
Fahrzeugdiagnose mit OBD II

Grundlagen, Protokolle und praktische Anwendungen mit Arduino und Raspberry Pi



Florian Schäffer



an Elektor Publication

LEARN > DESIGN > SHARE

● © 2020: Elektor Verlag GmbH, Aachen.

● Alle Rechte vorbehalten.

Die in diesem Buch veröffentlichten Beiträge, insbesondere alle Aufsätze und Artikel sowie alle Entwürfe, Pläne, Zeichnungen und Illustrationen sind urheberrechtlich geschützt. Ihre auch auszugsweise Vervielfältigung und Verbreitung ist grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die Informationen im vorliegenden Buch werden ohne Rücksicht auf einen eventuellen Patentschutz veröffentlicht. Die in diesem Buch erwähnten Soft- und Hardwarebezeichnungen können auch dann eingetragene Warenzeichen sein, wenn darauf nicht besonders hingewiesen wird. Sie gehören dem jeweiligen Warenzeicheninhaber und unterliegen gesetzlichen Bestimmungen. Bei der Zusammenstellung von Texten und Abbildungen wurde mit grobster Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag, Herausgeber und Autor können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen. Für die Mitteilung eventueller Fehler sind Verlag und Autor dankbar.

● Erklärung Der Autor und der Herausgeber dieses Buches haben alle Anstrengungen unternommen, um die Richtigkeit der in diesem Buch enthaltenen Informationen sicherzustellen. Sie übernehmen keine Haftung für Verluste oder Schaden, die durch Fehler oder Auslassungen in diesem Buch verursacht werden, unabhängig davon, ob diese Fehler oder Auslassungen auf Fahrlässigkeit, Unfall oder andere Ursachen zurückzuführen sind

● Satz und Aufmachung: Jack Jamar Graphic Design | Maastricht (NL)

Druck: WILCO, Amersfoort, Niederland

● **ISBN 978-3-89576-391-5** Print

ISBN 978-3-89576-392-2 Ebook

ISBN 978-3-89576-393-9 Epub

● Elektor-Verlag GmbH, Aachen

www.elektor.de



Elektor ist Teil der Unternehmensgruppe Elektor International Media (EIM), der weltweit wichtigsten Quelle für technische Informationen und Elektronik-Produkte für Ingenieure und Elektronik-Entwickler und für Firmen, die diese Fachleute beschäftigen. Das internationale Team von Elektor entwickelt Tag für Tag hochwertige Inhalte für Entwickler und DIY-Elektroniker, die über verschiedene Medien (Magazine, Videos, digitale Medien sowie Social Media) in zahlreichen Sprachen verbreitet werden. www.elektor.de

LEARN > DESIGN > SHARE

Inhalt

Kapitel 1 • Vorwort	8
Kapitel 2 • Computergestützte Fahrzeugdiagnose	9
2.1 Elektronische Steuergeräte	9
Steuergeräte für diverse Aufgaben.	11
Anwendungsbeispiel Scheibenwischer	13
2.2 Eigen- und herstellerspezifische Diagnose	15
OEM-Diagnose	18
Vernetzung der Steuergeräte	20
Klassifizierung der Bussysteme	21
Kommunikation im Netzwerk	22
Infrastruktur	23
2.3 Erste Norm für die Fahrzeugdiagnose	25
Kapitel 3 • OBD II als Standard	27
3.1 Systemüberwachung und Fahrerinformation	27
Anforderungen des CARB	29
3.2 Speicherung aufgetretener Fehler	31
Kompletter Fehlercheck nach einem Fahrzyklus	35
3.3 Einführung der genormten Diagnoseschnittstelle	36
3.4 OBD und EOBD in Europa	38
In welchen Fahrzeugen ist OBD implementiert?	40
HD OBD und schwere Nutzfahrzeuge	41
WWH-OBD	44
3.5 OBD II Protokolle	47
ISO/OSI-Schichtenmodell	49
3.6 OBD III: Big Brother is watching you?	50
Kapitel 4 • OBD II Funktionsumfang	52
Betrug mit OBD-Tuning	52
Diagnose durchführen	54
Diagnosemodi	54
Umrüstung auf Gas	56
4.1 Service Identifier \$01: Diagnosedaten	56
Ermittlung der unterstützten Sensormesswerte	56
Berechnung von Sensormesswerten	57
Readiness-Code	58
Abgasuntersuchung im Rahmen der HU	60
PIDs mit erweitertem Datenumfang	61
Mehrdeutige Sensormesswerte	62
4.2 Service Identifier \$02: Freeze-Frame-Daten	63
4.3 Service Identifier \$03: DTCs (Fehlercodes) lesen	63
4.4 Service Identifier \$04: Löschen aller Fehlerspeicher	64
4.5 Service Identifier \$05: Testwerte Lambdasonde	65

4.6	Service Identifier \$06: Testwerte spezifische Systeme	68
	On-Board-Diagnose Monitor Identifier	68
	Einheit, Skalierung und Gültigkeitsbereich	70
4.7	Service Identifier \$07: Temporäre Fehler auslesen	73
4.8	Service Identifier \$08: Test der On-Board-Systeme	73
4.9	Service Identifier \$09: Fahrzeugkenndaten abfragen	74
	Emissionsgutschriften	75
4.10	Service Identifier \$0A: Emissionsrelevante dauerhafte Fehler	76
Kapitel 5 • OBD II mit Fertigeräten		78
5.1	Handhelds für die schnelle Diagnose unterwegs	78
5.2	Grundprinzip Diagnoseadapter	80
	KL-Interface mit Software	80
	Interface mit Protokollinterpreter	83
	Galvanische Trennung	84
	Hackerangriffe	85
5.3	ELM Systeme	85
	Software	88
	Direktzugriff auf den ELM Chip	91
	App Torque	100
5.4	Diagnoseadapter vom Typ AGV	100
	Software für die Diagnose	101
5.5	STN1110	104
5.6	Displays	105
5.7	Telematik und Pay-as-you-drive	107
Kapitel 6 • Testumgebung für Experimente		109
6.1	Simulatoren	109
6.2	Labora Ausstattung vom Schrottplatz	110
Kapitel 7 • OBD II mit SAE J1850, ISO 9141 und ISO 14230		117
7.1	Physical Layer	117
	Signalpegel	117
	Bit-Codierung bei ISO	118
	PWM nach SAE J1850	119
	VPW nach SAE J1850	120
	Steuersequenzen bei SAE J1850	121
7.2	Initialisierung der Kommunikation	123
	5 Baud Slow Init	124
	Schnelle Initialisierung	127
7.3	Data Link Layer	129
	Header Bytes und Botschaftsformat	130
	Timing	131
	Verbindungsabbau und Fehlerbehandlung	132
	Messwertabfrage (SID \$01)	134
	Freeze Frame Daten auslesen (SID \$02)	135

Fehlercodes auslesen (SID \$03, SID \$07 und SID \$10)	138
Löschen aller Fehlerspeicher (SID \$04)	139
Testwerte der Lambdasonde (SID \$05)	140
Kapitel 8 • OBD II und WWH-OBD mit CAN	142
8.1 CAN funktioneller Aufbau	142
Botschaftsformat	145
Arbitrierung	145
8.2 Flusskontrolle mittels Segmentierung	148
8.3 Single Frame	149
First Frame	149
Flow Control	150
Consecutive Frame	151
8.4 Adressierung der CAN Botschaften	152
8.5 CAN Kommunikationsbeispiel	153
8.6 UDS und WWH-OBD: DTCs auslesen	156
Service Identifier	156
Unterfunktionen SID \$19	158
DTC-Formate	160
Kommunikationsbeispiel	160
Kapitel 9 • OBD II mit Arduino und Raspberry Pi	163
9.1 Arduino-Projekt	165
Bauteile	166
Aufbau	167
Programmierung	170
9.2 Raspberry Pi-Projekt	174
Bauteile	175
Raspberry Pi einrichten	177
Bluetooth-Adapter einbinden	181
Anhang A • Skalierung und Definition Parameter Identifier (PID)	
für Service ID 1 und 2	186
Anhang B • On-Board-Diagnose Monitor Identifier (OBDMID) für Service ID 6	222
Anhang C • Einheiten und Skalierung der OBDMIDs für Service ID 6	226
Anhang D • InfoType IDs für Service ID 9	230
Anhang E • Liste der Fehlercodes	246
Index	371

1 • Vorwort

Basteln und reparieren Sie gerne selber am Auto, stehen aber immer öfter vor Problemen mit Sensoren und elektrischen Systemen? Mechanische Defekte werden immer seltener – sieht man einmal vom üblichen Verschleiß ab. Seit dem immer mehr elektronische Komponenten im Fahrzeug verbaut werden, sind viele Fehler oft auf den Ausfall dieser Baugruppen zurückzuführen. Während ein Loch im Auspuff schnell gefunden ist, kann ein Kabelbruch oder defekter Signalgeber nicht mit bloßem Auge gefunden werden. Oft ist der eigentliche Defekt auch Teil einer Kausalkette, in der sich vom Fehlverhalten des Fahrzeuges kaum auf die eigentliche Ursache schließen lässt.

Die Elektronik bietet dafür aber auch einen großen Vorteil: Viele Fehler lassen sich ohne schmutzige Hände eingrenzen. Die gesamte Bordelektronik ist über Mikrocontroller (kleine Computersysteme) miteinander verknüpft und wird überwacht. Über die elektronische Fahrzeugdiagnose können aufgetretene Fehler und der Zustand des Systems ausgelesen und analysiert werden. Die Fehlersuche wird dadurch vereinfacht und das defekte Bauteil kann oft leicht identifiziert und dann repariert werden.

Die Werkstätten verlangen für das Auslesen dieser Diagnosedaten oft mehr Geld, als ein einfaches Diagnosegerät für den Hobbyschrauber kostet. Wenn Sie wissen, was möglich ist, wie die Diagnose funktioniert und welche Geräte es dafür gibt, können Sie sich den Weg in die Werkstatt künftig sparen. Auch der nächsten Hauptuntersuchung sehen sie gelassener entgegen und beim Gebrauchtwagenkauf finden Sie schnell heraus, ob es mit dem Fahrzeug Probleme gibt.

In diesem Buch werden Sie erfahren, welche Diagnosefunktionen der Gesetzgeber in allen Fahrzeugen seit knapp 20 Jahren vorsieht und was sie damit anfangen können. Wenn Sie an eigener Soft- und/oder Hardwareentwicklung interessiert sind, dann finden Sie zudem ausführliche Informationen über die technischen Details. Anhand von zwei Beispielprojekten wird gezeigt, wie Sie OBD II in eigenen Projekten mit dem Arduino und dem Raspberry Pi einsetzen.

