

CAN und J1939 unter extremen Einsatzbedingungen

Garantierte Funktion bei Kälte, Eis und Schnee



Der Einsatz von Elektronik wurde von Maschinenbauunternehmen als notwendiges Übel betrachtet. Für die vom Stahlbau kommende Firma Kässbohrer hat sich diese Sichtweise umgekehrt. Die Fahrzeug-Elektronik in einem „Pistenbully“ ist zuständig für Lenkung, Steuerung von Motor und Hydraulik, Bedienung der Anbaugeräte, Betriebsdatenerfassung und Telematik samt Fahrzeugnavigation mit GPS.

Von Thomas Böck, Peter Betz, Markus Hörmann und Lothar Felbinger

Im Gegensatz zu gewöhnlichen Nutzfahrzeugen besteht bei einem Pistenbully die technische Herausforderung darin, zahlreiche Extremsituationen auch bei Kälte, Schnee und im Nachteinsatz zu beherrschen. Die in allen Richtungen bis 45 Grad schräglagenfähige Maschine erreicht mit ihrer Multiflexfräse eine Flächenleistung von 96 000 m²/h. Die Technik ist ausgelegt für Einsätze bis 4000 m Höhe und extreme Außentemperaturen; die Polarausführung kann sogar in Höhen bis 6000 m eingesetzt werden.

Die Zeiten für die Pistenpräparation sind häufig für die Abend- und Nachtstunden eingeplant, während die regulären Wintersportaktivitäten ruhen. Wenn die Fahrer bei Schneesturm oder Nebel in großen Höhen oder arktischen Regionen einsam unterwegs sind, kann die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Fahrzeuge lebenswichtig sein. Sicherheit sowie bequemes und ermüdungsfreies Steuern und Bedienen stehen daher ganz im Mittelpunkt des Fahrzeugkonzepts. Intelligente Automatikfunktionen unterstützen den Fahrer und reduzieren die Bedienvielfalt,

so dass er sich auf das Wesentliche konzentrieren kann.

Durchschlagsichere Windschutzscheiben bewahren den Fahrer vor Steinschlag; ein Beleuchtungssystem mit zahlreichen Fahr-, Such- und Arbeitsscheinwerfern machen die Nacht zum Tag. Automatisches Einblenden einer Rückfahrkamera in das Cockpit-Display verschafft auch bei Rückwärtsfahrt optimale Sicht. Zur Unterstützung der Präparation in Steillagen werden die Fahrzeuge bei Bedarf mit elektrohydraulischen Seilwinden ausgestattet, die 1000 m Seil mitführen. Eine Besonderheit: Die Winde ist drehbar gelagert, das Fahrzeug darf sich dabei beliebig oft um 360 Grad drehen. Neben den Modellen für Gebirge und Schnee und gibt es Pistenbully-Varianten ohne Ladefläche, nur für Personentransport, Baggerausführungen und sogar schwimmfähige Maschinen. Etwa 600 bis 620 Einheiten stellt Kässbohrer [1] pro Jahr her, ein Fahrzeug kostet zwischen 80 000 und 340 000 Euro.

⊕ Ausgangspunkt: ein leistungsfähiges Aggregat

Als Antrieb kommen Motoren von Mercedes-Benz mit Leistungen zwischen 90 PS und 460 PS zum Einsatz. So ist der „Pistenbully 600“ mit einer 12,8-Liter-Maschine mit 295 kW (400 PS) ausgerüstet; diese liefert Drehmomente bis 1900 Nm. Zwei voneinander getrennte hydrostatische Antriebskreise ohne Trennkupplung sind für den rechten und linken Fahrtrieb verantwortlich. Die Motorsteuerung sorgt für das nötige Motormoment beim Anfahren und verhindert ein Abwürgen. Gleichzeitig bietet eine Grenzlastregelung Schutz gegen Überlastung und Überdrehen des Dieselmotors.

