

Intelligent gesteuert

Entwicklung eines Steuergeräts für Elektro- und Hybridfahrzeuge

Das Aufkommen alternativer Antriebsstränge stellt Fahrzeugingenieure vor neue Herausforderungen. Das gesamte Antriebskonzept für moderne Autos muss neu durchdacht werden, um Effizienz- und Leistungsziele entsprechend erreichen zu können. Mit einem universellen Steuergerät für jede Art von Elektro- und Hybridfahrzeugen, dem EV-Manager, begegnet Porsche Engineering diesen Herausforderungen und ermöglicht die flexible und schnelle Entwicklung von Software-Architekturen und -Funktionen für den Antriebsstrang der Zukunft.

Von Dr. Ondrej Spinka, Dr. Martin Rezac und Dr. Jan Rathousky

Der EV-Manager und seine Architektur

Der Electric Vehicle Manager (EV-Manager) ist ein konfigurierbares elektronisches Steuergerät für jede Art von Elektro- und Hybridfahrzeugen. Es steuert den Antriebsstrang auf intelligente Art und Weise je nach Anforderung des Fahrers durch Pedale, Schalthebel oder Zündung. Es handelt sich hierbei um ein automotives Standard-Steuergerät, welches typischerweise an Netzwerken wie Antriebs- und Hybrid-CAN betrieben wird und dort unterschiedliche Funktionen mit zusätzlichen Sensoren und Aktuatoren ausführt (vgl. Abbildung auf Seite 45).

Abgesehen von den Hauptfunktionen der Antriebsstrangsteuerung und Drehmomentberechnung bietet der EV-Manager unter anderem folgende Funktionen:

- > Hochvolt-(HV-)Batterie-Lademanagement,
- > Energiefluss-Management,
- > Reichweitenberechnung,
- > Geschwindigkeitsregelung,

- > HMI (Human Machine Interface) einschließlich Meldungen vom Kombiinstrument oder den Kontrollleuchten,
- > Bremskraftverstärker-Steuerung und Bremskraftverteilung,
- > Thermomanagement (Regelung des Kühlsystems),
- > Heizung und Klimaanlage im Fahrgastraum.

All diese und weitere Funktionen können je nach Kundenwunsch hinzugefügt oder implementiert werden. Das hohe Maß der Konfigurierbarkeit wird durch den modularen Aufbau ermöglicht, der durch die Verwendung einer Bibliothek an Softwaremodulen die schnelle Anpassung des EV-Managers an den Kundenbedarf für eine bestimmte Antriebsstrang- und Fahrzeugkonfiguration ermöglicht. Diese Module können – ähnlich wie Lego-Steine – in Simulink konfiguriert und miteinander verbunden werden. Dieser Aufbau wird genutzt, um den C-Code zu erzeugen und ihn automatisch für das jeweilige Steuergerät zu kompilieren.

Die modulare Struktur eines allgemeinen EV-Managers wird auf Seite 46 dargestellt. Die Software ist in mehreren Schichten

ten aufgebaut, welche die einzelnen Ebenen der Fahrzeug-Hardware abstrahieren. Diese werden als *Schicht der Basisalgorithmen*, *Fahrzeugschicht* und *Steuergeräteschicht* bezeichnet.

Die *Schicht der Basisalgorithmen* ist für Funktionen wie die Drehmomentberechnung, die Zustandsmaschine für den Antriebsstrang oder die Reichweitenberechnung zuständig. Hierbei handelt es sich um die oberste Schicht der Software, die im Wesentlichen fahrzeugunabhängig und daher leicht wiederzuverwenden ist.

Die *Fahrzeugschicht* dient als Schnittstelle zwischen den Kernfunktionen und einer bestimmten Fahrzeugplattform, die das Hinzufügen kundenspezifischer Funktionen wie Thermomanagement, Fahrerinformationen, HV-Batterie-Lademanagement oder Beheizung des Fahrgastraums ermöglicht. Bei einem Austausch des Batterie-Managementsystems (BMS) oder des E-Motors muss z. B. nur eine einzelne Komponente dieser Schicht geändert werden, ohne dass weitere Änderungen an der verbleibenden Software erforderlich sind.

