

Martin Frei

# Fehlerdiagnose an vernetzten Systemen

2. erweiterte Auflage

Grundlagen, Diagnose, Wartung

Krafthand Verlag Walter Schulz GmbH  
Bad Wörishofen



Bibliografische Informationen der Deutschen Bibliothek  
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet  
über <http://www.dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-87441-104-2

2. erweiterte Auflage, März 2011

Autor: Martin Frei  
Realisierung/Lektorat: Georg Blenk  
Titelgestaltung/Layout: Martin Dörfler, Evelyn Adler  
Titelbild: Vector Informatik GmbH, Stuttgart, [www.vector.com](http://www.vector.com)  
Bilder/Grafiken: Martin Frei\*, Daimler, Volkswagen  
Druck und Buchbinderische Verarbeitung: ???  
Printed in Germany

Alle Rechte vorbehalten  
© Krafthand Verlag Walter Schulz GmbH, Bad Wörishofen 2011  
[www.krafthand-verlag.de](http://www.krafthand-verlag.de)

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne die Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeisung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

\*Bild- und Grafikmaterial, welches nicht gesondert mit einem Quellverweis versehen ist, ist dem Autor Martin Frei © zuzuordnen.

|  |           |
|--|-----------|
| Vorwort.....   | 11        |
| <b>1 Die Einordnung von Bussystemen .....</b>  | <b>13</b> |
| <b>2 CAN-Bus .....</b>   | <b>15</b> |
| 2.1 Aufbau des CAN-Bussystems.....   | 15        |
| 2.2 CAN-Botschaften .....  | 16        |
| 2.3 Arbitrierung .....   | 17        |
| 2.4 Datenübertragung .....   | 18        |
| 2.5 Datenübertragungsrate .....  | 21        |
| 2.6 CAN-Signalbilder.....  | 22        |
| 2.7 Datenbotschaften auslesen .....  | 24        |
| <b>3 Fehlerbehandlung allgemein .....</b>  | <b>29</b> |
| 3.1 Bestätigungsfehler .....   | 29        |
| 3.2 CRC-Fehler .....   | 30        |
| 3.3 Bitfehler .....  | 30        |
| 3.4 Formatfehler .....   | 30        |
| 3.5 Stuff-Fehler .....   | 30        |
| 3.6 Differenzsignale .....   | 31        |
| 3.7 Vernetzungskonzepte .....  | 33        |
| 3.8 Gateway .....  | 37        |
| 3.9 Leitungsfehler .....   | 40        |
| <b>4 Fehlerdiagnose im Low-Speed-Bus .....</b>   | <b>43</b> |
| 4.1 Unterbrechung einer CAN-Leitung am Beispiel eines VW Touran .....                        | 44        |
| 4.2 Fehlerbestimmung mit dem Multimeter .....  | 45        |
| 4.3 Fehlerbestimmung mit dem Oszilloskop .....   | 46        |
| 4.4 Fehlerlokalisierung .....  | 48        |
| 4.5 Fehler beheben.....  | 49        |
| 4.6 Fehlerspeicher löschen .....   | 49        |
| 4.7 Masseschluss einer CAN-Leitung am Beispiel eines Audi A8 .....                           | 49        |
| 4.8 Plusschluss einer CAN-Leitung am Beispiel eines Audi A8 .....                            | 55        |
| 4.9 Kurzschluss zwischen CAN-H und CAN-L<br>am Beispiel einer Mercedes C-Klasse ,W203' ..... | 55        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.10     | Kurzschluss zwischen CAN-H und CAN-L<br>(am Beispiel eines VW Touran) .....    | 59         |
| 4.11     | Vertauschen der CAN-Leitungen .....  | 61         |
| <b>5</b> | <b>Fehlerdiagnose im High-Speed-Bus</b> .....                                  | <b>63</b>  |
| 5.1      | Defekter Abschlusswiderstand .....   | 64         |
| 5.2      | Unterbrechung einer CAN-Leitung .....  | 65         |
| 5.3      | Massschluss einer CAN-Leitung .....  | 65         |
| 5.4      | Plusschluss einer CAN-Leitung am Beispiel einer Mercedes C-Klasse ‚W204‘ ..... | 67         |
| 5.5      | Kurzschluss zwischen CAN-H und CAN-L .....                                     | 70         |
| 5.6      | Fehlender oder defekter Abschlusswiderstand .....                              | 72         |
| <b>6</b> | <b>Subsystem LIN</b> .....   | <b>73</b>  |
| 6.1      | Charakteristik des LIN-Bus .....   | 73         |
| 6.2      | Datenübertragung .....   | 74         |
| 6.3      | Signalverlauf .....  | 77         |
| 6.4      | Vernetzungskonzepte .....  | 79         |
| 6.5      | Fehler im LIN .....  | 80         |
| <b>7</b> | <b>MOST-Bus</b> .....  | <b>87</b>  |
| 7.1      | Vernetzung der Lichtwellenleiter .....   | 87         |
| 7.2      | Aufbau von MOST-Steuergeräten .....  | 89         |
| 7.3      | Busmanagement .....  | 90         |
| 7.4      | Aufbau von MOST-Botschaftsblöcken .....  | 92         |
| 7.5      | Systemstart .....  | 92         |
| 7.6      | Systemabschaltung .....  | 92         |
| 7.7      | Fehlersuche im MOST-Bus am Beispiel des Audi A8 .....                          | 92         |
| <b>8</b> | <b>X-by-wire</b> .....   | <b>99</b>  |
| <b>9</b> | <b>FlexRay</b> .....   | <b>101</b> |
| 9.1      | Kommunikationszyklus .....   | 102        |
| 9.2      | Datenprotokoll .....   | 103        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 9.3       | Topologie .....  | 104        |
| 9.4       | Aufbau der Busteilnehmer .....                             | 104        |
| 9.5       | Spannungspegel im FlexRay .....                            | 104        |
| 9.6       | Datenübertragungsgeschwindigkeit .....                     | 105        |
| 9.7       | Fehlersuche im System .....                                | 106        |
| 9.8       | FlexRay ist keine Zukunftsvision .....                     | 107        |
| <b>10</b> | <b>Berufsbild im Wandel .....</b>                          | <b>109</b> |
|           | <b>Anhang .....</b>  | <b>111</b> |
|           | Bedienung eines Oszilloskops .....                         | 111        |
|           | Umrechnung von Dezimal-, Dual- und Hexadezimalzahlen ..... | 112        |
|           | Über den Autor.....  | 115        |
|           | Literaturhinweise .....                                    | 117        |
|           | Stichwortverzeichnis .....                                 | 119        |