Zum Fahren bzw. Verzögern (Bremsen) dient ein einziges Fahrpedal, d.h. es gibt keine Betriebsbremse,

sondern lediglich eine Feststellbremse. Fahrtrichtungsänderungen werden durch eine Differenz zwischen den Kettengeschwindigkeiten erreicht. Jeder Antrieb ist in seiner Ausgangsdrehzahl stufenlos verstellbar und in der Drehrichtung umkehrbar, so dass die vollelektronische Lenkung unter anderem Drehen/Wenden auf der Stelle, Fahrtrichtungsabweichung und Geschwindigkeitsreduzierung unterstützt. Die „Lenkaggressivität“ variiert mit der Fahrgeschwindigkeit, der Fahrer kann sie auf seine Bedürfnisse einstellen. Damit bleiben Veränderungen der Fahrgeschwindigkeit durch Fahrpedal oder Lastbegrenzungsregler ohne Einfluss auf den Lenkradius. Radsensoren ermöglichen eine Geradeaus- und Kurvengleichlaufregelung oder asymmetrische Lenkkennlinien für Sonderansätze.

Konsequente Vernetzung mit CAN

Erst durch die konsequente Vernetzung des Fahrzeuges mit CAN wurde eine dezentrale Steuerungsstruktur ermöglicht (Bild 1). Elektronische und mechanische Komponenten konnten sinnvoll in einem Steuergerät kombiniert werden. Dadurch wurde im Vergleich zu früheren Pistenbully-Generationen der Verkabelungsaufwand signifikant reduziert. Nahezu die gesamte Kommunikation führt über die zwei Hauptbusse CAN 1 und CAN 2 der insgesamt fünf CAN-Bus-Stränge. Während CAN 3 beim Flottenmanagement zur externen Kommunikation dient, sind die technisch einsatzbereiten Systeme CAN 4 und CAN 5 für

künftige Funktionen reserviert, die derzeit noch nicht gebraucht werden. Daneben kommt CAN für Software-Updates, zur Parametrierung und für Messsysteme zum Einsatz.

Da sich derzeit alle Funktionen mit CAN realisieren lassen, ist die Verwendung von neueren Kommunikationssystemen wie FlexRay, LIN oder MOST nicht im Gespräch. Die Elektrik ist vollkommen modular aufgebaut und über alle Fahrzeugvarianten vereinheitlicht. Die Grundverkabelung berücksichtigt alle aktuellen und künftigen Optionen; Erweiterungen und Nachrüstungen lassen sich durch Adapterkabelsätze einfach bewerkstelligen.

Viel Leistungs-Elektronik, wenig Sicherungen, keine Relais

Für die zentrale Steuerung aller Funktionen wie Leistungs- und Energiemanagement, Motorsteuerung, Hydraulik der Fahr- und Fräspumpen, Ölmengenverteilung für die Front- und Heckhydraulik sowie die Überwachung aller Sensoren und Aktoren ist das Pistenbully-Universal-Steuergerät PSX verantwortlich. Es wird ergänzt durch die „Zentral-Elektronik“, auf der neben zahlreichen diagnosefähigen und kurzschlussfesten Ein-/Ausgängen z.B. Zentralverriegelung, Funkfernsteuerung, Beleuchtungssteuerung und Spannungswandler für 12 V untergebracht sind. Die volllastfähige Einheit liefert einen Summendauerstrom von 640 A bei 24 V und erreicht damit eine Schaltleistung von bis zu 15 kW. Die „Zentral-Elektronik“ hat Anbin-

dungen zu allen fünf CAN-Bussen. Insgesamt sind nur acht „richtige“ Sicherungen notwendig, alles andere wurde über Leistungselektronik kurzschlussicher und „selbstheilend“ ohne Relais verwirklicht.

Komfortabel und intuitiv manövrieren

Am internen Fahrzeugbus (CAN 1) hängen u.a. die Bedien- und Anzeigeelemente des Cockpits (Bild 2). Dazu gehören neben einem ergonomischen Halblenkrad ein Display mit berüh-



! Bild 2. Bedien- und Anzeigeelemente im Pistenbully-Cockpit.

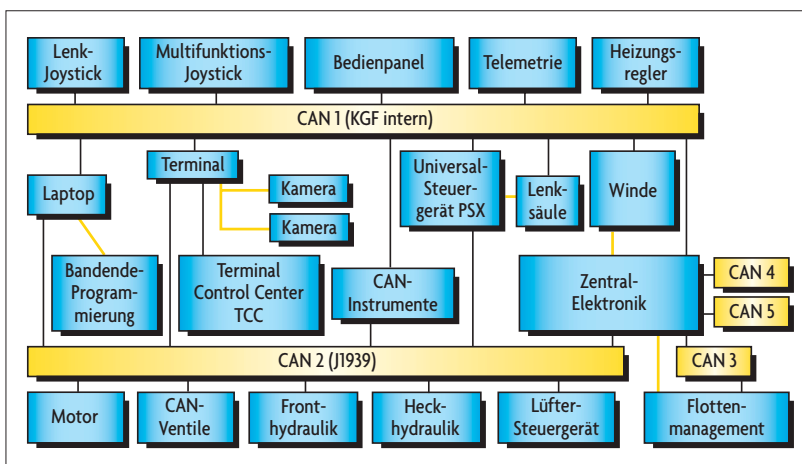
(Bild: Kässbohrer)

