabei erfassten Qualitäts- und Prozessdaten kontinuierlich an einen zentralen Edge-Server übertragen. Dort kommt das Server-Motherboard K3881-C µATX zum Einsatz, das als lokaler Knotenpunkt verschiedene Datenströme aus der Produktion zusammenführt. Neben den Sortierergebnissen und Bilddaten verarbeitet der Server auch weitere Produktionsinformationen. Dazu zählen Umgebungsparameter wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit, die über 5G-fähige Sensoren eingebunden werden, ebenso wie Maschinendaten zur Betriebsüberwachung. Ergänzt werden diese Informationen durch Chargenkennzahlen wie Durchsatz, Mengenverteilung und Sortierstatistiken. Auch produktspezifische Merkmale wie Reifezustand, Sortierklassifikation und dokumentierte Abweichungen werden erfasst und ausgewertet. Auf dieser Basis entsteht ein konsistentes, aktuelles Abbild des laufenden Prozesses, das nachgelagerten Systemen und Analysen zur Verfügung steht.

#### *Leistungsstarke Infrastruktur*

Das Edge-System auf Basis des K3881-C µATX ist für den industriellen Dauerbetrieb unter anspruchsvollen Bedingungen konzipiert. Es unterstützt einen erweiterten Temperaturbereich, sodass es auch bei Temperaturschwankungen zuverlässig arbeitet. Es ermöglicht sowohl drahtgebundene 10G-Verbindungen für den schnellen Datentransfer großer Datenmengen in die Cloud oder zu zentralen Produktionsleitsystemen als auch die Integration moderner 5G-Schnittstellen für eine flexible Anbindung mobiler Einheiten und kabelloser Sensorsysteme. Remote-Management-Funktionen und ein integrierter Board Management Controller (BMC) erleichtern die zentrale Verwaltung und Fernwartung und tragen zur Ausfallsicherheit bei. Aufgrund der langfristigen Verfügbarkeit der Plattform eignet sich das System besonders für Anwendungen mit planbaren Produktzyklen in der Produktion.

Die erfassten und aufbereiteten Daten lassen sich in bestehende Cloud-Infrastrukturen integrieren. Dort stehen sie für verschiedene Anwendungen zur Verfügung, wie z. B. zur Analyse von Sortiergenauigkeit, zur Ursachenforschung bei Qualitätsabweichungen oder zur Prozessoptimierung. Darüber hinaus ermöglichen sie die lückenlose Rückverfolgung

einzelner Chargen, die Überwachung der Einhaltung von Kühlkettenvorgaben sowie eine vorausschauende Wartung durch die Analyse maschinenbezogener Betriebsdaten. Die zentrale Bereitstellung dieser Informationen schafft die Grundlage für ein durchgängiges Monitoring nicht nur einzelner Linien, sondern ganzer Werke oder auch standortübergreifend.

#### *Obstsortierung 4.0 in der Praxis*

In einem praxisnahen Szenario verarbeitet eine moderne Obstsortieranlage täglich mehrere Tonnen Äpfel. Jeder Apfel wird mittels IP-Kamera erfasst und innerhalb von Millisekunden durch das System K4021-Ux analysiert. Die automatisierte Sortierung erfolgt über Weichen, wobei die Einordnung in unterschiedliche Qualitätsklassen auf Basis zuvor definierter Kriterien geschieht. Gleichzeitig werden sämtliche Sortierergebnisse, Fehlerbilder und Sensordaten zur Umgebung (Temperatur, Feuchtigkeit) an den K3881-C-Edge-Server übertragen. Dieser bereitet die Daten auf, führt statistische Auswertungen durch und überwacht kontinuierlich die Einhaltung von Vorgaben zur Kühlkette. Die Ergebnisse werden zentral gespeichert und stehen in Form vollständiger Chargenberichte auch in der Cloud zur Verfügung. Betriebsleiter und Qualitätsverantwortliche haben somit jederzeit Zugriff auf aktuelle sowie historische Datenbestände.

#### *Fazit*

Die Verbindung von KI, Edge Computing und vernetzten Automatisierungslösungen bildet die technische Grundlage, um die Qualitätssicherung, Rückverfolgbarkeit und Prozessstabilität in der Lebensmittelverarbeitung weiter zu verbessern. Systeme wie das K4021-Ux mSTX und das K3881-C µATX zeigen, dass diese Technologien bereits heute praxisreif verfügbar sind und sich in bestehende Produktionsumgebungen integrieren lassen. Gerade im Bereich der Obstverarbeitung kann dadurch die Sortierqualität deutlich erhöht, der Ertrag optimiert und die Kundenzufriedenheit durch konstant hohe Produktqualität gesteigert werden. Gleichzeitig liefern die umfassend erfassten Prozessdaten wertvolle Erkenntnisse für kontinuierliche Verbesserungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Damit zeigt sich, dass datenbasierte Produktionsprozesse in der Lebensmittelindustrie bereits heute technisch umsetzbar und wirtschaftlich nutzbar sind. ■





Energieeffiziente Konnektivität für smarte Gesundheitssysteme

# Smarte Medizintechnik vernetzt gedacht

*Steigende Gesundheitskosten und eine alternde Bevölkerung zwingen die Medizintechnik zu Neuerungen. Vernetzte Lösungen mit energieeffizienter Funktechnik ermöglichen mobile, sichere und patientenzentrierte Anwendungen – von Wearables bis zur Telemedizin.*

VON JULIAN CLAUSS,  
CORPORATE PRODUCT MANAGER WIRELESS  
BEI RUTRONIK

**D**ie weltweiten Gesundheitssysteme stehen zunehmend unter Druck: Die Zahl älterer Menschen wächst und Erkrankungen wie Diabetes, Herzkrankheiten, Fettleibigkeit oder Krebs nehmen zu, während die Kosten explodieren. Trotz wachsender Investitionen hinken die Versorgungsergebnisse oft hinterher. Die Gesundheitsfürsorge in Krankenhäusern ist die eine Säule, doch es findet ein Paradigmenwechsel hin zu mehr Prävention, personalisierter Medizin und der Stärkung der Eigenverantwortung der Patienten statt – unabhängig von medizinischem Personal oder Hausärzten.

Mobile Gesundheitsgeräte haben sich längst etabliert. Von Fitnessarmbändern über smarte Ringe bis hin zu medizinisch zertifizierten Sensoren liefern sie kontinuierlich Vitaldaten. Sie unterstützen sowohl die Früherkennung von Erkrankungen als auch das Management chronischer Krankheiten und fördern einen aktiven, gesundheitsbewussten Lebensstil durch Motivation, Echtzeit-Feedback und personalisierte Empfehlungen. Dabei ist die Fähigkeit zur zuverlässigen und energieeffizienten Kommunikation entscheidend.

## *Funktechnik als Rückgrat der digitalen Medizin*

Im Zentrum der Vernetzung stehen stromsparende Funklösungen. Bluetooth Low Energy (LE), Wi-Fi und zelluläre IoT-Technologien bieten skalierbare, latenzarme und sichere Verbindungen – ob im Heimnetz, unterwegs oder



Bild: partreev/stock.adobe.com

in klinischen Umgebungen. In Kombination mit On-Device-Intelligenz lassen sich Diagnosen und Reaktionen lokal beschleunigen, ohne dass eine permanente Cloud-Anbindung erforderlich ist.

Nordic Semiconductor ist ein führender Anbieter drahtloser Low-Power-Lösungen. Zu den Schlüsseltechnologien gehören:

- Bluetooth Low Energy: Grundlage energieeffizienter Vernetzung
- Wi-Fi: Bandbreitenintensive Datenübertragungen
- Cellular IoT: Mobile oder stationäre Anwendungen mit Reichweite, z. B. über LTE-M, NB-IoT oder DECT NR+

- Edge AI/ML: Lokale Auswertung, Klassifikation und Mustererkennung auf dem Gerät selbst

Diese Technologien bilden das Rückgrat moderner, drahtlos vernetzter Gesundheitslösungen. Die Anforderungen an medizinische IoT-Lösungen sind jedoch hoch. Sicherheit, Datenschutz und Interoperabilität sind dabei wesentliche Aspekte. Hinzu kommen eine geringe Leistungsaufnahme, eine kompakte Bauweise, eine hohe Datensicherheit und eine Kompatibilität mit verschiedenen Systemen. Gleichzeitig erwarten Anwenderinnen und Anwender komfortable, nahezu unsichtbare Geräte. Hier kommen integrierte Plattformen – also Hard- und Softwarelösungen, die mehrere Funktionen aufeinander abgestimmt in einem System bündeln – ins Spiel, die neben

Funkmodulen auch Sicherheitsfunktionen, Firmware-Updates und Zertifizierungsunterstützung bereitstellen.

---

### *Smart und präzise: Vernetzte Wearables im Einsatz*

---

Die Bandbreite an Lösungen wächst kontinuierlich. Vernetzte Insulinpumpen, Blutdruckmessgeräte, Glukosesensoren oder Inhalatoren mit Erinnerungsfunktion sind bereits Realität. Sie verbessern die Versorgungsqualität, dokumentieren lückenlos und lassen sich in übergeordnete Systeme, beispielsweise Telemedizin-Plattformen, integrieren. In Kombination mit sicheren Gateways oder direkter Cloud-Anbindung eröffnen sie neue Versorgungsmodelle.

Ein anschauliches Beispiel für ein modernes, tragbares und digital vernetztes Medizinprodukt ist das Insulin-Managementsystem Kaleido. Es kombiniert eine kompakte Insulinpumpe mit drahtloser Steuerung und ermöglicht so eine flexible, kontinuierliche Versorgung. Für die Verbindung zur App nutzt das System den nRF52840-SoC von Nordic Semiconductor, der eine stabile Bluetooth-LE-Kommunikation bei geringem Stromverbrauch sicherstellt.

Ein weiterer Anwendungsbereich sind tragbare Systeme zur Verbesserung der Mobilität von Parkinson Patienten. Diese Systeme geben taktile Signale, um Bewegungsabläufe zu verbessern, und dokumentieren automatisch, wann und wie sie eingesetzt wurden. Studien zeigen, dass dies die Mobilität von Parkinson-Patienten deutlich erhöhen kann. So nutzt das tragbare Medizinprodukt gaitQ Tempo den energieeffizienten nRF5340 von Nordic für die Bluetooth-LE-Verbindung (Bild 1). Es erfasst Bewegungen, überträgt Daten an eine App und ermöglicht so eine gezielte Anpassung der Therapie. Dank des niedrigen Energieverbrauchs kann das System über lange Zeiträume mit einer kleinen Batterie arbeiten.

