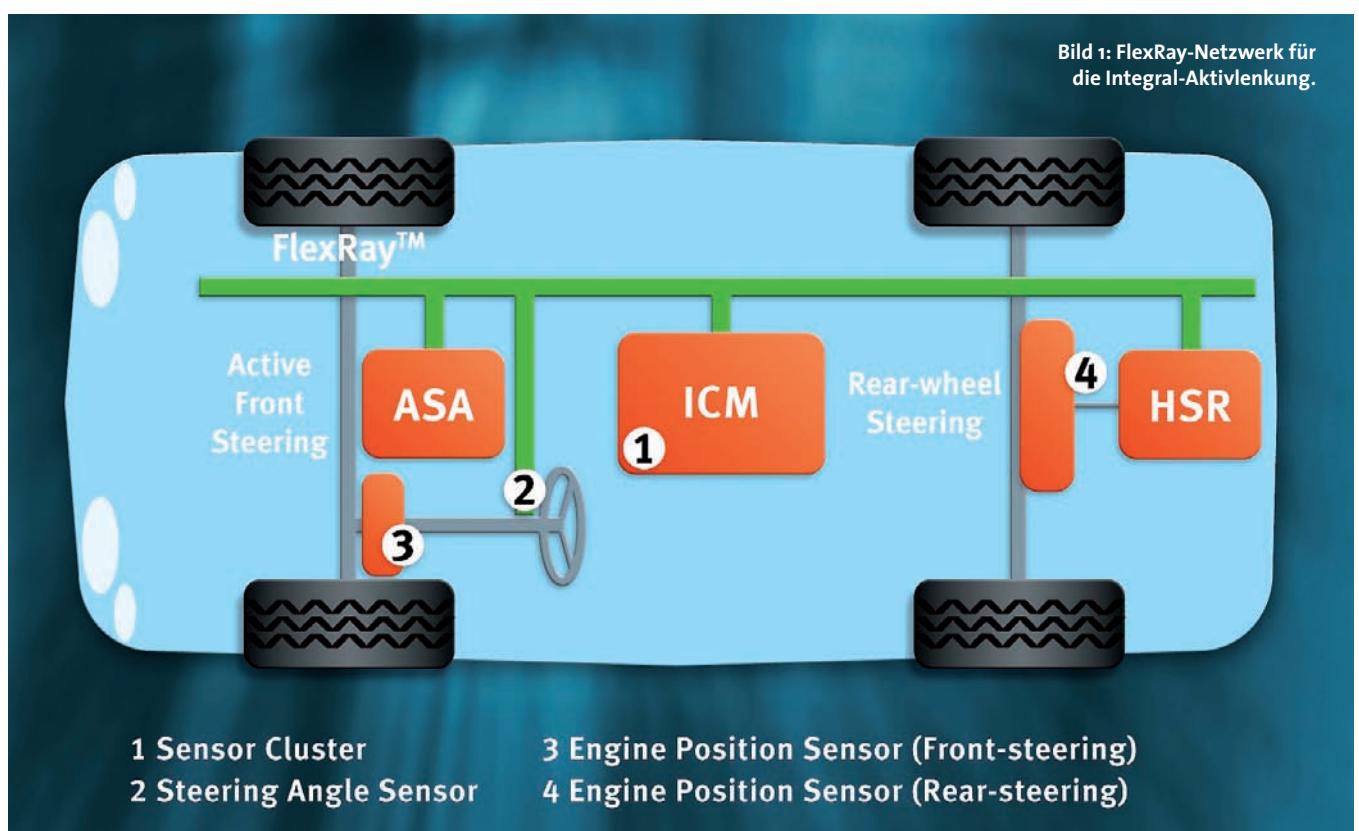


# FlexRay-Mikrocontroller denkt beim Lenken mit

In enger Zusammenarbeit mit BMW und diversen Zulieferern hat NEC Electronics seinen ersten **MIKROCONTROLLER MIT EMBEDDED-FLEXRAY**-Schnittstelle entwickelt. AUTOMOBIL-ELEKTRONIK erläutert die Systemumgebung der ersten Applikation sowie einige Meilensteine auf dem Weg zu dieser V850E/PHO3 genannten ECU.