rungsempfindlichem Bildschirm, CAN-Rundinstrumente, das in der Armlehne integrierte Terminal Control Center (TCC) und ein Joystick mit programmierbaren Funktionsknöpfen.

Das Display informiert über die wichtigsten Betriebszustände wie Fahrgeschwindigkeit, Winden-Zugkraft, Motordaten usw. Es erlaubt eine intuitive Bedienung wahlweise am Bildschirm oder mit dem TCC. Über das rechts vom Fahrer angeordnete Bedienpanel mit Folientastatur lassen sich die zahlreichen Funktionen des Pistenbullys direkt anwählen. Per Joystick werden die verschiedenen Bewegungen des Rümschildes und des hinteren Geräteträgers gesteuert bzw. der Fräsendruck und die Winden-Zugkraft eingestellt. Der Joystick ist eine Eigenentwicklung: Keines der auf dem Markt verfügbaren Modelle entsprach den Anforderungen der Pistenbully-Entwickler.

CAN steuert Hydraulikmodul

CAN 2 wird als Sensor-Aktor-Bus für Motorsteuerung, Ventilsteuerung und



! Bild 1. Übersicht der CAN-Netzwerke im aktuellen Pistenbully.

(Quelle: Kässbohrer)

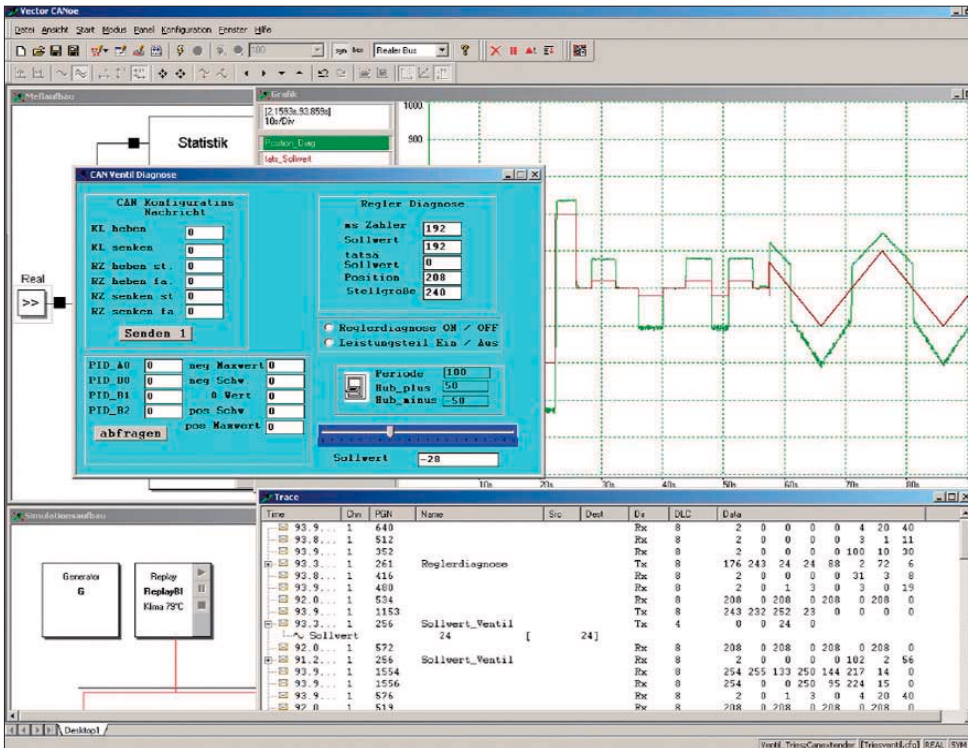


Bild 3. CANoe als Joystick-Simulator für den Test von Hydraulikventilen.

