

# Weißbuch

## Voreilende Massekontakte in der Automobilindustrie

Eine Chance zur Reduktion von Ausfällen der Elektronik



Kostenfreier Download:  
[www.zvei.org/first-mate-last-break](http://www.zvei.org/first-mate-last-break)



Zusammenstellung  
von Ausfällen,  
Fehlerursachen und  
Lösungen



## Impressum

Weißbuch

Voreilende Massekontakte in der Automobilindustrie

Eine Chance zur Reduktion von Ausfällen der Elektronik

Zusammenstellung von Ausfällen, Fehlerursachen und Lösungen

-----○

### Herausgegeben von:

ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

Fachverband Electronic Components and Systems (ECS)

Fachverband PCB and Electronic Systems

Lyoner Straße 9, 60528 Frankfurt am Main, Deutschland

Fon: 069 6302 - 276

Fax: 069 6302 - 407

E-Mail: [zvei-be@zvei.org](mailto:zvei-be@zvei.org)

[www.zvei.org/ecs](http://www.zvei.org/ecs)

### Kostenfreier Download:

[www.zvei.org/first-mate-last-break](http://www.zvei.org/first-mate-last-break)

### Ansprechpartner im ZVEI:

Dr. Stefan Gutschling

E-Mail: [gutschling@zvei.org](mailto:gutschling@zvei.org)

### Technischer Ansprechpartner:

Vorsitzender des Arbeitskreises

Christoph Thienel

Robert BOSCH GmbH

Engineering Integrated Circuits - Quality (AE/EIQ)

Postfach 13 42, 72703 Reutlingen, Deutschland

E-Mail: [Christoph.Thienel@de.bosch.com](mailto:Christoph.Thienel@de.bosch.com)

### Bildquellen:

Franz Binder GmbH & Co. Elektrische Bauelemente KG

FCI Automotive Deutschland GmbH

HARTING KGaA

Lumberg Holding GmbH & Co. KG

Robert BOSCH GmbH

Zollner Elektronik AG

ZVEI e.V.

### Layout / Titelbild:

Patricia Lutz, ZVEI e.V.

Ausgabe Juli 2011

Trotz größtmöglicher Sorgfalt keine Haftung für den Inhalt.

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung, sowie der Übersetzung vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des ZVEI reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme vervielfältigt oder verbreitet werden.

**Mitglieder im Arbeitskreis zur Erstellung des Weißbuchs:**

Analog Devices GmbH

Automotive Lighting Reutlingen GmbH

Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. KG

Delphi Deutschland GmbH

FCI Automotive Deutschland GmbH

Franz Binder GmbH & Co. Elektrische Bauelemente KG

Freescale Semiconductor Deutschland GmbH

HARTING KGaA

Hella KGaA Hueck & Co.

Infineon Technologies AG

Intedis GmbH & Co. KG

Keller Consulting Engineering Services

LEONI AG

Robert BOSCH GmbH

STMicroelectronics Application GmbH

TE Connectivity (ehem. Tyco Electronics AMP GmbH)

Valeo Group Expertise and Services

Vishay Semiconductor GmbH

Webasto AG

Yazaki Europe Limited

Zollner Elektronik AG

**Folgende Firmen stimmen ebenfalls dem Inhalt des Weißbuchs zu:**

Continental Automotive, Division Interior

KOSTAL Kontakt Systeme GmbH

NXP Semiconductors Germany GmbH

## Gliederung

Begriffsklärungen	4
Vorwort	5
1 Beschreibung Hot Plugging	6
2 Fehlerfälle durch Hot Plugging	8
3 Abstellmaßnahmen Steckersysteme	14
4 Einführungsszenarien	19
5 Zusammenfassung	20
6 Anhang: Beispiele von Stecksystemen mit voreilenden Massekontakten	21

---

## Begriffsklärungen

In der Kfz-Verdrahtung verwendete Abkürzungen:

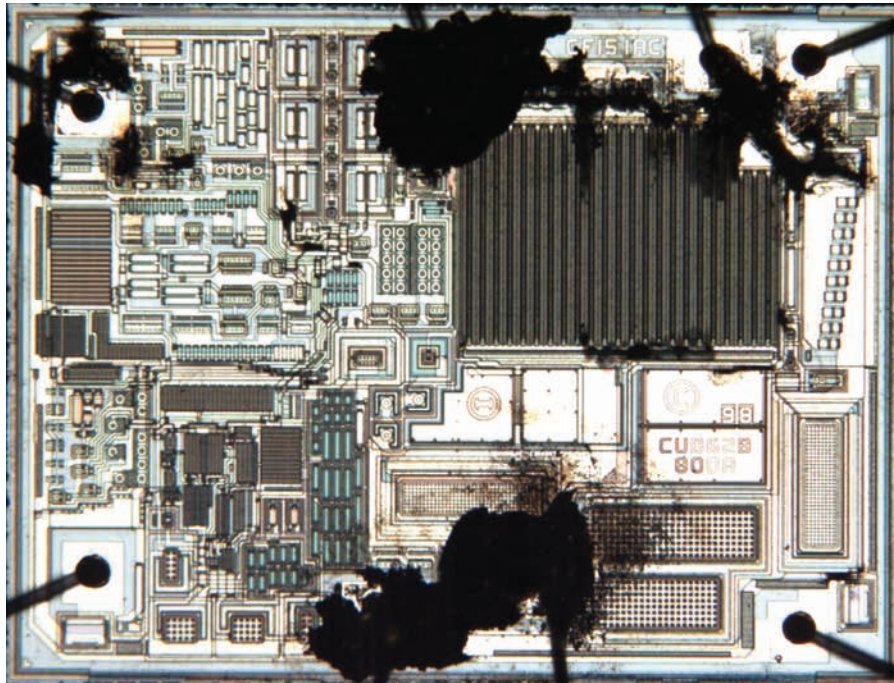
Klemme 31	Masseverbindung (Minuspol; in der Regel das Chassis der Karosserie)
Klemme 30	permanente Versorgung mit Batteriespannung
Klemme 15	mit dem Zündschloss von der Klemme 30 weitergegebene Batteriever- sorgung
CAN-Bus	Datenleitungen im Fahrzeug zur Kommunikation der elektronischen Komponenten untereinander
LIN-Bus	Datenleitungen im Fahrzeug zur Kommunikation der elektronischen Komponenten untereinander
Transceiver	elektronische Schaltung zum Senden und Empfangen von Daten

Darüber hinaus treten bei der Analyse von Ausfällen auf:

ECU	Steuergerät (Electronic Control Unit)
EOS	Elektrische Überlastung (Electrical Overstress)
ESD	Elektrostatische Entladung (Electrostatic Discharge)
Hot Plugging	Stecken und Ziehen unter Spannung

## Vorwort

Beim Stecken/Ziehen der Steuergeräte-Stecker unter Spannung (Hot Plugging) können Halbleiter durch elektrische Überlastung (Electrical Overstress EOS) zerstört werden.



*Durch Hot Plugging zerstörter Halbleiter*

Untersuchungen der Firma Bosch haben gezeigt, dass ein hoher Prozentsatz dieser Halbleiterausfälle im Automobil in Steuergeräten durch voreilende Massekontakte vermieden werden kann.

Unter voreilenden Massekontakten verstehen wir hier entsprechend der Bezeichnung „FMLB: First Mate – Last Break“ Kontakte, die beim Zusammenstecken einer Verbindung als erste kontaktieren bzw. als letzte öffnen.

Vorliegendes Weißbuch soll in das Thema „Voreilende Massekontakte in der Automobilindustrie“ einführen.

Der Leser soll sich über die relevanten Themen im Zusammenhang mit der Konstruktion und Einführung von Steckern mit voreilenden Massekontakten informieren können.

Mehrere namhafte Zulieferer (Tier1 und Tier2) haben sich dazu geäußert und wollen einen Überblick geben und allgemeine Lösungsvorschläge aufzeigen.

Die Einführung voreilender Massekontakte als zusätzlicher Elektronikschutz stellt eine wichtige Voraussetzung auf dem Weg zum Erreichen des Null-Fehler-Ziels in der Automobilindustrie dar.

## 1 Beschreibung Hot Plugging

Unter **Hot Plugging** versteht man das Stecken und Ziehen von Kontaktverbindungen im Fahrzeug oder bei Subsystemen (wie Türen, etc.) unter anliegender elektrischer Spannung.

Diese Situation liegt bei Herstellung, Betrieb, Wartung, Reparatur und Tuning von Fahrzeugen **systematisch** vor und ist unabhängig davon, ob bewusst oder unbewusst ausgeführt. Dies gilt sowohl für ZÜNDUNG EIN als auch für ZÜNDUNG AUS.

Bei Subsystemen tritt Hot Plugging vor allem bei Test-, Kontroll- und Einstellungssituationen auf.

**Beispiele für solche Situationen sind:**

- Antenneneinbau, -test
- Cockpitaufbau
- Einbau von Nachrüstkomponenten (Schiebedach, Standheizung, ...)
- Motortestläufe am Prüfstand
- Motorzusammenbau
- Tests von Scheinwerfern nach Zusammenbau
- Türentest und -einbau

### 1.1 Zündung EIN

Bei Herstellung und Reparatur von Fahrzeugen werden Komponenten ins Bordnetz hinzugefügt oder aus dem Bordnetz entnommen: **Hot Plugging**

### 1.2 Zündung AUS

Es besteht in der Regel das **Missverständnis**, in dieser Situation - nach Abschalten der Zündung - könne jede Verbindung ohne Folgeschäden für die Elektronik gesteckt oder gezogen werden, da alle Komponenten des Fahrzeugs spannungsfrei seien.