**B**ereits im Jahr 2004 begann NEC Electronics mit der Entwicklung des V850E/PHO3, einem Hochleistungs-Mikrocontroller mit embedded FlexRay für Chassisapplikationen. Entsprechend war dann auch PHO3 die weltweit erste MCU mit embedded FlexRay, die den FlexRay Konformitätstest durch den TÜV Nord erfolgreich bestanden hat.

Optimales Lenkverhalten unter allen Fahrbedingungen setzt eine perfekte Koordination aller daran beteiligten Systeme voraus. Die große Herausforderung hierbei ist, dass alle Komponenten des Fahrwerks miteinander mechanisch gekoppelt sind und entsprechend den Gesetzen der Physik das Fahrverhalten beeinflussen. Diese dynamischen Vorgänge laufen in Echtzeit ab und kümmern sich

nicht um Engpässe wie Busprotokolle mit begrenzter Bandbreite, hohe Busbelastung und unvorhersehbare Latenzzeiten.

Ein solches dynamisches System über ein Netzwerk zu steuern, erfordert daher ein auf Hochleistung getrimmtes Kommunikationsprotokoll. Unbedingt erforderlich ist dabei, dass es mit Echtzeitanforderungen Schritt halten kann und nicht vor der Flut an Sensordaten und Stellgliedanweisungen in die Knie geht. FlexRay erfüllt diese Anforderungen und hat damit den Weg für ein integriertes Chassis-Management-System zur effizienten Steuerung der verteilten und sich gegenseitig beeinflussenden Chassisfunktionen geebnet.

Ein solches integrierte Chassis Management System (ICM) findet sich auch

in der neuen BMW 7er Reihe. Ein Highlight dieser neuen Fahrzeugreihe ist ihr innovatives Fahrwerk, das Komfort, Fahrspaß und Sicherheit in sich vereinigt. Eine wesentliche Komponente dabei ist die Integral-Aktivlenkung. Diese besteht aus drei Hauptsystemen: der elektrohydraulischen Servolenkung zur Erleichterung der Lenkarbeit, der Aktivlenkung mit direkter Beeinflussung des Lenkwinkels sowie der (optionalen) Hinterradlenkung.

## Aktivlenkung

Für die Aktivlenkung wird ein spezielles Planetengetriebe in den Lenkstrang zwischen Lenkrad und nachfolgender Mechanik eingesetzt. Abhängig von der Fahrsituation unternimmt die Aktivlen-



# all-electronics.de

ENTWICKLUNG. FERTIGUNG. AUTOMATISIERUNG



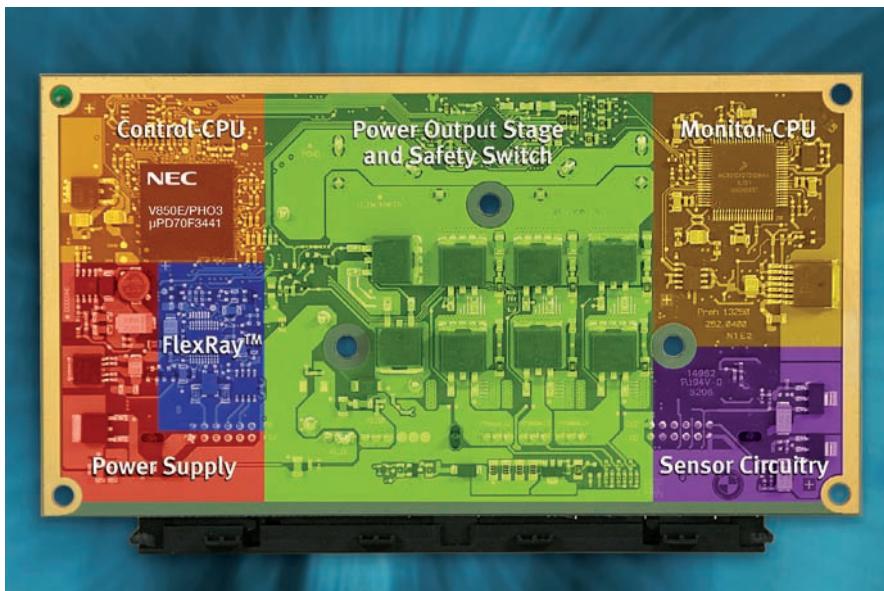
Entdecken Sie weitere interessante  
Artikel und News zum Thema auf  
all-electronics.de!