Die Entwicklung eines intelligenten, drahtlosen medizinischen Bluetooth-Low-Energy-Geräts ist zwar nicht trivial, aber dank der heute verfügbaren leistungsstarken, hochintegrierten Systems-on-Chips (SoCs), sowie der weit verbreiteten Software- und Hardware-Entwicklungstools war das Design selten so einfach.

Die neue nRF54-Serie von Nordic Semiconductor ist für IoT-Anwendungen ausgelegt, bei denen hohe Anforderungen an Rechenleistung, Energieeffizienz und Sicherheit besteht. Sie kombiniert eine stromsparende Multiprotokoll-Funklösung im 2,4-GHz-Band mit ei-



Bild 1: Das gaitQ Tempo (links) nutzt die Bluetooth LE-Funktionen des nRF5340 (rechts) SoC von Nordic, um die Fernbedienung und die am Bein getragenen Geräte für manuelle Vibrationssignale zu verbinden. (Bild: Nordic Semiconductor)

nem Multi-Core-Mikrocontroller auf Basis eines 128-MHz-Arm-Cortex-M33. Im Vergleich zur Vorserie (nRF52), wurde mit der nRF54-Serie die Leistung verdoppelt und die Effizienz verdreifacht.

---

### *Herausforderungen bei der Marktdurchdringung*

---

Für den Erfolg sind neben der technischen Umsetzbarkeit auch die Benutzerakzeptanz und der Datenschutz entscheidend. Die Geräte müssen intuitiv bedienbar, angenehm zu tragen und zuverlässig im Betrieb sein. Entwicklerinnen und Entwickler stehen vor der Aufgabe, regulatorische Anforderungen zu erfüllen und zugleich wirtschaftliche Designs zu realisieren.

Ein zentraler Aspekt ist dabei die sichere und skalierbare Anbindung der Geräte an digitale Infrastrukturen. Nordic verfolgt einen durchgängigen Ansatz zur Gerätesicherheit und direkten Cloud-Anbindung. Dabei kommen Sicherheitsfunktionen wie Secure Boot, verschlüsselte Kommunikation und hardwarebasierte Schlüsselverwaltung zum Einsatz – kombiniert mit flexibler Konnektivität zur Cloud. Dadurch lassen sich sowohl datenintensive Anwendungen als auch Fernwartung und Software-Updates, auch in Szenarien mit eingeschränkter Netzanbindung, effizient und sicher umsetzen.

---

### *Medizintechnik von morgen*

---

IoT verhilft der Gesundheitsversorgung mit weniger Leistung mehr zu erreichen. Aus diesem Grund wird das Gesundheitswesen einer der größten Anwender von Künstlicher Intelligenz (KI) und maschinellem Lernen (ML) sein. Mit der Übernahme von Neuton.AI, einem Spezialisten für automatisierte TinyML-Lösungen für Edge-Geräte, hat Nordic Semiconductor seine Kompetenz im Bereich Edge-AI erweitert. Die



Kombination der nRF54-Serie mit dem Neuton-Framework ermöglicht skalierbare KI-Funktionen selbst auf sehr ressourcenschwachen Geräten – ein wichtiger Schritt für die Medizintechnik. Mikrocontroller mit integrierter KI werten Biosignale lokal aus, etwa zur Sturzerkennung, Arrhythmie-Analyse oder Frühdiagnostik. So bleiben die Daten im Gerät, die Latenzzeit sinkt und die Energieeffizienz steigt.

Speziell bei akku- oder batteriebetriebenen Medizinprodukten wie Wearables oder Fitness-trackern ist eine möglichst lange und stabile Batterielaufzeit entscheidend. Zur effizienten Energieverwaltung bietet Nordic Semiconductor mehrere Power-Management-ICs (PMICs) an, etwa den nPM2100 für Primärzellenanwendungen oder den nPM1300 für Geräte mit wiederaufladbarem Akku. Funktionen wie ein Aufwärtsregler mit nur 150 nA Ruhestrom, ein besonders sparsamer Ship Mode (35 nA) sowie integrierte Wakeup-Funktionen und Timer unterstützen eine präzise Energieversorgung bei minimalem Verbrauch. Damit ergänzen die PMICs die Funklösungen zu einer kompakten, energieeffizienten Plattform für medizinische Endgeräte.

Auch in der Telemedizin und der Fernbetreuung chronisch erkrankter Patientinnen und Patienten spielt drahtlose Technik, insbesondere in Regionen mit eingeschränkter Versorgung, eine immer zentralere Rolle. Die Kombination aus Cellular IoT, Cloud-Integration und interoperablen Plattformen ermöglicht eine neue Qualität der Versorgung – datengestützt, personalisiert und ortsunabhängig.

Eine smarte, zugängliche und effektivere medizinische Versorgung wird durch die Integration drahtloser Kommunikationstechnologien Realität und sorgt für mehr Lebensqualität, geringere Kosten und eine global breitere Gesundheitsversorgung. Das Ziel ist eine medizinische Versorgung, die effizient, bezahlbar, nachhaltig und für alle zugänglich ist. ■





Cybersicherheit im Quantenzeitalter

# Wie Daten schon heute für morgen sicher gemacht werden

*Von der Vorsorge zur digitalen Verteidigung: Quantencomputer stellen die bisherige Verschlüsselung auf den Prüfstand – und damit unsere digitale Sicherheit. Warum Europol zur Eile mahnt, welche Rolle deutsche Halbleiterhersteller spielen und was Ihre Daten mit der Weisheit meiner Großmutter zu tun haben.*

VON BERND HANTSCHÉ,  
VICE PRESIDENT TECHNOLOGY  
COMPETENCE CENTER BEI RUTRONIK

**C**rash-Propheten hatten noch nie Sen-depause. Doch wenn selbst meine konservative Großmutter, Kind der Nachkriegszeit, mir mitgab: »Spare, wenn du hast, dann hast du in der Not«, dann klingt das heute wie ein Appell zur digitalen Vorsorge. Denn der Verteidigungsfall kommt nicht als Angriff mit Panzern, sondern als Angriff auf unsere Daten. Die Bedrohung ist real: Europol warnt vor organisierten Netzwerken, die bereits heute verschlüsselte Daten sammeln, um sie später mit Quantencomputern zu entschlüsseln und somit für sich nutzbar zu machen. [1] Das Szenario nennt sich »store now, decrypt later«.

Quantencomputer sind dabei, die Spielregeln der Kryptografie grundlegend zu verändern.

Algorithmen wie RSA (Rivest-Shamir-Adleman), auf denen ein Großteil unserer digitalen Kommunikation basiert, könnten schon bald von Quantencomputern geknackt werden. Post-Quantum-Kryptografie (PQC) heißt die Antwort darauf: Also neue kryptografische Verfahren, die auch im Zeitalter der Quantenrechner Bestand haben.

*Es ist Zeit zu handeln:  
Quantenbedrohung rückt näher*

Die Fortschritte im Quantencomputing sind rasant. Große Tech-Konzerne, Universitäten und Start-ups überbieten sich mit Erfolgsmeldungen. Gleichzeitig reagiert die Sicherheitsforschung: Das US-amerikanische National

Symbolische Darstellung eines  
Quantencomputers – die Bedrohung  
für klassische Verschlüsselung.



Bild: Sasint/stock.adobe.com



Institute of Standards and Technology (NIST) hat bereits drei Algorithmen als Post-Quantum-Standards definiert: Die Federal Information Processing Standards (FIPS) FIPS-203 (ML-KEM), 204 und 205 bieten robuste Mechanismen für Schlüsselaustausch und digitale Signaturen, die Angriffen von Quantencomputern standhalten.

Auch das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) hat seine Einschätzung zum so genannten »Q-Day« abgegeben – dem Tag, an dem Quantencomputer erstmals in der Lage sein werden, herkömmliche Verschlüsselung praktisch zu brechen. Das BSI rechnet bereits um das Jahr 2030 damit – etwa zu dem Zeitpunkt, an dem heutige Elektronikentwicklungen in Serie gehen. Wer sich jetzt nicht vorbereitet, läuft Gefahr, später mit veralteter Sicherheitstechnik zu produzieren.

Und auch das von Europol initiierte Quantum Safe Financial Forum (QSFF) drängt darauf, insbesondere den Finanzsektor schon jetzt mit den heute verfügbaren Mitteln gegen die morgen verfügbare Technik abzusichern.

#### *Herausforderungen bei der Umstellung auf Post-Quanten-Kryptografie*

So klar das Ziel ist, so anspruchsvoll ist der Weg dorthin. Größere Schlüssel und komplexere Algorithmen erfordern mehr Rechenleistung – eine Herausforderung besonders für ältere Systeme. Zudem ist die Standardisierung noch nicht vollständig abgeschlossen, sodass sich die verwendeten Algorithmen in Zukunft noch ändern können. Und auch organisatorisch ist der Umstieg kein Selbstläufer. Er erfordert Investitionen, Umdenken und technisches Know-how. Der Schlüssel zum Erfolg liegt daher in der sogenannten Kryptoagilität: Systeme sollten von Anfang an so flexibel gestaltet werden, dass sie schnell auf neue Erkenntnisse oder Bedrohungen reagieren können.

#### *Erste Schritte zu einer sicheren IT-Infrastruktur im Quantenzeitalter*

Trotz dieser Herausforderungen zeigen erste praktische Umsetzungen, dass der Wandel zur Post-Quanten-Kryptografie bereits begonnen hat: Infineon, Rutroniks größter Franchisepartner, hat sich frühzeitig als Vorreiter in Sachen PQC positioniert. Bereits 2017 wurde ein quantenresistenter Schlüsselaustausch auf einem kontaktlosen Chip umgesetzt. [2] Anfang 2025 folgte die weltweit erste EAL6-Zertifizierung



Bild 1: Miniaturisierter QRNG-Baustein von Elmos Semiconductor – echte Zufälligkeit für vernetzte Geräte der nächsten Generation. (Bild: Elmos Semiconductor)

zung durch das BSI für einen Sicherheitscontroller mit ML-KEM-Verfahren. [3] Damit deckt Infineon insbesondere Smartcard-Anwendungen ab.