(Bild: Kässbohrer)

die Anbindung der Sensoren eingesetzt. Die Hydraulikventile werden vollständig über CAN angesteuert, d.h. ohne zusätzliche analoge oder digitale I/O-Signale. So genannte Mehrfachmodule stellen auf der Seite des Sensor-/Aktor-Busses Eingangskanäle,

Digitalausgänge, PWM-Ausgänge und Brückenausgänge zur Verfügung; diese sind ebenfalls diagnosefähig, kurzschlussfest und selbstheilend. Die Sensoren werden sämtlich über 4-bis-20-mA-Stromschnittstellen angeschlossen, um Übergangswiderstände

bei korrodierenden elektrischen Verbindungen zu kompensieren.

Während Kässbohrer bei dem Funktionsbus CAN 1 das hausinterne Protokoll KGF einsetzt, findet beim Antrieb auf CAN 2 das J1939-Protokoll Verwendung. Ein standardisiertes Antriebsmanagement auf Basis von SAE J1939 hat hier den Vorteil, dass sich das Antriebssystem herstellernunabhängig mit Komponenten von Fremdanbietern aufbauen lässt, einschließlich eines entsprechenden Diagnosesystems.

Auf der Funktionsseite wird bewusst das proprietäre Protokoll eingesetzt, um Manipulationen zu verhindern und gleichzeitig das Know-how zu schützen. Aus diesem Grunde wurde auch auf den Standard CCP (CAN Calibration Protocol) für die Steuergeräte-Applikation verzichtet. Die CAN-Bussysteme lassen sich per Laptop parametrieren und diagnostizieren.

Auch bei Busausfall sicher ins Tal

Beim Pistenbully kommen schon seit den 1970er Jahren X-by-Wire-Systeme in der Serie zur Anwendung, deren Einsatz im öffentlichen Straßenverkehr erst Jahrzehnte später zum Thema wurde. Bei reinen Offroad-Fahrzeugen ohne Straßenzulassung gelten andere rechtliche Grundlagen für Betrieb und Sicherheit, da diese ausschließlich auf Privatgrund eingesetzt werden. Fallen Lenkpotentiometer, Fahrtrichtungstaster und/oder das redundante, berührungslos arbeitende Fahrpedal aus, bleibt die Fahrfähigkeit solange wie möglich erhalten. Die zwischen 7 und 10 t schweren und maximal 23 km/h schnellen Fahrzeuge lassen sich dann über die Notlauf Eigenschaften mit einer gedrosselten Geschwindigkeit von 5 km/h sicher ins Tal lenken. Selbst bei einem Ausfall beider CAN-Busse bleibt der Pistenbully manövrierfähig – er wird dann über PWM-Signale gesteuert.

An die Elektronik werden dabei besondere Anforderungen gestellt: Diese muss widrigen Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen widerstehen, erhebliche mechanische Belastungen aushalten und gegenüber elektromagnetischen Störungen unempfindlich sein. So dürfen hohe Feldstärken