Hier klicken & informieren!



kung einen Lenkeingriff, indem sie den effektiven Lenkwinkel während eines Lenkmanövers ändert. Bei langsamer innerstädtischer Fahrweise (etwa beim Einparken) vergrößert die Aktivlenkung den Lenkeinschlag – engste Manöver werden ohne Umgreifen am Lenker mühe los beherrscht. Bei höheren Geschwindigkeiten wird das Lenkverhalten indirekter, so dass keine Gefahr besteht, aufgrund einer abrupten Lenkradbewegung die Kontrolle über den Wagen zu verlieren.

zise Regelung der verwendeten bürstenlosen Gleichstrommotoren voraus. Diese Aufgabe lässt sich sehr effizient mit einem Mikrocontroller realisieren. Dazu ermittelt dieser Baustein regelmäßig Informationen über Motorströme und position und berechnet daraus die zum Antrieb des Motors erforderlichen PWM-Codes. Typische Komponenten einer derartigen ECU sind der Haupt-Microcontroller (hier der V850E/PHO3 hier für Aktivlenkung und Hinterradlenkung), der für Motorsteuerung, Sensorsauswertung,



**Bild 2: ECU für die Integral-Aktivlenkung.** Grafik: NEC

## Hinterradlenkung

Über einen Spindelantrieb kann die Hinterradlenkung den Lenkwinkel der Räder bis zu einem maximalen Winkel von 3° verstetzen. Bei Fahrgeschwindigkeiten unter 60 km/h werden die Hinterräder entgegen dem Lenkwinkel der Vorderräder eingeschlagen und erhöhen so die Agilität des Autos. Bei höheren Geschwindigkeiten lenken die Hinterräder in dieselbe Richtung wie die Vorderräder und bewirken so einen besseren Ausgleich der Seitenkräfte auf die Vorder- und Hinterräder. Das verbessert die Stabilität des Fahrzeugs, etwa bei einem Ausweichmanöver auf der Autobahn.

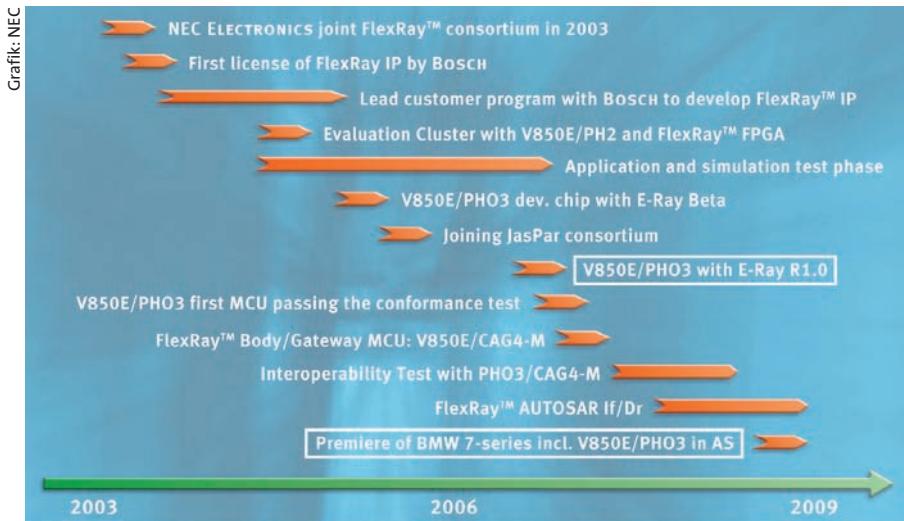
## Elektronische Steuerung der Mechanik

Sowohl die elektronische Steuereinheit (ECU) für die Aktivlenkung als auch die Hinterradlenkung beeinflussen direkt das Lenkverhalten des Fahrzeugs. Dies erfordert eine hochentwickelte Kontrolle von Drehmoment und Rotation der Stellglied-Motoren und setzt damit eine prä-

