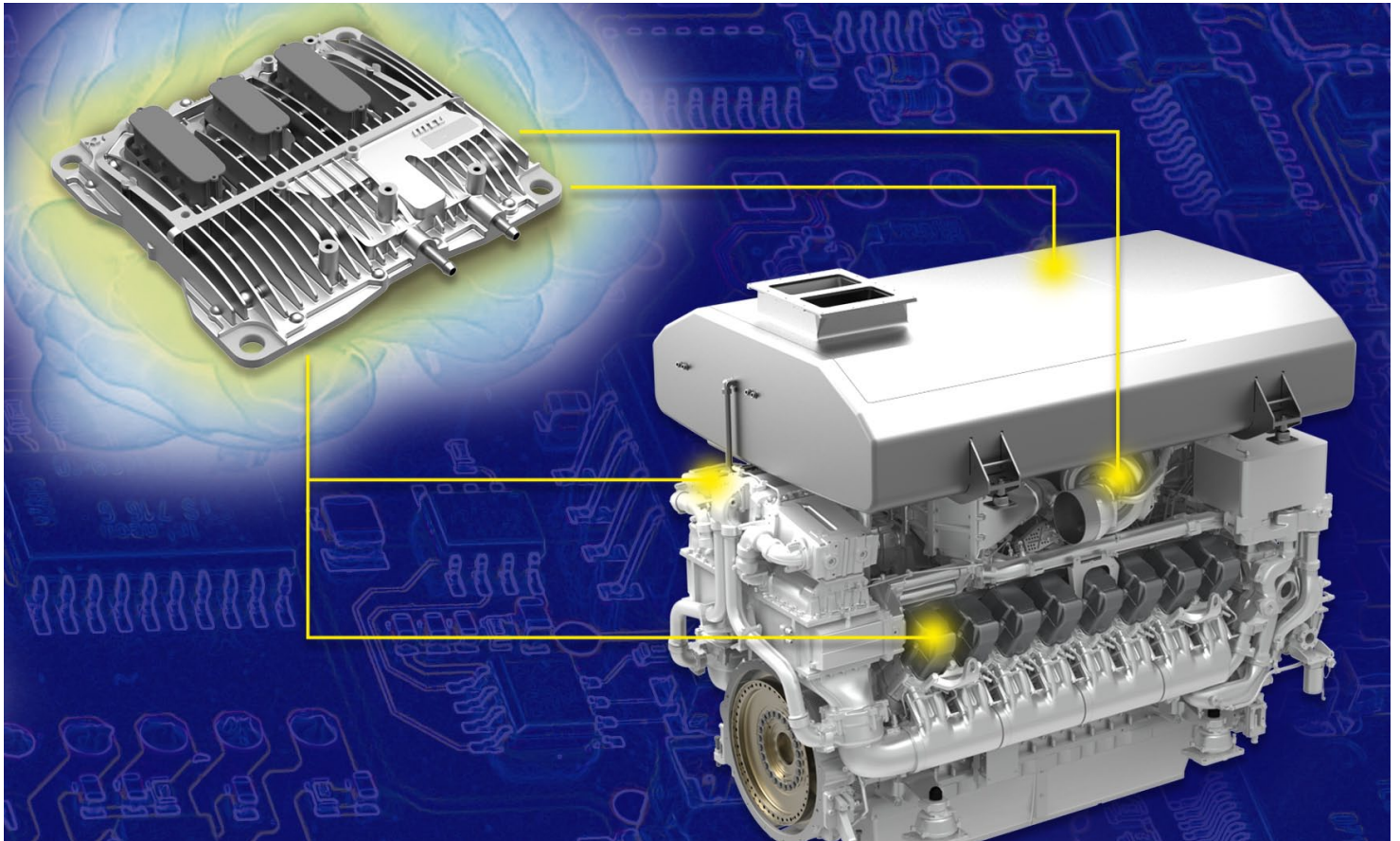


Elektronisches Motormanagement: Intelligente Regelung und Steuerung des Motors



Autor:

Dr. Jens Kohler
Leiter Elektronikentwicklung

Das Gehirn eines modernen Motors ist das elektronische Steuergerät. Es steuert, regelt und überwacht alle wichtigen Funktionen des Motors und der Abgasnachbehandlung. Außerdem bildet das Steuergerät die Schnittstelle zum Automationssystem des Fahrzeugs. Nur durch das optimale Zusammenspiel des gesamten Antriebs können niedrige Schadstoffemissionen, geringer Kraftstoffverbrauch und hohe Leistung über die gesamte Lebensdauer erreicht werden. MTU entwickelt und fertigt diese Schlüsseltechnologie im eigenen Haus.