Auch andere deutsche Halbleiterhersteller treiben die Entwicklung voran. Elmos Semiconductor legt nun, gemeinsam mit ID Quantique, mit einem für das PQC wichtigen Baustein nach, einem miniaturisierten Quantum Random Number Generator (QRNG).

Jedes Verschlüsselungsverfahren beginnt mit einer Zufallszahl für die Schlüsselerzeugung. Die Erzeugung einer solchen Zufallszahl ist für einen logisch und diskret arbeitenden Apparat jedoch eine große Herausforderung. HRNG, Hardware Random Number Generator, gibt es seit langem und in verschiedenen technischen Ausführungen. Herkömmliche Generatoren (TRNG/PRNG) sind manipulierbar – durch physikalische Einflüsse, wie Licht, Druck, Temperatur, elektromagnetische Felder und Versorgungsspannung oder durch gezielte Eingriffe durch Künstliche Intelligenz.

QRNG nutzt echte Quanteneffekte wie die Emission von Photonen, um wirklich zufällige Zahlen zu generieren. Das ist sicherer und verleih FIPS-203/204/205 eine zusätzliche Härtung, im Vergleich zu Schlüsseln mit konventionell generierten Zahlen. Solche QRNG-Lösungen sind bisher eher als Erweiterungssteckkarten für Server bekannt. Elmos hat die Technologie nun miniaturisiert und in ein 2 mm x 2 mm messendes DFN-Gehäuse gepackt (Bild 1). Damit steht die patentierte Technologie über Rutronik allen Kunden weltweit zur Verfügung. Neben der Finanzbranche profitieren auch die Bereiche Industrie, Medizin und Automotive.

#### *Sicherheit ist kein Luxus, sondern Pflicht*

Denn: Es geht längst nicht mehr nur um Banken. Ob Industrieanlagen, medizinische Geräte oder Fahrzeuge mit Assistenzsystemen –

## **Begriffe auf einen Blick**

- **Q-Day** – Der Zeitpunkt, an dem Quantencomputer in der Lage sein werden, heutige Verschlüsselungssysteme zu brechen. Das BSI erwartet ihn etwa 2030.
- **QRNG vs. TRNG** – Quantum Random Number Generators erzeugen echte, nicht manipulierbare Zufallszahlen auf Basis quantenphysikalischer Prozesse. TRNGs nutzen physikalische Effekte, sind aber potenziell störanfällig.
- **FIPS-203/204/205** – Vom NIST veröffentlichte Sicherheitsstandards für quantensichere Algorithmen (Schlüsselaustausch und digitale Signaturen), als Basis für Post-Quantum-Kryptografie.
- **ML-KEM** (Module Lattice Key Encapsulation Mechanism) – Schlüsselkapselungsmechanismus (KEM), der von NIST als FIPS-203 standardisiert wurde. Er dient dazu, einen sicheren, gemeinsamen Geheimnisschlüssel zwischen zwei Parteien zu etablieren, der gegen klassische und Quantencomputerangriffe resistent ist.

unsere Welt ist digital, vernetzt und damit angreifbar. Was passiert, wenn die Assistenzsysteme in Fahrzeugen plötzlich Verkehrsschilder falsch erkennen, wenn sich Fahrzeuge per Ultra-Wideband-Technologie und Rolling-Key-Verfahren öffnen lassen, weil der Schlüssel vorhersehbar war? Oder wenn medizinische Daten abgefangen werden, weil der Zufallszahlengenerator nicht echt war?

Die Quantenrevolution kommt. Vielleicht nicht morgen, aber sicher früher als viele hoffen. Wer heute nicht investiert, wird morgen zahlen. Um es mit der Weisheit meiner inzwischen verstorbenen Großmutter zu sagen: »Verschlüssele deine Daten heute vernünftig, dann bist du auch morgen vor Quanten-Cyberangriffen geschützt.« ■

#### Referenzen

- [1] <https://www.europol.europa.eu/media-press/newsroom/news/call-for-action-urgent-plan-needed-to-transition-to-post-quantum-cryptography-together>
- [2] <https://www.infineon.com/cms/en/product/promopages/post-quantum-cryptography/>
- [3] [https://www.infineon.com/cms/de/about-infineon/press/press-releases/2025/INFCSS202501-043.html#\\_ftnref1](https://www.infineon.com/cms/de/about-infineon/press/press-releases/2025/INFCSS202501-043.html#_ftnref1)



HMI-Konzepte für Zweiräder, Dreiräder, Vierräder oder Wasserfahrzeuge

# Moderne Instrumentierung für kleine Fahrzeuge

*Moderne Anzeige- und Bedienlösungen im Bereich der Mikromobilität und bei Booten erfordern kompakte, grafikfähige Steuerungen.*

*Eine skalierbare Mikrocontroller-Plattform ermöglicht grafische HMI-Anwendungen – von einfachen Displays bis hin zu kamerabasierten Systemen mit Sicherheitsanforderungen.*

VON RALF HICKL,  
PRODUCT SALES MANAGER ABU  
BEI RUTRONIK

**D**igitale Anzeige- und Bedienkonzepte halten zunehmend Einzug in Fahrzeugklassen, die traditionell mit mechanischen oder einfachen LCD-Instrumenten ausgestattet waren – etwa Zweirädern, dreirädrigen Fahrzeugen, leichten Nutzfahrzeugen oder Booten. Die Anforderungen und Möglichkeiten dieser Anwendungen gehen heute über die reine Geschwindigkeits- oder Tankanzeige hinaus: Nutzerinnen und Nutzer erwarten eine klare, gut ablesbare Visualisierung sicherheitsrelevanter Informationen, Personalisierungsmöglichkeiten sowie Schnittstellen zur Smartphone-Integration.

Im Kontext Software-definierter Fahrzeuge (Software-defined Vehicles, SDV) werden Funktionen zunehmend über Software realisiert und können während der Produktlebensdauer angepasst oder erweitert werden. Dies gilt insbesondere für Anzeigeeinheiten, die nicht nur Fahrdaten visualisieren, sondern auch Sicherheits- und Komfortfunktionen einbinden und sich mit Smartphones oder anderen Geräten vernetzen lassen.

Zur Umsetzung solcher Systeme werden Mikrocontroller benötigt, die neben der klassischen Steuerfunktionalität auch die Grafikverarbeitung und Sicherheitsfunktionen übernehmen können. Das Herzstück der Ansteuerelektronik sind Mikrocontroller mit integrierter Graphics Processing Unit (GPU). Zu dieser Kategorie gehören Infineons neue

32-Bit-Mikrocontroller der Baureihe TRAVEO™ T2G Graphics. Bild 1 zeigt eine mögliche Implementierung.

## Skalierbare Grafikcontroller für Embedded-Anzeigeanwendungen

Die Mikrocontroller-Familie ist auf verschiedene Anzeige- und Bedienlösungen in kleinen Fahrzeugen und Booten ausgelegt. Die Produktauswahl orientiert sich an den spezifischen Anforderungen der jeweiligen Anwendung – vom einfachen Segmentdisplay bis hin zur grafikintensiven Anzeigeeinheit mit Videoausgabe (Bild 2).

Für Anwendungen mit einem geringen grafischen Anspruch, etwa einfache Tachoeinheiten mit LCD-Segmenten oder Zeigerinstrumente mit Schrittmotoren, eignet sich die Unterfamilie CYT2CL. Diese Bausteine bieten die erforderliche Ansteuerlogik und I/O-Funktionalität, ohne eine vollwertige Grafikengine. Der Fokus liegt auf einem niedrigen Stromverbrauch und einer kosteneffizienten Umsetzung. Anwendungen mit frei gestaltbaren grafischen Benutzeroberflächen, beispielsweise digitale Cockpits, Rollerdisplays mit Navigationseinblendung oder Rückfahrkamerasysteme, lassen sich mit den Unterfamilien CYT3DL, CYT4DN und CYT4EN umsetzen. Diese Mikrocontroller integrieren eine 2D-Grafikengine und unterscheiden sich hauptsächlich in ihrer RAM-Ausstattung und Displayunterstützung. Ziel sind Grafikdisplays ab einer WVGA-Auflösung (800 Pixel × 480 Pixel):

- **CYT3DL:** interner Video-RAM (bis 2 MB) für einfache 2D-Grafiken bei mittlerer Auflösung

- **CYT4DN:** erweitertes Rendering mit bis zu 4 MB internem Video-RAM, unterstützt mehrere Displaylayer und Warping (Bild 3)
- **CYT4EN:** externer LPDDR4-RAM bis 1 GB für hochauflösende Displays oder größere Bildpuffer

Für komplexe Systeme wie Head-Up-Displays, digitale Rückspiegel oder Multidisplay-Konzepte mit projektions- oder kamerabasierten Eingängen ist die Unterfamilie CYT4EN vorgesehen. Diese Derivate kombinieren hohe Grafikleistung bei geringem Energieverbrauch mit zwei unabhängigen Videoausgängen (z. B. Cockpit + HUD), Warping zur Projektionsflächenkorrektur und optionalem externem LPDDR4-Speicher. Sie bieten die notwendige Flexibilität für künftige Anzeige- und Assistentenfunktionen. Alle Derivate der CYT3- und CYT4-Familien integrieren neben der Grafikengine ein Soundsubsystem sowie zahlreiche Peripherieblöcke. Das Grafiksubsystem bietet unter anderem folgende Leistungsmerkmale:

- On-Chip Video-RAM bei CYT3DL und CYT4DN: Das On-Chip-Video-RAM erhöht die Integration des Gesamtsystems und spart externe Speicherbausteine ein. Die interne Busanbindung ermöglicht schnelle Zugriffszeiten. Beim CYT4EN wird das bis zu 1 GB große Video-RAM als externer Speicher mit LPDDR4 ausgeführt.
- Grafikern (Graphics Processing Unit, GPU) für On-the-Fly 2D-Rendering mit Block Image Transfer (BLIT), Bildskalierung und -rotation, perspektivische Korrektur für 3D-Effekte (2.5D) und Command-Sequenzen.