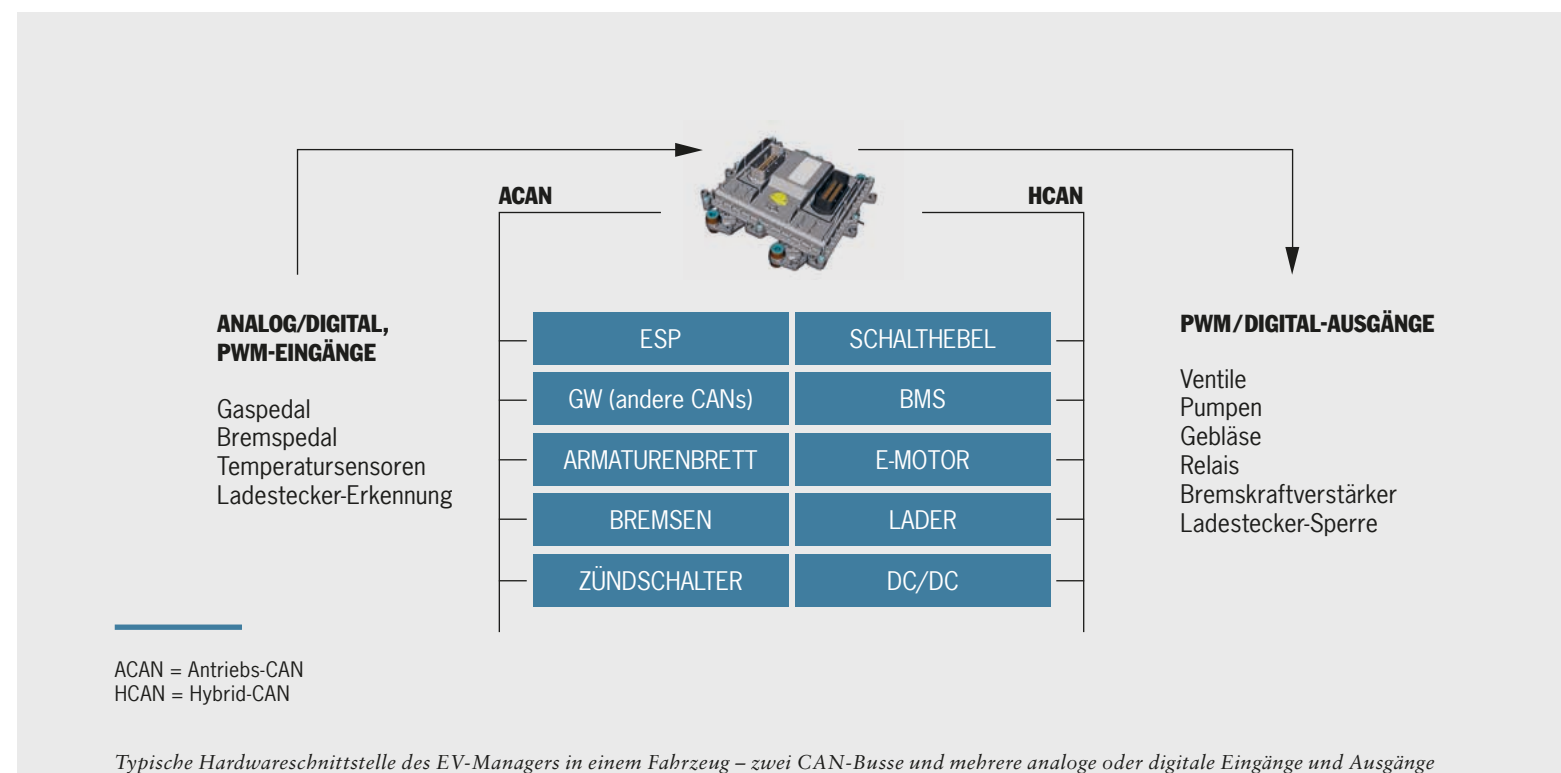
Die *Steuergeräteschicht* bietet eine Schnittstelle zwischen der EV-Manager-Software und der systemnahen Software, die auf dem Ziel-Steuergerät verwendet wird. Diese Schicht ermöglicht den unabhängigen Betrieb der restlichen Software des jeweiligen Steuergerätes. CAN-Nachrichten müssen in dieser Schicht analysiert und in Signale mit physikalischen Einheiten konvertiert werden, um in den höheren Schichten des EV-Manager

