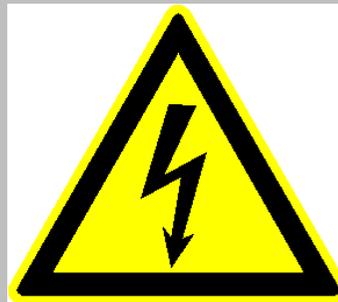


# Sicherheit der Hochvolttechnik bei Elektro- und Hybridfahrzeugen

4. Sachverständigentag / 01. und 02. März 2010 in Berlin  
Dipl.-Ing. (FH) Tassilo Sagawe / DEKRA Automobil Test Center (DATC)



# Agenda

- 1** Sicherheit von Elektro- und Hybridelektrofahrzeugen als neue Herausforderung
- 2** Überblick zur Vorschriftenlage
- 3** Spezielle Anforderungen an elektrische Komponenten im Hochvoltbereich
- 4** Belange der Sicherheit im gesamten Fz. Life Cycle



## Sicherheit von Elektro- und Hybridelektrofahrzeugen als neue Herausforderung

*Elektrofahrzeuge bereits seit ca. 100 Jahren*

*aber*

*erstmalig ist mit größerer Marktdurchdringung  
der Hochvolttechnik in der Serie zu rechnen*

*Spannungsbereiche*

*>60Vdc bis 1500Vdc*

*und*

*>25Vac bis 1000Vac*

**⇒ Lebensgefahr !**



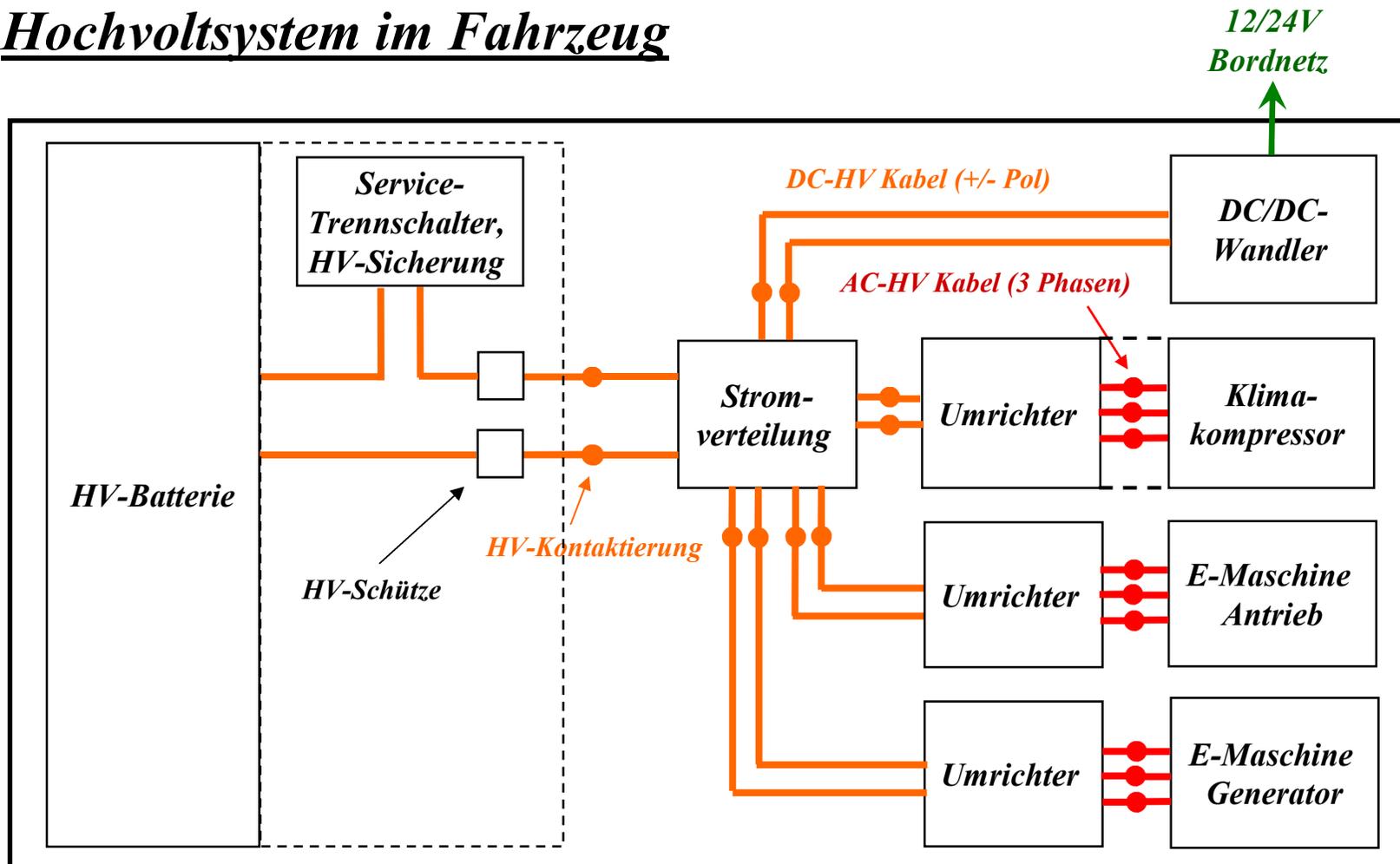
*Stromstärke ↑↑↑*

*Neue Batterietechnologien*



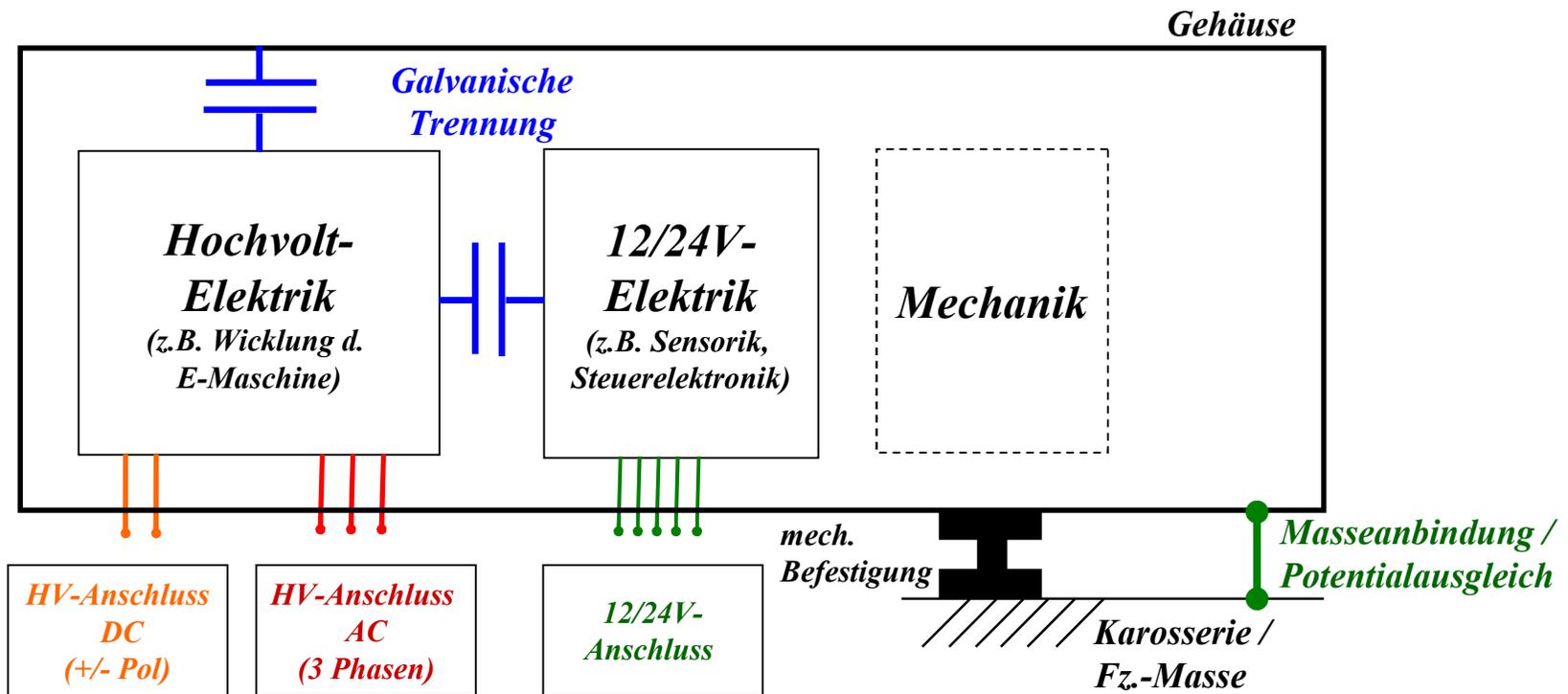
# Sicherheit von Elektro- und Hybridelektrofahrzeugen als neue Herausforderung