Eins kann das Buch aber leider nicht sein: Eine Anleitung, wie Sie Ihr Auto im Einzelfall reparieren oder tunen können. Auch wenn die erfassten Diagnoseinformationen für eine umfangreiche Inspektion oder Wartung unabdingbar sind: Ohne weitere Sachkenntnis, welche Bedeutung diesen Messwerten zukommt und entsprechendes Informationsmaterial aus einem Werkstattreparaturhandbuch, können Sie keine qualifizierte Reparatur durchführen. Trotzdem werden Sie nach der Lektüre in der Lage sein, Fehler im Fahrzeug zu erkennen und Kosten zu sparen.

Viel Spaß mit dem Thema wünscht Ihnen
Florian Schäffer

2 • Computergestützte Fahrzeugdiagnose

Während sich die Anzahl elektronischer Bauteile in den achtziger und neunziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts noch auf wenige Komponenten beschränkte, verfügen neuere Fahrzeuge inzwischen über eine Vielzahl an Geräten. Mittlerweile wird fast jede Funktion nicht mehr mechanisch, sondern elektronisch von einem Mikroprozessorsystem kontrolliert.

2.1 Elektronische Steuergeräte

Treibende Kraft für die Weiterentwicklung bei der Motorsteuerung weg von einer rein mechanischen Lösung, hin zu einer elektronisch unterstützten, waren die 1967 für Kalifornien geforderten strengen Abgasgrenzwerte des *Clean Air Act*. Die elektronische Einspritzsteuerung D-Jetronic von Bosch ersetzte den Vergaser, kontrollierte das Luft-Benzin-Gemisch und steuerte dazu Kraftstoffpumpe und Einspritzventile, so dass der Benzinverbrauch und der Schadstoffausstoß sanken.

Zur Messung des zugeführten Luftanteils kam ein Saugrohrdrucksensor (MAP-Sensor: Manifold Absolute Pressure) zum Einsatz. Im Nachfolgemodell L-Jetronic kam ein Luftmengenmesser zum Einsatz. Bei diesem drückt die einströmende Luft gegen eine Stauklappe und der Winkel der Klappe gibt über ein Potentiometer die Stellung an das Steuergerät weiter. Die Messung der Luftmenge in Form des Volumens berücksichtigt nicht die Temperatur-, Druck- und Feuchtigkeitsabhängigkeit der durchströmenden Luft. Außerdem ist sie auf Grund der mechanischen Toleranzen ungenau. Heutzutage wird neben dem MAP-Sensor meistens ein Luftmassenmesser (auch MAF: Mass Air Flow meter) benutzt.

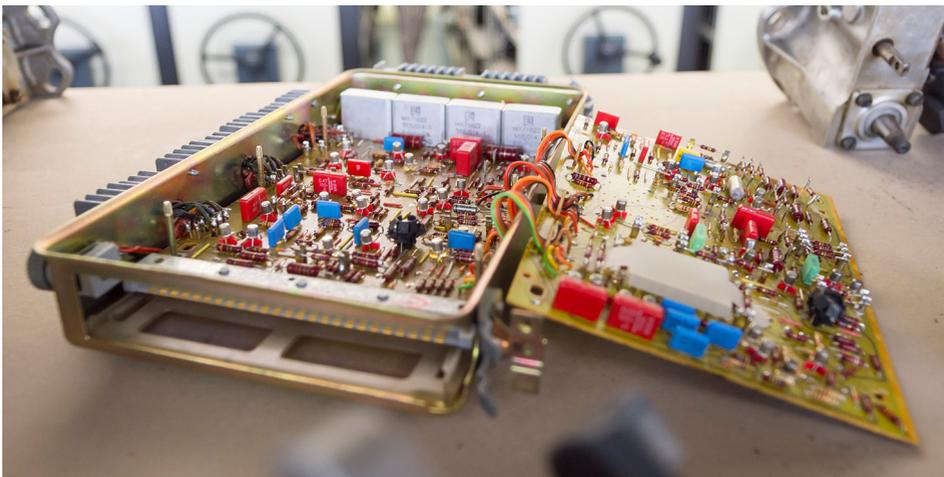


Abbildung 2.1: Die Jetronic bestand noch ausschließlich aus diskreten Bauteilen wie Widerstände, Kondensatoren, Transistoren etc. (Foto: Bosch).

Die Jetronic wurde mit einem einfachen Kennfeld zur Steuerung der Einspritzmenge ausgestattet: Auf einem Motorprüfstand wurden die zum jeweiligen Motortyp passenden Parameter ermittelt und auf der extra Platine durch diskrete Bauteile abgebildet. Der Wildwuchs an daraus resultierenden Bestückungsvarianten erschwerte die damals noch übliche Fehlersuche innerhalb des Steuergerätes.

Heute werden solche Kennfelder als digitale Daten in den Steuergeräten hinterlegt und können mit mehr oder weniger Aufwand ausgelesen und verändert werden, was vor allem in der Tuning-Szene beliebt ist, um aus dem Serienmotor mehr Leistung herauszuholen oder den Verbrauch zu optimieren. Ebenso können Sicherheitssysteme in das Motormanagement eingreifen, um die aktive Fahrsicherheit zu erhöhen.

Moderne Motorsteuergeräte (MSG) bestehen aus mehreren Mikrocontrollern und verarbeiten tausende Male pro Minute eine Vielzahl an Messwerten und steuern anhand der Berechnungen und der komplexen Motorkennfelder alle Parameter des Motors, um eine optimale Verbrennung zu erreichen. Im Idealfall wird ein Verbrennungsverhältnis von Kraftstoff und Luft von $\lambda = 1$ (Lambda) erreicht, bei dem die Menge an Luft und Kraftstoff im stöchiometrischen Verhältnis zueinander verbrennen. Dann erfolgt eine vollständige Verbrennung des Treibstoffs, bei der nicht zu viel oder zu wenig Sauerstoff vorhanden ist. Um 1 kg Superbenzin optimal zu verbrennen, werden 14,7 kg Luft benötigt. Von diesem Idealwert wird allerdings oft abgewichen, um auf die verschiedenen Fahrsituationen reagieren zu können. So zum Beispiel bei hohen oder niedrigen Temperaturen, starker Beschleunigung oder hoher Geschwindigkeit.

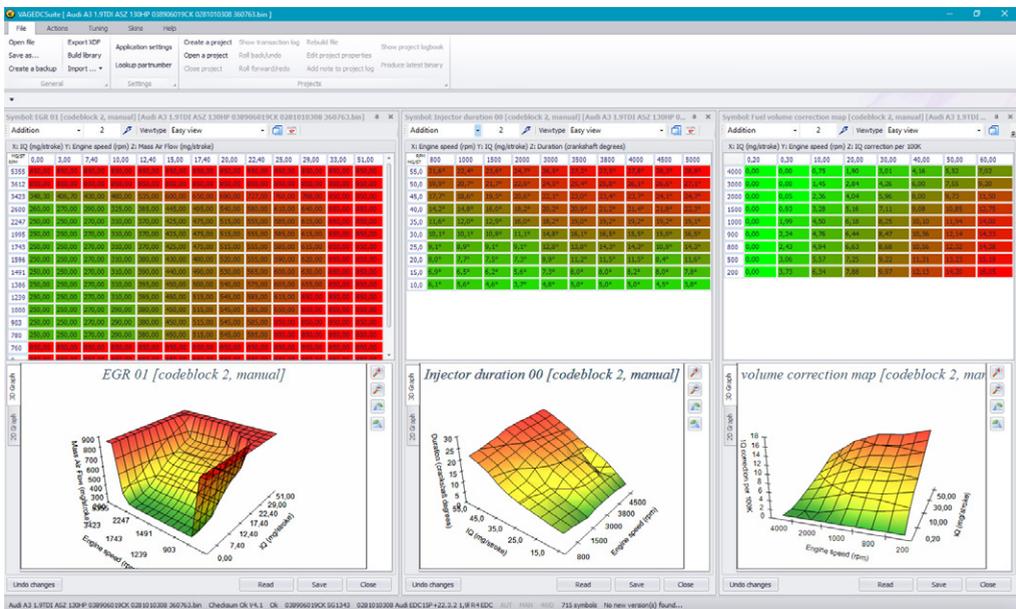


Abbildung 2.2: In der ECU sind viele Kennfelder gespeichert über welche die Motorsteuerung definiert wird.

Den Steuergeräten kommen im Wesentlichen folgende Aufgaben zu:

- Messen, Steuern, Regeln: Es werden Eingangssignale (Messwerte, Steuerimpulse) erfasst und entsprechende Steuerbefehle an angeschlossene Komponenten gesendet. Wiederholt sich der Vorgang, bewirkt dies eine Regelung. Beispielsweise die möglichst gleichbleibende Motortemperatur oder eine konstante Fahrzeuggeschwindigkeit mittels Tempomat.
- Über die Onboard-Kommunikation werden Daten mit anderen Steuergeräten ausgetauscht.
- Angeschlossene Komponenten und auch das Steuergerät selbst werden durch die Eigendiagnose überwacht und gravierende Abweichungen von Sollwerten oder unplausible Signale werden als Fehler gespeichert.
- Offboard-Kommunikation mit Diagnosetestern.

Steuergeräte für diverse Aufgaben

Neben den Systemen, die für den reinen Antrieb notwendig sind, wie beispielsweise die Einspritzregelung, nimmt vor allem die Zahl der Komfortfunktionen immer mehr zu. Verrieteten früher noch Relais ihren Dienst für Blinker und Intervallscheibenwischer, steuert dies inzwischen eine Elektronik, die sogar das vertraute Klickgeräusch des Relais über Lautsprecher imitiert. Als neue Funktion bietet die Steuerung dafür den Komfortblinker, der nach kurzem Antippen automatisch mehrmals nacheinander den entsprechenden Richtungsblinker aktiviert, ohne dass der Blinkhebel dafür einrasten musste. Regensensoren, adaptives Bremslicht und die Vielzahl an gängigen Sicherheitssystemen wie ABS (Antiblockiersystem), ESP (Elektronisches Stabilitätsprogramm; Electronic Stability Program), Airbag usw. steigern die Anzahl der Steuergeräte weiter.