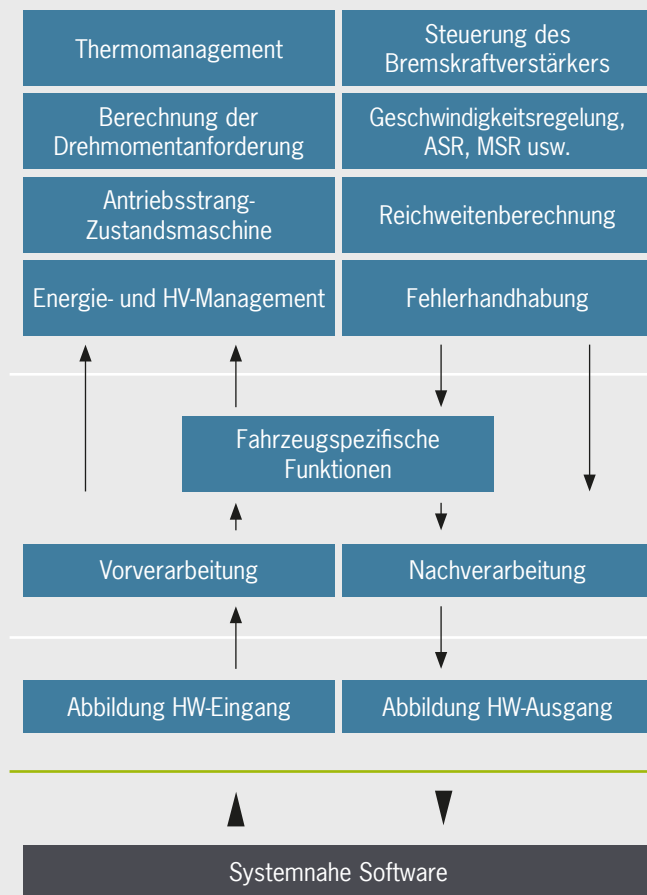
verarbeitet zu werden. Falls eine CAN-Matrix in einem entsprechenden Datenbank-Format (DBC) verfügbar ist, kann diese Schicht automatisch erzeugt werden. Der EV-Manager kann mit einer Steuergeräteschicht mit einer Verknüpfung zur systemnahen Software (Bereitstellung durch Steuergerätlieferanten) oder alternativ in Form eines AUTOSAR-Moduls mit einer eindeutig definierten AUTOSAR-RTI (RTI, echtzeitfähige Schnittstelle) ausgeliefert werden.

Einer der Hauptfaktoren für schnelle Softwareentwicklung ist die Methodik zur Festlegung der gesamten Architektur. Sämtliche Schnittstellen zwischen den Strukturbauteilen werden in Form einer Liste mit Signalen in IBM DOORS gespeichert. Diese Liste ermöglicht eine standardisierte Definition der Schnittstellen und wird zur automatischen Erstellung von Komponenten-Schnittstellen direkt in Matlab/Simulink herangezogen; dieser Prozess dient zur automatischen Software-dokumentation sowie zum Anlegen von MIL (model in the loop)-Prüfvorlagen. Sämtliche Änderungen an der Architektur werden ausschließlich in DOORS durchgeführt, während der restliche Prozess ihre korrekte Umsetzung sicherstellt.