- Display- und Composition-Engine mit fünf Grafiklayer für Alpha-Blending, davon einer mit Entzerrfunktion (Warping), z. B. für Objektiv- oder Projektionsflächenkorrektur sowie zwei unabhängige Video-Ausgangssignale, z. B. für Hauptdisplay und Head-up-Display.
- Capture-Engine für einen Video-Stream
- Video I/O-Interface
- JPEG-Dekoder

Die Schlüsselfunktion ist die Option, Videos und Grafiken über einen Mehrzeilenpuffer direkt auf das Display zu rendern (On-the-Fly), anstatt sie zuerst in einen großen Frame-Buffer im RAM zu laden. Dadurch reicht der interne Video-RAM für 720p-Grafiken aus und die BOM-Kosten können gesenkt werden, da das System keinen externen DDR-RAM benötigt. Diese Technik ist für einfache Sprite-Grafiken üblich, im Zusammenhang mit 2D-GPUs und anspruchsvollen Operationen wie Bilddrehung und perspektivischer Korrektur (2,5D) jedoch einzigartig.

Sicherheitsfunktionen  
in Anzeigeeinheiten

In vielen Fahrzeuganwendungen übernehmen Anzeigeeinheiten nicht nur eine Komfortfunktion, sondern auch sicherheitsrelevante Aufgaben. Dazu gehört beispielsweise die Darstellung von Warnsymbolen wie »Airbag deaktiviert« oder »Tür offen«. Um sicherzustellen, dass diese Inhalte korrekt und dauerhaft sichtbar sind, sind spezifische Maßnahmen zur



Bild 1: Eine mögliche Implementierung mit TRAVEO™ T2G Graphics zeigt auf der linken Seite die »Tachoanzeige« mit Geschwindigkeit und virtuellen Signal- bzw. Kontrollsymbolen sowie die von einem Smartphone eingeblendete Navigation. Rechts ist das Smartphone mit Funkverbindung zur Anzeigeeinheit zu sehen. (Bild: Infineon)

funktionalen Sicherheit erforderlich. Ein zentrales Element ist der sogenannte Signature Driver. Dieser berechnet auf dem Mikrocontroller eine Prüfsumme (CRC) für definierte Bildbereiche. Diese Prüfsumme wird kontinuierlich mit einem Referenzwert verglichen. So lässt sich erkennen, ob sicherheitsrelevante Anzeigehalte wie vorgeschrieben dargestellt werden. Aufgrund dieser Eigenschaften eignet sich der Mikrocontroller auch als Safety Companion MCU für Anzeigeeinheiten, die in Verbindung mit einem SoC betrieben werden – etwa unter Linux mit Unterstützung von Android Auto oder Apple CarPlay. In solchen

Systemen übernimmt der Mikrocontroller die sicherheitsrelevante Darstellung von Symbolen (z. B. Gurtwarnung oder Airbag-Status), während der Hauptprozessor für die übrige Anzeige verantwortlich ist. So kann das Gesamtsystem sicherheitskritische Inhalte gemäß einer ASIL-Klassifizierung absichern, ohne dass der Haupt-SoC selbst funktionale Sicherheit erfüllen muss.

Ergänzend zur funktionalen Sicherheit steht für alle Bausteine außerdem optional ein integriertes Hardware Security Module (HSM) zur Verfügung. Dieses erfüllt die EVITA-Full-

Instrument cluster, HUD, other displays			
TRAVEO™ T2G Cluster MCU		TRAVEO™ T2G Cluster MCU (Installed graphics engine)	
Cluster MCU	WVGA	720p	≥720p
<div>CYT2CL</div> <div>Cortex®-M4, 160 MHz, ASIL-B, eSHE/HSM, 4 MB flash, 512 KB RAM, SMC, LCD, 144-/176-LQFP</div>	<div>CYT3DL</div> <div>Cortex®-M7, 240 MHz, ASIL-B, 2.5D WVGA GFX, line-based, 2MB VRAM, 1x VI<sup>1</sup>, 1x VO<sup>2</sup>, HYPERBUS™, HSM, 4 MB flash, 384 KB RAM, audio, SMC, ethernet, 216-TEQFP, 272-BGA</div>	<div>CYT4DN</div> <div>2x Cortex®-M7, 320 MHz, ASIL-B, 2.5D 720p GFX, line-based, 4MB VRAM, 1x VI<sup>1</sup>, 2x VO<sup>2</sup>, JPEG decoder, HYPERBUS™, HSM, 6 MB flash, 640 KB RAM, audio, SMC, Gigabit-ethernet, 327-BGA</div>	<div>CYT4EN</div> <div>2x Cortex®-M7, 320 MHz, ASIL-B, 2.5D GFX, external buffer, LPDDR4 I/F, 1x VI<sup>1</sup>, 2x VO<sup>2</sup>, JPEG decoder, HYPERBUS™, HSM, 6 MB flash, 640 KB RAM, audio, SMC, Gigabit-ethernet, eMMC, 500-BGA</div>

Bild 2: Das Portfolio der TRAVEO™ T2G Graphics. (Bild: Infineon)



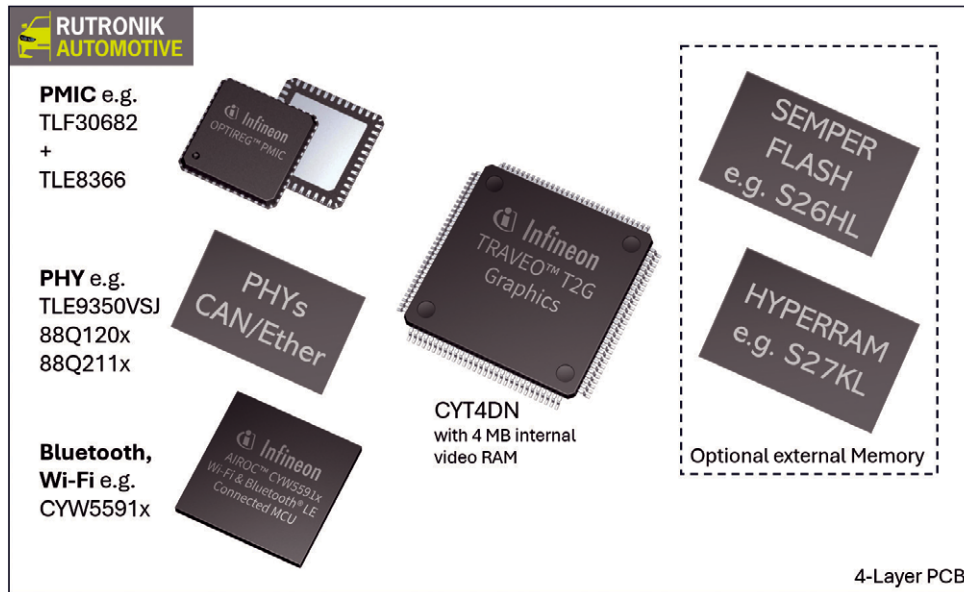


Bild 3: Mögliche Systemkomponenten rund um CYT4DN mit 4 MB internem Video-RAM. (Bild: Rutronik)

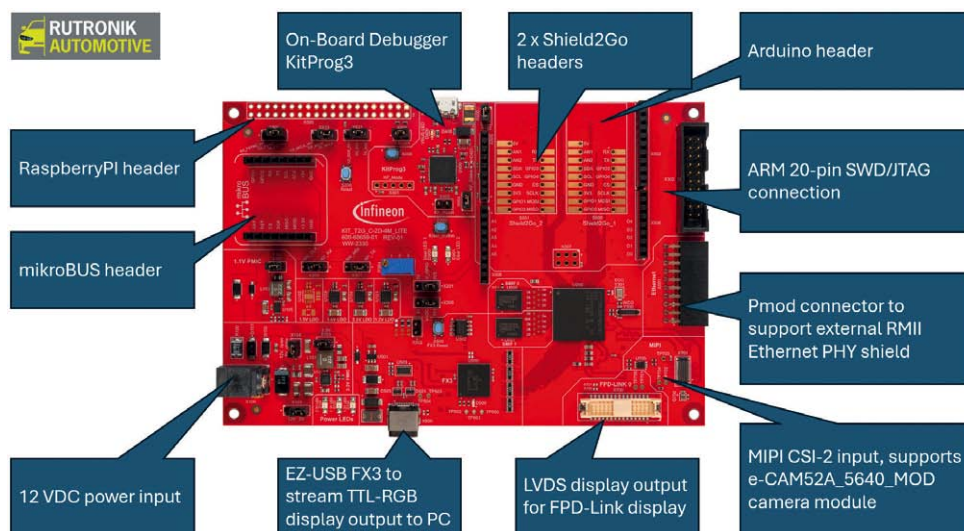


Bild 4: Das Evaluation Board KIT\_T2G\_C-2D-4M\_LITE rund um den CYT3DL mit 2 MB internem VRAM, externem HYPERFLASH (512 Mbit S26HL512T) und 64 Mbit HYPERRAM (S27KL0642). (Bild: Rutronik, mit Inhalten von Infineon)

Spezifikation (E-Safety Vehicle Intrusion Protected Applications) und ermöglicht unter anderem den gesicherten Systemstart sowie die hardwaregestützte Ausführung kryptografischer Funktionen. Die Konformität mit der Norm ISO/SAE 21434 für Cybersicherheit in der Fahrzeugentwicklung ist in Vorbereitung; eine Zertifizierung wird bis Ende 2025 angestrebt.

### Entwicklertools und Evaluierungsplattformen

Zur Entwicklung grafikfähiger Anwendungen steht mit »Drive Core Graphics« eine speziell auf die Mikrocontroller-Familie abgestimmte integrierte Softwarelösung zur Verfügung. [1] Sie umfasst Compiler, Debugger und Middleware zur Hardwareabstraktion sowie Grafikbibliotheken, die die Beschleunigungsfunktionen der Hardware nutzen. Unter anderem wird die Anbindung an die Werkzeuge von IAR (Compiler, Debugger) sowie die Verwendung der Qt-basierte Grafikentwicklung unterstützt. Die Evaluierungslizenz ist kostenlos verfügbar (zeitlich begrenzt auf drei Monate) und an den Erwerb der Hardware gebunden.