## 4. Fehlerdiagnose im Low-Speed-Bus

Auch bei einem Fahrzeug mit geringer Ausstattungstiefe sind mindestens fünf bis sechs Steuergeräte am Low-Speed-Bus angeschlossen. Soll in diesem System ein Leitungsfehler auf herkömmliche Art gefunden werden, müssten als erstes sämtliche Steuergeräte sowie die Verbindungspunkte der Datenleitungen freigelegt werden. Erst dann lassen sich die Leitungen einzeln durchmessen.

In höherklassigen Fahrzeugen sind durchaus 30 bis 40 Steuergeräte am Bus angeschlossen. Sollen Leitungsfehler bei diesen Fahrzeugen durch Durchmessen der einzelnen Leitungen bestimmt werden, kann sich der Kunde auch gleich ‚ein neues Auto bestellen‘ – so viel zum Aufwand. In vernetzten Systemen bedarf es also einer sinnvollen Strategie, um Leitungsfehler aufzudecken!

Das Vorgehen ist im Prinzip immer dasselbe:

Als erstes wird das Fahrzeugsystem mit einem geeigneten Fahrzeugsystemtester ausgelesen. Bei einem Eindrahtfehler im Low-Speed-Bus wird der Tester melden, dass sich das System im ‚Eindraht‘ befindet. Da die weitere Fehlersuchstrategie abhängig von der Topologie des Bus-systems ist, sollte sich der Kfz-Profi darüber hinaus mit Hilfe eines Vernetzungsplans Orientierung verschaffen.

In vielen Fällen wird der Tester jedoch nicht feststellen, um welchen Eindrahtfeh-

ler es sich handelt. Es ist sogar möglich, dass die Information, die der Tester liefert irreführend ist. Zur genaueren Fehlerbestimmung bedient sich der Kfz-Profi einer Messung mit einem Multimeter oder mit einem Oszilloskop. So lässt sich letztendlich feststellen auf welcher Leitung beziehungsweise in welchem Steuergerät sich der Fehler befindet. Zur Instandsetzung muss jetzt nur das betroffene Leitungsstück oder Steuergerät freigelegt und repariert werden. Abschließend sollte man das System erneut auslesen und die Fehlerspeicher löschen, da durch die Anwendung der Fehlersuchstrategien künstlich Fehler produziert werden.