Die Kernfunktionen des EV-Managers

Eine der wichtigsten Funktionen des EV-Managers ist die Berechnung des Drehmoments, das durch einen oder mehrere >





Schicht der Basisalgorithmen

- Kernalgorithmen
- Schwerpunkt auf Wiederverwendbarkeit
- fahrzeugunabhängig

Schnittstelle mit Signalen in physischen Einheiten

Fahrzeugschicht

- Vor-/Nachverarbeitung
- fahrzeugabhängige Funktionen
- kundenspezifische Funktionen

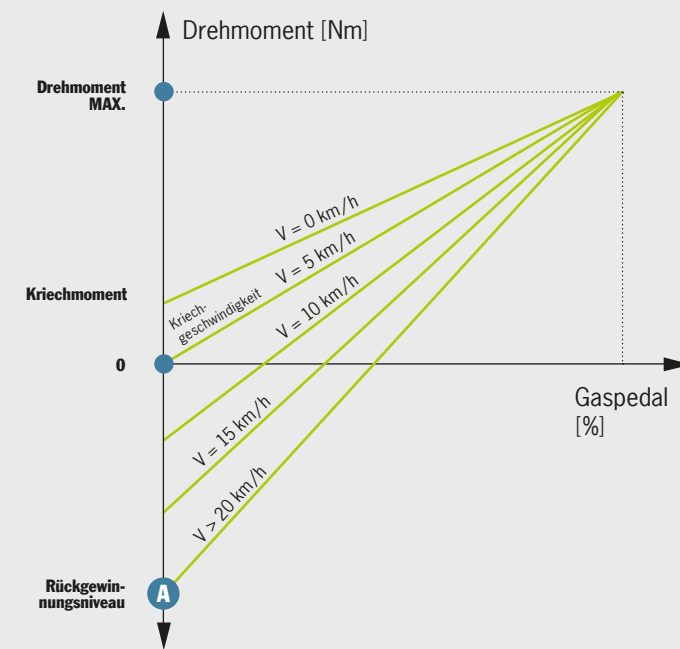
Schnittstelle mit Rohsignalen

Steuergeräteschicht

- Schnittstelle zu systemnaher Software

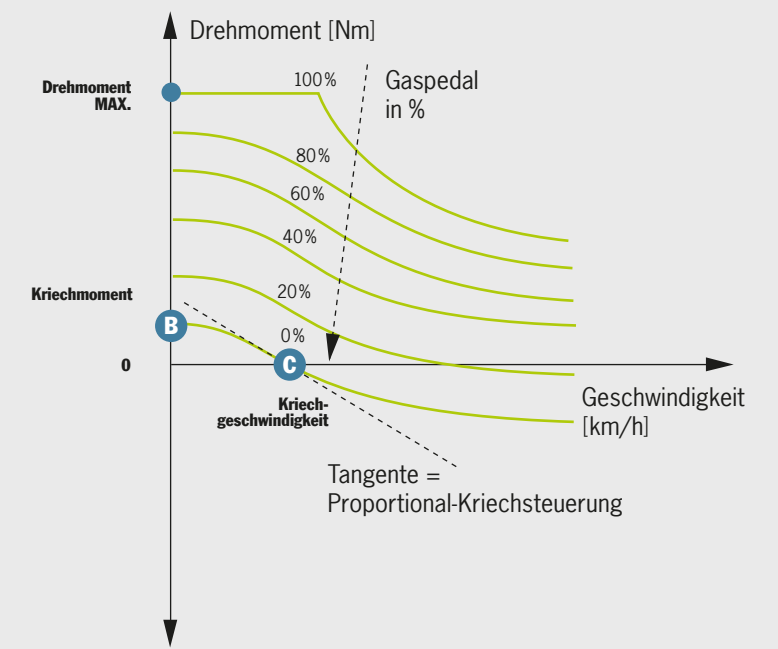
Systemnahe Software

- Bereitstellung durch Steuergerätelieferant



Drehmomentverläufe (in Abhängigkeit Gaspedal)

- A** Ein Punkt für das „Rekuperationsniveau“ ändert seinen Wert gemäß dem ausgewählten Rekuperationsniveau (dieser Vorgang wird in der Regel im manuellen Modus realisiert).
- B** Das „Kriechmoment“ bezeichnet den maximalen Drehmomentwert für die Kriechfunktion – dieses Drehmoment wird bei einer Geschwindigkeit gleich „null“ bei freigegebenem Gaspedal angelegt.
- C** Der Punkt „Kriechen aus“ stellt sich bei einer bestimmten Geschwindigkeit ein (in diesem Fall bei 5 km/h).