Für die Softwarebibliotheken AUTOSAR MCAL, Qt Runtime und das Grafikpaket von Infineon stehen verschiedene Lizenzmodelle zur Verfügung. Bei dem herkömmlichen Modell erhalten Anwenderinnen und Anwender die Lizenz beim jeweiligen Softwareanbieter und kümmern sich hierum selbst. Es eignet sich besonders für hochvolumige Projekte, erfordert aber ein Investment – spätestens bei Anlauf der Serienproduktion. Bei dem anderen Lizenzmodell hat Infineon die Lizenzkosten bereits auf den Bauteilpreis umgelegt. Eine separate Vorabzahlung ist somit nicht erforderlich und es ist auch kein zusätzlicher Lizenzvertrag mit einem Drittanbieter notwendig. Die Nutzung erfolgt über eine klickbare Endnutzervereinbarung (EULA). Dieses Modell erleichtert insbesondere kleineren und mittleren Projekten

Kriterium	CYT2CL	CYT4EN
Anwendungsbereich	Einfache LCD-Segmentdisplays, Zeigerinstrumente mit Schrittmotoren	Hochauflösende grafikintensive Displays, Systeme mit größerem Speicherbedarf
Grafik-Features	Keine vollwertige GPU, einfache Ansteuerlogik	2D-GPU mit On-the-Fly-Rendering, Warping, perspektivische Korrektur (2.5D), ausgelegt für höhere Auflösung und größere Bilddatenmengen
Speicherausstattung	Kein interner Video-RAM	Externer LPDDR4-RAM bis 1 GB, HYPERRAM/FLASH möglich
Displayunterstützung	Einfache Auflösungen (z. B. Segment-LCDs)	WVGA bis HD+, für grafiklastige Oberflächen und große Framepuffer
Schnittstellen	Basis-I/O (CAN, LIN, SPI)	MIPI-CSI-2 (Kameraeingang), LVDS, Ethernet, CAN, SPI, I <sup>2</sup> C; Dual-Video-Ausgabe möglich
Energieeffizienz	Optimiert für niedrigen Stromverbrauch	Höherer Verbrauch durch externe RAM-Anbindung, für leistungskritische Aufgaben toleriert
Kostenfokus	Kosteneffizient durch Verzicht auf externe Speicher	Höhere Kosten durch externen RAM und High-End-Grafikfunktionalität

Tabelle 1: Skalierungsbereich innerhalb der MCU-Familie von Minimal- bis High-End-Einsatz: CYT2CL vs. CYT4EN.

mit begrenzten Stückzahlen, wie sie im Distributionsumfeld häufig vorkommen, den Zugang zu serienfähiger Software.

Um das volle Potenzial der grafikfähigen Mikrocontroller auszuschöpfen, ist es wichtig, dass die Grafikbibliotheken der Softwarepartner die Hardwarebeschleunigung des TRAVEO™ T2G tatsächlich auch nutzen. Infineon hat einige Bibliotheken daraufhin geprüft und freigegeben. Zu den freigegebenen Bibliotheken gehören: Altia Design, DeepScreen, Candra CGISTUDIO und Qt for MCUs.

Für den praktischen Einstieg bietet der Hersteller verschiedene Evaluierungsplattformen an. Ein Beispiel ist das Board KIT\_T2G\_C-2D-4M\_LITE (Bild 4), das mit einem CYT3DL-Controller, internem Video-RAM, sowie externem HYPERFLASH- und HYPERRAM-Speicher ausgestattet ist. Es ermöglicht die Entwicklung einfacher bis mittlerer grafischer Benutzeroberflächen und unterstützt typische Schnittstellen wie LVDS, MIPI-CSI-2, Ethernet und CAN.

Die Referenzboards sind für eine Vielzahl von Anwendungen ausgelegt – von Stand-alone-Bedienelementen bis hin zur Rolle als Safety Companion in komplexeren Systemarchitekturen. Umfangreiche Anschlüsse und Schnittstellen erleichtern die Integration in bestehende Entwicklungsumgebungen. Rutronik führt zudem die Hardware-Debugger und die Flasher der Firma Segger Microcontroller.

#### *Potenzial im Fahrzeugdisplay-Markt*

Die vorgestellte Mikrocontroller-Familie adressiert gezielt grafische Anzeige- und Bedienlösungen im Bereich kleinerer Fahrzeuge, Wasserfahrzeuge und mobiler Systeme mit begrenztem Platzangebot. Durch die Kombination aus integrierter Grafikverarbeitung, Speicheroptionen, Sicherheitsfunktionen und einem abgestimmten Softwarepaket lässt sich ein breites Anwendungsspektrum abdecken – von einfachen Displays bis zu sicherheitsgerichteten Anzeigeeinheiten mit SoC-Kopplung.

Dank des Lizenzmodells und der verfügbaren Werkzeuge ist die Umsetzung auch für Hersteller mit kleineren Stückzahlen oder kurzen Entwicklungszyklen realisierbar. Mit den leistungsfähigeren Varianten lassen sich perspektivisch auch Head-Up-Displays und kamerabasierte Systeme umsetzen. Die angekündigte Zertifizierung im Bereich Cybersicherheit erweitert die Einsatzmöglichkeiten zusätzlich.

Rutronik unterstützt Entwicklerinnen und Entwickler dabei, aus dem verfügbaren Portfolio die passende Lösung für die jeweilige Anwendung zu identifizieren – von der ersten Idee bis zur serienreifen Implementierung.

#### Referenz

[1] <http://www.infineon.com/drivecore>

Mehr Informationen zu Drive Core Graphics:



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

# Power your innovations with Nordic's PMICs



BATTERY CHARGING



SLEEP AND HIBERNATE MODE



FUEL GAUGING



FOR ALL NRF SERIES FROM NORDIC



LEARN MORE  
[nordicsemi.com/PMIC](http://nordicsemi.com/PMIC)



**NORDIC**  
SEMICONDUCTOR



BLDC- und DC-Motorcontroller für sichere Automobilanwendungen

# Mehr Leistung auf weniger Raum

*Kleine Motoren sind zentrale Bausteine moderner Fahrzeugarchitekturen – insbesondere in den Bereichen Komfort und Thermomanagement. Neue Steuerlösungen schaffen hier Platz, Sicherheit und EMV-Vorteile – bei wachsender funktionaler Komplexität.*

VON MARTIN KURZ,  
FIELD APPLICATION ENGINEER ABU  
BEI RUTRONIK

In modernen Fahrzeugen übernehmen kleine elektrische Antriebe vielfältige Aufgaben – von der Kühlung der Batterie über die Sitzverstellung bis hin zur Ansteuerung von Klappen und Lüftern (Bild 1). Besonders in elektrifizierten Architekturen steigt ihre Zahl kontinuierlich – häufig unter beengten Bedingungen. Dabei setzt sich der bürstenlose Gleichstrommotor (BLDC) zunehmend durch, da er kompakter, effizienter und wartungsärmer ist als herkömmliche DC-Motoren. Gleichzeitig wachsen die Anforderungen an die funktionale Sicherheit, Cybersecurity und elektromagnetische Verträglichkeit (EMV). Gefragt sind kompakte, robuste und integrierte Steuerlösungen, die sowohl in der Entwicklung als auch in Serie wirtschaftlich umsetzbar sind.

Hier kommen die Weiterentwicklungen der MOTIX™ MCU-Serie von Infineon ins Spiel, insbesondere der B6-Brückentreiber (TLE995x) und der H-Brückentreiber (TLE994x). Sie sind für den Einsatz in einer Vielzahl kleiner bis mittlerer Motoranwendungen im Fahrzeug konzipiert, bei denen eine kompakte Bauform, Kosteneffizienz und funktionale Sicherheit wichtig sind.

## Funktionale Integration für dezentrale Steuerung

Ein besonderer Anwendungsbereich ergibt sich im Thermomanagement von Elektro- und Hybridfahrzeugen. Um Batterie, Leistungselektronik und Innenraum gezielt zu tempe-

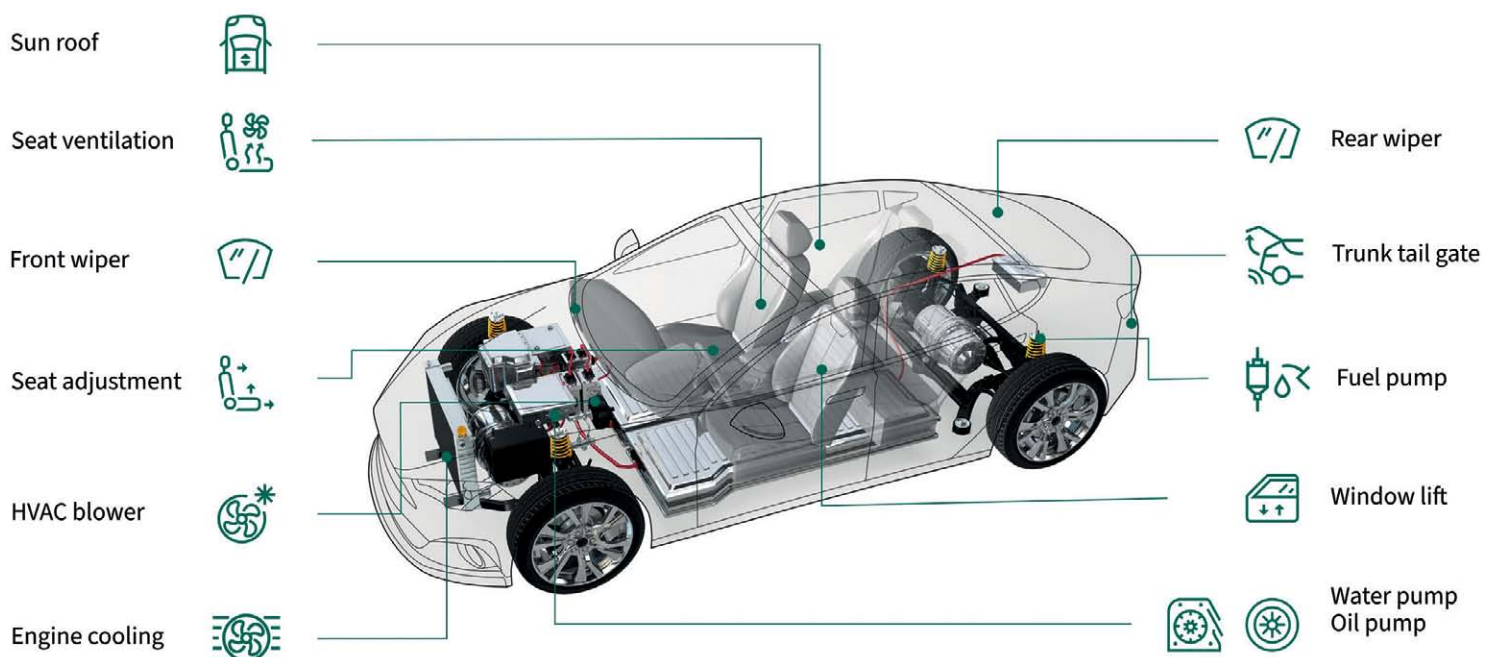


Bild 1: Typische Anwendungen für den MOTIX™ MCU Motor Controller im Automobilbereich. (Bilder: Infineon)



rieren, sind mehrere kleinere Pumpen und Lüfter erforderlich. Diese Systeme müssen auf engem Bauraum untergebracht werden, oft in unmittelbarer Nähe zu Wärmequellen oder in feuchten Umgebungen. Das erfordert kompakte, robuste und zuverlässige Steuergeräte. Die TLE995x-Serie bietet hierfür eine geeignete Plattform: Basierend auf einem 32-bit Arm Cortex-M23-Core (40 MHz, 0,98 DMIPS/MHz, unterstützt durch 72 kB Flash und 6 kB RAM) integriert sie neben der Motortreiberstufe auch die Stromversorgung sowie eine LIN-Kommunikationsschnittstelle in einem TSD-SO-32-Gehäuse mit guten thermischen Eigenschaften und einer Grundfläche von nur 6 mm x 9 mm (Bild 2).