## Hochvoltsystem im Fahrzeug



# Sicherheit von Elektro- und Hybridelektrofahrzeugen als neue Herausforderung

## Aufbau Hochvoltkomponente



## Sicherheit von Elektro- und Hybridelektrofahrzeugen als neue Herausforderung

### *HV-System im Fahrzeug - Eigenschaften*

- Das HV-Netz im Fahrzeug ist ein vollständig isoliertes Netz. Weder Plus- noch Minuspol des HV-Systems haben eine leitfähige Verbindung zur Fahrzeugmasse (Karosserie) oder zur Erde.
- Das HV-Netz ist galvanisch vom LV-Netz getrennt.
- Das isolierte Netz ist ein elektrisches Netz mit einer erhöhten Ausfall- und Unfallsicherheit bei Fehlern der Isolation (ähnlich IT-Netz).

Ein erster Isolationsfehler zwischen einem Leiter und dem Gehäuse bzw. der Karosserie führt nicht automatisch zu einer Gefährdung. Es entsteht weder eine gefährliche Berührungsspannung zwischen leitfähigen Gehäusen und der Erde noch ein über die Karosserie geschlossener Stromkreis zur Antriebsbatterie.

- Der Erstfehler hat noch keine schädlichen Auswirkungen, daher muss das elektrische System des Fahrzeuges auch noch nicht abgeschaltet werden.

In der Regel prüft ein on-board „ISO-Wächter“ regelmäßig oder permanent den Isolationswiderstand zwischen dem Hochvoltkreis und der Fahrzeugmasse (Karosserie). Ein Isolationsfehler wird dem Fahrer gemeldet.

- Ein festgestellter Fehler muss umgehend behoben werden, da ein Isolationsfehler des zweiten Leiters einen Kurzschluss zur Folge hätte, der zum Auslösen der Überstromsicherheit und damit zum sofortigen Abschalten des Fahrzeugs führen würde.

## Sicherheit von Elektro- und Hybridelektrofahrzeugen als neue Herausforderung

### wesentliche Maßnahmen zum Schutz vor elektrischen Schlag

- Basisisolierung aktiver (spannungsführender) Teile  
*und*
- Gemeinsame Verbindung freiliegender leitfähiger „Gehäuse“-Teile zum Potentialausgleich



## Sicherheit von Elektro- und Hybridelektrofahrzeugen als neue Herausforderung

### *weitere Schutzmaßnahmen und Sicherheitseigenschaften*

- doppelte oder verstärkte Isolierung
- Gehäuse und Abdeckungen
- sichere Befestigung von Komponenten und sichere und geschützte Kabelführung
- Beachtung von Luft- und Kriechstrecken
- unbeabsichtigter Zugang zu spannungsführenden Teilen muss ausgeschlossen sein (Zugang nur mit Werkzeug)
- On-board-Isolationsüberwachung
- Trennung der HV-Schütze beim Crash
- HV-Spannungsüberwachung
- Spezifiziertes Verhalten bei Ausfall der 12/24V-Spannung
- Hauptschalter für den Servicefall „Service Disconnect“
- HV-Interlock (Stichwort „eigensicheres Fahrzeug“)
- Erkennung offener HV-Leitungen
- Potentialtrennung zwischen HV-Netz und Fz.-Masse und zwischen HV-Netz und 12/24V Bordnetz
- Überstromschutz, Kurzschlusschutz
- Kennzeichnung und Markierungen (HV-Warnlabel, orange Kabel)
- aktive / passive Entladung
- Spannungsfestigkeit der Komponenten