Drehmomentverläufe (in Abhängigkeit Fahrzeuggeschwindigkeit)

Die Tangente zwischen den Punkten „Kriechmoment“ und „Kriechen aus“ gibt die Funktionsweise der Proportional-Kriechsteuerung wieder (bei niedrigeren Geschwindigkeiten ist ein gewisses Kriechmoment erforderlich, während bei höheren Geschwindigkeiten ein Null-Drehmoment oder sogar eine Rückgewinnung erforderlich ist – negatives Drehmoment bedeutet Rückgewinnung).

E-Motoren erzeugt werden soll. Dazu wird die gegenwärtige Position des Gaspedals ausgelesen und das zu erzeugende Drehmoment in Abhängigkeit von der aktuellen Geschwindigkeit und weiteren Fahreinstellungen berechnet. Das Drehmoment kann bei einer notwendigen Beschleunigung positiv, bei einer erforderlichen Rekuperation jedoch auch negativ sein.

Die Bedingungen zur Regelung der Drehmomenterzeugung sind äußerst komplex, und dem Auftraggeber steht die Festlegung des dynamischen Fahrverhaltens gemäß den Anforderungen größtenteils frei. So können beispielsweise die vollständigen Verläufe für Gaspedal/Geschwindigkeit/Drehmoment geändert werden. Diese werden in der Abbildung auf Seite 47 vereinfacht dargestellt.

Der Auftraggeber kann mithilfe dieser Verläufe auch das so-

genannte Kriechverhalten definieren. Die Kriechsteuerung wird, so wie sie in Fahrzeugen mit Automatikgetriebe zum Einsatz kommt, von Kunden häufig angefragt. Zu den weiteren Funktionen, die kalibriert und aktiviert werden können, zählen unter anderem Fahrprofile (Betriebsart ECO/SPORT/SPORT+) oder die sogenannte Bremskraftverteilung (brakeblending). Es können selbstverständlich auch Funktionen wie Tiefpass-Drehmomentfilter sowie eine Begrenzung des Drehmoments zur Verbesserung des Fahrverhaltens integriert und vollständig kalibriert werden.

Die Kombibremse ermöglicht dem Fahrer, das Rekuperationsdrehmoment durch Betätigen des Bremspedals zu steuern. Diese Funktion stellt sicher, dass die Reaktion auf das Bremspedal (d. h. das Bremsmoment) unverändert bleibt, unabhängig davon, ob sie durch einen mechanischen Bremsvorgang oder eine Rekuperation angefordert wird. Das Brems-

moment wird hierbei zwischen E-Motor und hydraulischer Bremse aufgeteilt, wobei sich das Verhältnis ständig ändert. Bei dieser Funktion sind eine elektrische und eine externe Unterstützung zur Ansteuerung des Bremszylinderdrucks erforderlich. Bei einem langsamen Betätigen des Bremspedals wird beispielsweise ein erheblicher Anteil der Bremskraft letztendlich durch die Rekuperation erzeugt. Beim plötzlichen und kraftvollen Betätigen des Bremspedals wird die Rekuperation abgeschaltet und die Bremswirkung wird vollständig über die normale Hydraulikbremse erzeugt.

Die Haupt-Zustandsmaschine für elektrischen Antriebsstrang, Energie- und HV-Management

Diese Funktion ist für die Zustandsmaschine des gesamten elektrischen Antriebsstrangs verantwortlich. Im EV-Manager

findet der Übergang zwischen den verschiedenen Zuständen wie „Zündung ein/aus“, „Fahrbereit“, „Kriechen“, „Fahren“ oder „Laden“ statt. Die in Simulink/Stateflow implementierte Zustandsmaschine stellt anschließend sicher, dass der entsprechende Übergang nur bei Erfüllung sämtlicher Voraussetzungen ausgeführt wird. Beispiel: Wird das Ladekabel nach dem Starten angeschlossen, wird der Übergang von „Zündung ein“ zu „Fahrbereit“ verhindert. Die Energiemanagement-Funktion stellt dann die korrekte Verteilung zwischen den Hochvolt-Strukturbauteilen (d. h. E-Motor/en, Batterie, Heizung und Klimaanlage, DC/DC-Wandler) sicher. Der Energiemanager muss die Anforderungen von all diesen Untersystemen freigeben und erstellt jeweils Prioritäten oder Einschränkungen für den Fall, dass nicht alle Systeme versorgt werden können.