Bei Komfortfunktionen wie elektrisch verstellbaren Sitzen, Fensterhebern, Schiebedächern oder Ladeflächenabdeckungen sind kostensensitive Lösungen gefragt, die über Schutz- und Diagnosefunktionen verfügen müssen. Nur so lassen sich etwa Blockadeerkennung, Stromgrenzen oder Fehlerkommunikation über LIN realisieren. Die vollständig integrierte LIN-Schnittstelle und die Diagnosefunktionen erleichtern die Systemintegration in bestehende Fahrzeugarchitekturen. Trotz der geringeren Core-Leistung im Vergleich zum Vorgängermodell TLE987x erfüllt der TLE995x die hohen Anforderungen moderner Motorsteuerungen. Dies wird durch effiziente Algorithmen wie die feldorientierte Regelung (FoC) im Dual-Cycle-Betrieb unterstützt, die von Softwarepartnern bereitgestellt werden (Tabelle 1).

Sicherheitsfunktionen  
im Fokus

Die zentrale Neuerung ist der Fokus auf integrierte Sicherheits- und Schutzmechanismen. Die Architektur wurde gemäß ISO 26262 entwickelt und erfüllt Anforderungen bis ASIL B. Der ARM-Core unterstützt Safe-Computing, womit sich Safe-Communication implementieren lässt, und verfügt über einen sicheren Abschaltpfad für die Endstufe. Im Bereich Cybersecurity kommt die ARM TrustZone-Technologie zum Einsatz. Sie sorgt dafür, dass sen-

Merkmal	TLE987x	TLE995x
CPU	ARM Cortex-M3, 40 MHz	ARM Cortex-M23, 40 MHz
Speicher	bis zu 128 kB Flash, 6 kB RAM	72 kB Flash, 6 kB RAM
Safety/Security	Grundfunktionen	ISO 26262, ASIL B, TrustZone
Kommunikation	LIN	LIN
Strommessung	integrierter CSA + ADC	integrierter CSA + ADC
Anwendung	generische BLDC-Steuerung	kostenoptimierte generische BLDC-Steuerung für »Low-End«-Anwendungen mit weniger komplexen Anforderungen

Tabelle 1: TLE987x vs. TLE995x.

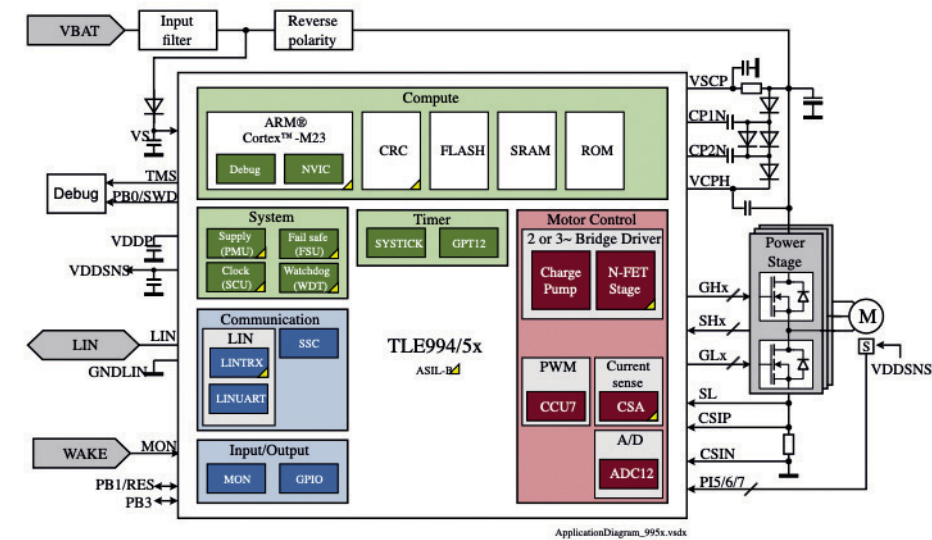


Bild 2: Blockdiagramm des TLE995x/4x-Controllers.

sible Daten und Prozesse, die für die Sicherheit eines Systems entscheidend sind, in einem geschützten Bereich ausgeführt werden, der vor Manipulationen und unbefugtem Zugriff geschützt ist.

Weitere Eigenschaften:

- Peripheriegeräte für die Motorsteuerung: Die CCU7 Advanced Timer Unit unterstützt die symmetrische und asymmetrische PWM-Generierung und ist direkt mit dem Brückentreiber verbunden. Dieser verfügt über einen Drei-Schritt-Sequenz und einen Hochgeschwindigkeitssequenz für die VDS-Slope-Zeitmessung. Damit lassen sich zum Beispiel die Rise- und Falltime einstellen und regeln. Die Dual-Stage-Charge-Pump unterstützt einen 100-prozentigen Duty Cycle und kann den Verpolschutz-FET einschalten.
- Der Current Sense Amplifier ermöglicht eine differenzielle Spannungsmessung über einen externen Shunt und ist direkt mit dem ADC verbunden. Der Spannungsbereich ist einstellbar und der Current Sense Amplifier zeichnet sich durch hohe Genauigkeit und niedrigen Gain-Drift aus. Eine Überstromabschaltung ist ebenfalls integriert.

- Der Controller bietet umfangreiche Diagnose- und Schutzfunktionen, die in das MOTIX™ 32-bit Motor Control System-on-Chip integriert sind. Dazu gehören einstellbare Über- und Unterspannungserkennung und Abschaltung, Überstromerkennung und Abschaltung für externe MOSFETs sowie eine OFF-State-Open-Load-Erkennung.

- Der 12-Bit-SAR-ADC bietet komplexe Post-Processing-Funktionen wie Averaging und Thresholds und kann eigenständig die Back EMF detektieren und intern zur Verfügung stellen.

System-in-Package  
bietet Entwicklern Vorteile

Für Anwendungen mit höherem Leistungsbedarf steht die System-in-Package-Lösung TLE9954QSW40-33 zur Verfügung. Sie kombiniert den TLE9954-Motorcontroller mit sechs OptiMOS 7-MOSFETs in einem Gehäuse und ist damit die erste vollintegrierte 12-V-Automotive-Lösung für Motoranwendungen bis circa 150 W. Durch die direkte Integration der Leistungshalbleiter mit dem Brückentreiber ergeben sich mehrere technische Vorteile:

- Reduzierte Leitungsinduktivitäten zwischen Treiber und MOSFETs senken die Schaltverluste und ermöglichen kürzere Totzeiten.
- Verringerte EMV-Emissionen, da die Leiterbahnlänge minimiert wird.
- Reduktion externer Bauteile, insbesondere bei der Gate-Ansteuerung und dem Schutzdesign.



- Kompaktere Bauform, wodurch sich kleinere Steuergeräte realisieren lassen.

Das Package misst 9,5 mm x 9,5 mm und adressiert Anwendungen im Leistungsbereich bis etwa 150 W – abhängig von den thermischen Randbedingungen. Die thermische Anbindung des SiP (System-in-Package) in diesem hochintegrierten Ansatz ist entscheidend für die Gesamtleistung des Systems.

#### Software und Entwicklungsunterstützung

Für die TLE995x-Serie steht ein umfangreiches Softwarepaket zur Verfügung. Dieses umfasst ASPICE- und MISRA-konforme Komponenten,

Peripherietreiber sowie Beispielanwendungen und Referenzprojekte. Der Zugriff erfolgt über das Infineon Developer Center.

Zur Integration in Applikationen stehen kommerzielle Softwarelösungen von Partnern bereit. MOTEON und EONAS bieten feldorientierte Regelungsalgorithmen (FOC) und weitere Motorsteuerungssoftware. IHR stellt einen für den TLE995x optimierten LIN-Stack bereit. Diese Tool- und Softwareunterstützung vereinfacht die Entwicklung robuster und standardkonformer Steuergeräte.

Die SiP-Variante TLE9954QSW40-33 wird derzeit bemustert und erste Testexemplare befinden sich bei Kunden im Einsatz. Der Serienanlauf ist für Mitte 2026 geplant. Die

Varianten TLE995x und TLE994X sind seit Juni in Produktion. Zur Evaluierung stehen passende Designrichtlinien und Referenzplatinen zur Verfügung.

Mit Blick auf die Zukunft ist davon auszugehen, dass die Anforderungen an funktionale Sicherheit, Energieeffizienz und Vernetzung weiter steigen werden. Infineon plant daher bereits die Ausweitung des Portfolios auf Industrieanwendungen (IFX995x, IFX994x). Die Lösungen zielen auf Entwicklerinnen und Entwickler ab, die eine platz- und kosteneffiziente Steuerung kleiner Antriebe suchen, ohne Abstriche bei Sicherheit, Diagnose oder EMV machen zu müssen. ■

Antriebstechnik und urbane Mobilität der Zukunft

# 48-V-Systeme für moderne Leichtfahrzeuge

*Leichte Elektrofahrzeuge (LEVs) gelten als Schlüsselement nachhaltiger urbaner Mobilität. Mit praxisgerechten Systemspannungen von 48 V lassen sich kompakte und effiziente Antriebs- und Ladelösungen umsetzen.*

VON UWE RAHN,  
SENIOR DIRECTOR AUTOMOTIVE  
BUSINESS UNIT BEI RUTRONIK

**V**erdichtete Städte, knappe Verkehrsflächen und ambitionierte Klimaziele erzeugen einen großen Handlungsdruck, Verkehr und Mobilität nachhaltiger zu gestalten. Neben den Emissionen rücken dabei auch Aspekte wie der Flächenverbrauch, die Lärmbelastung und die Lebensqualität in den Fokus.