Das Bordnetz versorgt jedoch viele Komponenten trotz ZÜNDUNG AUS weiter. Steuergeräte, die über Klemme 30 versorgt werden, stehen auch im Zustand ZÜNDUNG AUS unter Spannung (inkl. Stand by Modus).

**Beispiele (unvollständige Liste):**

- Airbag in Bereitschaft
- Coming-Home (Licht leuchtet nach)
- Fensterheber
- Feststellbremse
- Freisprechanlage
- Gateway
- Innenraumbelüftung
- Innenraumüberwachung
- KIT im Kofferraum (USA; ermöglicht Öffnen von innen)
- Nachlaufsteuerung für Klimaanlage und Kühler-Lüfter
- Navigationssystem

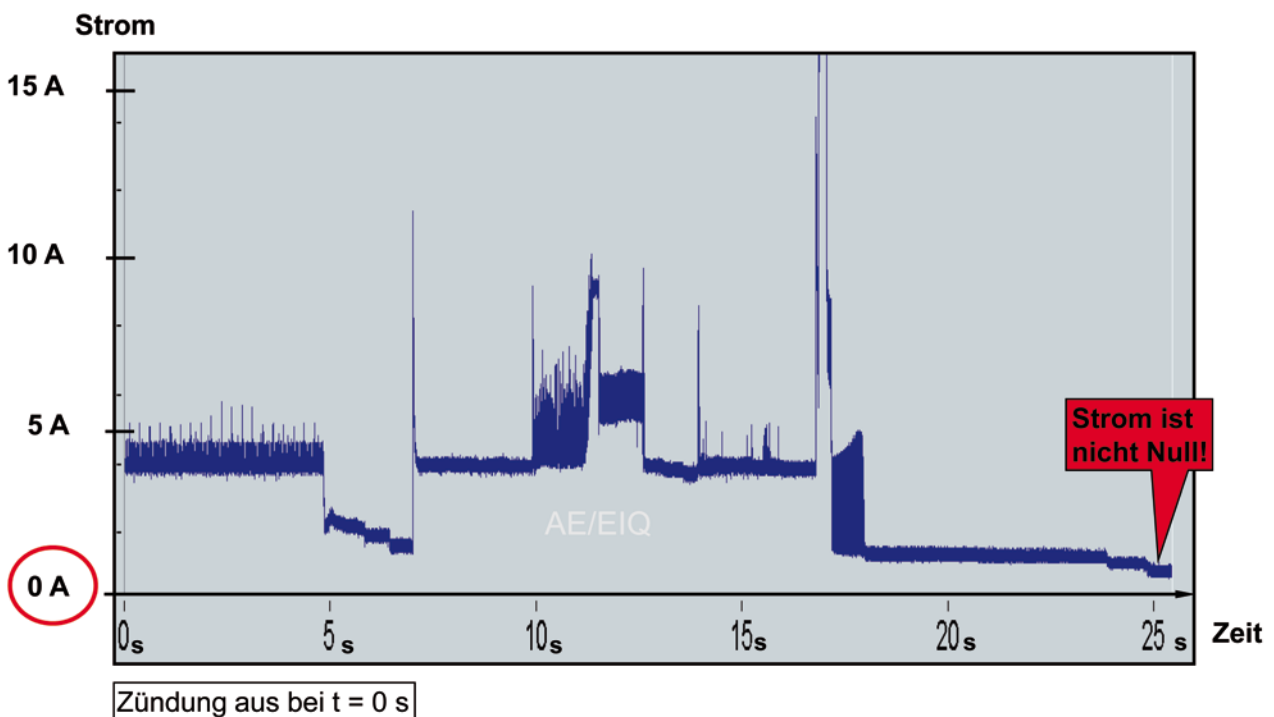
## BESCHREIBUNG HOT PLUGGING

- Radio
- Rückspiegel (anklappen)
- Standheizung
- Steuergeräte aktualisieren Fehlereinträge
- Tests mit Drosselklappen werden durchgeführt
- Uhr
- Zugangssysteme

Nach dem Abschalten der Zündung fließen minutenlang hohe Ströme im Bordnetz. Jede Verbindung, die in dieser Phase gesteckt oder geöffnet wird, kann im Gegenteil dazu führen, dass undefiniert Ausgleichsströme im Bordnetz auftreten. Diese Ausgleichsströme können elektronische Komponenten dauerhaft vorschädigen oder zerstören: **Hot Plugging** (Näheres dazu wird in „2 Fehlerfälle durch Hot Plugging“ beschrieben.)

Zur Veranschaulichung kann folgende Messung des Stromes in der Batteriemasseleitung in einem modernen Fahrzeug dienen.

Der Strom fließt minutenlang im Bereich 100mA bis mehrere Ampere, Einzelpeaks noch höher.



Strom im Bordnetz nach Abschalten der Zündung wird längere Zeit nicht Null.

Das bedeutet: **Hot Plugging findet im Automobil systematisch statt.**

## 2 Fehlerfälle durch Hot Plugging

In modernen Automobilen sind viele Steuergeräte über Datenbusse miteinander vernetzt. Daher fließen bei Hot Plugging z. B. über den Bus häufig Ausgleichströme in Steuergeräte, die am Steckvorgang gar nicht beteiligt sind, und beschädigen diese.

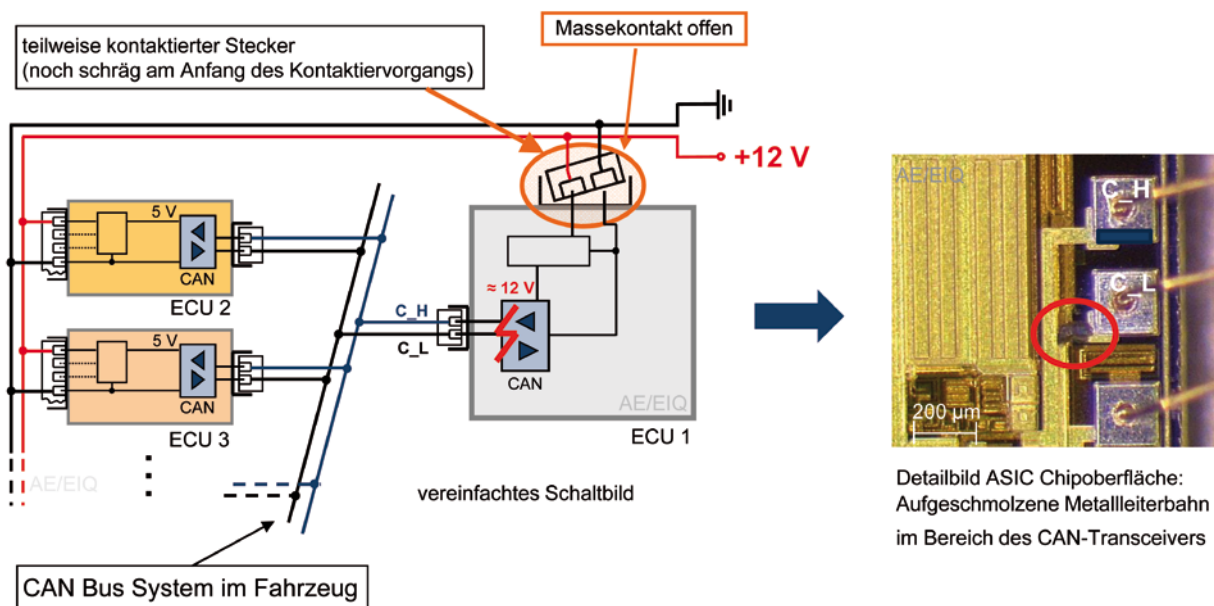
In der Regel verhindert diese Wechselwirkung eine zielführende Fehleranalyse und die Ermittlung der eigentlichen Ausfallursache der zerstörten Geräte.

Die nachfolgenden realen Ausfallsituationen dazu sind von namhaften Firmen beispielhaft zur Verfügung gestellt worden.

### 2.1 Beispiel CAN-Bus

#### Mechanische Beschreibung

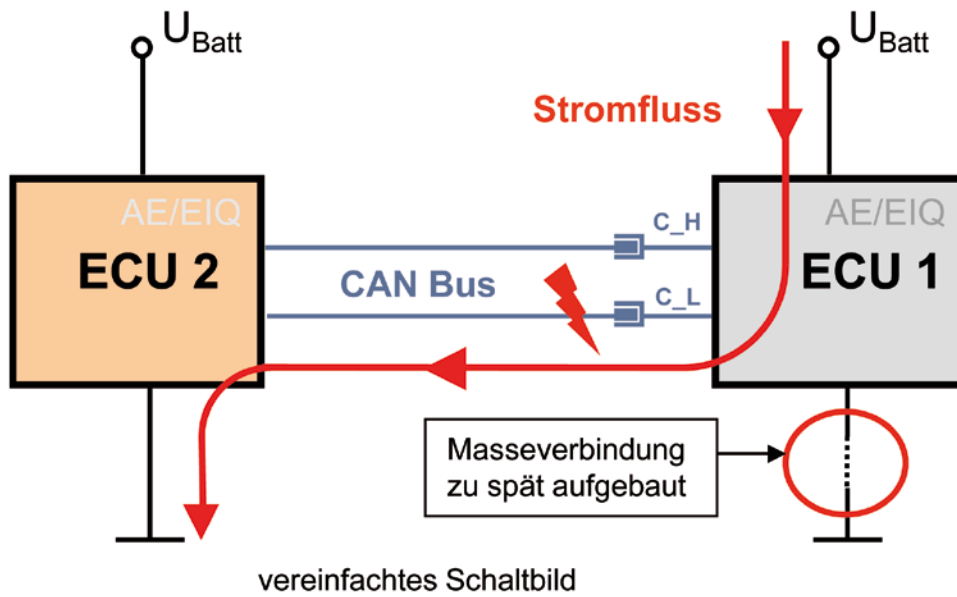
Während eines Steckvorgangs unter Spannung (**Hot Plugging**) kann es dazu kommen, dass der Massekontakt als letztes geschlossen wird, wenn der Stecker schräg in die Buchse eingeführt wird. Dadurch fehlt zunächst der Massepotentialbezug und es kommt über Ausgleichströme zur Schädigung von Halbleitern.