Steuerzentrale des Motors

Weltweit legen Gesetzgeber immer strengere Abgasnormen für Dieselmotoren fest. Um die Richtlinien zu erfüllen, müssen die Emissionen der Antriebe weiter reduziert werden. Als Gehirn des Motors kontrolliert das Motormanagement-

system (Abb. 1) wichtige Systeme wie Einspritzung, Aufladung oder Abgasrückführung (AGR), die den Verbrauch, die Emissionen und die Leistung des Motors beeinflussen. Das macht die Elektronik zu einer der MTU-Schlüsseltechnologien bei der Entwicklung von Antrieben für

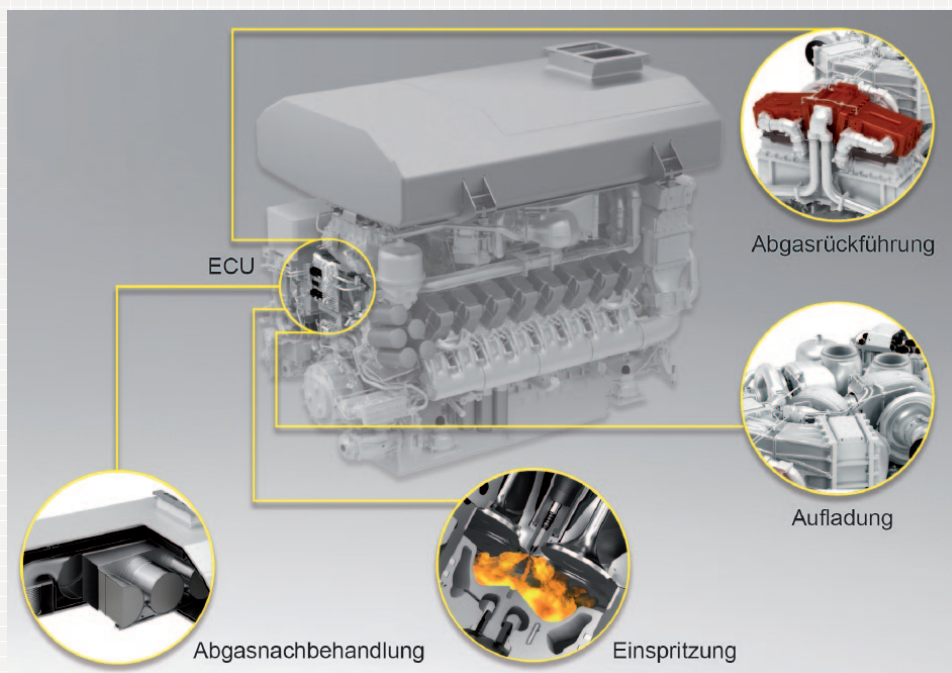


Abb. 1: **Bahnmotor 16V 4000 RX4 mit ECU als „Nervensystem“**

Als Gehirn des Motors ermöglicht das Motor-managementsystem ECU das präzise Zusammenspiel wichtiger Motorsysteme, darunter der Schlüsseltechnologien Einspritzung, Aufladung, Abgasrückführung oder Dieselpartikelfilter, die den Verbrauch, die Emissionen und die Leistung des Motors beeinflussen.

anspruchsvolle Emissionsnormen. Die Engine Control Unit (ECU) von MTU regelt die Motorfunktionen sehr präzise, so dass die Bildung von Schadstoffen durch die motorinterne Anpassung der Verbrennung stark verringert wird. Für besonders strikte Abgasrichtlinien kombiniert MTU diese Maßnahmen mit Abgasnachbehandlungssystemen, die zusätzlich Emissionen aus dem Abgas entfernen, wie dem SCR-System (engl.: Selective Catalytic Reduction, kurz: SCR) oder dem Dieselpartikelfilter (DPF).