# Agenda

- 1** Sicherheit von Elektro- und Hybridelektrofahrzeugen als neue Herausforderung
- 2** Überblick zur Vorschriftenlage
- 3** Spezielle Anforderungen an elektrische Komponenten im Hochvoltbereich
- 4** Belange der Sicherheit im gesamten Fz. Life Cycle



## Überblick zur Vorschriftenlage

### Gesetzliche Vorschriften

#### *Deutschland / Europa*

ECE-R100	<p>Legal Regulation for Wheeled Vehicles Regulation No. 100 Uniform Provisions Concerning the Approval of Battery Electric Vehicles with Regard to Specific Requirements for the Construction, Functional Safety and Hydrogen Emission Basic version, Supplement 1; In force: 2002-02-21 Issue: 2002-07-25</p> <p>⇒ Derzeit in Überarbeitung, Neufassung ist demnächst zu erwarten. aktueller Entwurfsstand: Proposal for the 01 series of amendments to regulation no. 100 (GRSP-46-16)</p>
§ 62 StVZO	<p>„Elektrische Einrichtungen von elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen müssen so beschaffen sein, dass bei verkehrsüblichem Betrieb der Fahrzeuge durch elektrische Einwirkung weder Personen verletzt noch Sachen beschädigt werden können“.</p>

## Überblick zur Vorschriftenlage

### Gesetzliche Vorschriften

#### *USA*

FMVSS 305	U.S. Federal Motor Vehicle Safety Standard No. 305 Electric-Powered Vehicles: Electrolyte Spillage and Electrical Shock Protection Revised: 2007-09-11
-----------	--

#### *Japan*

Trias 67-2 (Attachment 110)	Technical Standard Concerning the Protection of Occupants from High Voltage etc. of Electrical Vehicles and Electrical Hybrid Vehicles Issue: 2008
Trias 67-3 (Attachment 111)	Technical Standard Concerning the Protection of Passengers from High Voltage etc. after Collision of Electrical Vehicles and Electrical Hybrid Vehicles Issue: 2008

## Überblick zur Vorschriftenlage

### Weitere wichtige Normen auf Fahrzeugebene

ISO 6469-1	Electric road vehicles - Safety specification Part 1: On-board electrical energy storage
ISO 6469-2	Electric road vehicles - Safety specification Part 2: Functional safety means and protection against failures
ISO 6469-3	Electric road vehicles - Safety specification Part 3: Protection of persons against electric hazards
ISO 23273-1	Fuel cell road vehicle - Safety specifications Part 1: Vehicle functional safety
ISO 23273-3	Fuel cell road vehicle - Safety specifications – Part 3: Protection of persons against electric shock

### Auszug sonstige Normen:

- Kabel: ISO 6722, ISO 14572
- Umwelt: ISO 16750-1, ISO 20653
- Ladegeräte / Netzanschluss: IEC 61851, IEC 62196

## Überblick zur Vorschriftenlage

### Sachlage:

- ⇒ **Für Typprüfungen ist bzgl. Hochvoltsicherheit die ECE-R100 verbindlich.**
- ⇒ **Normen sollten vom Hersteller angewendet werden.**
- ⇒ **In der ECE-R100 sind derzeit nicht alle Hochvolt-Sicherheitsbelange erfasst.**



## Überblick zur Vorschriftenlage

### Zusätzlich sollte beachtet werden:

- **Einbauort** → **Zugänglichkeit, Crash, ...**
- **Crash** → **Verhalten des Hochvoltsystems (Abschaltung)**
- **Umgebungsbedingungen** → **Verschmutzung, IP-Schutzgrad**
- **Service** → **Zustand Servicefall, Spannungsfreischaltung**
- **Fehlerbeherrschung** → **Verhalten im Fehlerfall ( Systemreaktionen / Rückfallebenen, Warnlampen, Auswirkungen auf andere sicherheitsrelevante Systeme wie z.B. Bremse, Lenkung, Licht, ...)**
  