*ECU 2 ist im Fahrzeug montiert, und ECU 1 wird hinzugefügt.*



## Stromlaufplan des oben genannten Vorgangs



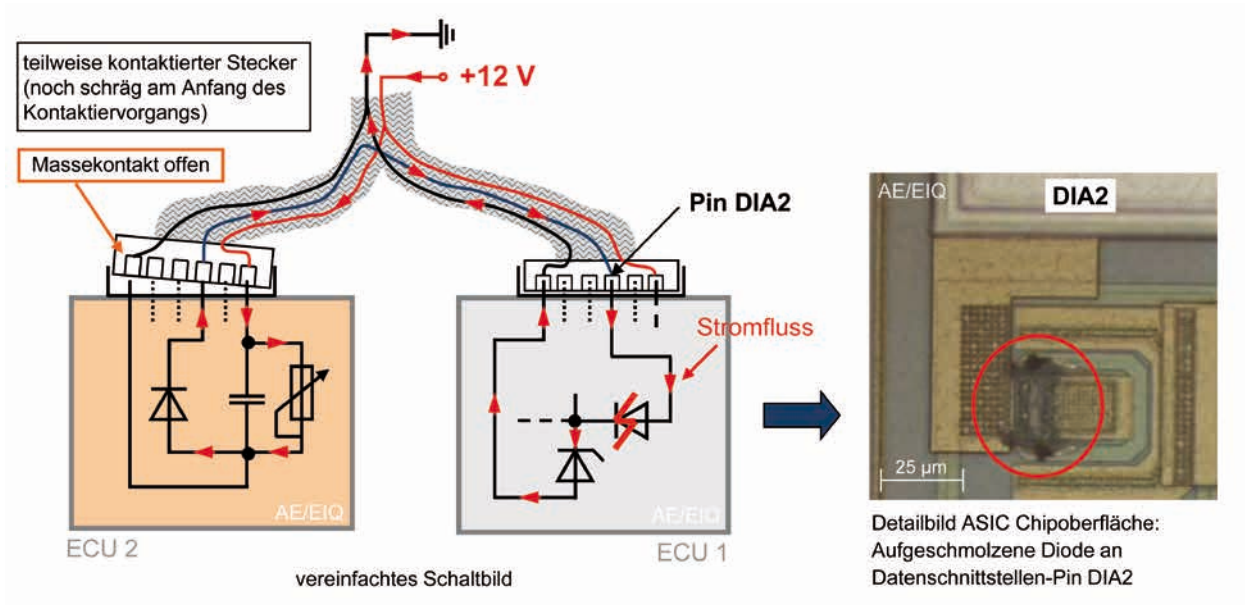
Von diesem Fehlermechanismus sind potentiell alle über Kommunikationsbusse verknüpften elektronischen Komponenten betroffen.

Die Ausfallanalyse wird häufig dadurch besonders erschwert, dass die beteiligten ECU von unterschiedlichen Wettbewerbern stammen. Sofern ECU 2 keinen Schaden erleidet, ist es sehr schwer, die Überlastung der ECU 1 aufzuklären.

## 2.2 Beispiel Diagnoseleitung

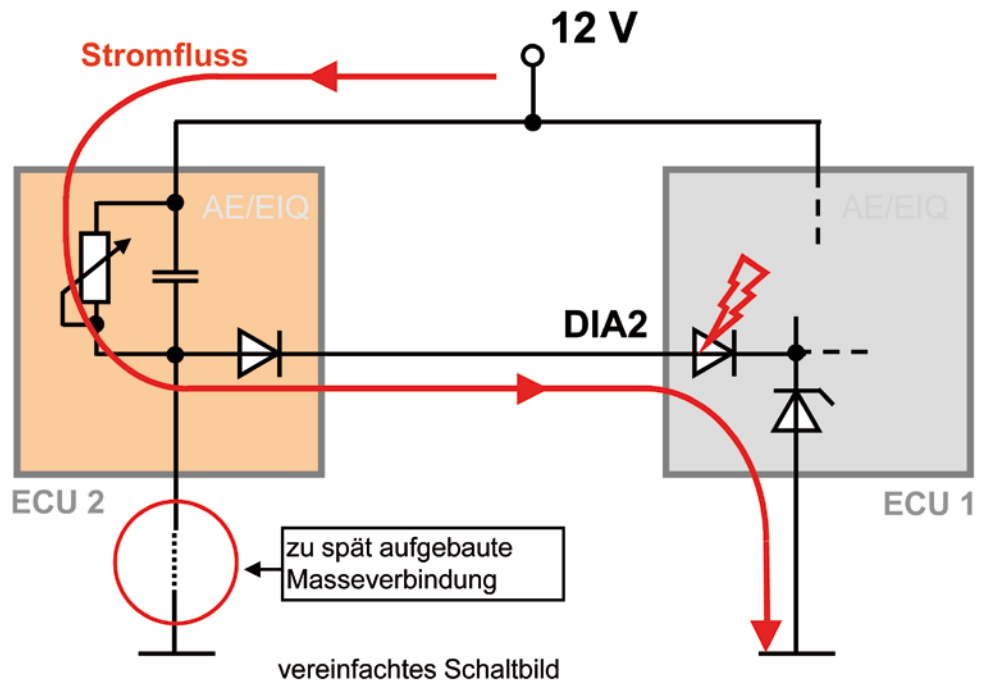
### Mechanische Beschreibung

Darstellung der Beschädigung des Steuergerätes 1 während des Steckvorgangs von Steuergerät 2 durch fehlenden Massebezug bei **Hot Plugging**.



ECU 1 ist im Fahrzeug montiert, und ECU 2 wird hinzugefügt.

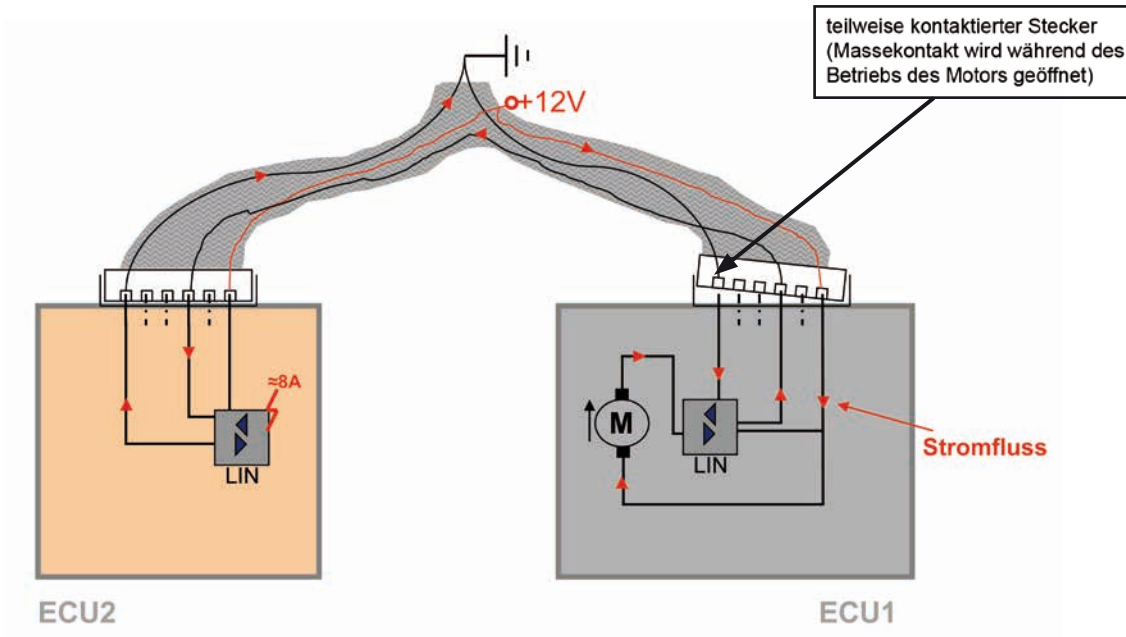
### Elektrische Beschreibung



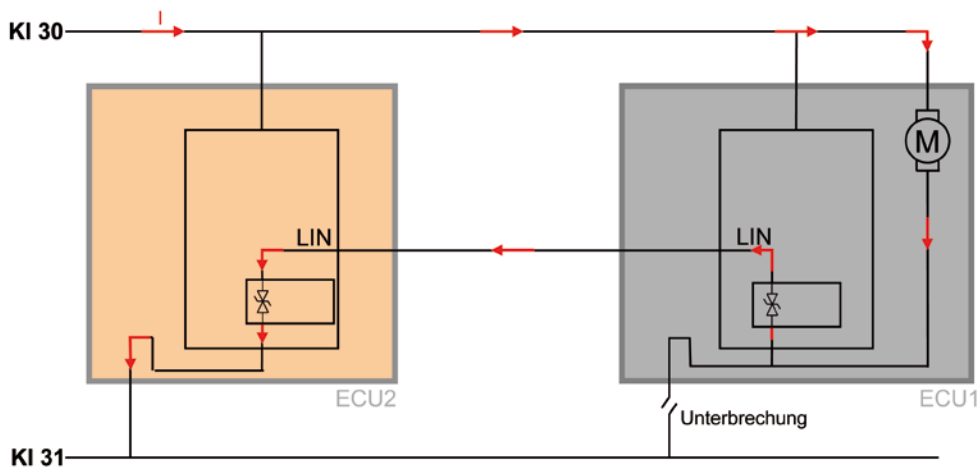
Um die Ausprägung von Schäden zu vermeiden, muss der Massekontakt rechtzeitig aufgebaut sein.