Elektrische Leichtfahrzeuge – sogenannte Light Electric Vehicles (LEVs) – gelten in diesem Kontext als Schlüsseltechnologie. Sie vereinen kompakte Fahrzeugkonzepte mit lokal emissionsfreier Mobilität. Würden LEVs einen signifikanten Anteil an der Verkehrsleistung im motorisierten Individual- und Wirtschaftsverkehr übernehmen, könnten sie einen spürbaren Beitrag zum Klimaschutz leisten. Aufgrund ihres geringen Gewichts und ihrer begrenzten Höchstgeschwindigkeit benötigen sie deutlich weniger Energie im Betrieb. Auch der Ressourcenbedarf bei der Herstellung ist geringer gegenüber Hochvolt-Topologien. [1]

#### Dynamischer Markt für urbane Elektromobilität

Der Markt für LEVs zeigt weltweit ein hohes Wachstumspotenzial. Insbesondere in Asien, der ASEAN-Region, sowie in Lateinamerika und Osteuropa ist eine dynamische Entwicklung bei der Verbreitung zu beobachten. Neben Privatkunden adressieren LEVs zunehmend den urbanen Wirtschaftsverkehr, etwa für Kurier-, Express- und Paketdienste oder die innerstädtische Versorgung.

Laut aktuellen Prognosen wird der globale LEV-Markt von 81,23 Mrd. USD (2022) auf rund 205,76 Mrd. USD bis 2032 wachsen, was einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 9,74 Prozent im Prognosezeitraum entspricht. Gründe hierfür sind technologische Fortschritte bei Batterien und Antriebstechnik sowie staatliche Förderungen für nachhaltige Mobilität.

LEVs sind einfach zu bedienen, erschwinglich und wartungsarm. Dies erhöht die Nachfrage und schafft enorme Wachstumschancen für die Marktteilnehmer. Sie benötigen weniger Verkehrs- und Parkfläche als klassische Pkws und lassen sich flexibel in bestehende Mobilitäts- und Logistikkonzepte integrieren. Diese Eigenschaften machen sie zu einer tragfähigen Lösung für urbane Räume mit begrenztem Platzangebot, beispielsweise für kurze Arbeitswege, Besorgungen und andere tägliche Aktivitäten.

#### 48-V-Systeme für LEVs

Im Segment der elektrischen Leichtfahrzeuge haben sich 48-V-Bordnetze als praktikabler Systemstandard etabliert. Sie ermöglichen eine kompakte und kosteneffiziente Umsetzung elektrischer Antriebs- und Ladesysteme, ohne die Komplexität der klassischen Hochvolttechnologie. Damit bieten sie eine optimale Kombination aus Leistungsfähigkeit, Sicherheit und Energieeffizienz – insbesondere für Fahrzeuge der Klassen L7e und darunter.

Für Anwendungen wie Elektro-Roller, kompakte Nutzfahrzeuge oder innerstädtische Lieferfahrzeuge ist 48 V ausreichend, um Leistungen im Bereich bis etwa 15 kW zuverlässig bereitzustellen. Gleichzeitig bleibt die Systemarchitektur schlank, was sowohl in der Entwicklung als auch im späteren Fahrzeugdesign von Vorteil ist.

#### Referenzdesigns für Lade- und Antriebseinheiten

Zur Umsetzung effizienter 48-V-Systeme für elektrische Leichtfahrzeuge stehen bei Rutronik zwei praxisorientierte Referenzdesigns im Fokus: ein On-Board-Charger (OBC) sowie ein universeller Traktionsumrichter. Beide Designs sind auf kosteneffiziente Serienanwendungen im urbanen Mobilitätsumfeld ausgelegt und ermöglichen Entwicklerinnen und Entwicklern einen schnellen Einstieg in die Funktionsvalidierung.

**48-V-On-Board-Charger (3,3 kW):** Das Referenzdesign (Bild 2 und 3) basiert auf einer Halbbrücken-LLC-Resonanzwandler-Topologie mit vorgeschalteter PFC-Stufe und ist vollständig mit siliziumbasierten Halbleitern umgesetzt. Die Wahl der Schaltfrequenz und des Übertragers wurde gezielt auf ein optimales Preis-Leistungs-Verhältnis abgestimmt.

Eingangsseitig erfolgt die Gleichrichtung über

eine thyristorgesteuerte Diodenbrücke, während auf der Ausgangsseite Schottky-Dioden zum Einsatz kommen. Die Bauteile im Resonanzkreis – insbesondere der HF-Übertrager und die verwendeten Powermodule – sind sorgfältig aufeinander abgestimmt und ermöglichen eine hohe Effizienz der Gesamtschaltung. Der Aufbau unterstützt die Kommunikation gemäß dem CCS-Standard, wodurch er sich für den Einsatz in modernen Wandladestationen qualifiziert. Das Ziel besteht in einer wirtschaftlichen Lösung für 48-V-Ladeanwendungen in LEVs, die sowohl funktional als auch kostenoptimiert ist.

**48-V-Traktionsinverter (10 kW Dauer-/ 15 kW Spitzenleistung):** Der universelle Traktionsumrichter (Bild 4 und 5) ist für Dauerströme bis 350 A (bzw. 600 A für 60 s) ausgelegt. Dank CAN-Schnittstelle sowie analogen und digitalen I/Os lässt sich das System flexibel ansteuern. Die gesamte Elektronik befindet sich auf einer kompakten Platine mit State-of-the-Art-MOSFETs und einem Top-Side-Cooling-Konzept. Das heißt, die MOSFETs müssen nicht durch die Platine entwärmt werden, sondern können über ein TIM (Thermal Interface Material) direkt mit einer Wärmesenke, z. B. der Grundplatte, verbunden werden.

So verringert sich der thermische Widerstand zwischen MOSFET-Gehäuse und Grundplatte im Vergleich zur Entwärmung durch die Platine. Dies trägt zur thermischen Performance und der hohen Leistungsdichte des Gesamtsystems bei. Das Single-PCB-Design hält die Komplexität des Gesamtsystems gering. So sind keine fehleranfälligen Steckverbinder von



Bild 1: Micromobility-Fahrzeug der Rutronik Automotive Business Unit. (Bilder: Rutronik)

Platine zu Platine notwendig. Möglich Zielanwendungen sind elektrische Antriebsstränge in leichten Elektrofahrzeugen der Klasse L7e, wie Golf-Carts, LEV-Scooter oder leichte Transportfahrzeuge für den urbanen Raum.

Die beiden Referenzdesigns zeigen nicht nur die technische Machbarkeit der Topologien, sondern dienen auch als Orientierungshilfe bei der Auswahl geeigneter Leistungshalbleiter, Bauteile und Systemarchitekturen. Automotive-Entwicklerinnen und -Entwickler profitieren von vollständigen Stücklisten (BOM), Schaltplänen und thermomechanischen Konzepten, die über den technischen Vertrieb von Rutronik verfügbar sind. Dadurch wird die Entwicklungszeit verkürzt und die Time-to-Market für neue Mobilitätslösungen deutlich beschleunigt.



## Rutronik Automotive

Die Automotive Business Unit (ABU) von Rutronik ist ein auf das Automotive-Segment ausgerichtetes Geschäftsfeld von Rutronik. Sie arbeitet mit speziell ausgewählten Herstellern aus diesem Bereich zusammen. In dieser Position fungiert die ABU als Berater und Schnittstelle zu Herstellern elektronischer Komponenten, Tier-1-Unternehmen und OEMs.

Das übergeordnete Ziel des ABU-Teams ist es, die zukünftigen Herausforderungen der Kunden zu verstehen und ihnen passende Informationen, Bauteilvorschläge bzw. Referenz-Topologien zukommen zu lassen.

Ein wichtiger Aspekt für die Präsentation der Referenz-Designs waren in den vergangenen Monaten Fachmesseauftritte und Vortrags- sowie Paneldiskussionsbeiträge der ABU auf Fachmessen und -kongressen wie der Future Mobility Asia, ASEAN Automotive Supply Chain in Thailand und electronica India in Bangalore. Des Weiteren beraten die Expertinnen und Experten von Rutronik über die Funktionsweise und Leistungsmerkmale der 48-Volt-Referenz-Designs und dabei speziell mit einem Fokus auf für diese Technologie vielversprechende Regionen wie Asien, Indien und EMEA.



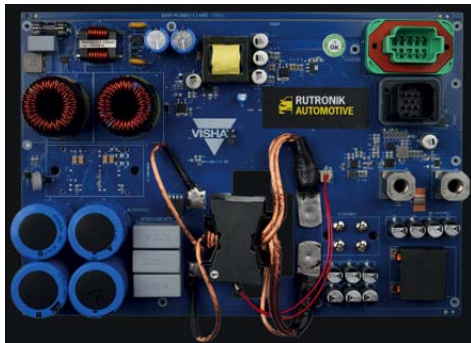


Bild 2: Prototyp des unidirektionalen On-Board-Chargers.

### Kooperation mit Perspektive

Die Transformation hin zur Elektromobilität stellt Hersteller, Zulieferer und Systempartner weltweit vor neue Herausforderungen – technologisch, geopolitisch und wirtschaftlich. Gerade in Zeiten globaler Unsicherheit sind strategische Allianzen, marktgerechte Produktsätze und verlässliche Lieferketten entscheidend, um zukunftsfähige Lösungen im Bereich der Mikromobilität zu entwickeln.

Vor diesem Hintergrund nimmt die enge Partnerschaft zwischen Rutronik und Vishay eine besondere Rolle ein. Seit der Gründung der Automotive Business Unit im Jahr 2014 ist Vishay als Fokuslieferant eng in Entwicklungen eingebunden – insbesondere im Bereich 48-V-Systemlösungen für Light Electric Vehicles. Ein Beispiel dieser erfolgreichen Kooperation ist die gemeinsame Entwicklung der hier vorgestellten effizienzoptimierten Referenzdesigns für Lade- und Antriebseinheiten im 48-V-Bereich. Diese Lösungen ermöglichen es, den Anforderungen urbaner Mobilität mit technisch ausgereiften, praxisnahen und wirtschaftlich realisierbaren Systemen zu begegnen.