FlexRay-Kommunikation und Diagnose zuständig ist sowie der Überwachungs-Mikrocontroller zur Anwendungsüberwachung. Außerdem kommen die Leistungs-MOSFETs zur Umsetzung der logischen PWM-Ausgangssignale in hohe Ströme zur Ansteuerung des leistungstarken Gleichstrommotors hinzu sowie die Sensorelektronik zum Auslesen der Rotorposition des Motors beziehungsweise zur Messung der einzelnen Phasenströme, die FlexRay-Busschnittstelle und die Stromversorgungseinheiten.

Dies alles muss in einer kompakten ECU untergebracht werden, die rauen Umgebungsbedingungen ausgesetzt ist. Weitere Herausforderungen sind der beschränkte Einbauraum, hohe Umgebungstemperaturen sowie strenge EMV-Anforderungen.

Dazu kommt eine im Vergleich zu früheren Systemen weitaus komplexere Software, die mehr Speicher und mehr Rechenleistung als bisher benötigt – beispielsweise für den FlexRay-Protokollstack.



**Bild 3:** Der NEC V850E/PHO3 war weltweit der erste Mikrocontroller mit Embedded-FlexRay, der die FlexRay Konformitätsprüfung bei TÜV Nord erfolgreich bestanden hat.

## Der Mikrocontroller V850E/PHO3

Mikrocontroller, die alle vorgenannten Anforderungen erfüllen, sind rar. Aus schlaggebend bei der Wahl des V850E/PHO3 für die Projekte Aktivlenkung und Hinterradlenkung war neben den technischen Eignung schließlich das Qualitätsbewusstsein von NEC Electronics sowie die langjährige Erfahrung des Unternehmens im Chassisbereich mit vielen Millionen ausgelieferter Mikrocontroller für elektrische Servolenkungen.

Der V850E/PHO3 bietet in seinem 357poligen PBGA neben ausreichend Rechenleistung (V850E CPU @ 128 MHz), 60 KByte RAM und 1 MByte Flash-Speicher auch diverse Schnittstellen (FlexRay, 2 x CAN, 2 x CSI), sowie zwei Spezial-Timer zur Ansteuerung bürstenloser Gleichstrommotoren und zwei A/D-Wandler mit jeweils 10 bit Auflösung und 2 µs Wandelzeit.

Die MCU unterstützt den erweiterten Automotive-Temperaturbereich bis 125 °C und erfüllt die EMV-Anforderungen. Um heute praxisübliche modellbasierte Algorithmusentwicklungen zu unterstützen, wurde eine Gleitkommaeinheit (FPU) integriert.

Viele Chassis-Anwendungen weisen vergleichbare Anforderungen in Bezug auf die bereits zuvor genannten Peripheriekonfiguration auf, variieren aber hinsichtlich ihrer Rechenleistung und ihres Speicherbedarfs. Um das gesamte Anforderungsspektrum der Applikation abzudecken, hat NEC Electronics mit der P-Serie eine eigene Produktlinie speziell für den unteren, mittleren und oberen Leistungsbereich im Chassis-Segment geschaffen.

## FlexRay

Als Schlüsselkomponente sorgt das FlexRay-Netzwerk für den schnellen Datenaustausch zwischen den einzelnen Systemkomponenten. Nur so ist es möglich, dass alle Stellglieder koordiniert arbeiten und auf Lenkmanöver sowie auf Fahrsituationen optimal und verzögerungsfrei reagieren.

Das parametergesteuerte FlexRay-Protokoll bietet ein hohes Maß an Flexibilität zur Anpassung an unterschiedliche Designspezifikationen. Ein wesentlicher Parameter ist die Zykluszeit.