## 2.3 Beispiel Fensterheber

### Mechanische Beschreibung



### Elektrische Beschreibung



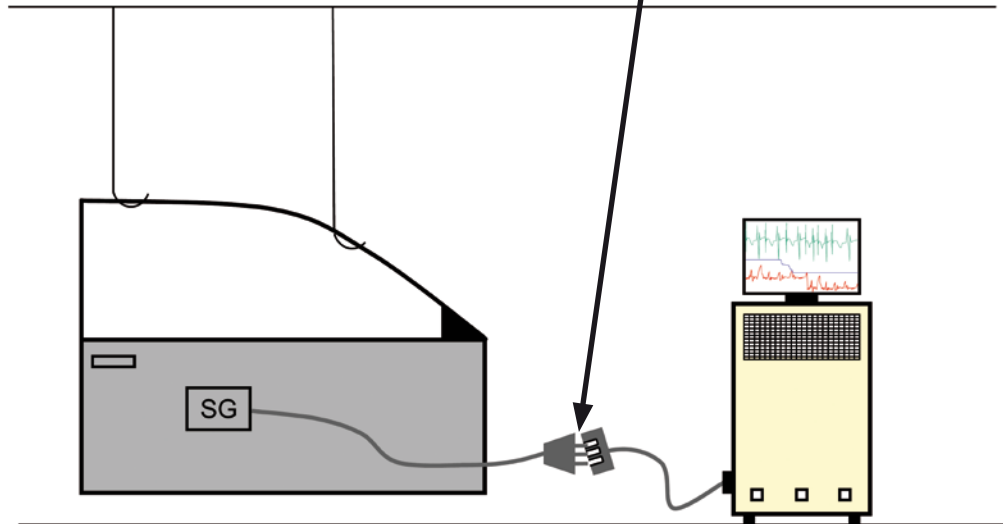
Die Masseleitung wird unterbrochen, während der Motor betrieben wird (**Hot Plugging**). Die dadurch auftretende Gegeninduktionsspannung erzeugt eine Potentialverschiebung im Steuergerät ECU1.

Über den LIN-Bus wird dieser Masseversatz auf ECU2 übertragen und kann dort zur Zerstörung der Halbleiter führen.

## 2.4 Beispiel Türenmontage

### Mechanische Beschreibung

teilweise kontaktierter Stecker  
(noch schräg am Anfang des Kontaktvorgangs)

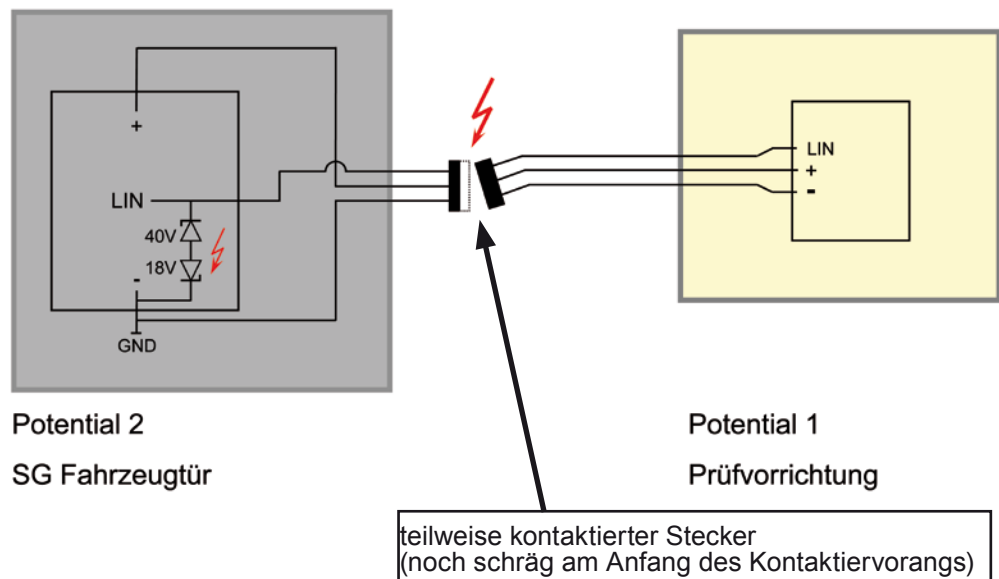


Fahrzeugtür mit Steuergerät SG

Prüfvorrichtung

Beim Aufbau und Test einer Fahrzeugtür kann es durch **Hot Plugging** und fehlendem vor-eilemendem Massekontakt zur Zerstörung der Halbleiter im Steuergerät kommen.

### Elektrische Beschreibung



Potential 2

SG Fahrzeugtür

Potential 1

Prüfvorrichtung

teilweise kontaktierter Stecker  
(noch schräg am Anfang des Kontaktvorgangs)

Ursache ist eine Spannungsdifferenz der Massepotentiale zwischen der Türe und der Prüfvorrichtung. Aufgrund der unterschiedlichen Bezugspotentiale zwischen den in der Türe verbauten Elektroniken und der Prüfvorrichtung kommt es zu Ausgleichsströmen.

Im Beispiel fließt der Ausgleichsstrom durch den LIN-Transceiver, falls der LIN früher als die Masse kontaktiert wird. Der durch den LIN-Transceiver fließende Strom kann diesen schädigen oder zerstören.

### **Allgemein gilt:**

Zunehmende Integrationsdichte, Bauraumverringerung und Leistungsanforderungen erzwingen immer kleiner werdende Strukturen bei Halbleitern, die zu geringeren EOS-Belastungsgrenzen führen.

#### **Wichtig**

**Ein erhöhter ESD-Schutz hilft nicht,  
EOS-Schäden zu vermeiden  
oder zu reduzieren.**

### 3 Abstellmaßnahmen Steckersysteme

#### 3.1 Steck- /Zugabfolge bei einem oder mehreren Steckern (Power, Signal)

##### 3.1.1 Ein einzelner Stecker an der elektronischen Fahrzeugkomponente oder im Kabelbaum

Beim Stecken muss sichergestellt sein, dass die Masse als erstes kontaktiert wird und beim Abstecken als letztes getrennt wird (First Mate – Last Break).

##### 3.1.2 Mehrere Stecker an der elektronischen Fahrzeugkomponente

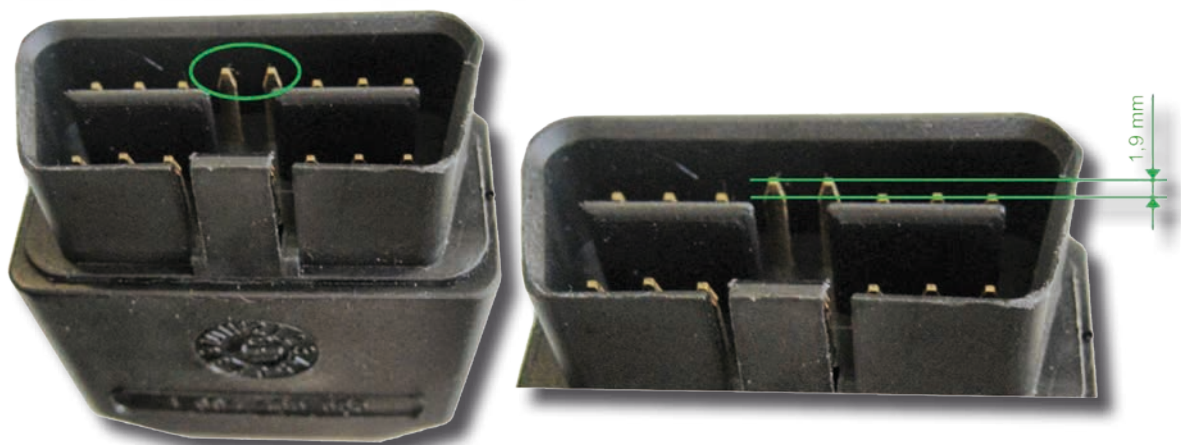
Bei jedem Stecker und jedem Steckvorgang müssen die Masseverbindungen aufgebaut sein, bevor die Verbindungen der Datenleitungen hergestellt werden und in umgekehrter Reihenfolge beim Lösen der Verbindungen.