Elektronikentwicklung und -fertigung bei MTU

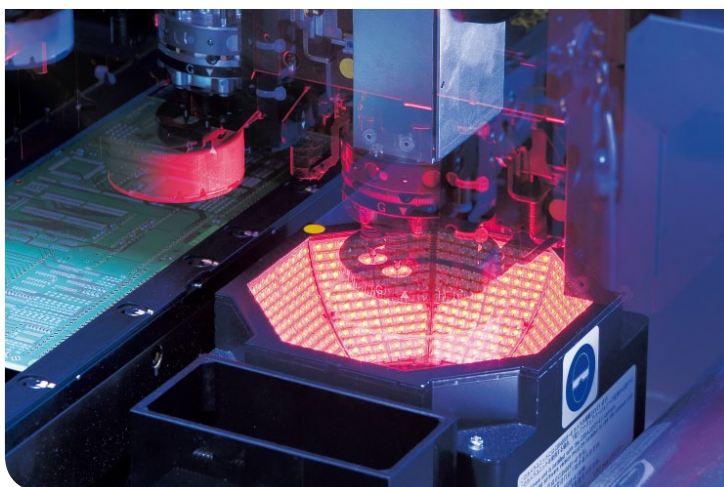
Rund 300 Mitarbeiter in Entwicklung, Fertigung und Projektierung erarbeiten bei MTU maßgeschneiderte Elektroniklösungen für die Motoren und deren Automation. Dabei entwickelt MTU die Soft- und Hardware für die Motoren im eigenen Haus und fertigt auch selbst. Auf diese Weise kann MTU bei elektronischen Bauteilen eine langfristige Produktlebenszeit von bis zu 30 Jahren sicherstellen. Eine besondere Heraus-

forderung ist dabei die Produktionslaufzeit von Zukaufteilen wie Mikroprozessoren. Sie ist in der Regel erheblich kürzer als der Fertigungszyklus der Motorregler. Daher wählt MTU schon bei der Konzeption einer ECU ausschließlich Prozessorfamilien aus, die noch über einen langen Zeitraum verfügbar sein werden. Um die langfristige Versorgung sicherzustellen, baut MTU bei Bedarf zudem einen zweiten Zulieferer für die elektronischen Komponenten auf. Falls Bauteile für Regelungen älterer Antriebe nicht mehr lieferbar sind, besteht die Möglichkeit, eine ECU der aktuellen Generation an den Motor anzupassen. Allerdings muss die Software des Motormanagements in diesem Fall neu auf Antrieb und Anwendung abgestimmt werden.

Systembaukasten von MTU

Die Motorregler von MTU sind als Baukastensystem entwickelt. Auf Basis der bestehenden Soft- und Hardware lassen sich so neue Funktionen schnell und flexibel integrieren. Auch für die Wartung der Antriebe bietet der Baukasten Vorteile,

da die elektronische Motordiagnose bei allen Reglergenerationen von MTU schnell und effizient mit nur einem Servicetool durchgeführt werden kann. Bei der Entwicklung der Motormanagementsysteme verfolgt MTU generell das Ziel, möglichst wenig Hard- und Softwarevarianten herzustellen. Mit fünf Reglern werden alle aktuellen, bei MTU entwickelten Motorbaureihen abgedeckt – von den Klassikmotoren der Baureihen 396, 538, 956 und 1163 bis hin zu den aktuellen Baureihen 1600, 2000, 4000 und 8000 (Abb. 2). Schon 1982 setzte MTU den ersten elektronischen Motorregler ein, um den Kraftstoffverbrauch der Motoren zu senken und die Leistung zu erhöhen. In den 1990er Jahren kam die MDEC (MTU Diesel Engine Control) auf den Markt. Sie konnte Dieselmotoren sowohl mit Pumpe-Leitung-Düse-Einspritzung als auch mit der seinerzeit neuen Common-Rail-Einspritzung regeln. 2004 folgte die ECU 7 für die Baureihen 2000 und 4000, die als ADEC, kurz für Advanced Diesel Engine Control, bezeichnet wird. Das universelle Regelungsgerät ist für alle Zylinderzahlen, vom 8V- bis zum 20V-Motor, und für