Der HV-Manager schaltet die Spannung der Traktionsbatterie auf EIN und AUS. Die Schaltvorgänge sind relativ komplex, ▶

und daher muss eine gewisse Anzahl an Sicherheitsaspekten berücksichtigt werden. Der HV-Manager kann beispielsweise den Status von BMS, E-Motor und Fahrzustand bewerten, um ein Abschalten der HV-Versorgung während der Fahrt zu verhindern. Andererseits kann er im Fall von Problemen mit dem E-Motor oder anderer HV-Ausrüstung das Einschalten des HV verhindern.

Berechnung der Reichweite als wesentliche Fahrerinformation

Die Berechnung der Reichweite umfasst eine ganze Reihe von Funktionen, welche die Schätzwerte für den aktuellen und durchschnittlichen Energieverbrauch des Fahrzeugs (in kWh/100 km) und die Reichweite (in km) ermitteln. Der Algorithmus basiert auf einem gleitenden Durchschnittswert, während vorherige Werte mit einer niedrigeren Priorität berücksichtigt werden. Die für die Analyse herangezogene Zeitkonstante kann ebenfalls gemäß den Kundenanforderungen kalibriert werden. Der Hauptvorteil bei diesem Umsetzungsverfahren ist die Tatsache, dass der Algorithmus nicht zurückgesetzt werden muss, nachdem das Fahrzeug über eine große Distanz gefahren wurde.

Die HMI-Schnittstelle auf Android-Basis

In der Regel ist das im Armaturenbrett integrierte Computerdisplay nur in der Lage, Fahrzeuginformationen auf einem kleinen Bildschirm und in begrenztem Umfang darzustellen. Um die Leistungsfähigkeit des EV-Managers zu verdeutlichen, wurde eine zusätzliche hochleistungsfähige HMI-Schnittstelle (Human Machine Interface) für die Mittelkonsole entwickelt. Diese Art HMI ermöglicht es, eine Vielzahl benutzerdefinierte und konfigurierbare Fahrzeuginformationen auf mehreren Registerkarten auf einem großen, hochauflösenden Bildschirm anzuzeigen. Der Wechsel zwischen den vollständig konfigurierbaren Registerkarten ist hierbei gezielt einfach gehalten.

Das Android-Betriebssystem ist für seine Betriebsfestigkeit und Flexibilität bekannt – diese Vorzüge waren ausschlaggebend für die Auswahl dieser Plattform für die HMI. Die HMI wird auf einem großen Tablet betrieben, das über Bluetooth mit einem Schnittstellen-Steuergerät (SSG) als Bluetooth-CAN-Gateway verbunden ist. Das SSG wurde 2012 von Porsche Engineering entwickelt (siehe Porsche Engineering Magazin 2/2012). Es wird direkt an einem der CAN-Netzwerke im Fahrzeug angeschlossen. Die HMI wird intensiv zur Bewertung, Überprüfung und Unterstützung des EV-Managers sowie für höheren Fahrerkomfort während einer Fahrt eingesetzt.

Inbetriebnahme und Kalibrierung

Der EV-Manager wurde bereits erfolgreich in einer Reihe von Kundenprojekten sowie internen Projekten bei Porsche Engineering eingesetzt. Das Fahrzeug wurde mithilfe eines Rollenprüfstands in Betrieb genommen und kalibriert (siehe Foto unten), bevor die eigentlichen Testfahrten durchgeführt wurden.

Fazit

Der von Porsche Engineering entwickelte EV-Manager stellt eine flexible und wirkungsvolle Lösung für alle Arten von Elektro- und Hybridfahrzeugen dar. Der modulare Aufbau ermöglicht eine schnelle Entwicklung der Softwarearchitektur und -funktionen, die den Kundenwünschen passgenau entsprechen. ■



Kalibrierung eines Fahrzeugs auf dem Rollenprüfstand