Da die FlexRay-Konfiguration für alle Modelle der BMW 7er Reihe unverändert gelten sollte, erwies es sich im Rahmen der Entwicklung als schwierige Aufgabe, den optimalen Ausgleich zwischen Netzwerkdurchsatz und Netzwerklast zu ermitteln.

Anfänglich schien es vorteilhaft, das System für eine hohe Nachrichtenfrequenz auszulegen. Aber dies würde bedeuten, dass selten gesendete Nachrichten unnötig Netzwerkressourcen belegen.

Schließlich einigte man sich auf eine Zykluszeit von 5 ms innerhalb der statischen und dynamischen Segmente eines Kanals. Obwohl sich aus Kostengründen ein nur aus passiven Knoten bestehendes Netzwerk anbietet, fiel die Entscheidung schließlich auf eine Kombination aus passiven Knoten und Sternkoppler. Dies ist sinnvoll, weil die Signalqualität abnimmt, wenn zu viele FlexRay-Knoten mit einem Kabel verbunden sind und dadurch die erreichbare Bandbreite sowie die Qualität der Signalübertragung beeinträchtigt würde.

## Von der FlexRay-Spec zum FlexRay-Controller

Bei NEC Electronics begann das Zeitalter der zeitgesteuerten Kommunikation mit dem Time-Triggered-CAN-Protokoll (TTCAN). Mit dem Erscheinen des neuen FlexRay-Protokolls hat das Unternehmen rasch die Notwendigkeit einer engen Kooperation mit dem FlexRay-Konsortium erkannt, um die Markteinführung dieses neuen zeitgesteuerten Protokolls entsprechend zu begleiten und unterstützen zu können. Als die FlexRay-Spezifikation weiter vorangeschritten war und der Markt sich für das neue Protokoll im Automotive-Bereich aufnahmefbereit zeigte, entschied sich NEC Electronics, seine Chassisproduktlinie um FlexRay zu erweitern.

NEC Electronics war das erste Unternehmen, das eine Lizenz von Bosch zur Implementierung der E-Ray-IP in einem Mikrocontroller (V850E/PHO3) erwarb.

Es ist jedoch ein langer Weg vom Erwerb einer Lizenz bis zum Start der Massenproduktion. Die erste Implementierung eines neuen Protokolls und des dazugehörigen Makros birgt ein gewisses Risiko, das es zu minimieren gilt. Die Entwicklungskosten eines kompletten Fahrzeugs gehen in die Millionen und Verzögerungen im Serienlauf müssen unter allen Umständen vermieden werden. NEC nahm dennoch die Herausforderung an, dass der V850E/PHO3 und seine FlexRay-Schnittstelle im ersten Anlauf funktionieren mussten.

Um dies zu ermöglichen, stellte NEC Electronics einen detaillierten Verifizierungs- und Evaluierungsplan auf, der weit über die typischen Implementierungsschritte bei einer IP-Lizenznahme hinausging:

- Evaluierung der Betaversion der E-Ray-IP auf FPGA-Basis.
- Rückmeldung erkannter Problembereiche in die Entwicklung der E-Ray-IP
- Einsatz eines eigenen Entwicklungschips mit der Betaversion der E-Ray-IP, um realistische Netzwerktests zu ermöglichen.
- Konformitätsprüfung der Produktionsmuster.

Die erfolgreiche Übertragung einer ersten FlexRay-Nachricht auf einer FPGA-basierten Evaluierungsplattform in einem Labornetzwerk mit drei Knoten war für die Entwicklungsteams der erste Erfolg auf dem Weg zum Ziel. In der nächsten Stufe folgten ausgiebige Tests mit hunderten von Testfällen, wobei viele Problembereiche erkannt und an Bosch zur Verbesserung der E-Ray-IP zurückgemeldet wurden.