MTU-Elektronik kommt von der Entwicklung bis zur Fertigung aus einer Hand. Die hoch komplexen Elektronikkomponenten werden in der hauseigenen Elektronikfertigung hergestellt. Hierbei werden mehrere Tausend Bauteile pro Steuergerät bestückt.

alle Anwendungen der Antriebe geeignet. Im Jahr 2008 wurde daraus die ECU 8 abgeleitet, ein Spezialregler für die Motoren der Baureihe 1600.

Regler für künftige Emissionsnormen

Um die Ziele neuer, noch strengerer Abgasgesetzgebungen zu erfüllen, ergänzte MTU den Baukasten im Jahr 2011 um die ebenfalls als ADEC bezeichnete ECU 9. Der neue Regler baut auf der bewährten Plattform der ECU 8 auf und nutzt die gleiche Prozessorlinie und Softwarearchitektur. Die Verbesserungen der ECU 9 umfassen insbesondere neue Regelungsfunktionen sowie zusätzliche Sensoren und Aktoren für die Turboaufladung und die Abgasrückführung des Motors. Damit lässt sich die Verbrennung im Motor noch emissionsärmer auslegen. Allerdings erhöhen die zusätzlichen Sensoren und Klappensteller den Kommunikationsbedarf mit dem Motormanagement. Um die immer komplexere Vernetzung der einzelnen Motorsysteme auch künftig sicher zu beherrschen, hat MTU bei der ECU 9 daher eine konzeptionelle Änderung vorgenommen. Anders als bei den vorherigen Systemen sind nun einzelne Sektoren des Regelungsgeräts, wie der Bereich für die Motorfunktion, gekapselt. Zudem wurden die Schnittstellen zur Anwendungsautomation separiert und standardisiert. Hierbei kann der Motor über eine standardisierte J1939-Schnittstelle leicht in den unterschiedlichen Kundenanwendungen integriert werden. Die Entwicklungszeit der ECU 9-Hardware bis zum ersten Feldeinsatz betrug lediglich zehn Monate, in nur zwölf Monaten wurde die Software für die neuen Funktionen entwickelt und in die vorhandene Softwarestruktur der ECU 7 integriert. Durch die sehr kurzen Entwicklungszeiten kann MTU das Motormanagement immer auf dem aktuellen Stand der Technik halten.

Langzeitstabilität der Motorfunktionen

Damit die Motoren von MTU über ihre Lebensdauer so sparsam, sauber und leistungsstark wie im Neuzustand bleiben, setzt MTU beim Motormanagement nach Möglichkeit konsequent geschlossene Regelkreise ein. Dabei gleicht das System die Messwerte der Sensoren mit den Sollwerten für eine optimale Motorfunktion ab. Weichen die Werte durch Störeinflüsse ab, gleicht der Motorregler über Stellglieder kontinuierlich den Istwert auf den Sollwert ab. Die Sensoren überwachen die Rückwirkung der Aktorfunktion auf ihre Mess-