### Fehlersuchstrategie

1. Fahrzeugsystem mit einem Systemtester auslesen
2. Überblick über die Vernetzung verschaffen
3. eindeutige Fehlerbestimmung durch Messung auf dem Bus
4. Strategie zur Fehlerlokalisierung anwenden
5. fehlerhafte Leitung/Steuergerät instand setzen
6. Fehlerspeicher löschen und erneut auslesen

Sie werden feststellen, dass es mit Hilfe der richtigen Strategie einfach und unkompliziert ist, in einem komplexen vernetzten System Fehler zu erkennen, zu lokalisieren und zu beheben. Im Folgenden wird an praktischen Beispielen aufgezeigt, wie die unterschiedlichen Leitungsfehler behoben werden können.

### 4.1 Unterbrechung einer CAN-Leitung am Beispiel eines VW Touran

Liegt bei einem VW Touran ein Fehler in einem vernetzten System vor, lässt sich dieser am besten im Gateway auslesen. Steht der Fahrzeugsystemtester von Volkswagen (VAS 5052) zur Verfügung, kann man sich auch eine Liste aller verbauten Steuergeräte in der sogenannten Gateway-Verbauliste anzeigen lassen. Kommen andere Tester, wie zum Beispiel ein KTS von Bosch oder VAG-Com zum Einsatz, wird der Fehlerspeicher im Gateway ausgelesen. Die Fehlermeldung lautet hier in allen Fällen, dass sich der Komfortbus im Eindrahtbetrieb befindet.

Je nach Tester kommt die Meldung dazu, dass es sich um eine Unterbrechung beziehungsweise einen elektrischen Fehler im Stromkreis handelt. Auf diese zusätzliche Information sollte man sich auf keinen Fall verlassen. Auch bei dem Beispiel ‚Touran‘ ist es so, dass bei jedem Eindrahtfehler im Komfortbereich der Tester den Zusatz ‚Unterbrechung‘ liefert (Abbildung 32). Doch Vorsicht: Diese Aussage entspricht nicht immer der Realität!

Zur weiteren Fehlereingrenzung sollte eine Messung auf dem Bus durchgeführt werden. Eine Übersicht über das jeweilige Bussystem hilft weiter. Aus dem Stromlaufplan erkennt man beispielsweise deutlich, dass der auch ‚Komfortbus‘ genannte Low-Speed-Bus als Sterntopologie mit je einem Sternpunkt für die CAN-H- und die CAN-L-Leitungen ausgelegt ist.

Leider ist es nicht so einfach an die Sternpunkte zu kommen, da sich diese unter dem Armaturenbrett im Hauptleitungsstrang befinden. Zur Fehlerfeststellung jedoch ist es nicht zwingend erforderlich, am Sternpunkt zu messen. So kann man der Übersicht entnehmen, dass sich

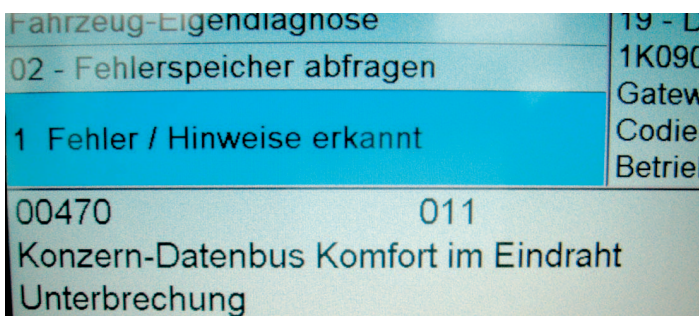


Abbildung 32: Fehlermeldung des Volkswagen-Testers VAS 5052.

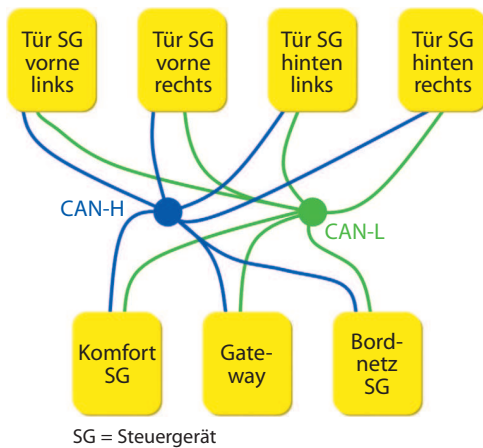


Abbildung 33: Vernetzung im Volkswagen Touran.

alle Türsteuergeräte im Komfortbus befinden. Es werden also zu jedem Türsteuergerät Datenleitungen geführt. An diese kommt man am einfachsten über den Trennstecker in der B-Säule. Dieser muss adaptiert werden, damit eine Messung durchgeführt werden kann. Jetzt kann die Spannung auf den CAN-Leitungen gemessen werden.