Für verschiedene Aufgabenbereiche gibt es stets eigene Steuergeräte. Das Motorsteuergerät ist das bekannteste und vermutlich auch wichtigste. Dutzende weitere Steuergeräte übernehmen aber davon unabhängig viele andere Aufgaben. Welche vorhanden sind, hängt von der Ausstattung und dem Stand der Technik ab. Wegfahrsperrung, Instrumententafel, Infotainment, Klimaanlage, Bremssystem, Lenkstockhebel, Getriebe, Airbags usw. verfügen beispielsweise über eigene Steuergeräte.

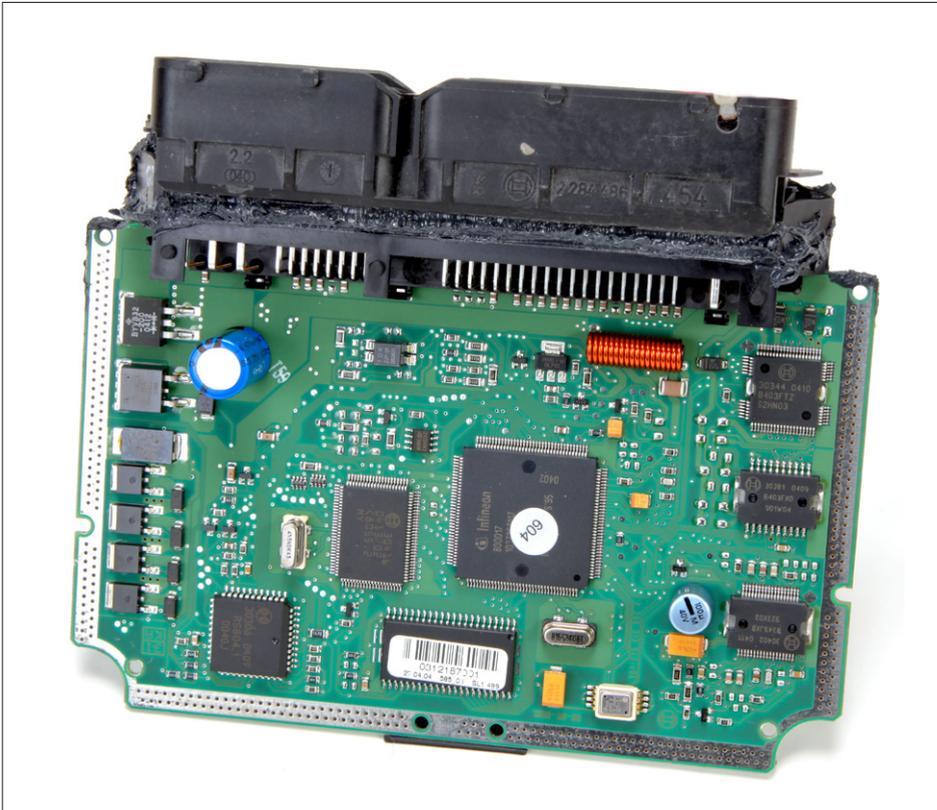


Abbildung 2.3: Geöffnetes Motorsteuergerät, welches von Bosch als Electronic Diesel Control (EDC15) vermarktet wird.

Die zunehmende Aufrüstung mit Komfortfunktionen und Multimediageräten führt mittlerweile zu Problemen. Zum einen werden die Fahrzeuge durch die Komponenten und die aufwändigen Kabelbäume immer schwerer und zum anderen steigt das Risiko eines Systemausfalls. Damit die Komfortfunktionen von überall bedienbar sind und auch andere Komponenten von den gesammelten Daten profitieren, sind inzwischen sämtliche Sensoren und Steuergeräte bis hin zum Autoradio miteinander über einen oder mehrere Datenbusse verbunden. So kennt beispielsweise das Navigationssystem auch bei Verlust des GPS-Signals (Global Positioning System) im Tunnel, dank der Informationen der Radsensoren, die gleichzeitig für das ABS benötigt werden, weiterhin Richtung und Geschwindigkeit des Autos und kann den Kurs ohne Unterbrechung anzeigen. Bei einem Unfall wird automatisch der Airbag ausgelöst, eine Notbremsung passend zu den Witterungsbedingungen kann eingeleitet werden, der Rettungsdienst oder Automobilclub wird benachrichtigt, und die Warnblinker werden eingeschaltet.

Kritisch wird die Automatisierung vor allem dann, wenn es um die Sicherheit geht. Unter keinen Umständen darf es dazu kommen, dass beispielsweise der Airbag nicht auslöst,

weil ein anderes Gerät gerade über den Datenbus kommuniziert oder einen Fehler verursacht. Einzelne Fahrzeuge besitzen inzwischen sogar ein Energiemanagement, um den enormen Leistungsbedarf der Bordelektronik zu kontrollieren und im Bedarfsfall, bei drohender Batterieentladung, Komponenten abzuschalten oder die Leerlaufdrehzahl anzuheben, um einen höheren Ladestrom bereitzustellen.

Die zunehmende Digitalisierung im Fahrzeug macht eine zuverlässige Sicherheitsstruktur notwendig. Viele Autos nutzen drahtlose Netzwerke zur Kommunikation mit Geräten der Insassen (Mobiltelefon) oder der Werkstatt und dem Hersteller. *Flashing over the air* (FOTA) bezeichnet beispielsweise die Möglichkeit, Software-Updates drahtlos und ohne Werkstattbesuch einzuspielen. Die Möglichkeiten für Hacker und Diebe Zugriff auf Komponenten zu bekommen, muss seitens der Hersteller immer stärker berücksichtigt und verhindert werden. 2015 ging beispielsweise die Meldung durch die Presse, dass Sicherheitsforscher über eine Schwachstelle im Infotainmentsystems von Jeeps per Mobilfunk über das Internet die Kontrolle über Bremsen, Beschleunigung, Türverriegelung, Klimaanlage und Scheibenwischer übernehmen konnten.

Anwendungsbeispiel Scheibenwischer

Anhand des Scheibenwischers kann die Entwicklung von einem rein mechanischen Bauteil hin zu einer komplexen Steuerung veranschaulicht werden. Mechanische Scheibenwischer bestehen aus einem Motor und einem Getriebe, das die Drehbewegung des Motors in eine lineare Pendelbewegung wandelt. Mit einem Schalter kann der Motor ein- und ausgeschaltet werden. Eine elektromechanische Nachlaufsteuerung sorgt dafür, dass der Motor sich solange weiter dreht, bis die Wischerarme an der Endposition angekommen sind. Die Mechanik nahm auch durch die 360°-Drehung viel Platz in Anspruch und bot keinerlei Komfortfunktionen. Entsprechend lange dauerte es, bis 1964 der Intervallwischer aufkam.



Abbildung 2.4: Mechanisches Wischergetriebe (Quelle: Hans Haase, Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0).

Moderne Scheibenwischer besitzen im Grunde gar keine Mechanik mehr. Der oder die Wischerarme sitzen direkt an einem Motor (mit eventuellem Getriebe zur Übersetzung). Mehrere Steuergeräte sind an dem Vorgang der Wischbewegung beteiligt.

Der Fahrer meldet über das Steuergerät des Lenkstockhebels den Wischwunsch an das Steuergerät für das Bordnetz. Zugleich gehen Daten vom Kombiinstrument (Außentemperatur) und dem Antriebssteuergerät (Fahrgeschwindigkeit und Richtung) an das Bordnetzsteuergerät. Dieses prüft, ob die Zündung eingeschaltet ist und ob die Motorhaube geschlossen oder offen ist (Kontaktschalter). Anschließend werden die Steuergeräte an den Motoren der Wischerarme angesteuert.

Der hohe Aufwand bietet dem Hersteller die Möglichkeit, eine Vielzahl an technisch notwendigen Funktionen zu realisieren und dem Kunden verschiedene (teilweise als extra Ausstattung zu bezahlende) Komfortmerkmale zu offerieren.

- Die Wischerarme können tiefer an der Windschutzschiebe sitzen, da keine Platz für die Mechanik benötigt wird und von der Motorhaube verdeckt sein, was den Windwiderstand verbessert. Dazu ist es aber notwendig sicherzustellen, dass die Wischer nicht bei geöffneter Motorhaube betrieben werden. Eine Servicestellung zur Wartung kann über kurzes Antippen des Wischerwahlhebels erreicht werden.
- Die Wischbewegung wird Abhängig von Fahrgeschwindigkeit und Fahrtrichtung angepasst.
- Der Abstand für ein Wischerintervall kann ohne mechanischen Schalter vom Fahrer gewählt werden, in dem er zwischen zwei Wischanforderungen eine entsprechende Pause lässt. Auch der Intervallabstand wird an die Geschwindigkeit angepasst (beispielsweise beim Warten an der Ampel).
- Beim Betätigen der Waschfunktion mit Wasser wird erst Wasser gefördert und der Wischer startet etwas verzögert.
- Beim Nachwischen und dem Tränenwischen wird nach dem eigentlichen Wischvorgang und einer Pause automatisch noch einmal gewischt, um Wasserreste zu beseitigen.
- Schutzfunktionen verhindern eine Beschädigung der Wischerblätter und der Motoren: Anhand der Stromaufnahme kann erkannt werden, ob die Wischer blockiert sind (festgefroren, Hindernis, nicht erreichte Ruhestellung).

Bei der mechanischen Variante existieren kaum Fehlerquellen. Bei einem Defekt kann schnell geprüft werden, ob der Motor arbeitet, in dem an ihn direkt Batteriespannung angelegt wird. Verschleiß an der Getriebemechanik lässt sich gut erkennen und oft mit einfachen Werkzeugen beheben.

Die Motoren der vollelektronischen Steuerung lassen sich nur über Signale auf dem Datenbus steuern. Wenn der Wischer nicht arbeitet, kann mit einfachen Mitteln nicht erkannt werden, ob dies an Fehlern anderer Steuergeräte liegt (fehlende/unplausible Daten), einem Defekt im Bordnetzsteuergerät oder etwas trivialem, wie dem Kontaktschalter für die Motorhaube. Zudem gibt es im Grunde keine Teile die repariert werden können. Die Wischermotoren bilden mit ihren Steuergeräten eine Einheit und sind nicht als Einzelteile vom Hersteller erhältlich (eventuell im Zubehörmarkt).