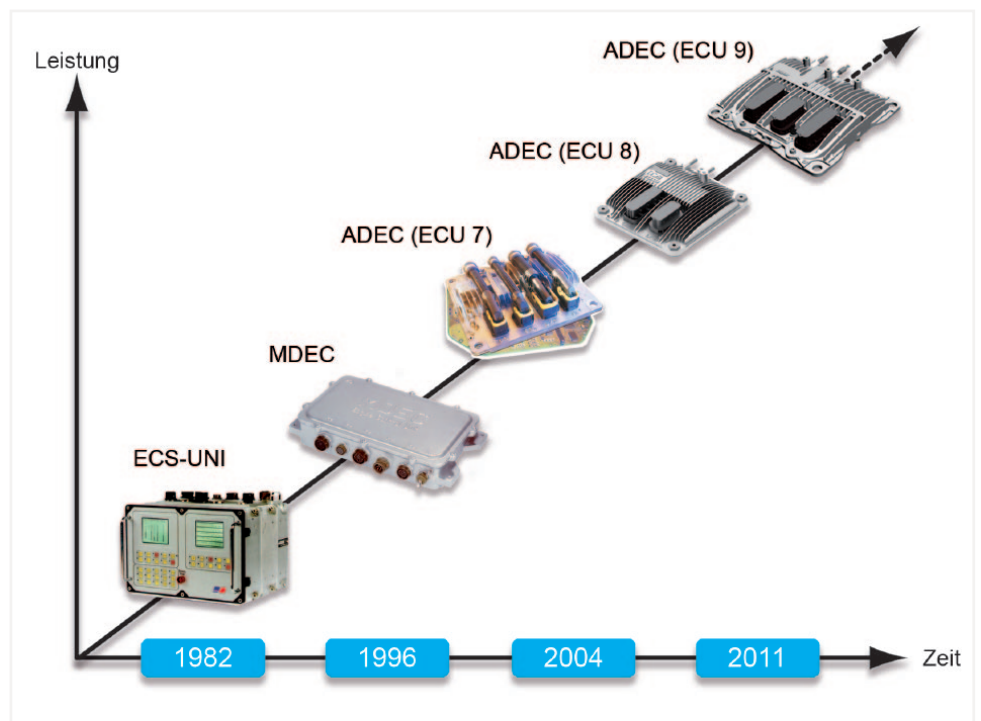


Abb. 2: Übersicht über die Entwicklungsstufen des Motormanagements seit 1992

Schon 1982 setzte MTU den ersten elektronischen Motorregler ein, um den Kraftstoffverbrauch zu senken und die Leistung zu erhöhen. 1996 kam die MDEC (MTU Diesel Engine Control) auf den Markt. 2004 folgte die ECU 7 für die Baureihen 2000 und 4000, die als ADEC (Advanced Diesel Engine Control), bezeichnet wird. 2008 wurde daraus die ECU 8 abgeleitet, 2011 folgte die ebenfalls als ADEC bezeichnete ECU 9.

werte. Das macht die Motoren über ihre Lebenszeit stabil bezüglich Verbrauch, Emissionen und Leistung, da das Motormanagement Veränderungen durch Abnutzung, Verschleiß oder Umwelt sicher kompensiert. Bei einer Steuerung, die beispielsweise bei Pkw- oder Nutzfahrzeugmotoren Stand der Technik ist, können motorindividuelle Alterungserscheinungen im jeweiligen Arbeitspunkt nicht ausgeglichen werden, und die Steuerungsfunktionen werden über die Motorlaufzeit ungenau. Denn das Motormanagement stellt die Aktoren ohne Rückkoppelung mit der Sensorik auf Basis vorbestimmter Kennfelddaten ein, die für den Motor im Motorversuch ermittelt wurden. Die Injektoren des Common-Rail-Einspritzsystems sind das entscheidende Stellglied für die Kraftstoffdosierung. Daher müssen sie besonders hohe Präzisionsanforderungen erfüllen. Um die Langzeitstabilität der Einspritzung weiter zu verbessern, hat MTU Kompensationsmechanismen für den Verschleiß der Injektoren in

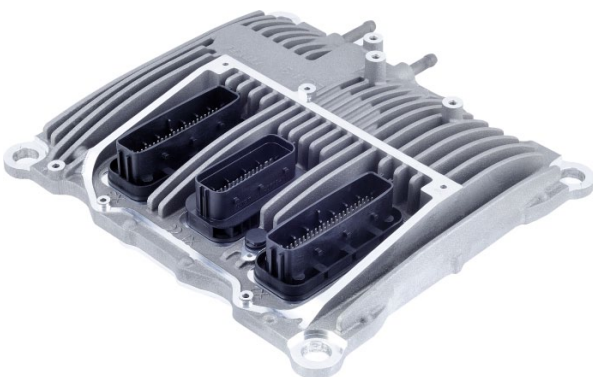
die ECU integriert. Das System erfasst, wie häufig die Einspritzventile im Motorbetrieb angesteuert wurden. Daraus errechnet das Motormanagement einen Alterungswert, der bei der Regelung berücksichtigt wird.