#### 4.2 Fehlerbestimmung mit dem Multimeter

Zur Messung mit dem Multimeter wird das Gerät auf ‚Spannungsmessung‘ eingestellt. Ein Messkabel muss an die Datenleitung und das andere an Fahrzeugmasse angeschlossen werden. Das Multimeter zeigt jetzt an

unserem Beispiel des Volkswagen ‚Touran‘ einen Wert zwischen 0,3 V und 1 V an. Misst man auf der anderen Datenleitung, zeigt das Multimeter einen Wert zwischen 4 V und 4,7 V. Durch diese Spannungswerte kann man nur indirekt auf den Fehler schließen, denn die Werte bewegen sich in Bereichen, die man auch in einem intakten System messen würde. Da der Tester gemeldet hat, dass sich das System im Ein-drahtbetrieb befindet, muss einer der sieben ISO-Fehler vorliegen. Bei einem Masseschluss müsste ein Messwert 0 V ergeben. Läge ein Plusschluss vor, müssten entweder 12 V (Bordnetzspannung) oder 5 V (Steuergeräteplus) gemessen werden. Bleiben nur noch drei Fehlermöglichkeiten übrig: ein Schluss zwischen den Leitungen und eben die Unterbrechung einer der beiden CAN-Leitungen.

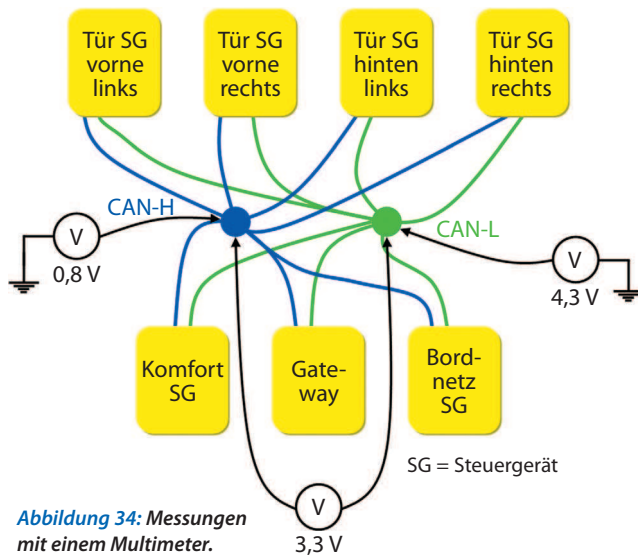


Abbildung 34: Messungen mit einem Multimeter.



## 4 Fehlerdiagnose im Low-Speed-Bus

Den Schluss zwischen den beiden Leitungen kann man eindeutig bestimmen. In diesem Fall darf allerdings keine Durchgangsprüfung vorgenommen werden. (Durch eine Durchgangsprüfung könnten Steuergeräte zerstört werden, da man eine externe Spannung auf den Bus legt.) Das Multimeter bleibt also auf Spannungsmessung eingestellt. Nun wird aber nicht mehr gegen Masse gemessen, sondern von einer CAN-Leitung zur anderen. Das Multimeter zeigt zwischen 3 V und 4 V an. Sollte ein Schluss zwischen den Leitungen vorliegen, so dürfte es keine Differenz zwischen den Spannungen geben.

Schlussfolgerung: Aufgrund der Messergebnisse mit dem Multimeter und der Tatsache, dass ein Eindrahtfehler vorliegt,

muss eine Unterbrechung einer CAN-Leitung vorliegen. Dabei ist nicht eindeutig zu klären, ob es sich um die CAN-L- oder die CAN-H-Leitung handelt.