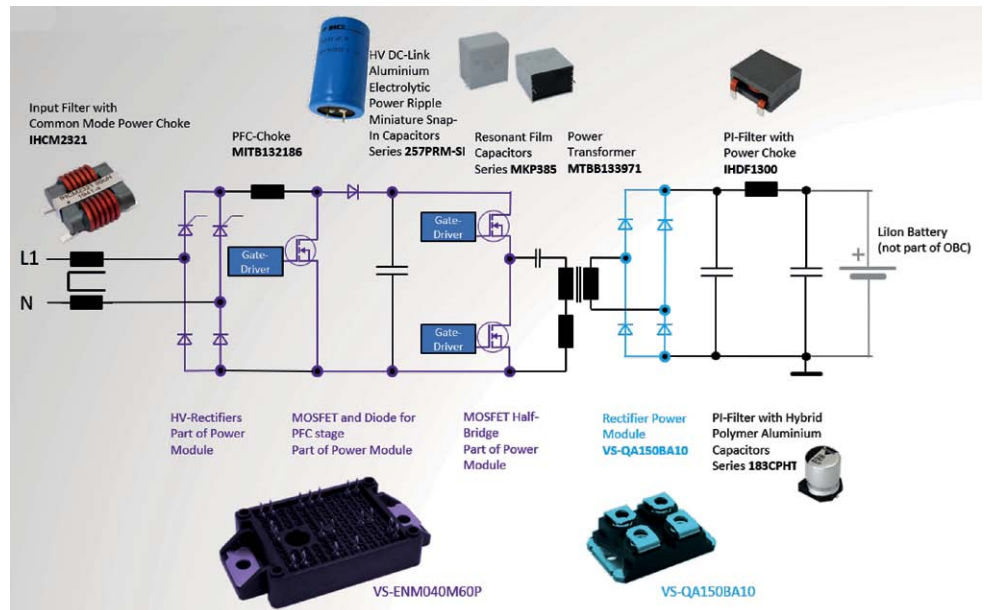


Bild 3: Für das Referenzdesign des On-Board-Ladegeräts wurden Schlüsselkomponenten von Vishay verwendet.

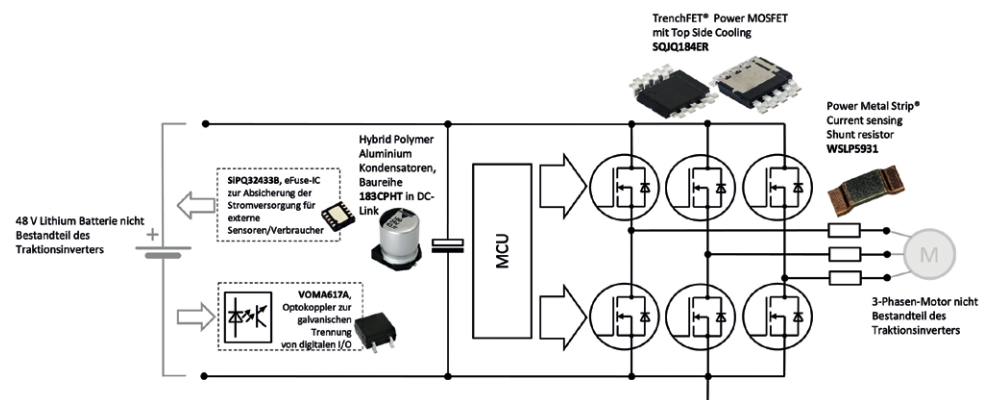


Bild 4: Referenzdesign des Traktionsinverters.

Referenz  
[1] [https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/LEV\\_e-mobil\\_BW\\_Leichtfahrzeug\\_Studie.pdf](https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/LEV_e-mobil_BW_Leichtfahrzeug_Studie.pdf)

Weitere Informationen zu Mikromobilität mit 48 V und den dazugehörigen Referenzdesigns der Rutronik ABU finden Sie hier.

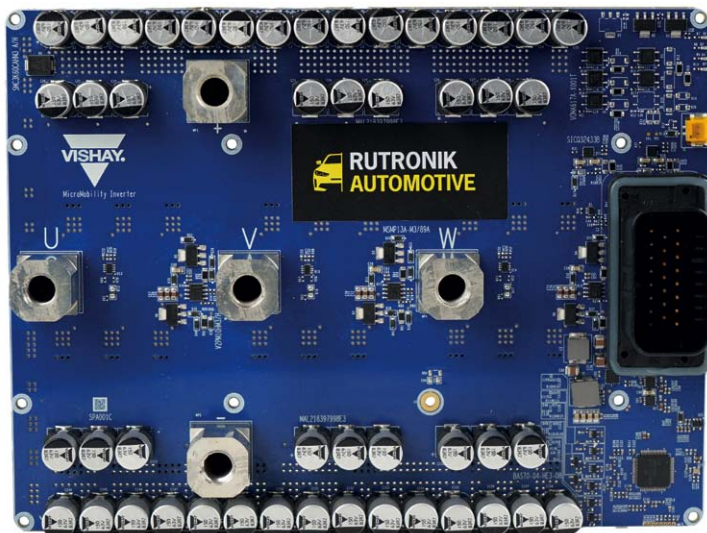
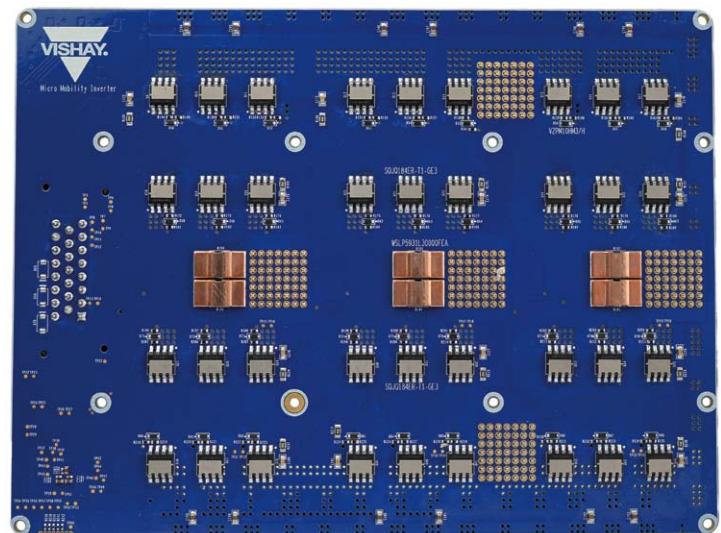


Bild 5: Prototyp des Traktionsinverters.



## Impressum

### Redaktion:

Markus Krieg – Rutronik, Chief Marketing Officer (CMO) (Redaktionsleitung, verantwortlich für den Inhalt), Tel. +49 7231 801 0

Dr. Anna-Lena Gutberlet – freie Fachjournalistin

Dr. Alena Kirchenbauer – TRUH GmbH, Team Leader Communications

Anzeigenleitung: Alexander Marder – TRUH GmbH, Content Marketing Manager

Schlussredaktion: Irina Hübner, Markt&Technik

Layout und Design: Wolfgang Bachmaier, Markt&Technik; Alexander Zach, Markt&Technik

Druck: Vogel Druck und Medienservice GmbH, Leibnizstr 5, 97204 Höchberg

Herausgeber und Anschrift: Rutronik Elektronische Bauelemente GmbH, Industriestr. 2, 75228 Ispringen, Tel. +49 7231 801 0, Fax +49 7231 82282

Urheberrecht: Alle in „Rutroniker, powered by Markt&Technik“ erschienenen Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch an Übersetzungen, vorbehalten. Reproduktionen, gleich welcher Art, ob Fotokopie, Mikrofilm oder Erfassung in Datenverarbeitungsanlagen, nur mit schriftlicher Genehmigung des Verlages und des Herausgebers.

Aus der Veröffentlichung kann nicht geschlossen werden, dass die beschriebenen Lösungen oder verwendeten Bezeichnungen frei von gewerblichen Schutzrechten sind.

Haftung: Für den Fall, dass in „Rutroniker, powered by Markt&Technik“ unzutreffende Informationen enthalten sein sollten, kommt eine Haftung nur bei grober Fahrlässigkeit des Verlages oder seiner Mitarbeiter und des Herausgebers in Betracht.

41.606 Gesamtauflage (davon 26.190 e-Paper) + 5.000 engl.

### Besonderer Dank:

Alexander Marder – TRUH GmbH, Content Marketing Manager

Irina Hübner, Markt&Technik

Christian Stadler, Markt&Technik

## Inserentenverzeichnis

Amphenol IPG .....	3, 83
ams OSRAM AG .....	15
Eaton Electrical Products Ltd. ....	63
JAE Europe Ltd. ....	44
Kioxia Europe GmbH .....	7
Kyocera AVX .....	51
Molex Interconnect GmbH .....	37
Nordic Semiconductor ASA .....	2, 21, 77
Omron Electronic Components Europe B.V. ....	84
Panasonic Industry Europe GmbH .....	61
RAMXEED Ltd. ....	53
RECOM Power GmbH .....	33
TDK-Micronas GmbH .....	19
Vishay Europe Sales GmbH .....	57
Yageo Corporation .....	25

**INDUSTRIAL@AMPHENOL**  
TRUSTED GLOBALLY

## DIGITALISIERUNGS- PROJEKT MiC 4.0

Die passende Schnittstelle  
liefert Amphenol



industrial@amphenol.de | www.amphenol-industrial.de





# OMRON

## MORE CAPABILITY LESS SPACE MAXIMUM SAFETY

In the world of renewable energy, electric vehicles, and industrial automation, safe switching solutions are crucial. The Omron G9K series offers high-performance relays for AC and DC applications – with minimal resistance, long life, and innovative contact technology.



**G9KA –**

Ultra-low resistance  
AC power relay.



**G9KB –**

High-voltage, bidirectional  
DC power relay.



**G9KC –**

Compact four-pole AC relay with  
safety feedback (Aux contact).



Scan the QR code  
for more information

[www.components.omron.com/eu](http://www.components.omron.com/eu)