#### 3.2 Verwendete Stecksysteme bei Erstellung, Betrieb, Wartung, Reparatur, Tuning von Kfz

##### 3.2.1 On Board Diagnose II

Vorbildlich ist der OBDII-Stecker. Er ist mit voreilenden Massestiften für sicheres Kontaktieren bei ZÜNDUNG EIN und AUS ausgestattet und bisher die einzige standardisierte und flächendeckend eingeführte Steckverbindung im Kfz-Umfeld, die für **Hot Plugging** vorbereitet ist.

Details dazu siehe ISO 15031-3.



*OBD II Stecker mit voreilenden Massekontakten*

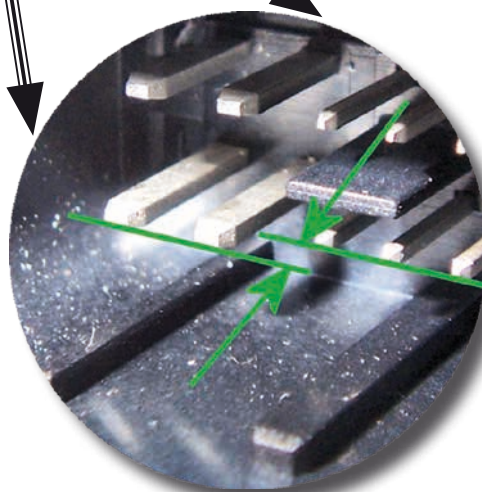
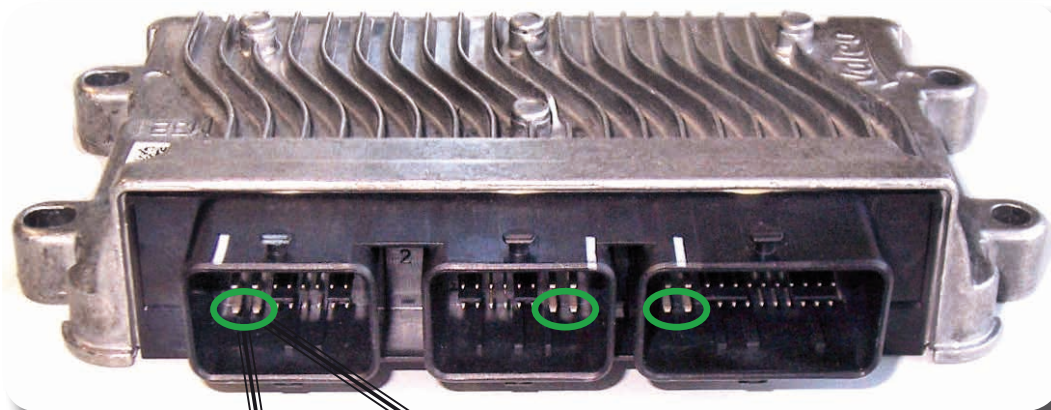
## 3.2.2 Sonstige Lösungen im Kfz-Bereich

Im Infotainmentbereich moderner Automobile finden sich vereinzelt USB-Schnittstellen, die ihrerseits mit unterschiedlichen Kontaktlängen standardmäßig für **Hot Plugging** gerüstet sind.

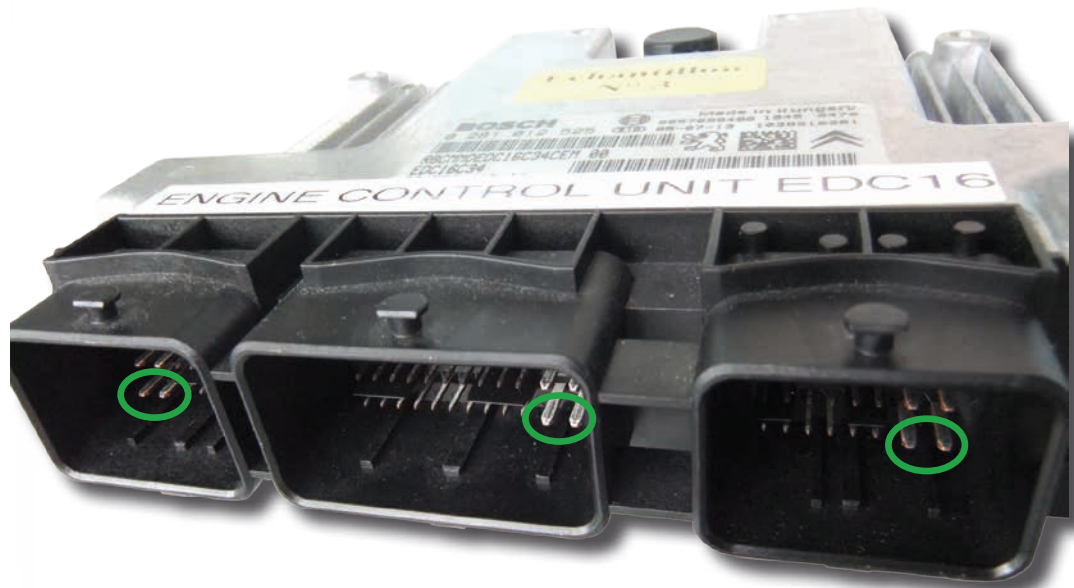


Extrem selten sind **Steuergeräte**, die mit voreilenden Massekontakten für **Hot Plugging** vorbereitet sind.

Hier einige Beispiele:



Valeo Steuergerät J34P für Peugeot/Citroën mit voreilenden Kontakten



*Bosch Steuergerät EDC16 für Peugeot/Citroën mit voreilenden Kontakten*



**Continental**

Easy – U

A2C30907000

C 04.04.11/1 0164

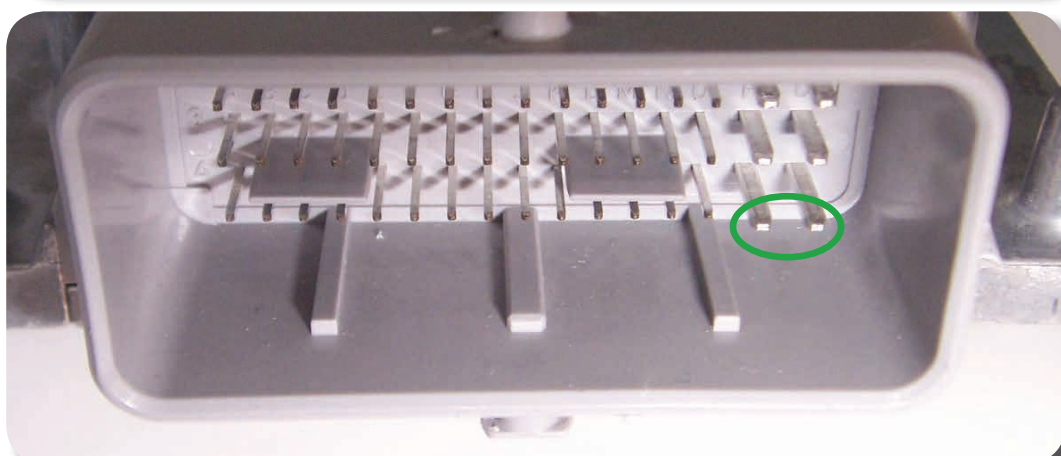
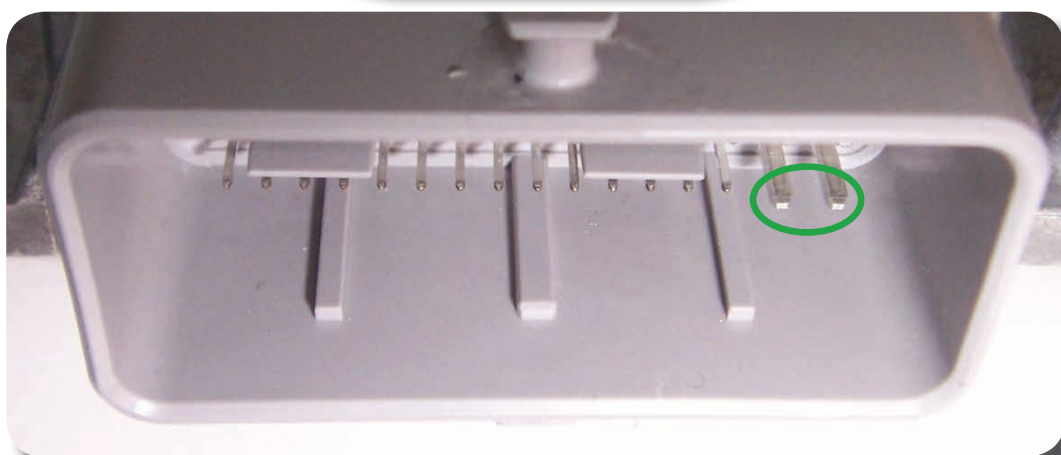
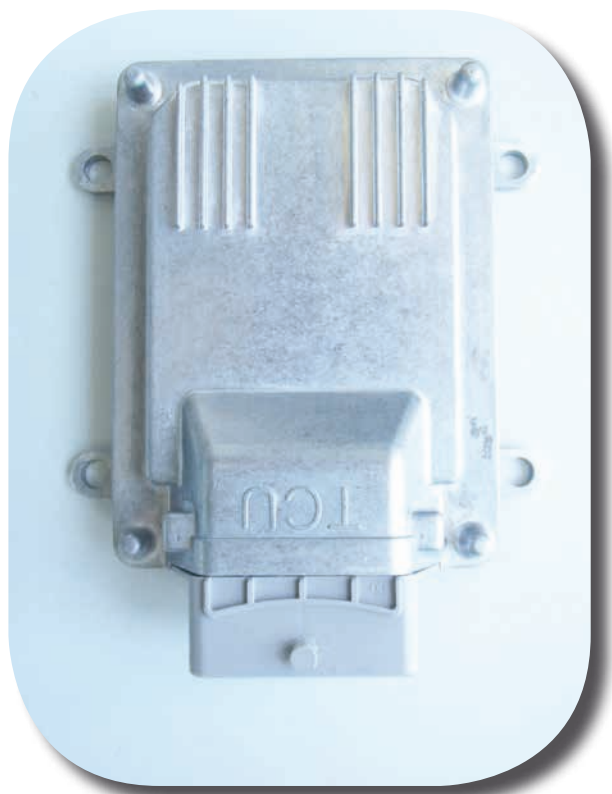


3612000 – EG01A

Made in China

*Continental Steuergerät mit voreilenden Kontakten*





*Steuergerät aus dem chinesischen Markt mit voreilenden Kontakten*

## Resümee

Neben den gezeigten positiven Beispielen überlassen alle anderen Stecksysteme in der Hot Plugging Situation den Weg für die Ausgleichströme dem Zufall. Dabei kann es wie gezeigt zur Überlastung und Zerstörung von elektronischen Bauteilen der Steuergeräte kommen.