- **Anforderungen an elektronisch gesteuerte Sicherheitssysteme** → **Ausfallsicherheit Isolationsüberwachungssystem, Batteriemanagementsystem**
  
- **Sicherheitsanforderungen an Energiespeicher** → **z.B. Bau- und Einbaubedingungen, Sicherheitsanforderungen an Batteriezellen, Anforderungen an das Batteriemanagementsystem, ...**



# Agenda

- 1** Sicherheit von Elektro- und Hybridelektrofahrzeugen als neue Herausforderung
- 2** Überblick zur Vorschriftenlage
- 3** Spezielle Anforderungen an elektrische Komponenten im Hochvoltbereich
- 4** Belange der Sicherheit im gesamten Fz. Life Cycle

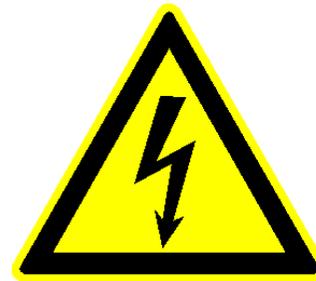


## Spezielle Anforderungen an elektrische Komponenten im Hochvoltbereich

### Kennzeichnung / Warnhinweis

#### *Warnhinweis „Hochvolt“*

- Anbringung auf Gehäuse und Abdeckungen aller HV-Komponenten
- Warnsymbol gem. ECE-R100
- ggf. zusätzlicher Benutzerhinweis



#### *Orangefarbene Kennzeichnung der Hochvolt-Kabel*

- geregelt in ISO 6469-3 (und im neuen Entwurfstand zur ECE-R 100)

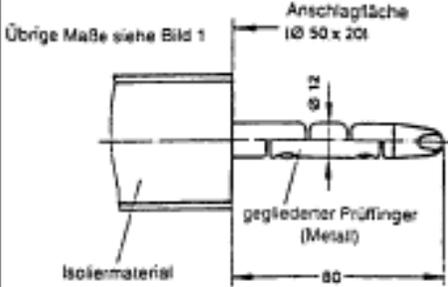
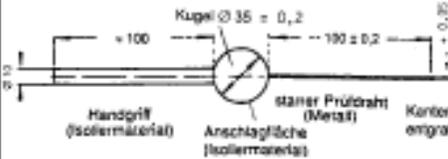


## Spezielle Anforderungen an elektrische Komponenten im Hochvoltbereich

### Berührungsschutz

- Die direkte Berührung aktiver Teile muss sicher ausgeschlossen sein.  
⇒ feste Isolierstoffe, Gehäuse, Abdeckungen, ...
- In Fahrgast- und Laderäumen müssen alle HV-Komponenten mindestens den Schutzgrad IPXXD erfüllen (Prüfdraht).
- In anderen Bereichen müssen alle HV-Komponenten mindestens den Schutzgrad IPXXB erfüllen (gegliederter Prüffinger).
- Der Zugang zu aktiven Teilen darf nur absichtlich erfolgen (Abdeckungen nur mit Werkzeug entfernbar).

Zugangssonden für die Prüfungen des Schutzes gegen den Zugang zu gefährlichen Teilen

erste Ziffer	Zusätzlicher Buchstabe	Zugangssonde (Maße in mm)	Prüfkraft
2	B	<p>Gegliedert Prüffinger</p> <p>Übrige Maße siehe Bild 1</p>  <p>Anschlagfläche Ø 50 x 20</p> <p>12</p> <p>80</p> <p>gegliederter Prüffinger (Metall)</p> <p>Isoliermaterial</p>	10 N ± 10 %
4, 5, 6	D	<p>Prüfdraht Ø 1,0 mm, 100 mm lang</p>  <p>Kugel Ø 35 = 0,2</p> <p>100</p> <p>100 ± 0,2</p> <p>10</p> <p>1,0</p> <p>Handgriff (Isoliermaterial)</p> <p>Anschlagfläche (Isoliermaterial)</p> <p>starrer Prüfdraht (Metall)</p> <p>Kontakten emgrat</p>	1 N ± 10 %