Sicherheitskritische Anwendungen

Für Anwendungen mit höchsten Anforderungen an Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit, zum Beispiel beim Einsatz von Notstrommotoren in Kernkraftwerken, hat die MTU auf Basis der bestehenden Reglerfamilien spezielle Produkte entwickelt. Diese sind zertifiziert (TÜV) und auditiert (SPIEC für Nuklearanwendungen). Ebenso bestehen für Rail- sowie Öl und Gas-Applikationen zertifizierte und begutachtete Lösungen.

Automationslösungen

Die Integration des Motormanagementsystems in die Automation erfolgt durch standardisierte MTU-Schnittstellenmodule. Damit können die



Die ECU ist ein elektronisches Motorsteuergerät, das die Steuerung, Regelung und Überwachung aller Motorfunktionen übernimmt. MTU bezeichnet die aktuelle Generation, die ECU 9, mit dem Namen ADEC: Advanced Diesel Engine Control.

Antriebe noch leichter in das Automationssystem der spezifischen Anwendung integriert werden. Hierfür bietet MTU einen Baukasten an, mit dem sich die Motorsteuerung um applikationsspezifische Automationslösungen erweitern lässt. Für Schiffsanwendungen gibt es ebenfalls standardisierte Automationslösungen. Hier

wurde mit Blue Vision New Generation im Jahr 2013 ein hoch kompaktes Automationssystem eingeführt. Dieses beinhaltet das komplette Monitoring Control System (MCS) und Remote Control System (RCS) für die Automation des gesamten Antriebsstranges eines Schiffes vom Propeller bis zu den Leitständen. Zudem hat MTU

mit dem Schiffsautomationssystem Callosum einen modernen, hocheffizienten Systembaukasten, der für kundenspezifische Projektsystemlösungen für alle Schiffstypen eingesetzt wird.

Im Bahnbereich bietet MTU sowohl für Antriebe in Triebwagen als auch in Lokomotiven Automationslösungen an. Das mit der Baureihe 4000 für Lokomotiven neu entwickelte modulare Automationssystem Powerline integriert alle Funktionen für die Überwachung, Steuerung und Regelung der Dieselantriebsanlage (Abb. 3). Die elektronische Kernkomponente des neuen Automationssystems ist die Power Automation Unit (PAU Engine), welche sämtliche Funktionen in einer kompakten Bauform vereint und mit der standardisierten CAN-Open Schnittstelle die sichere Anbindung an Lokomotivensteuerungen bietet.