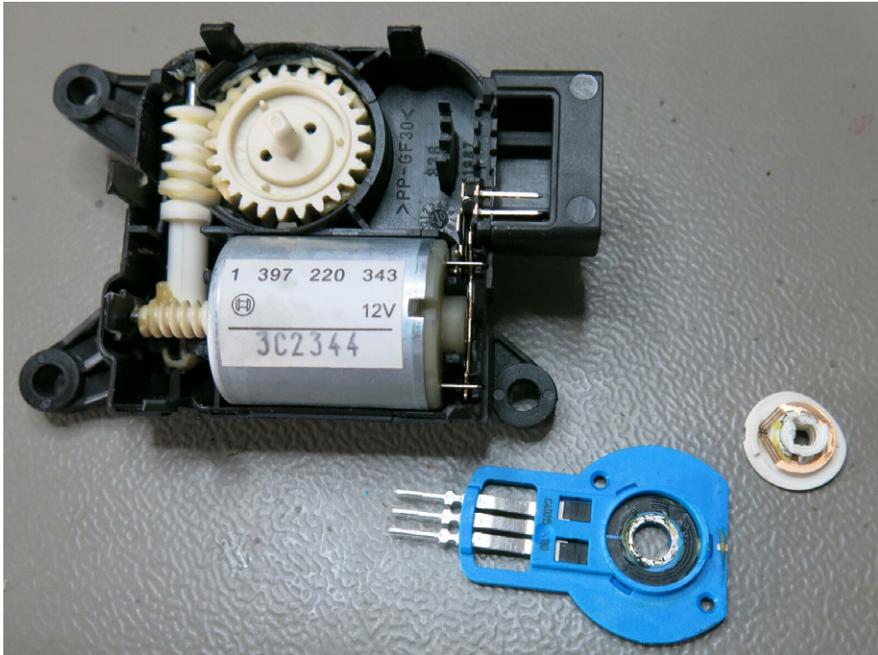


Abbildung 2.5: Stellmotor für eine Lüfterklappe mit defektem Potentiometer zur Positionserkennung.

So faszinierend die Möglichkeiten der elektronischen Assistenzsysteme und Spielereien im „smarten Automobil“ teilweise sein mögen, so unangenehm können sie auch werden. Ein paar Nylons zur Keilriemenreparatur braucht heute keiner mehr. Sehr häufig fallen vor allem Pfennigartikel aus und sorgen dann für einen kompletten Ausfall eines Aggregates. So sind beispielsweise in vielen Stellmotoren Potentiometer mit Schleifkontakten verbaut, über welche die Stellung des Motors ermittelt wird. Für einen Ausfall sorgen hier oft nicht die Motoren, sondern die Potis. Die Schleifbahn verdreckt oder nutzt sich ab und meldet dann unpassende Daten. Das Steuergerät erkennt dies und legt einen Fehler ab. Der Fahrzeugbauer sieht eine Reparatur nicht vor und bietet das Potentiometer nicht einzeln an, sondern nur die ganze Einheit.

2.2 Eigen- und herstellerspezifische Diagnose

Eine wichtige Aufgabe der Steuergeräte wurde mit der zunehmenden Digitalisierung die Eigendiagnose und Selbstüberwachung des Systems. Fällt ein Bauteil aus oder liefert es Werte, die nicht zum aktuellen Betriebszustand passen, muss das Steuergerät dies erkennen, damit keine Folgeschäden (beispielsweise eine Motorschaden) oder gefährliche Betriebszustände (zum Beispiel ein Ausfall der Bremsen) eintreten. Der Fahrer wird über den Defekt informiert und das Fahrzeug wechselt ggf. in einen Notlauf. Bei diesem werden fehlende Sensorwerte durch Standardwerte ersetzt und die Leistung wird reduziert.

Zur Eigendiagnose eines Steuergerätes gehören:

- **Fehlerspeicher:** Erkennt ein Steuergerät einen Fehler, wird dieser (je nach Gewichtung) abgespeichert und kann später ausgelesen oder gelöscht werden.
- **Selbst-Check:** Mit Einschalten der Zündung prüft das Steuergerät sich selbst. Es werden Sensoren abgefragt und eventuell aktiv angesteuert, um die Reaktion von zugehörigen Sensoren zu prüfen. Über das Netzwerk werden Botschaften gesendet und empfangen, um zu prüfen, ob andere Steuergeräte vorhanden sind und die Kommunikation läuft. Zudem wird der Fehlerspeicher abgefragt, ob dort Fehler gespeichert sind, die von früheren Fahrten stammen und auf die reagiert werden muss.
- **Plausibilitätsprüfung:** Für die Messwerte der angeschlossenen Sensoren gibt es einen definierten Gültigkeitsbereich. Liegt ein Messwert außerhalb des Wertebereichs oder ist er zu einem anderen widersprüchlich (beispielsweise die Temperatur von Kühlwasser, angesaugter Luft und Motor), kann er Defekt sein. Wird ein Aktor angesteuert und dabei ändert sich der zugehörige Sensorwert nicht (zum Beispiel Ansteuerung einer Lüfterklappe und Sensor für den Stellwinkel) liegt ebenfalls ein Fehler vor.
- **Selbstheilung:** Tritt ein Fehler nur sporadisch auf (beim Selbst-Check wurde er im Fehlerspeicher gefunden, jetzt ist er aber nicht mehr feststellbar), dann kann das Steuergerät den Fehlereintrag auch wieder löschen.
- **Adaption/Codierung:** Die Motorkennlinien wurden auf einem Motorprüfstand ermittelt und gelten für den idealen Zustand. Erkennt das System aber beispielsweise verunreinigten Treibstoff, kann es darauf reagieren und die Kennlinien variieren. Werden Baugruppen ausgetauscht, ist es teilweise notwendig, dass neue Gültigkeitsbereiche für Messwert erfasst werden. Die Werte für Xenon-Scheinwerfer werden dann beispielsweise neu angelernt. Durch die Codierung können Funktionen freigegeben oder gesperrt werden.
- **Bereitstellen von Diagnosedaten:** Das Steuergerät kann über eine Diagnoseverbindung Daten bereitstellen. Die einzelnen Sensorwerte und Fehlerspeicher lassen sich auslesen. Zudem können die Aktoren manuell angesteuert werden, um zu prüfen, ob sie reagieren.



Abbildung 2.6: Professionelles älteres Werkstatt-Diagnosegerät mit Textdisplay und Belegdrucker.

Diese Eigendiagnose ist für die Hersteller und Werkstätten praktisch, erübrigt sich so häufig eine aufwendige Fehlersuche, weil die Systeme die meisten Fehler während der Fahrt erkennen und relativ eng eingrenzen können (welcher Sensor oder Aktor defekt ist). Einfache Fehlerursachen lassen sich dabei sogar vom Steuergerät identifizieren: Kein Signal (Kabelbruch), Kurzschlüsse gegen Masse oder die Versorgungsspannung, blockieren (hohe Stromaufnahme) oder unplausible Messwerte. Das System kommt aber auch an seine Grenzen. Ist beispielsweise die Luftzufuhr im Ansaugstutzen blockiert (zugesetzter Luftfilter), kann es sein, dass der Luftmassenmesser unplausible Daten liefert, weil zu wenig Luft einströmt. Dann liegt der Fehler gar nicht am Sensor, sondern an einer anderen Stelle.

Die Codierung ist inzwischen ein wichtiges Werkzeug bei der Individualisierung von Fahrzeugen geworden. Durch einzelne Bytes im Speicher des Steuergerätes werden die verfügbaren Funktionen definiert. Im Grunde beherrscht die Software des Steuergerätes die meisten Komfortfunktionen etc. und auch die notwendigen Komponenten sind meistens verbaut. Sobald ein elektrischer Fensterheber verbaut ist, ist es nur eine Frage der Codierung im Steuergerät, ob beispielsweise ein automatisches Schließen der Fenster beim Abschließen des Wagens erfolgt. Derartige Funktionen kann sich der Hersteller allerdings vom Kunden bezahlen lassen ohne dass er für die Umsetzung Aufwand betreiben muss. Tesla ist ein Vorreiter der Idee, Neuwagen mit Hardware auszurüsten, die erst später durch den Kunden gegen Gebühren freigeschaltet werden können. Auch BMW kündigte 2020 an, zusätzliche Fahrzeugeigenschaften in Form eines „digitalen Nachverkaufs“ anzubieten, die teils tief in der Systemsoftware verankert sind. Derzeit verfügbare Beispiele für solche Dienste sind der Fernlichtassistent und das Fahrerassistenzsystem Abstandsregeltempomat (Adaptive Cruise Control, ACC). Auch länderspezifische Funktionen lassen sich so einfach aktivieren oder deaktivieren: Hupsignal beim Öffnen/Schließen oder permanentes Tagfahrlicht.

OEM-Diagnose

Über die Offboard-Kommunikation stellen die Steuergeräte ihre Daten, die durch die Eigendiagnose gesammelt wurden, für Diagnosesysteme außerhalb des Autos bereit. Spezielle Kommandos ermöglichen zudem in das Verhalten des Steuergerätes einzugreifen und so Module manuell anzusteuern oder Diagnoseabläufe zu starten (Grundeinstellung oder Stellglieddiagnose). In der Regel lässt sich auch die Software (Firmware) des Steuergerätes ändern, um ein Update einzuspielen, mit dem Softwarefehler behoben oder neue Funktionen bereitgestellt werden.

Für die herstellerspezifische Diagnose (englisch: Original Equipment Manufacturer, OEM, Originalausrüstungshersteller) gibt es keine genormten Diagnoseschnittstellen (DLC: Data Link Connector) oder Verfahren. Die Fahrzeughersteller versuchten anfangs, durch die unterschiedlichen Diagnoseanschlüsse auch ihre Monopolstellung zu verfestigen, damit freie Werkstätten nicht so einfach an die Daten der Steuergeräte kamen. Heute wird die Diagnose der Hersteller über die OBD-II-Buchse abgewickelt, ist davon aber unabhängig und folgt eigenen Protokollen.



Abbildung 2.7: Proprietäre Diagnosestecker von VAG und BMW.

Ein weiteres Mittel zur Verschleierung sind die unterschiedlichen und nicht offengelegten Diagnoseprotokolle. Die Übertragungsparameter und Protokollbefehle sind bei jedem Hersteller anders und weichen teilweise sogar bei einzelnen Steuergeräten voneinander ab. So war eine Diagnose nur mit einem Original Werkstatttester möglich, der nicht frei erhältlich ist. Drittanbieter von Diagnosegeräten mussten teilweise mit Reverse Engineering versuchen, die Diagnosefunktionen nachzubilden. Große Diagnosesystem-Hersteller

profitierten davon, dass sie als Entwickler der Steuergeräte natürlich Kenntnis über die Protokolle etc. besitzen. Professionelle Diagnosegeräte von Bosch oder Hella Gutmann kosten mehrere Tausend Euro und erfordern teilweise ein Abo für Updates, ohne welches die Geräte ihren Dienst verweigern.