### 4.3 Fehlerbestimmung mit dem Oszilloskop

Der Vorteil einer Messung mit dem Oszilloskop besteht darin, dass Fehler mit nur einer Messung eindeutig bestimmt werden können. Das Gerät betreibt man für die Messung am besten im Zweikanalbetrieb. Dadurch können die Spannungsverläufe auf der CAN-H- und der CAN-L-Leitung zeitgleich dargestellt werden. Die Messung kann auch mit Testern wie zum Beispiel einem aus der FSA-Reihe (Fahrzeugsys-

**Abbildung 35:** Messung mit dem Oszilloskop: Unterbrechung einer CAN-H-Leitung, Diagramm mit drei Botschaften.





**Abbildung 36:**  
Oszilloskopbild vor  
und hinter der Unter-  
brechung.

temanalyse mit digitalem Oszilloskop) von Bosch durchgeführt werden. In jedem Fall wird ein Messkabel an die eine CAN-Leitung, das zweite an die andere angeschlossen. Ein weiteres Kabel des Messgeräts muss mit der Fahrzeugmasse verbunden und das Gerät auf ‚DC‘ eingestellt werden.

Die Abbildung 35 zeigt das Oszilloskopbild im Zweikanalbetrieb. In der oberen Hälfte werden drei CAN-L-Botschaften dargestellt. Zeitgleich wurden in der unteren Hälfte die dazugehörigen CAN-H-Signale aufgenommen. In der linken Botschaft ist nur ein Ausschlag zu erkennen, die rechten Botschaften scheinen vollständig intakt zu sein. Der letzte dominante Ausschlag in einer Botschaft wird nicht vom ursprünglichen Sender

gesendet, sondern von den Empfängern. Es handelt sich dabei um das Acknowledge-Signal. Da die Empfänger die Botschaft 1 über die CAN-L-Leitung empfangen und auswerten konnten, senden sie auf beiden Leitungen das ‚Acknowledge‘.

Zum Steuergerät, welches die Botschaft 1 sendet, liegt eine Unterbrechung vor, deshalb sieht man die Botschaft nicht, sie wird aber vom Steuergerät trotzdem gesendet. Das Oszilloskop wurde vom Verbindungsknoten aus gesehen vor der Unterbrechung an die CAN-H-Leitung angeschlossen. Dort kann das ‚Acknowledge‘ der Empfänger gemessen werden. Hinter der Unterbrechung wäre das Signal des Steuergeräts messbar. Es fehlt am Ende allerdings das ‚Acknowledge‘.

## 4 Fehlerdiagnose im Low-Speed-Bus

Obwohl der Sender über die unterbrochene Leitung keine Bestätigung erhält, wird er seine Botschaft nicht erneut senden, da er die Bestätigung über die CAN-L-Leitung erhält.

### 4.4 Fehlerlokalisierung

Obwohl jetzt eindeutig feststeht, dass eine Unterbrechung in einer CAN-Bus-Leitung vorliegt, muss dieser Fehler noch exakt lokalisiert werden. Aufgrund der Messungen kann er in jeder CAN-H-Leitung des Low-Speed-Busses liegen. Damit das Fahrzeug nicht komplett zerlegt werden muss, gilt es jetzt das Steuergerät, welches dem Fehler zuzuordnen ist, zu

bestimmen. Anschließend kann der Kfz-Profi mit Hilfe des Stromlaufplans die Leitung zu diesem Steuergerät überprüfen. Der Trick dabei ist bei unterschiedlichen Strategien derselbe: Der Systemtester muss dazu gebracht werden, dass das entsprechende Steuergerät angezeigt wird. Dies wiederum wird er nur machen, wenn das Steuergerät für ihn nicht mehr erreichbar ist. Momentan kommuniziert der Tester über das Gateway und dem Low-Speed-Bus mit den angeschlossenen Steuergeräten.

Das Steuergerät Tür hinten links kann vom Tester nur über die CAN-L-Leitung erreicht werden. Alle anderen Steuergeräte kommunizieren über beide Leitungen mit dem Tester. Erzeugt man jetzt auf der CAN-L-Leitung einen Masseschluss, kann der Tester nur noch mit den Steuergeräten kommunizieren, die über eine intakte CAN-H-Leitung verfügen. Das Türsteuergerät ist für den Tester nicht mehr erreichbar. Liest man nun den Fehlerspeicher des Gateways aus, so wird dieses Steuergerät als nicht erreichbar angezeigt.