Gleichzeitig wurde an einer optimalen Lösung für die Schnittstelle zum Mikrocontroller mit hohem Datendurchsatz und minimalen Latenzzeiten gearbeitet. Eine weitere Hürde war die Entwicklung digitaler Ein- und Ausgangsports mit asymmetrischen Eigenschaften, um den strengen Anforderungen der Protokollspezifikation hinsichtlich Verzögerungszeiten zu gerecht zu werden. Eine geringe Leistungsaufnahme und die Implementierung einer PLL-Schaltung mit niedrigem Jitter waren weitere Herausforderungen, die sich im Verlauf des Mikrocontrollerentwurfs ergaben.

Schließlich aber zahlten sich der zur Verifizierung getriebene Aufwand und die mehrstufige Vorgehensweise aus: der Entwicklungschip mit der Betaversion der E-Ray-IP funktionierte auf Anhieb ohne wesentliche Probleme und ermöglichte es BMW und Tool-Anbietern, mit der Entwicklung von Software sowie der Durchführung von Netzwerktests zu beginnen.

Als schließlich der V850E/PH03 in der Produktionsversion in Mustermengen zur Verfügung stand, konnten die ECUs schnell und mit geringem Aufwand auf diese finale Version aufgerüstet werden. Der letzte wichtige Meilenstein war dann die Verifizierung der FlexRay-Implementierung von NEC Electronics nach der offiziellen FlexRay-Protokollspezifikation. Nachdem alle diese Herausforderungen erfolgreich gemeistert wurden, konnte der V850E/PH03 schließlich in der Produktion bei BMW an den Start gehen.

## Die Zukunft

Nach der erfolgreichen Einführung von FlexRay in ein erstes Serienprodukt werden andere OEMs folgen, denn es wird erwartet, dass die Automobilindustrie in

den nächsten Jahren ihre Produkte verstärkt mit FlexRay-Funktionalität ausstatten wird. FlexRay wird sich damit als Hochleistungs-Kommunikationsprotokoll und als Standardschnittstelle im Automobil-Massenmarkt etablieren. Um FlexRay auch für breitere Anwendungsbereiche zugänglich zu machen, muss die Topologie des FlexRay-Netzwerks stark vereinfacht werden. Auch wird der Ruf nach flexibleren Konzepten laut, beispielsweise in Bezug auf die Synchronisierung. Dies wird bereits von der geplanten FlexRay Protokollspezifikation 3.0 aufgegriffen.

Für zukünftige Chassis-ECUs liegen die Herausforderungen in anderen Feldern wie beispielsweise der Kostenreduzierung. Ein hohes Optimierungspotenzial liegt noch in der Vereinfachung der heute üblichen funktionalen Sicherheitskonzepte. Ein Weg hierzu ist der Einsatz von Mikrocontrollern mit verstärkt hardwareseitiger Unterstützung der funktionalen Sicherheitsanforderungen. So lassen sich Komponenten wie zusätzliche Überwachungs-Mikrocontroller oder -ASICs entweder stark vereinfachen oder bisweilen auch komplett einsparen.

Auch der Aufwand beim Software-Engineering kann drastisch reduziert werden. Ziel einer hardwareseitigen Unterstützung der Sicherheitsanforderungen ist es, dass das Software-Entwicklungsteam sich auf die eigentliche Applikationssoftware konzentrieren kann und die gesamte Diagnostik der Hardware überlassen wird. Derzeit muss sich noch Software um Funktionen wie Speichertests, CPU-Selbsttests und die Plausibilitätsprüfung sicherheitsrelevanter Rechnergebnisse kümmern.

Weiterhin lässt sich der Aufwand zur Validierung des funktionalen Sicherheitskonzeptes und für den formalen Nachweis zur Erlangung einer Sicherheitsstufe (SIL) reduzieren. Ein generisches funktionales Sicherheitskonzept für den Mikrocontroller erlaubt es, im Rahmen der aufwändigen projektspezifischen Sicherheitsnachweise, für den Teil, der auf den Mikrocontroller entfällt, auf dessen generische Sicherheitsdokumentation zurückzugreifen.