Nach EU-Recht sind die Fahrzeughersteller heute dazu verpflichtet, die Daten über ihre Diagnoseprotokolle offenzulegen. In der Praxis wird dem aber kaum nachgekommen, und wenn, sind die Informationen sehr spärlich und teuer.

Auf dem Zubehörmarkt werden diverse Diagnoselösungen für die OEM-Diagnose für Hobbyanwender angeboten. Die Geräte unterstützen entweder einzelne Marken oder als Multi-Markengerät eine breitere Palette und kosten zwischen knapp 100 Euro und etwa 500 Euro. Nur wenige auf einzelne Marken spezialisierte Angebote sind beim Funktionsumfang mit den professionellen Geräten vergleichbar. Bei den meisten Geräten handelt es sich um praktische Handhelds, die über ein Display verfügen und ohne zusätzlichen Computer auskommen. In der Regel bieten sie nur wenige Funktionen, wie die Anzeige von Sensordaten, Fehler auslesen und löschen und Service-Reset nach einem erfolgten Ölwechsel.



Abbildung 2.8: Markenspezifisches Diagnosegerät.

Vernetzung der Steuergeräte

Die zunehmende Ausstattung mit elektrischen Komponenten führte in den 1980er Jahren zu immer komplexeren Kabelbäumen mit bis zu 4.000 Leitungen, da die einzelnen Baugruppen und Steuergeräte über Einzeldrahtverbindungen miteinander kommunizierten.

Um weitere Geräte effizienter einbinden zu können, wurden erste Überlegungen zu Bussystemen unternommen. Anstelle einzelner Kabel vom Steuergerät zu jeder Baugruppe und zu anderen Steuergeräten gibt es beim Datenbus nur wenige Kabel, die sich durchs ganze Fahrzeug ziehen und an die alle Baugruppen angeschlossen werden. Angesprochen werden die einzelnen Baugruppen dann über Adressen und Datenpakete. An die verschiedenen Steuergeräte sind dann weitere Sensoren und Aktuatoren angeschlossen. Messwerte können so auch anderen Geräten zur Verfügung gestellt oder Regler angesteuert werden.

Diese Steuergeräte werden meistens ECU (Electronic Control Unit) oder ECM (Engine Control Module) genannt, auch wenn sie nicht direkt zur Motorsteuerung genutzt werden. Vor allem die doppelte Verwendung der Abkürzung ECU für Engine und für Electronic Control Unit ist ungenau. In der Regel spielt die Terminologie aber keine Rolle.

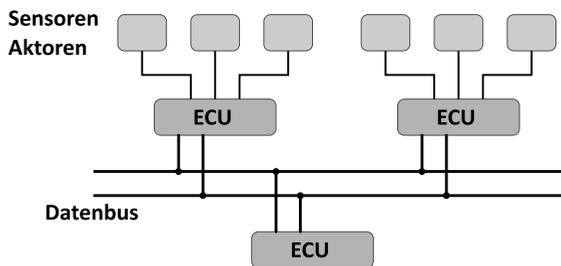


Abbildung 2.9: Sensoren und Aktuatoren sind mit den über einen Datenbus vernetzten Steuergeräten verbunden.

Den Steuergeräten kommen im Wesentlichen folgende Aufgaben zu:

- Messen, Steuern, Regeln: Es werden Eingangssignale (Messwerte, Steuerimpulse) erfasst und entsprechende Steuerbefehle an angeschlossene Komponenten gesendet. Wiederholt sich der Vorgang, bewirkt dies eine Regelung. Beispielsweise die möglichst gleichbleibende Motortemperatur oder eine konstante Fahrzeuggeschwindigkeit mittels Tempomat.
- Über die Onboard-Kommunikation werden Daten mit anderen Steuergeräten ausgetauscht.
- Angeschlossene Komponenten und auch das Steuergerät selbst werden durch die Eigen diagnose überwacht und gravierende Abweichungen von Sollwerten oder unplausible Signale werden als Fehler gespeichert.
- Offboard-Kommunikation mit Diagnosetestern.

Klassifizierung der Bussysteme

Im Automobil gibt es nicht nur einen Bus für alle Steuergeräte zusammen, sondern verschiedene. Diese unterscheiden sich durch die funktionalen Baugruppen, die sie vereinen aber auch und vor allem in der Technologie. Die einzelnen Systeme sind in der Regel nicht kompatibel zueinander.

Die Anwendungsbereiche der verschiedenen fahrzeuginternen Bussysteme (VAN: Vehicle Area Network) lassen sich in Gruppen unterteilen und werden u. a. teilweise in ISO 11519 beschrieben:

- *Mechatronische Applikationen, Smart Sensor und Smart Aktor:* Sensoren und Regelelektronik können über diesen Bus vernetzt werden. Der wichtigste Vertreter in dieser Klasse ist der LIN-Bus (Local Interconnect Network). Die Datenraten liegen im Bereich bis 20 Kbit/s. Kommuniziert wird oft über firmenspezifische Protokolle.
- *Karosserieelektronik:* Steuergeräte zur Zentralverriegelung, Sitzverstellung und Klimaanlage gehören hier u. a. dazu. Das wichtigste Protokoll in diesem Bereich ist der Low-speed-Bus CAN-B (Controller Area Network). Die typische Datenrate beträgt hier 100 bis 500 Kbit/s.
- *Antrieb/Fahrwerk:* In dieser Kategorie sind vor allem ECUs für Motor, Getriebe, Fahrwerk und Bremse angesiedelt. Mit dem Highspeed-Bus CAN-C werden Übertragungsraten von 200 Kbit/s bis zu 1 Mbit/s erreicht.
- *Sicherheitskritische Systeme:* Hier kommen Protokolle wie TTP/C, FlexRay oder auch TTCAN zum Einsatz, über die dann beispielsweise passive Sicherheitssysteme wie Airbags kontrolliert werden. Protokolle wie FlexRay zeichnen sich durch den hohen Datendurchsatz (bis zu 10 Megabit/s) und die Datensicherheit durch Redundanz und Fehlertoleranz aus. Der 2006er BMW X5 war das erste Fahrzeug mit einem minimalistischen FlexRay System.
- *Mobile Kommunikation/Telematik:* Radio, Telefon, Navigationssystem usw. werden oft über den aus einer Glasfaseroptik bestehenden MOST-Bus (Media Oriented Systems Transport) vernetzt. Aber auch das aus der PC-Technik bekannten Firewire (IEEE 1394) und das zur drahtlosen Kommunikation entwickelte Bluetooth finden ihren Einsatz.
- *SAE J1850 und K-Leitung:* Dies sind die ältesten für Fahrzeuge genormten Bussysteme, die beide inzwischen für neue Fahrzeuge obsolet sind. SAE J1850 wurde primär bei amerikanischen Herstellern eingesetzt und die K-Leitung bei europäischen Marken.

Die in den Anfängen eingesetzten Bussysteme verwendeten eine einfache Technik, da noch keine hohen Anforderungen an Datenrate, Stabilität und Skalierbarkeit gestellt wurden. Mit der Zeit kamen neuen Systeme hinzu, während die alten weiterhin im Einsatz waren. Dies ist zum einen durch die unterschiedliche Weiterentwicklung einzelner Systeme begründet und die Wiederverwendung von alten (bewährten) Baugruppen in neuen Fahrzeugmodellen.

Zudem erfüllt keine der Netzwerktechniken alle Anforderungen an den Automobilbau: Jedes System hat Vor- und Nachteile. Nicht alle Komponenten benötigen eine hohe Datenrate oder maximale Zuverlässigkeit. Es macht beispielsweise keinen Sinn, einzelne Sensoren oder Aktoren über Glasfaser anzubinden. Die Umstellung auf ein einzelnes System würde hohe Entwicklungskosten nach sich ziehen, da alle Komponenten neu konstruiert und vor allem getestet werden müssten.

Kommunikation im Netzwerk

Wie Daten in einem Bussystem übertragen werden, hängt maßgeblich von der Bustopologie ab. In der Regel besitzen die einzelnen Steuergeräte eine vorgegebene Adresse. Will ein Steuergerät Daten eines anderen Gerätes abfragen, dann prüft es, ob der Bus frei ist und sendet dann eine Anforderung an die Adresse des abzufragenden Steuergerätes. Dieses antwortet dann unmittelbar und sendet die gewünschten Daten über den Bus. Die anderen Steuergeräte am Bus ignorieren die Datensignale, da ihre Adresse nicht verwendet wurde. Eine solche Anfrage an ein Steuergerät wird *Request* genannt. Die Antwort bezeichnet man als *Response*.

Ein Steuergerät kann auch Daten aktiv von sich aus senden. Dabei wird in der Regel das Broadcastprinzip angewendet: Das Steuergerät versieht die Botschaft mit einer Zieladresse. Alle Geräte empfangen zwar die Daten, ignorieren sie aber wieder, wenn sie nicht die gesendete Zieladresse besitzen.

In einzelnen Bustopologien gibt es zudem noch die Möglichkeit, Daten mit einer eigenen ID auszustatten und auch diese per Broadcast zu senden. Alle vernetzten Steuergeräte können dann aus diesem Datenstrom die benötigten Botschaften lesen und verarbeiten. Beispiel für ein solches Datenpaket ist die Motordrehzahl, die für viele Systeme relevant ist. Bei der Konzeption der Vernetzung wurde eine eindeutige ID für dieses Datenpaket festgelegt. Das Steuergerät, welches die Motordrehzahl misst, sendet diese in kurzen Intervallen (mehrmals pro Sekunde) immer wieder auf dem Bus und stellt sie somit allen anderen Steuergeräten zur Verfügung. Ein weiteres wichtiges Datenpaket übermittelt die Information, ob die Zündung eingeschaltet ist (Klemme 15). Viele Steuergeräte arbeiten nur dann, wenn sie diese Information periodisch empfangen können. Ansonsten verfallen Sie in einen Ruhezustand.

Der gesamte Datenaustausch der Steuergeräte untereinander wird als *Onboard-Kommunikation* bezeichnet und ist der Regelbetrieb, weshalb er teilweise auch als *Normal Communication* bezeichnet wird. Die Daten im Bussystem gelangen nicht nach außen, können aber durch Abgriffe an der Verkabelung mitgelesen werden. Findet dabei elektronisch gesehen keine Belastung des Netzwerkes statt und werden keine Daten aktiv gesendet, ist dieses Sniffing (Schnüffeln) unbedenklich.