Die Unterbrechung muss nun noch genau abgegrenzt werden, denn der Fehler kann auch im Steuergerät selbst liegen oder in der Leitung. Am einfachsten ist es, den Stecker am Türsteuerge-

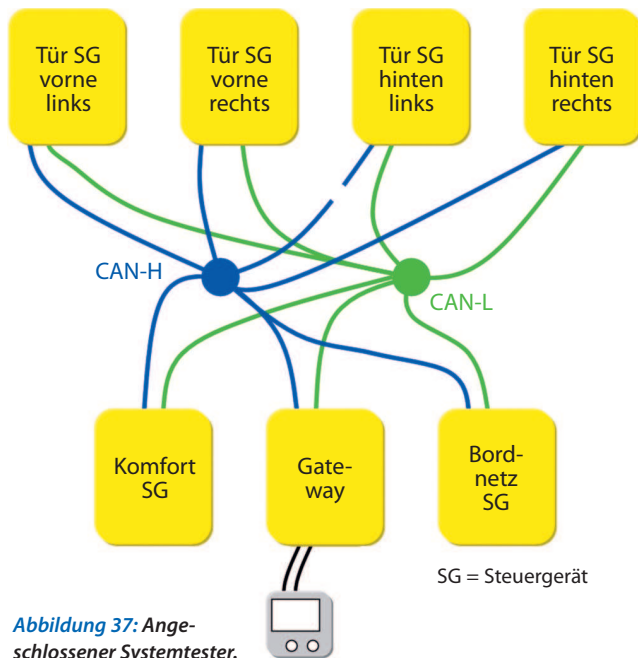


Abbildung 37: Angeschlossener Systemtester.

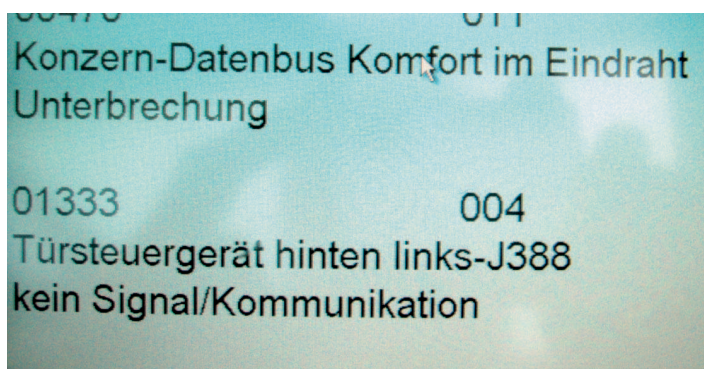


Abbildung 38: Türsteuergerät hinten links ist nicht erreichbar.

rät abzuziehen und mit dem Oszilloskop eine Messung auf der CAN-H-Leitung durchzuführen. Sind dabei Signale messbar, so liegt der Fehler im Steuergerät. Werden an dieser Stelle keine CAN-Signale gemessen, ist die Leitung unterbrochen.

#### 4.5 Fehler beheben

Ist das Steuergerät defekt, so muss es getauscht werden. Liegt der Fehler in der Leitung, kann man im Stromlaufplan nach Leitungsabschnitten suchen, um gegebenenfalls nur kleinere Abschnitte zu erneuern. Je nach Hersteller dürfen CAN-Leitungen auch repariert werden. Hierfür gibt es dann einen Reparatursatz mit Kabel, Quetschverbindungen und Crimpzange. Von einem Zusammenlöten der Leitungen ist abzusehen. In den meisten Fällen wird von den Herstellern sogar vorgeschrieben, das Leitungsstück komplett zu ersetzen. Dieses Vorgehen ist allgemein auch zu empfehlen.

#### 4.6 Fehlerspeicher löschen

Spätestens nach der Reparatur beziehungsweise nach dem Tausch der Leitung oder des Steuergeräts muss der herbeigeführte Masseschluss entfernt werden. Da durch die Anwendung der Strategie und des ursprünglich vorhandenen Fehlers in allen am Low-Speed-Bus angeschlossenen Steuergeräten Fehler gesetzt werden, müssen die Fehlerspeicher dieser Steuergeräte gelöscht werden, bevor das Fahrzeug an den Kunden herausgegeben wird. Zur Sicherheit sollte man abschließend wenigstens den Fehlerspeicher des Gateways erneut auslesen.

#### 4.7 Masseschluss einer CAN-Leitung am Beispiel eines Audi A8

Ist es bei einer Leitungsunterbrechung noch möglich, den Fehler zu lokalisieren, ohne dabei die CAN-Verbindungsknoten freizulegen, funktioniert dies bei einem der