## Ergänzende Anmerkungen

In **der gesamten Kontaktierkette im Prozess** sind Stecksysteme erforderlich, die FMLB gewährleisten.

### Beispielhaft seien genannt (unvollständige Liste)

- Teststationen zum Programmieren („Flashen“) von Steuergeräten
- jedwede Adaption bei ausgelagerten Teilprozessen bei Outsourcing-Nehmern
- Kabel-Verlängerungen, die zwischen eine Schnittstelle geschaltet werden (z. B. bei OBDII, wenn der Tester zu weit weg ist)

Neben den mechanischen Vorüberlegungen ist die erforderliche **Stromtragfähigkeit** der voreilenden Kontakte zu definieren. In der Regel ist der voreilende Teil zeitlich nur kurz belastet, und eine geringe Stromtragfähigkeit kann ausreichend sein.

Wenn die **Voreilung am Steuergerät** ausgeführt wird, kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass der Schutz wirkt. Bei einer Voreilung am Kabelbaum-Gegenstecker hingegen, sind das Steuergerät und das Fahrzeug nicht mehr geschützt, falls kompatible Stecker am Kabelbaum ohne Voreilung verwendet werden.

Alternativ zur Voreilung der Massekontakte ist der Schutz der Steuergeräte-Elektronik unter bestimmten Umständen durch Beschaltungs-Maßnahmen möglich.

Diese werden mit **mehreren Nachteilen** erkauft:

- die Bauteile kosten Geld
- die Bauteile erfordern Bauraum
- die Bauteile benötigen Betriebs-Spannung oder es fällt Spannung ab
- die Bauteile reduzieren die Gesamt-Zuverlässigkeit
- die Leistung der Schaltung nimmt ab (z. B. CAN-Bus)

Wenn eine Schutzbeschaltung zum Einsatz kommt, ist diese in der Regel nicht vollständig spezifizierbar, weil die zerstörenden Pulse nicht genau genug bekannt sind.

Trotz des Aufwands der Beschaltung besteht damit ein relativ hohes Risiko des Schaltungsausfalls.

## 4 Einführungsszenarien

### 4.1 Kompatibilitäten

Die Grundidee ist, bestehende Produkte nicht zu ändern. Vielmehr sollten die Automobilhersteller bei aktuell neu zu definierenden Produkten und Kontaktschnittstellen im Fahrzeug die Voreilung der Masse einfordern.

In der Kostenbetrachtung muss dann nicht ein bestehendes System erweitert werden, sondern man kann die Voreilung von Beginn an in die neue Konstruktion einplanen und so für eine technisch und kostenmäßig optimale Lösung sorgen.

### 4.2 Aktuell diskutierte Änderungen am automobilen Kabelbaum und den Stecksystemen

Momentan sind einige Änderungen im Umfeld der Kfz-Verkabelung in Arbeit. Somit ist ein günstiger Zeitpunkt für die flächendeckende Einführung der voreilenden Massekontakte gegeben.

#### Beispiele für diskutierte Änderungen:

- die Kabelbaumerstellung wird zunehmend automatisiert
- im Zuge der Verringerung der Kupferquerschnitte von Kabeln können Stecker geändert werden
- im Kabelbaum werden neue Schnittstellen geschaffen zur Nutzung von Komponenten und Aggregaten aus anderen Fahrzeugen oder anderer Hersteller
- manche Leitungen werden durch Aluminium ersetzt
- Einsatz von Flachbandkabeln
- Einführung neuer Datenbus-Systeme (Ethernet)
- neue Produkte, z. B. LED-Scheinwerfer

### 4.3 Einsparpotenzial

**Grobe Abschätzung** für das globale Einsparpotenzial durch Einführung von Steckverbindern mit voreilender Masse am Beispiel des Jahres 2011:

Global hergestellte Fahrzeuge	70 Mio
Global hergestellte automotive Halbleiter (ASIC, Controller)	8,4 Mrd

Unter der Annahme, dass durch die voreilende Masse **1 ppm an Ausfällen vermieden wird** und die Kosten für einen **Ausfall** in Summe 5.000 € betragen, ergibt sich folgende Einsparung:

Vermiedene Ausfälle (1 ppm von 8,4 Mrd Halbleitern)	8.400 Stück
Gesamt-Kosten pro Ausfall	5.000 €
Gesamt-Kosten aller Ausfälle	42.000.000 €
Eingesparte <b>Summe pro Fahrzeug</b> (42 Mio € / 70 Mio)	<b>0,6 € pro Fahrzeug</b>

**Weitere Einsparungsmöglichkeiten** können sich ergeben durch **Normung** dieser neuen Steckverbinderschnittstelle mit voreilender Masse.

## 5 Zusammenfassung

Voreilende Massekontakte helfen heute bereits in vielen Industriebereichen, Kontaktiervorgänge sicherer ausführen zu können.

Sie stellen noch vor dem Aufbau der erforderlichen Signal- und Versorgungsleitungen einen Massepotentialbezug her, der Mensch und Elektronik zuverlässig schützt.

Dieser Vorteil würde sich im Automobil ebenso zeigen.

Ein Großteil der heutigen EOS Ausfälle der Halbleiter könnte dadurch vermieden werden. Dies gilt insbesondere für Störfälle größeren Ausmaßes.

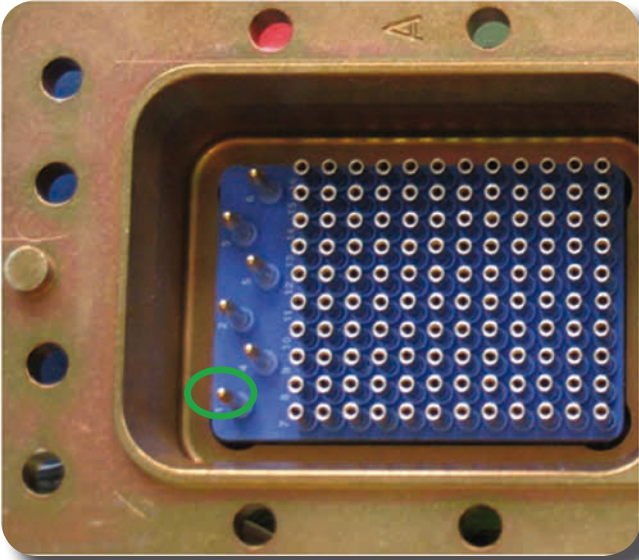
Damit liefert diese Maßnahme einen wichtigen Beitrag zum Erreichen des Null-Fehler-Zieles.

Die Einführung voreilender Massekontakte in die vielfältige Steckerlandschaft muss durch die Kfz-Hersteller angestoßen werden („top down“). Sie erfordert eigene Vorüberlegungen aller beteiligten Fraktionen sowie sicherlich einen speziellen Zeithorizont.