Infrastruktur

Bei einer Punkt-zu-Punkt-Installation werden die Diagnoseleitungen eines jeden Steuergerätes mit einem eigenen Anschluss am Diagnosestecker (DLC) verbunden. Je nach Protokoll sind pro Verbindung ein oder mehrere Leitungen erforderlich. Der Verdrahtungsaufwand steigt dadurch deutlich an und die Kabelbäume werden komplex. Bei einer hohen Anzahl Steuergeräte, wird ein entsprechend großer Stecker mit vielen Pins benötigt. Das Diagnosesystem muss manuell oder über einen automatischen Umschalter (Multiplexer) mit den Pins verbunden werden, die zum gewünschten Steuergerät führen. Da immer nur ein Steuergerät mit dem Diagnosesystem verbunden ist, werden keine Adressen für die Steuergeräte benötigt. Für Protokolle nach SAE J1850 und die für die K-Leitung wurde dies früher genutzt.

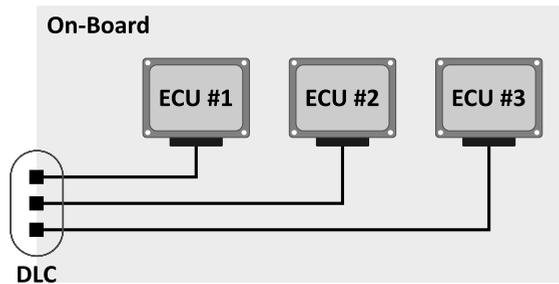


Abbildung 2.10: Punkt-zu-Punkt Verbindung für K-Leitung und SAE J1850.

Um den Verdrahtungsaufwand zu reduzieren, lassen sich die Steuergeräte bei allen Protokollen zu einem linearen Bussystem verbinden. Das Bussystem muss dabei einheitlich sein und jedem Steuergerät muss eine eindeutige Adresse zugeordnet sein, um eine Datenverbindung nur zu diesem aufbauen zu können.

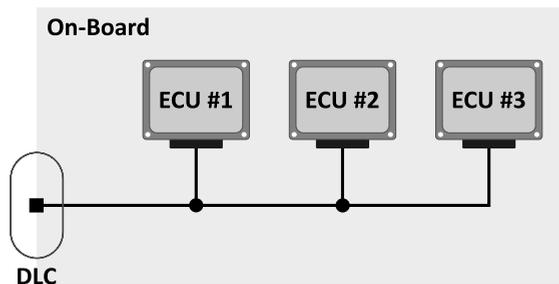


Abbildung 2.11: Vernetzung der Steuergeräte über ein einheitliches Bussystem.

Anstatt den Bus für die Steuergeräte direkt an die Diagnosebuchse zu legen, kann zusätzlich ein Gateway eingefügt werden. Diese Funktionalität kann im Schalttafeleinsatz oder einem Steuergerät für das Bordnetz mitintegriert sein oder befindet sich in einem separaten Steuergerät.

Ein Gateway stellt meistens auch das Verbindungsglied zwischen der Onboard- und Off-board-Kommunikation dar. Dadurch ergibt sich ein Schutz für das Fahrzeugnetzwerk: Kommandos die nicht zulässig sind, weil sie die Sicherheit gefährden oder der Hersteller die Daten schützen will, werden abgeblockt und auch Signalstörungen oder Fehler in der Elektronik des Diagnosegerätes können vom System ferngehalten werden. Im Regelbetrieb bekommt der Anwender bzw. das Diagnosesystem gar nicht mit, ob es über ein Gateway Daten bezieht oder direkt mit einem einzelnen Steuergerät kommuniziert – das Gateway verhält sich transparent für das System.

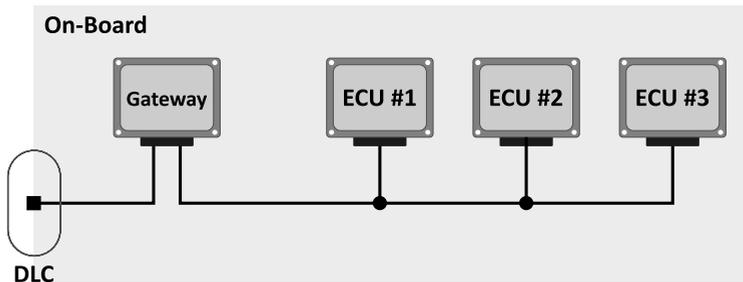


Abbildung 2.12: Ein Gateway sitzt zwischen der Diagnosebuchse und dem Netzwerk.

Damit die verschiedenen (inkompatiblen) Bussysteme miteinander Daten austauschen können, sind sie über (zusätzliche) Gateways, miteinander verbunden. Die Gateways interpretieren die verschiedenen Protokolle und können sie in andere umsetzen, um Daten weiterzureichen. Zusätzlich kann das Gateway auch die Kommunikation zwischen dem Diagnoseprotokoll und der Onboard-Kommunikation umsetzen. Der gezeigte Aufbau ist nur eine Variante – es gibt weitere Kombinationsmöglichkeiten.

Während des Diagnosevorgangs empfängt das Diagnosegateway zunächst die Anfrage vom Tester. Diese enthält das Diagnosepaket mit dem gewünschten Diagnoseservice sowie die logische Adresse des zu diagnostizierenden Steuergeräts. Das Gateway entnimmt dann das Diagnosepaket und verpackt es in eine Botschaft, die auf dem verwendeten Bussystem oder Netzwerk versendet werden kann.

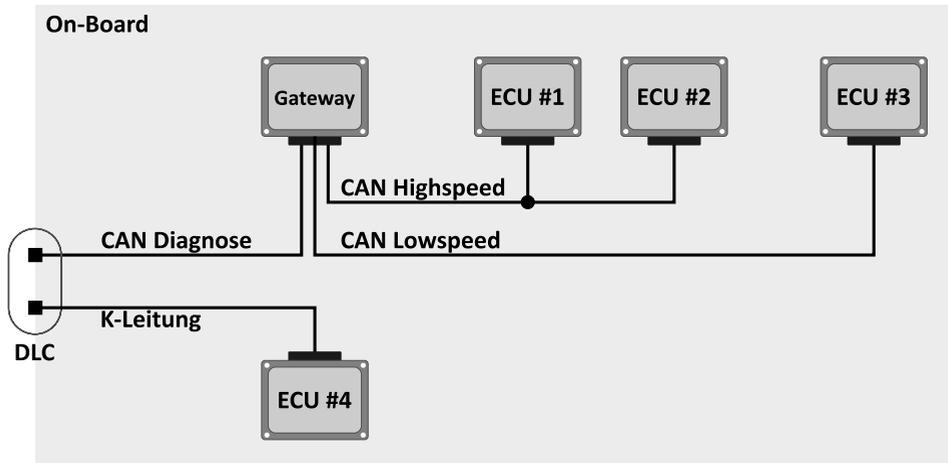


Abbildung 2.13: Das Gateway beherrscht mehrere Protokolle. Zusätzlich kann eine weitere Verbindung zur DLC genutzt werden.

2.3 Erste Norm für die Fahrzeugdiagnose

Diese Diagnosefähigkeiten älterer Fahrzeuge unterliegen keiner Norm und werden im Allgemeinen als OBD I (On-Board Diagnose der ersten Generation) bezeichnet obwohl es sich dabei um keinen typisierten Begriff handelt und niemand zu dieser Zeit die Technik so nannte.. Zurückzuführen sind einige der technischen Fähigkeiten auf die Behörde zur Reinhaltung der Luft des Bundesstaates Kalifornien (California Air Resources Board, CARB, <http://www.arb.ca.gov>). Bereits seit 1970 legt das CARB fest, welche Schadstoffgrenzwerte für Fahrzeugabgase in Kalifornien und den USA gelten. Andere Bundesstaaten konnten davon abweichende Werte definieren aber die kalifornischen Werte galten als die strengsten und somit handelte es sich um einen De-facto-Standard.

Mit einheitlichen Diagnoseschnittstellen nach OBD I soll die Kontrolle auf Einhaltung dieser Grenzwerte für Techniker und Behörden seit 1985 vereinfacht werden. Fahrzeuge ab 1991 müssen Diagnosemöglichkeiten nach OBD I aufweisen. Diese frühen Maßnahmen waren allerdings nicht besonders effizient, da nur wenige abgasrelevante Daten überwacht wurden und das System nicht geeignet war, die Einhaltung von Grenzwerten aktiv zu kontrollieren. Auch waren die technischen Bedingungen der Überwachung noch sehr primitiv. So wurde u. a. gar nicht der Ausstoß von Abgasen überwacht, sondern nur, ob das ganze System elektrisch funktionierte. Solange beispielsweise die Lambdasonde am Katalysator einen Messwert liefert, weist die Eigendiagnose keinen Fehler auf – egal, ob eine saubere Verbrennung stattfindet oder nicht. Die fehlende Regelung hinsichtlich des verwendeten Protokolls, der Fehlercodes und auch der Diagnoseschnittstelle machte eine herstellerübergreifende Auswertung der Daten fast unmöglich.

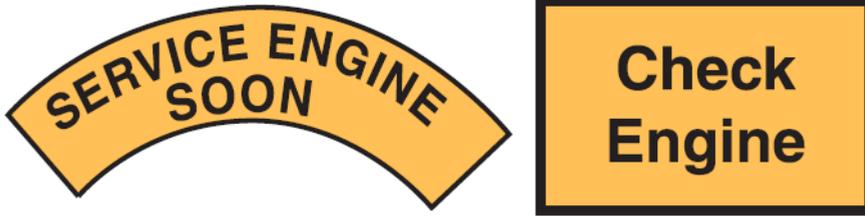


Abbildung 2.14: Ältere Motorkontroll-Leuchten.

Seitens General Motors wurde die proprietäre Diagnoseschnittstelle Assembly Line Diagnostic Link (ALDL) eingeführt, die auch Assembly Line Communications Link (ALCL) genannt wird. Sie diente eigentlich nur der werksinternen Diagnose, legte aber den Grundstein für spätere Entwicklungen und Normen. Um die vom CARB gesetzten Anforderungen zu erfüllen und zur Signalisierung, dass die Grenzwerte eingehalten werden, mussten die Fahrzeuge im Kombiinstrument eine Warnlampe besitzen, die bei Problemen aufleuchtet. Diese war mit *Check Engine* (Motorprüfen) oder *Service Engine Soon* (Motorservice baldmöglichst) beschriftet. Die leuchtende Warnlampe Check Engine sollte auch bei einer Verkehrskontrolle dazu dienen, dem Kontrollpersonal zu zeigen, dass der Wagen die Umwelt belastet und der Fahrer die Werkstatt aufsuchen muss.