## Spezielle Anforderungen an elektrische Komponenten im Hochvoltbereich

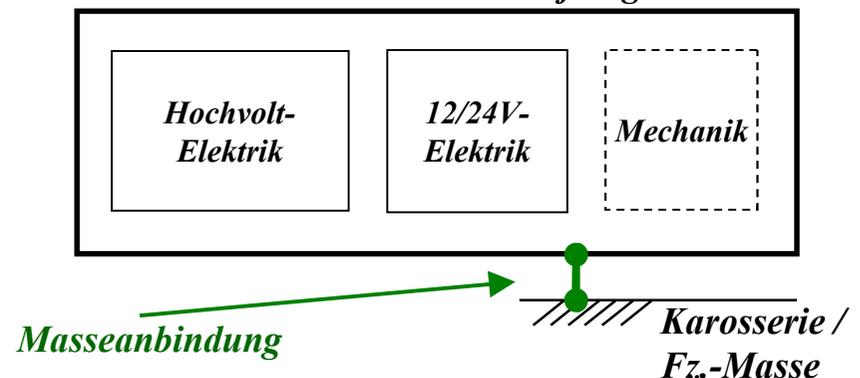
### Potentialausgleich

#### *Prüfung des Potentialausgleichs:*

- Die HV-Komponente ist isoliert aufzustellen und es ist nur die vorher für den Potentialausgleich definierte Stelle mit der Fahrzeugkarosserie zu verbinden.
- Die Widerstandsmessung ist mit einer 4-Pol Messung mit mind. 200mA durchzuführen.
- Der Potentialausgleichswiderstand zwischen zwei beliebig leitfähigen freiliegenden Teilen muss  $<0,1\Omega$  sein (gem. ECE-R100).

*Hochvolt-Komponente  
(z.B. Umrichter)*

*elektr. leitfähiges Gehäuse*

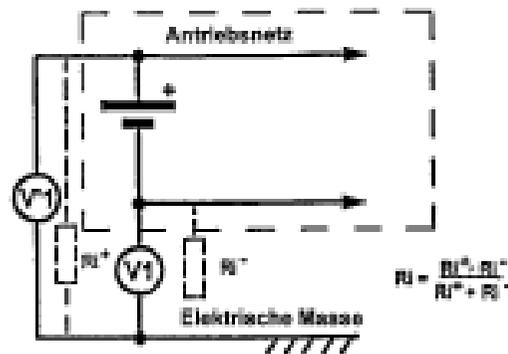


## Spezielle Anforderungen an elektrische Komponenten im Hochvoltbereich

### Isolationswiderstand Gesamtsystem

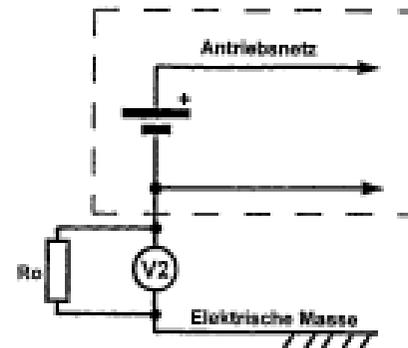
Messaufbau (Quelle ECE R100):

Stufe eins:



Es werden  $V_1$  und  $V_1'$  gemessen.

Stufe zwei:

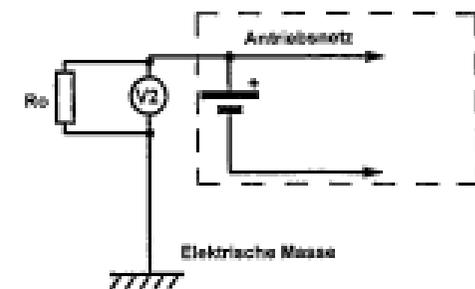


wenn  $V_1 > V_1'$  ist

Dabei ist  $R_o$  ein Widerstand mit einem Wert von  $500\Omega/V$ .

Der Wert des Isolationswiderstands  $R_i$  wird durch eine der nachstehenden Formeln ausgedrückt:

$$R_i = \frac{V_1 - V_2}{V_2} \cdot R_o \quad \text{oder} \quad R_i = \frac{V_1 - V_2}{V_2} \cdot R_o$$



wenn  $V_1 < V_1'$  ist

**Zu beachten:** Damit alle Komponenten erfasst werden, ist die Messung bei galvanischer Verbindung der Komponenten durchzuführen.