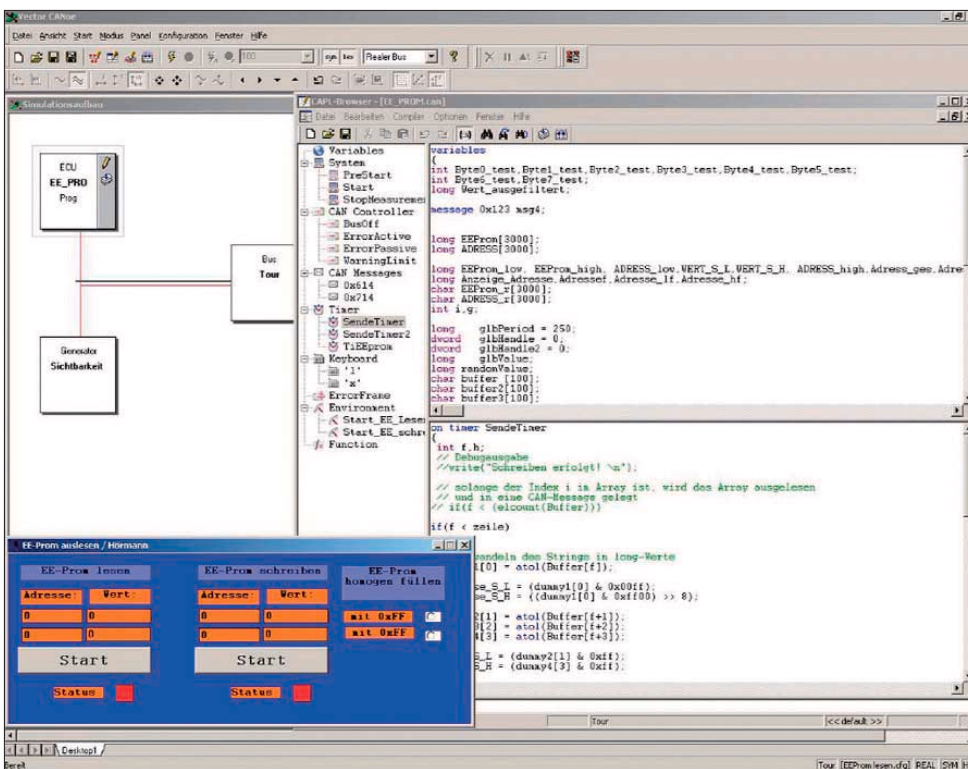


Bild 4. CANoe im Flashmodus.

(Bild: Vector Informatik)

von Funksendern auf den Berggipfeln die Fahrzeugfunktionen in keinem Fall beeinträchtigen.

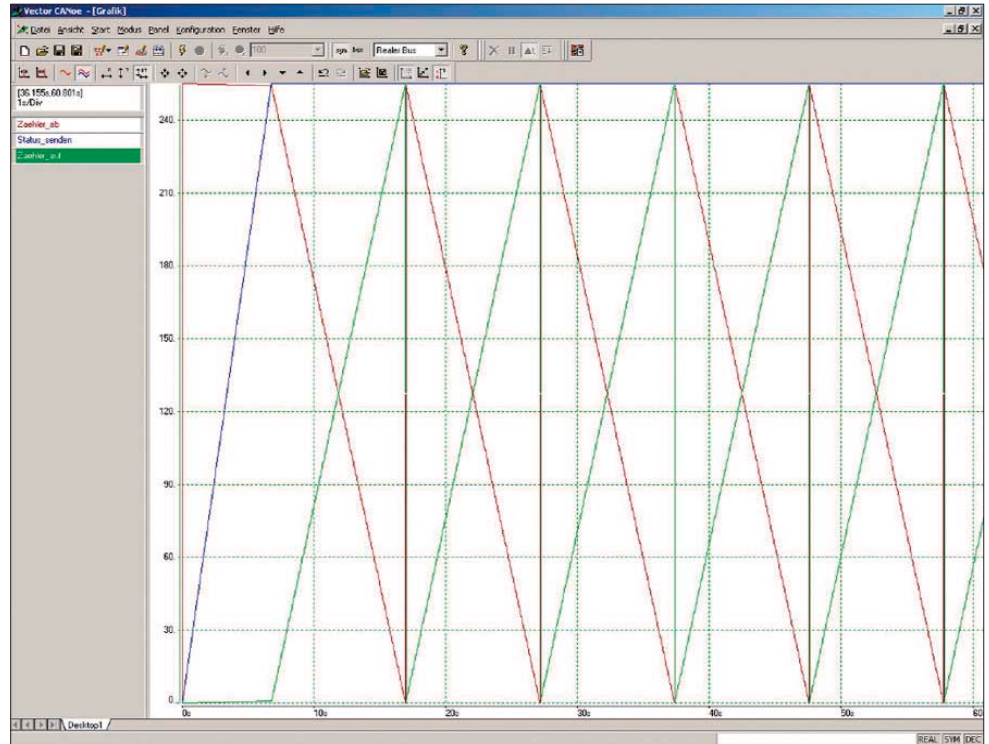
C Von der Simulation zur realen Elektronik

Software-Entwicklung und Fahrzeugapplikation – darunter versteht man die Anpassung von Fahrzeug-Parametern an die Gegebenheiten – einschließlich aller Regelmodule finden komplett im Hause Kässbohrer statt. Damit ist der Hersteller in der Lage, die Fahrzeuge an neue Einsatz-situationen anzupassen. Da die Komplexität der Software und der elektronischen Funktionen stetig ansteigt, sind die Entwickler bei einem Projekt wie dem Pistenbully auf leistungsfähige Tools angewiesen, auch was die Software betrifft. Entlang des Entwicklungsprozesses sind Design, begleitende Tests und Simulationen von Teil- oder von Gesamtsystemen unverzichtbar. Hier kommt CANoe mit der Option J1939 von Vector Informatik [2] zum Einsatz.