Wie die Werkstatt oder auch der Verbraucher an eventuell im Fahrzeugsystem abgelegte Fehlercodes herankommt, ist bei OBD I sehr unterschiedlich. In der Regel wird der Fehler über einen Blinkcode ausgegeben, bei dem die MIL oder eine Lampe am Diagnoseadapter aufleuchtet. Für das Auslesen und Zurücksetzen der Fehler wird meistens entweder ein (meist sehr einfacher) Diagnoseadapter oder eine bestimmte Tastenkombination am Armaturenbrett benötigt.

3 • OBD II als Standard

Mit der Umsetzung der On-Board Diagnose der zweiten Generation wurden einheitliche Standards für die Fahrzeugdiagnose eingeführt. Eine einheitliche Abkürzung gibt es hierfür nicht, da die Normen meistens pauschal nur das Akronym „OBD“ nutzen. Gängige Bezeichnungen sind „OBD II“ (vom CARB bevorzugt) oder „OBD 2“ – wahlweise mit oder ohne Leerzeichen oder Bindestrich.

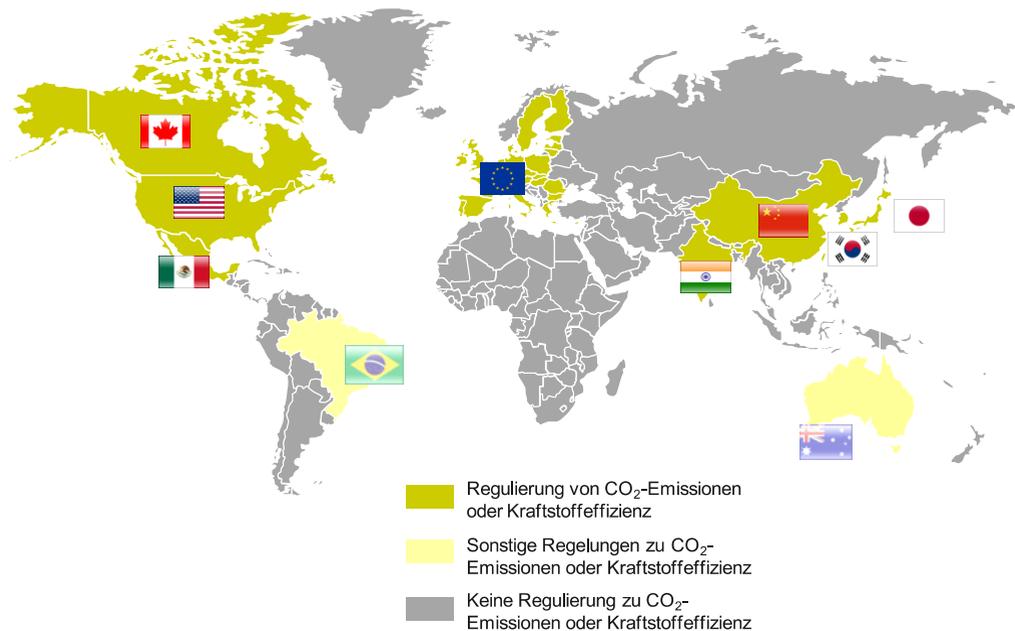


Abbildung 3.1: In wichtigen Automobilmärkten wurden CO₂-Gesetzgebungen oder sonstige Regulierungen der Treibhausgasemissionen bzw. des Kraftstoffverbrauchs bei leichten Kraftfahrzeugen implementiert bzw. beschlossen*.

3.1 Systemüberwachung und Fahrerinformation

OBD II soll primär die Umwelt durch Einhaltung strenger Abgaswerte entlasten. Dazu werden entsprechende Systeme im Fahrzeug überwacht und die Daten für Servicetechniker bereitgestellt. Zudem wird erstmals auch die Einhaltung der Grenzwerte durch die Steuergeräte überwacht. Kritische Fehlfunktionen werden dem Fahrer signalisiert, um

* Quelle: Abschlussbericht 123320: CO₂-Emissionsreduktion bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen nach 2020; Dienstleistungsprojekt 59/12; Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie

ihn über den notwendigen Besuch einer Werkstatt zu informieren. Auch bei regelmäßigen oder spontanen Fahrzeugkontrollen soll sich der Kontrolleur auf diese Weise schnell darüber Klarheit verschaffen können, ob mit dem Auto aus umwelttechnischer Sicht alles in Ordnung ist.

In der Final Regulation Order 1968 (Malfunction and Diagnostic System Requirements) des CARB stehen die entsprechenden Vorgaben. Seit 1994/95 ist bei allen neuen Fahrzeugen eine Warnlampe (Malfunction Indicator Light (MIL) oder Check Engine) im Cockpit durch das CARB vorgeschrieben, welche bei Überschreitung von Abgas-Grenzwerten oder Fehlern im Abgassystem (zum Beispiel beim Katalysator) aufleuchtet oder blinkt. Diese ist eine Weiterentwicklung der früheren Lampe *Check Engine*. Blinken der Motorkontroll-Leuchte bedeutet, dass es vermehrt zu Fehlzündungen im Motor kam und der Fahrer umgehend die Geschwindigkeit drosseln und eine Werkstatt aufsuchen sollte, damit Schäden am Emissionsmesssystem und dem Katalysator vermieden werden. Sobald die Störung beseitigt ist oder nicht mehr auftritt, erlischt die Lampe automatisch oder wird vom Servicetechniker ausgeschaltet. Bei sporadisch auftretenden Fehlern erlischt die Warnanzeige nach drei fehlerfreien Fahrzyklen, welche aus Motor anlassen, warm fahren und Motor abstellen bestehen, automatisch.

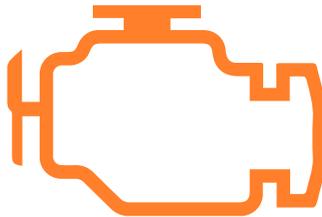


Abbildung 3.2: Standardisierte Motorkontroll-Leuchte (MIL) nach ISO 2575: Symbol F01.

Die MIL muss beim Einschalten der Zündung leuchten und dann erlöschen und kann verschiedene Zustände der Systemüberwachung signalisieren:

- **Kurzzeitiges aufblinken der MIL:** Eine temporäre Fehlfunktion wurde erkannt. Der Fehler bedarf keiner weiteren Aufmerksamkeit und es ist bedeutungslos, wenn der Fahrer diese Warnung übersieht.
- **Dauerhaftes leuchten der MIL:** Ein Fehler ist aufgetreten, der möglichst bald (in einer Werkstatt) behoben werden sollte. Es besteht keine unmittelbare Gefahr für Fahrzeug und Umwelt.
- **Schnelles blinken der MIL:** Eine oder mehrere schwerwiegende Fehlfunktion(en) wurden diagnostiziert. Das Fahrzeug sollte umgehend repariert werden. Geschwindigkeit und Belastung (Lastdruck beim Beschleunigen) stark reduzieren und am besten den Motor abstellen. Bei Nichtbeachtung können Folgefehler entstehen.

Anforderungen des CARB

Das CARB gab und gibt noch immer vor, welche Funktionen das On-Board-Diagnosesystem erfüllen muss. Maßgeblich ist derzeit das Dokument „Final Regulation Order, Title 13, California Code Regulations, Section 1968.2, Malfunction and Diagnostic System Requirements for 2004 and Subsequent Model-Year Passenger Cars, Light-Duty Trucks, and Medium-Duty Vehicles and Engines (OBD II)“. Demnach sind die folgenden Systeme und Ereignisse bei OBD II zu überwachen:

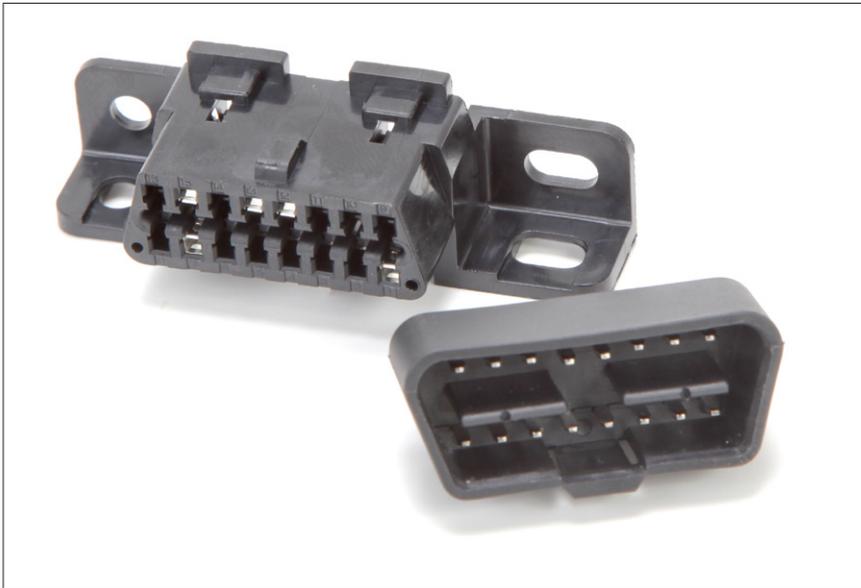


Abbildung 3.3: Genormter Stecker und Buchse für die Diagnoseverbindung.

- **Katalysator (auch zusätzlich beheizte Katalysatoren):** Der Katalysator reduziert den Schadstoffausstoß durch zwei chemische Reaktionen: Bei der Oxidation werden Kohlenstoffmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoff (CH) zu Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Wasser (H₂O) oxidiert. Kohlenwasserstoff gehört zu den flüchtigen organischen Verbindungen (Volatile Organic Compounds, VOC), deren Ausstoß durch die Gesetzgebung des CARB besonders reglementiert wird. Stickoxid (NO_x) wird im Katalysator zu Stickstoff (N₂) und Sauerstoff (O) reduziert. Die Wirkung des Katalysators kann durch Alterung oder Fehler nachlassen. Vor und nach dem Katalysator sitzt eine Lambda-Sonde. Deren Spannungen können miteinander verglichen werden, um die Funktion des Katalysators und den Konvertierungsgrad (Reinigungsleistung) zu überwachen.
- **Fehlzündungen:** Es handelt sich um eine Entzündung des Luft-Kraftstoff-Gemischs im heißen Auspuffrohr anstatt im Zylinder. Die Fehlzündung kann die Schalldämpferanlage, den Katalysator und die Lambdasonde beschädigen und der Schadstoffausstoß steigt an.