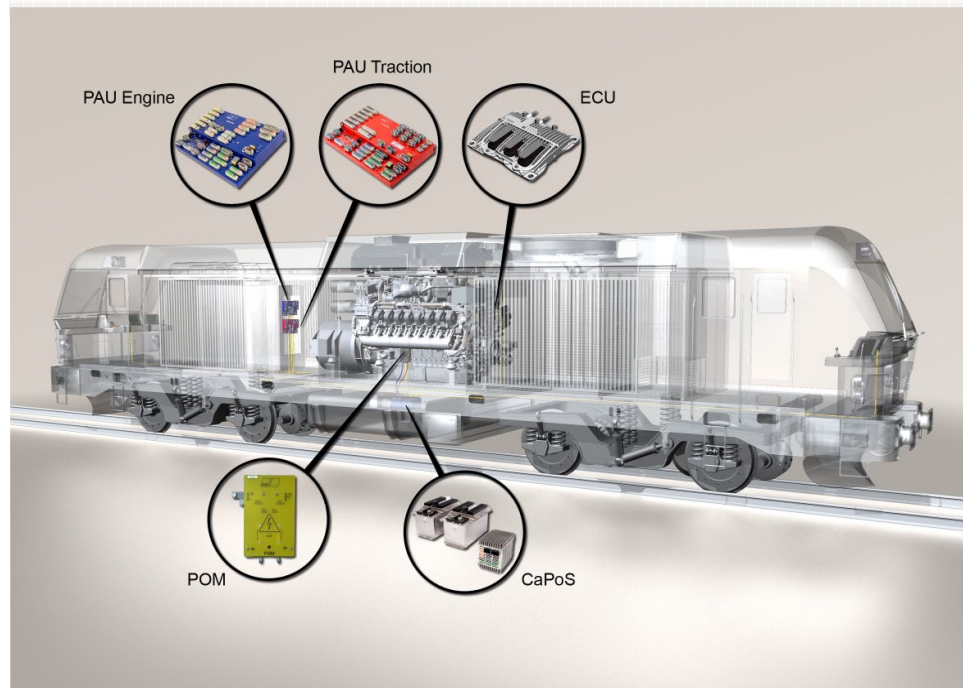
Zusammenfassung

Als Gehirn des Motors regelt die ECU wichtige Motorsysteme, die den Verbrauch, die Emissionen und die Leistung des Motors beeinflussen, wie Einspritzung, Aufladung oder Abgasrückführung. Immer strengere Emissionsrichtlinien stellen auch immer höhere Anforderungen an das elektronische Motormanagement. Für besonders anspruchsvolle Emissionsnormen führte MTU im Jahr 2011 die neue ECU 9 in den Markt ein, die die Bildung von Emissionen innermotorisch durch eine noch exaktere Regelung der Verbrennung weiter reduziert.

Schon 1982 hat MTU den ersten elektronischen Motorregler vorgestellt. Seitdem entwickelt und fertigt das Unternehmen die Soft- und Hardware hausintern. Damit stellt MTU die Versorgung mit Ersatzteilen auch für ältere Motoren langfristig sicher. Mit der ECU 9 bietet MTU eine separate, standardisierte Automationsschnittstelle an. Zusätzlich können die Kunden das Motormanagement um applikationsspezifische Automationslösungen von MTU erweitern, beispielsweise im Bereich Schiff für den Antrieb, die Bordstromerzeugung und das komplette Schiff sowie im Bereich Bahn.

Abb. 3: **MTU-Automation Powerline für Loks**

Im Bahn-Bereich rundet MTU das Motormanagement mit dem Automationspaket Powerline für MTU-Motoren der Baureihe 4000 ab. Dieses besteht aus den Basis-Komponenten PAU Engine, POM, ADEC (ECU 9) und CaPoS.



Engine Control Unit (ECU): Die ECU ist ein elektronisches Motorsteuergerät, das die Steuerung, Regelung und Überwachung aller Motorfunktionen übernimmt. MTU bezeichnet die aktuelle Generation, die ECU 9, mit dem Namen ADEC: Advanced Diesel Engine Control.

POM (Power Output Module): Dies ist das Anlasser-System von Powerline.

PAU Engine (Power Automation Unit Engine): Sie steuert beziehungsweise regelt nicht nur den Dieselmotor, sondern auch andere motornahe Schienenfahrzeug-Komponenten

wie zum Beispiel das Kühlsystem oder die elektrische Kraftstoffpumpe.

PAU Traction (Power Automation Unit Traction): Speziell bei Remotorisierungen bietet MTU die Automationskomponente PAU Traction an.

CaPoS (Capacitor Power System): CaPoS ist eine moderne Anlasser-Stromversorgung auf Basis von Kondensatoren statt Batterien als Ergänzung zu Powerline.

MTU Friedrichshafen GmbH

A Rolls-Royce Power Systems Company

www.mtu-online.com

MTU ist eine Marke der Rolls-Royce Power Systems AG. Schnelllaufende MTU-Motoren und Antriebssysteme sind in Schiffen, Schienenfahrzeugen, Landwirtschafts-, Industrie- und Bergbaufahrzeugen, militärischen Fahrzeugen, in Energiesystemen und in der Öl- und Gasindustrie im Einsatz. Das Portfolio umfasst Dieselmotoren mit einer Leistung bis 10.000 Kilowatt (kW), Gasmotoren bis 2.150 kW und Gasturbinen bis 35.320 kW. Für die Steuerung und Überwachung der Motoren und Antriebsanlagen entwickelt und produziert das Unternehmen maßgeschneiderte Elektroniksysteme.



Power. Passion. Partnership.