## Neue Generation für SIL3

Mit der Serie Px4 hat NEC Electronics eine neue Generation von Chassis-Mikrocontrollerfamilien in der Entwicklung, die diesen Anforderungen gerecht wird.

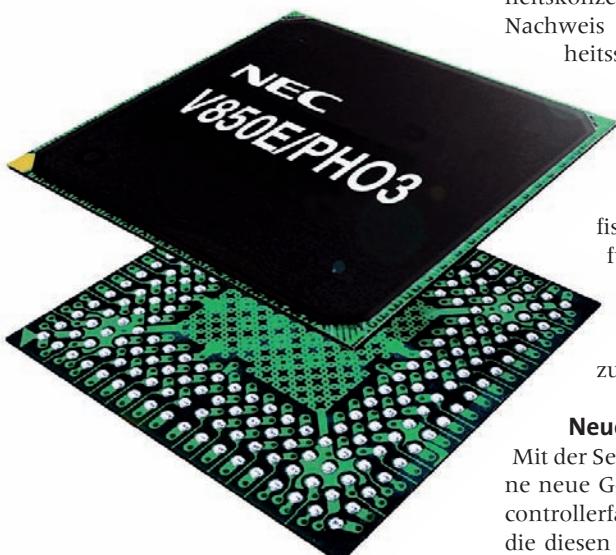
Diese Serie ist für Anwendungen im Automobilbereich optimiert, die einer Einstufung nach IEC 61508 SIL3 unterliegen. Hierbei wird seitens NEC bereits der Nachweis erbracht, dass sicherheitskritische Komponenten des Mikrocontrollers die Anforderungen nach IEC 61508 SIL3 erfüllen. Auf diesen Nachweis kann dann bei der Bewertung des ECU-Gesamtsystems zurückgegriffen werden, sodass die sonst so aufwändigen individuellen Beitrachtungen des Mikrocontrollers im Rahmen der Ausfalleffektanalyse (FMEA) in weiten Teilen entfallen können.

Ein solcher Mikrocontroller, der als eigenständige Komponente bereits nach IEC 61508 SIL3 bewertet wurde, erfüllt die Forderung nach einem hohen Maß an funktionaler Sicherheit bei gleichzeitiger Reduzierung der Gesamtkosten. NEC Electronics ist eine enge Kooperation mit dem TÜV SÜD eingegangen, um die Entwicklung der Px4 Serie von der Konzeptphase bis zur endgültigen Implementierung zu überwachen und zu bewerten. Der V850E2/Px4 wird ein integriertes Sicherheitskonzept aufweisen, das auf zwei CPU-Subsystemen basiert, die sich gleichzeitig gegenseitig überprüfen. Zusätzlich fangen weitere Diagnosefunktionen in der Hardware derartige Fehler ab, die heute noch per Software oder aber durch externe Hardware detektiert werden müssen.

In punkto Verarbeitungsleistung wird der V850E2/Px4 die bestehende P-Serie erweitern und mit dem superskalaren CPU-Kern E2 mehr Rechenleistung bei gleicher Frequenz sowie verbesserte und an zukünftige Chassisapplikationen angepasste Peripheriefunktionen anbieten. So wird die mit bis zu 160 MHz getaktete MCU unter anderem zusätzlich über eine Checker-CPU sowie diverse Schutzfunktionen, 5 x CSI und 3 x LIN-UART und Onchip-Debugging/Calibration/Bypass verfügen. Auch wenn der V850E2/Px4 für einen modernen 90-nm-Prozess entwickelt wird, setzt das neue Design auf dem felderprobten Vorgänger und FlexRay-Pionier V850E/PH03 auf. ↗

*Dipl.-Ing. Sascha Galati ist bei NEC in der Automotive Business Unit als technischer Produktverantwortlicher für Chassis-Mikrocontroller-Produkte tätig.*

*Dr. Costas Rente arbeitet bei NEC im Projektmanagement für Fahrwerks-Produkte.*



**infoDIRECT** [www.all-electronics.de](http://www.all-electronics.de)

Link zu NEC:

311AEL0309