- Verdunstungsemission (Evaporative Emission, EVAP): Ausdünstungen von Kohlenwasserstoffen aus dem Kraftstoffsystem (Niederschlag an der Tankinnenseite) werden in einem Aktivkohlebehälter gespeichert. Sobald der Filter gesättigt ist, wird bei Motorlauf ein Entlüftungsventil geöffnet. Der Unterdruck vom Motor saugt die gespeicherten Dämpfe ab und sie werden verbrannt. Über die Lambdasonde kann dieser Vorgang erfasst werden: Bei vollem Filter wird der Treibstoffgemisch kurzzeitig fetter.
- Sekundärluftsystem (Secondary Air System): Bei einem Kaltstart des Motors treten im Abgas vermehrt unverbrannte Kohlenwasserstoffe auf. Durch Luftereinblasung in den Abgasstrom vor dem Katalysator werden die Schadstoffe reduziert und die Aufwärmphase des Katalysators wird verkürzt. Die Werte der Vor-Kat-Lambdasonde verändern sich bei der Sekundärluftzufuhr, wodurch eine Funktionskontrolle durch das Motorsteuergerät möglich ist.
- Treibstoffsystem: Fehler im System (z. B. Kraftstoffventil, Pumpe) können eine optimale Gemischbildung verhindern. Anhand von Messwerten wie angesaugter Luftmasse, Drosselklappenstellung, zweiter Lambdasonde können die aktuellen Messwerte mit Modellrechnungen verglichen werden.
- Lambdasonde (Oxygen-Sensor, O₂-Sensor): Die Lambdasonde (λ -Sonde) vergleicht den Restsauerstoffgehalt im Abgas mit dem Sauerstoffgehalt der Umgebungsluft. Die Messwerte der Sonden müssen auf Plausibilität (gültiger Wertebereich) und Signalverlauf überwacht werden. Verschiedene Fahrmodi führen zu vorhersagbaren Signalverläufen. Das Signal der Nach-Kat-Sonde muss zum Signalverlauf der Vor-Kat-Sonde passen.
- Abgasrückführung (Exhaust Gas Recirculation, EGR): Hohe Temperaturen und Drücke im Brennraum lassen zusätzliche Stickstoffoxide entstehen, die durch Einleiten von Abgasen in die Frischluftzufuhr reduziert werden können. Der damit einhergehende Druckanstieg im Saugrohr kann gemessen und überwacht werden.
- Kurbelgehäuseentlüftung (Positive Crankcase Ventilation, PCV): Im Kurbelgehäuse treten immer Leckgase (unverbrannte Kohlenwasserstoffe, Ölnebel) auf, die für einen Druckanstieg sorgen. Über ein Entlüftungsventil wird der Druck abgebaut und die Gase werden in die Ansaugluft vor dem Turbolader abgeführt. Über einen Drucksensor kann die Dichtheit des Systems und die Arbeit der Entlüftung überwacht werden.
- Motorkühlung (Engine Coolant Temperature, ECT): Temperatursensoren überwachen den Temperaturverlauf und den Messwertbereich, um Überhitzung zu vermeiden. Zudem wird überwacht, dass die Minimaltemperatur für eine Closed-Loop-Verbrennung (geschlossenes Sekundärluftsystem) in einer vorgeschriebenen Zeit erreicht wird.
- System zur Reduzierung von Emissionen beim Kaltstart: Neben dem Sekundärluftsystem gibt es weitere Techniken, um bei neueren Fahrzeugen (ab 2006) die Emissionen beim Kaltstart zu reduzieren.
- Klimaanlage (Air Conditioning, A/C): Für den Betrieb der Klimaanlage wird mehr Leistung vom Motor benötigt, wozu dieser in einem anderen Betriebspunkt betrieben wird. Wird dieser Betriebspunkt bei eingeschalteter Klimaanlage nicht erreicht oder bei abgeschalteter Anlage angesteuert, liegt ein Fehler vor, der die Abgaswerte verschlechtern kann. Das Kältemittelsystem (Dichtheit) und andere Komponenten müssen ebenfalls überwacht werden.

- Nockenwellenverstellung/Ventilsteuerung (Variable Valve Timing, VVT): Die Anpassung der Ventilöffnungszeiten erlaubt eine Effizienzsteigerung bei Otto-Motoren (sinkender Treibstoffverbrauch).
- Direktes Ozon-Minderungssystem (Direct Ozone Reduction, DOR): Ozon entsteht nicht direkt im Fahrbetrieb. In Bodennähe bildet sich Ozon bei der Reaktion von Stickoxiden (z. B. NO_2) mit Sauerstoff (O_2) unter dem Einfluss von UV-Strahlung (Sonnenlicht). Damit waren Autos vor Einführung von Katalysatoren indirekt für die Bildung von Ozon mitverantwortlich. In der Erdatmosphäre ist die Ozonschicht ein lebenswichtiger Stoff. Bodennah handelt es sich aber um einen Schadstoff. Das CARB möchte den Ozon-Gehalt der Umgebungsluft dadurch reduzieren, dass Oberflächen am Fahrzeug mit einer katalytischen Beschichtung versehen werden (beispielsweise PremAir von BASF für den Kühler). So wird während der Fahrt der Schadstoff aus der Atemluft entfernt. Ist eine solche Beschichtung vorhanden, gilt das als emissionsminderndes (passives) Bauteil und muss überwacht werden. Autohersteller erhalten durch den Einbau Emissionsboni, die zu einer Kostenersparnis im gesamten Abgasbehandlungssystem führen oder zum Ausgleich mit schlechter wirkenden anderen Systemen verrechnet werden können.
- Rußpartikelfilter (Particulate Matter, PM): Das System reduziert die im Abgas von Dieselmotoren vorhandenen Partikel. Über den Staudruck im Abgasstrom kann die Sättigung des Filters bestimmt werden. Die Partikel im Filter werden durch Anhebung der Abgastemperatur verbrannt. In den meisten Fällen wird ein Additiv (beispielsweise AdBlue) dem Diesel zugefügt, um die notwendige Temperatur zu reduzieren (selektiver katalytischer Reduktion, SCR). Das System muss die Sättigung, Verbrennungs-Temperaturen und Füllmenge des Additivs überwachen. Bei leerem Additiv-Tank wird oft nach einer kurzen Vorwarnzeit in ein Notlaufprogramm gewechselt. Vor allem im Bereich der Additiv-Zumischung ist ein Manipulationsschutz des Diagnosesystems wichtig.
- Nicht-Spezifizierte Komponenten: Alle Aktoren und Sensoren, die nicht separat beschrieben werden aber Einfluss auf Emissionen oder andere Diagnosefunktionen haben, müssen überwacht ebenfalls werden.

Damit sind die Anforderungen an OBD II umrissen und welche Erwartungen man das das Diagnosesystem stellen kann. Hier nicht aufgeführte Systeme sind für OBD II irrelevant. Dennoch sind viele weitere Bauteile Teil der Diagnosefunktion, da sie indirekt Einfluss auf die zu überwachenden Systeme haben.

Das CARB führt in seinem Dokument auch auf, welche Normen und Protokolle im Auto für die Offboard-Kommunikation zur Diagnose von den Herstellern implementiert sein müssen. Dabei wurden ältere Protokolle schrittweise verboten, um dem Stand der Technik Rechnung zu tragen und den entstandenen Wildwuchs einzudämmen.

3.2 Speicherung aufgetretener Fehler

Im Motorsteuergerät werden aufgetretene OBD II-Fehler mit einem Fehlercode, dem Diagnostic Trouble Code (DTC), abgespeichert. Über den Diagnosemodus 3 können die DTCs

abgefragt werden. So kann die Werkstatt später die Fehlerursache genauer eingekreisen und defekte Bauteile ggf. sogar direkt identifizieren. Bevor ein Fehler gespeichert wird, muss er eine gewisse Zeit bzw. mehrmals auftreten. Bis dahin kann er als temporärer Fehler über den Diagnosemodus \$07 ausgelesen werden.

Sämtliche anderen Steuergeräte können ebenfalls Fehlercodes abspeichern. Diese sind aber für OBD II nicht relevant, nicht genormt und nur über die herstellereigene Diagnose abrufbar.

Ein abgelegter Fehler wird vom System erst nach 40 fehlerfreien Warmlaufzyklen automatisch als geheilt erkannt und die MIL erlischt. Der Fehlerspeichereintrag im Fehlerspeicher des Motorsteuergerätes bleibt jedoch erhalten. Zusätzlich bietet OBD II aber auch die Möglichkeit, manuell alle DTCs umgehend und komplett über die Diagnoseschnittstelle zu löschen.

OBD II kennt drei verschiedene Arten von Fehlern, die in getrennten Speichern abgelegt werden:

- Dauerhafte oder schwerwiegende Fehler, die schon länger auftreten (die genauen Kriterien sind in den Abgasregelwerken und den Texten des CARB definiert). Sie können zum Aufleuchten der Motorkontrollleuchte führen und sind über den Servicemode \$03 abrufbar.
- Temporäre oder aktuell aufgetretene Fehler, die entweder während des aktuellen Fahrzyklus auftraten oder sich nur zeitweise bemerkbar machen, aber noch nicht so schwerwiegend sind, dass sie gleich der ersten Fehlergruppe zugeschrieben werden müssen; sie sind über den Servicemode \$07 abrufbar.
- Emissionsrelevante dauerhafte Fehlercodes, die der ersten Gruppe entsprechen, aber nicht durch ein externes Diagnosegerät gelöscht werden können, sondern nur, indem das Steuergerät über eine gewisse Zeit erkennt, dass der Fehler nicht mehr auftritt; sie sind ausschließlich bei einer Diagnose über das CAN-Protokoll über den Servicemode \$0A abrufbar.

Zusätzlich wird die Möglichkeit geboten, den Betriebszustand des Fahrzeugs in dem Moment, in dem der Fehler auftritt, im Servicemode \$03 zu sichern. Das geschieht über ein sogenanntes Freeze Frame, in dem alle verfügbaren Messwerte als zusammenhängender Datensatz abgelegt werden. Damit ist später nicht nur der Fehlercode bekannt, sondern anhand der Sensordaten kann analysiert werden, wieso der Fehler gerade unter diesen Umständen auftrat.

Die Fehlercodes sind in der Norm SAE J2012 (Society of Automotive Engineers: <http://www.sae.org>) bzw. der ISO 15031-6 (International Organization for Standardization: <http://www.iso.org>) definiert. Die eigentlichen Codes sind ausschließlich im Dokument SAE J2012DA (Digital Annex) festgehalten (auch ISO 15031-6 verweist darauf).