Die Möglichkeiten von CANoe als Entwicklungs- und Simulationswerkzeug reichen von der Simulation eines einzigen Netzknotens, über Test und Diagnose bis zur Darstellung vollständiger CAN-Netzwerke. Mit den ersten Untersuchungen am rein virtuellen Modell beginnend, lassen sich im weiteren Verlauf der Entwicklung die virtuellen Knoten Schritt für Schritt durch reale Hardware ersetzen. Die Fahrzeugfunktionen werden in diesem Fall von einem virtuellen Steuergerät mit einer OSEK-Emulation ausgeführt. Es erlaubt unter anderem die Ansteuerung bzw. Zustandsanzeige virtueller Sensoren und Aktoren. Entsprechende Panels können automatisch generiert werden.

Kurze Entwicklungszeiten

Bei Kässbohrer dient CANoe u.a. auch zum Simulieren von Buslasten, als Messwerkzeug und zum Parametrieren von Steuergeräten über das eigene KGF-Protokoll (Bild 3). Die Entwickler generieren damit z.B. Diagnose- und Setup-Informationen bei Temperatur-, EMV- und Reaktionstests von Ventilsteuerungen und sind in der La-



! Bild 5. CANoe bei der Messdatenerfassung während der Erprobung.

(Bild: Vector Informatik)

ge, die Lösungen für die Seriengeräte schlank zu halten.

Die Entwicklung der zweikanaligen Lüftersteuerung des Pistenbullys war ohne Einsatz realer Hydraulik-Pumpen, Ventile und Motoren in bemerkenswert kurzer Zeit möglich. CANoe

hat dazu alle nötigen CAN-Knoten, Sensorsignale oder Steuergeräte-Informationen realitätsnah simuliert. Beim Steuergeräte-Setup erlaubt CANoe den Zugriff auf EEPROM-Inhalte über ein eigenes Flash-Protokoll. Über die integrierte Programmiersprache CAPL

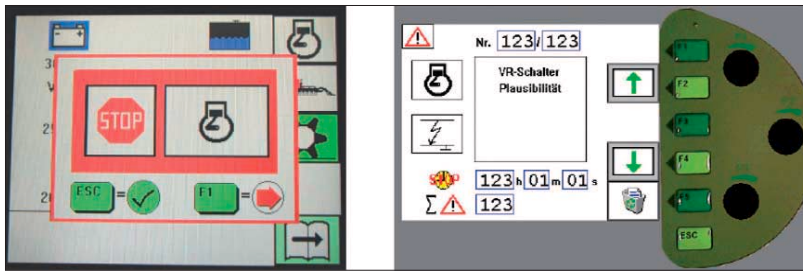
Hintergrund SAE J1939

Das Protokoll SAE J1939 wurde 1998 von der SAE (Society of Automotive Engineers) veröffentlicht. Es basiert auf dem bekannten CAN-Bussystem und wurde hauptsächlich für den Einsatz in Nutz- und Spezialfahrzeugen konzipiert. SAE J1939 dient zur Kommunikation zwischen elektronischen Steuergeräten und bildet die Grundlage für verschiedene internationale Standards in den Bereichen LKW und Anhänger (ISO 11992), Forst- und Landmaschinen (ISO 11783) oder Marine-Anwendungen (NMEA 2000). Die einzelnen Teile der Spezifikation regeln die Übertragungsart der Nachrichten, deren Inhalt und Aufbau sowie ggf. deren Segmentierung:

- q J1939/11 Physical Layer (shielded twisted pair)
- q J1939/12 Physical Layer (twisted quad of wires)

- q J1939/13 Off-Board Diagnostic Connector
- q J1939/15 Reduced Physical Layer (250 kbit/s, unshielded twisted pair)
- q J1939/21 Data Link Layer
- q J1939/31 Network Layer
- q J1939/71 Vehicle Application Layer
- q J1939/73 Application Layer Diagnostics
- q J1939/81 Network Management

Einen Überblick über J1939-konforme Produkte findet man bei der Nutzerorganisation CiA (CAN in Information, www.can-cia.org). Der seit kurzem verfügbare J1939-Produktkatalog ermöglicht Entwicklern und Einkäufern schnellen Zugriff auf entsprechende Bausteine und Entwicklungswerkzeuge. Diese Dienstleistung ist für J1939 bisher einzigartig und hat sich, laut CiA, schon in den Bereichen CAN bzw. CANopen bewährt. sj



! Bild 6. Einfache Fehlerlokalisierung für den Fahrer mit „On Board“-Diagnose (OBD). (Bild: Kässbohrer)

(Communication Access Programming Language) kann dies einfach nachprogrammiert werden. Die auf Festplatte gespeicherten EEPROM-Daten können jederzeit in den Controller geladen werden (Bild 4).