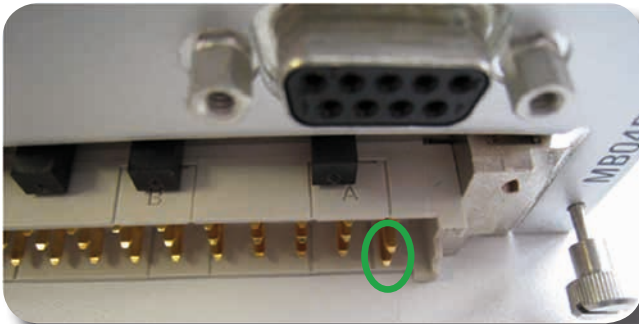
## 6 Anhang

Bespiele von Stecksystemen mit voreilenden Kontakten aus unterschiedlichen Industrien

### 6.1 Luftfahrt



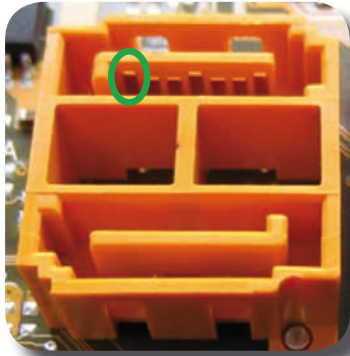
### 6.2 Eisenbahn



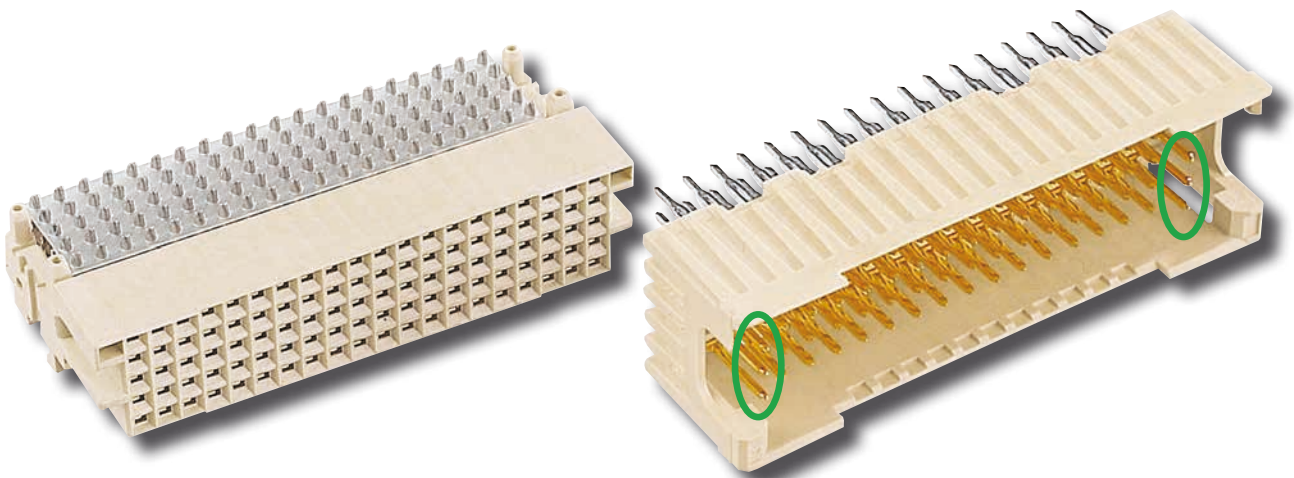
### 6.3 Hausnetzversorgung



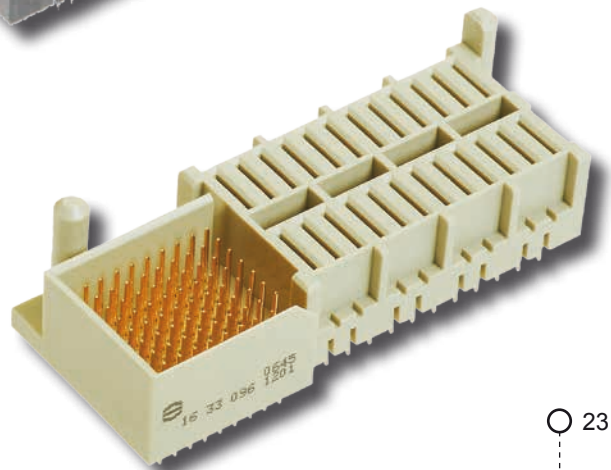
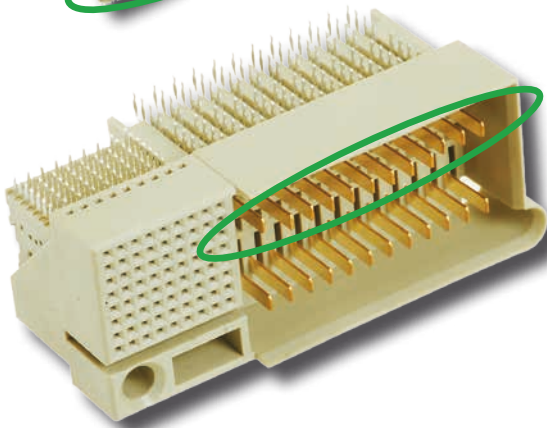
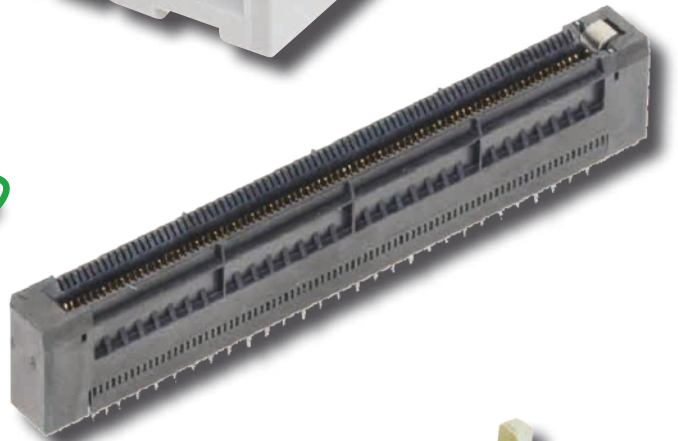
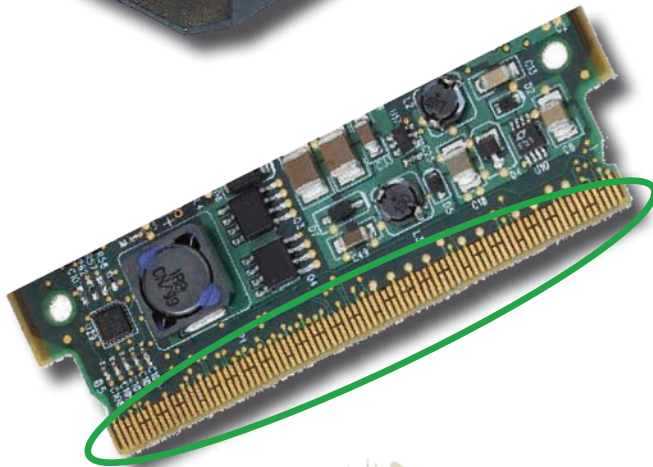
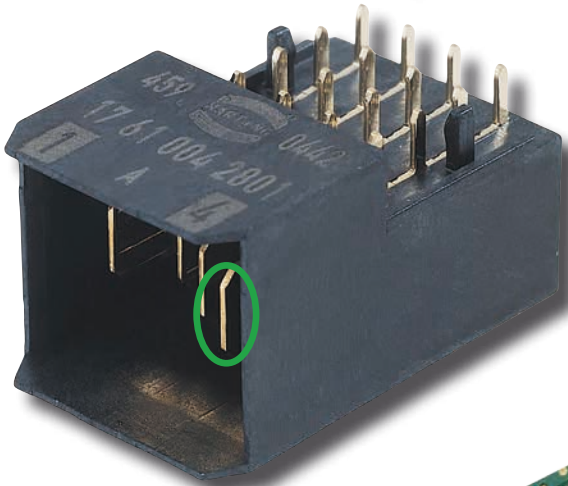
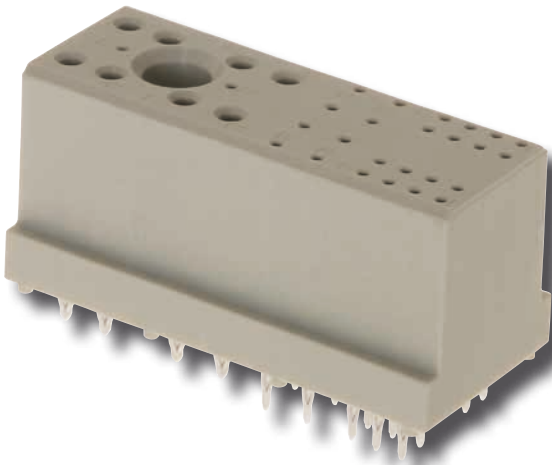
6.4 Personal Computer



6.5 Telekommunikation



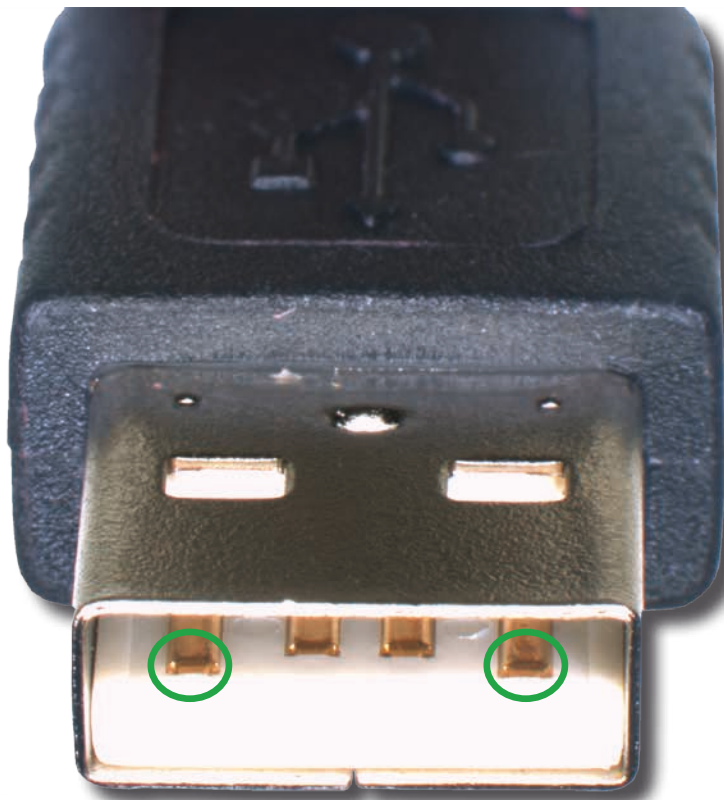
Fortsetzung: 6.5 Telekommunikation



Fortsetzung: 6.5 Telekommunikation

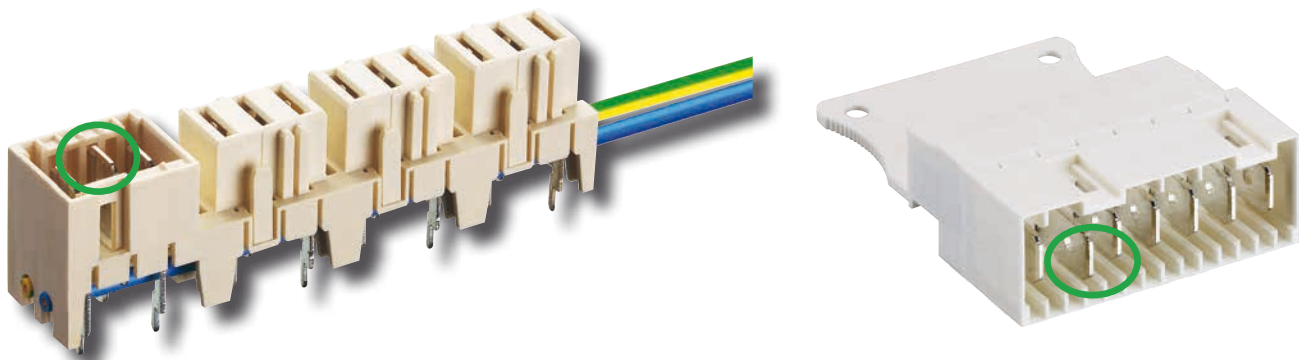


6.6 USB 2.0 (Universal Serial Bus 2.0)

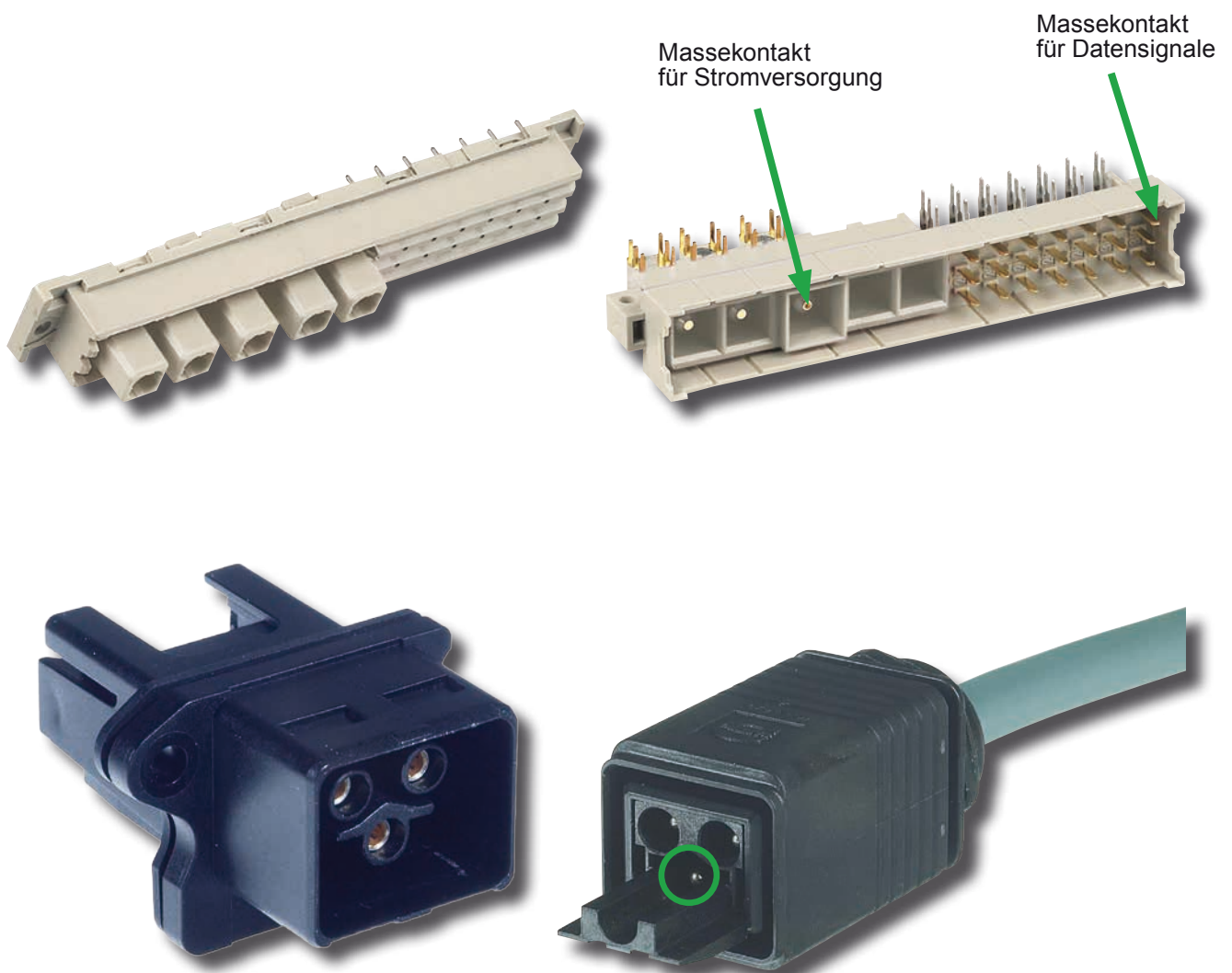




6.7 Weiße Ware



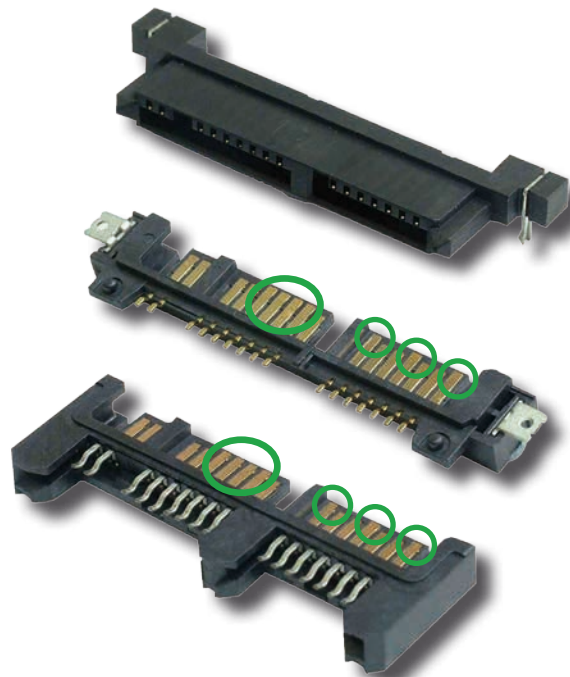
6.8 Industrie-Stromversorgung



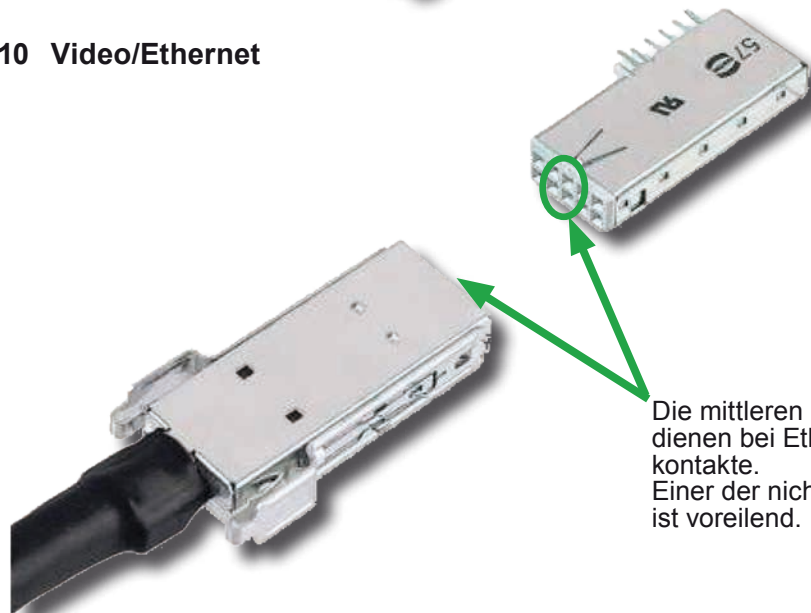
Fortsetzung: 6.8 Industrie-Stromversorgung



6.9 Daten und Consumer Applikationen



6.10 Video/Ethernet



Die mittleren beiden Kontakte dienen bei Ethernet als Massekontakte. Einer der nicht sichtbaren Stifte ist voreilend.





Die Elektroindustrie

ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V.  
Fachverband Electronic Components and Systems (ECS)  
Fachverband PCB and Electronic Systems  
Lyoner Straße 9  
60528 Frankfurt am Main, Deutschland  
Fon: 069 6302 - 276  
Fax: 069 6302 - 407  
E-Mail: [zvei-be@zvei.org](mailto:zvei-be@zvei.org)  
[www.zvei.org/ecs](http://www.zvei.org/ecs)