**Unverzichtbar:
Echtzeitfähige Entwicklungs-Tools**

Die Echtzeit-Fähigkeit der Entwicklungs-Tools ist bei Analyse und Test

von CAN-Systemen ein wichtiges Kriterium. Diese Erfahrung machten auch die Pistenbully-Entwickler: Erst nach längeren Fehlersuchen stellte sich heraus, dass ein anderes Tool hinsichtlich der Abtastrate nicht mit den Anforderungen mithalten konnte und dadurch fehlerhafte Ergebnisse lieferte.

Häufig benötigte Bedienoberflächen, Panels und andere Tools werden von Kässbohrer in der Regel mit

Hilfe von Borland-C++ selbst programmiert. Auch bei solchen Eigenentwicklungen fungieren die CANoe-Datenbanken stets als Grundlage. CANoe ermöglicht darüber hinaus eine optimale Zusammenarbeit mit Zulieferern, indem man vorab testen kann, wie sich Baugruppen verhalten. Allerdings liefern nicht alle Systemlieferanten CANoe-Simulationen ihrer Produkte bzw. stellen diese vorab zur Verfügung.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Mobilität der Tools. Da sich die Schneeverhältnisse ständig ändern, wird die Feinabstimmung im Antriebssystem häufig vor Ort auf den Bergen vorgenommen. Wenn es gilt, Regelkreise für die verschiedenen Arten der Pistenpräparation zu perfektionieren und an örtliche Gegebenheiten anzupassen, macht sich CANoe auf dem Laptop als effizientes mobiles Diagnose- und Mess-Labor bezahlt (Bild 5).

Das Fahrzeug lässt sich über einen an die CAN-Diagnosesteckdose angeschlossenen Programmier-PC vollständig und jederzeit parametrieren. Für jeden Pistenbully existiert eine elektronische Fahrzeugakte, die eine lückenlose Dokumentation von Software-Updates, der Lebensdauer einzelner Komponenten, aktueller Software-Stände usw. erlaubt. Es ist jederzeit möglich, den Auslieferungszustand wieder herzustellen. Treten Probleme beim Kunden auf, erlaubt die „On Board“-Diagnose eine schnelle, komfortable Fehlerlokalisierung über das Cockpit-Display (Bild 6). Alle Hydraulik-Funktionen, Sensoren und Aktoren sind elektronisch diagnosefähig ausgeführt. Für die Fehlersuche im Fahrzeug reichen Schaltplan und Display, weitere Hilfsmittel werden nicht benötigt. Im Fehlerspeicher sind Fehlerhistorie und Fehlerhäufigkeiten abgelegt. jw



**Dipl.-Ing. (FH)
Markus Hörmann**

studierte Nachrichtentechnik an der FH in Kempten. Er leitet den Bereich Versuch Elektronik mit Prüfmittelbau der Kässbohrer Geländefahrzeug AG.
markus.hoermann@pistenbully.com



Dipl.-Ing. (FH) Peter Betz

studierte Nachrichtentechnik an der FH in Ulm. Er ist im Bereich Entwicklung Elektronik der Kässbohrer Geländefahrzeug AG verantwortlich für Systementwicklung.
peter.betz@pistenbully.com



**Dipl.-Ing. (FH)
Thomas Böck**

studierte allgemeine Elektrotechnik an der FH in Kempten. Er leitet bei der Kässbohrer Geländefahrzeug AG die Entwicklung Elektronik/Hydraulik.
thomas.boeck@pistenbully.com



**Dipl.-Ing. (FH)
Lothar Felbinger**

studierte Automatisierungstechnik an der FH Reutlingen. Mittlerweile arbeitet er als Key Account und Business Development Manager bei der Vector Informatik GmbH im Bereich der Produktlinie Open Networking.
lothar.felbinger@vector-informatik.de

Internet Links

- [1] Kässbohrer Geländefahrzeug AG – www.pistenbully.com
- [2] Vector Informatik GmbH – www.vector-informatik.com