Ggf. können einzelne Komponenten zusätzlich mit einem externen Isolationsmessgerät geprüft werden.



## Spezielle Anforderungen an elektrische Komponenten im Hochvoltbereich

### Sonstiges:

#### Anforderungen an die Betriebssicherheit / funktionale Anforderungen

- **Anzeige der Fahrbereitschaft**
- **Signal beim Verlassen des Fahrzeugs wenn Fahrbereitschaft aktiv**
- **Verhinderung der Fahrbereitschaft bei eingesteckten externen Ladestecker**
- **Anzeige der Fahrstufe / Gangwahl**

#### Bestimmung der Wasserstoffemissionen von Antriebsbatterien

- ⇒ **Gilt nicht für Batterien mit nichtwässrigem Elektrolyten oder gasdichten Batterien mit „rekombinierten Gasen“.**

#### Anforderungen an Dokumentation

- **Beschreibungsbogen gem. ECE-R100**
- **Sicherheitskonzept inkl. Einzelnachweise von Komponenten (z.B. Spannungsfestigkeit)**



# Agenda

- 1** Sicherheit von Elektro- und Hybridelektrofahrzeugen als neue Herausforderung
- 2** Überblick zur Vorschriftenlage
- 3** Spezielle Anforderungen an elektrische Komponenten im Hochvoltbereich
- 4** Belange der Sicherheit im gesamten Fz. Life Cycle



## Belange der Sicherheit im gesamten Fz. Life Cycle

### *Gesetzlich vorgeschriebene Prüfungen im Fz.-Lebenszyklus*

*Fz.-Entwicklungs-  
prozess / Produktion*

*Einsatzzeitraum / Lebensdauer*

*Verschrottung /  
Recycling*



*Typprüfung*

*periodische  
Fahrzeugüberwachung*



## Belange der Sicherheit im gesamten Fz. Life Cycle

### Schlussfolgerung:

- *Bei der Typprüfung müssen alle gesetzlichen Anforderungen eingehalten werden.*
- *Nur die periodische Fahrzeugüberwachung bietet die Möglichkeit, die Sicherheit der im Verkehr befindlichen Fahrzeuge regelmäßig zu kontrollieren.*
- *Die Prüfsingenieure müssen die Möglichkeit haben, sicherheitsrelevante Fehler erkennen zu können.*
- *Weiterbildungen und Informationsaustausch ist eine wesentliche Grundlage.*

# Belange der Sicherheit im gesamten Fz. Life Cycle

## Informationsbereitstellung und Schulungsmaßnahmen

### Inhalt:

- Aufbau Hochvoltssystem
- Kennzeichnungen
- Funktionsbeschreibung / Eigenschaften
- Lage im Fahrzeug
- installierte Sicherheitseinrichtungen
- Ausfallverhalten / Fehlermeldungen
- Besonderheiten

### Quellen:

- vom Hersteller zur Verfügung gestellte Unterlagen
- praktische Tests

**Hinweise für DEKRA-Mitarbeiter bei Arbeiten am Toyota Prius II mit Hybrid-Elektro-Antrieb**

1. Allgemeine Informationen

Der Toyota Prius II ab Modelljahr 2004 unterscheidet sich gegenüber konventionellen Fahrzeugen durch die Kombination eines Ottomotors und eines Elektroantriebes. Aufgrund des Hochspannungskreises des Elektroantriebes sind beim Umgang mit dem Toyota-Hybrid-System einige Vorsichtsmaßnahmen einzuhalten.

Außerlich ist der Toyota Prius II mit Hybridantrieb an folgender Kennzeichnung am Fahrzeugheck und an der rechten und linken Seite erkennbar.

Die hochspannungsführenden Kabel sind anhand ihrer orangen Farbgebung leicht zu erkennen. Weiterhin sind auf den hochspannungsführenden Bauteilen Warnschilder angebracht.

DEKRA Automobil GmbH  
Aufwind Test Center  
Sartoweranger Straße 30  
D-11988 Berlin

1/5

Angabe (I) - Rev. 1  
Datum: 14.04.2009

**500 V (Dreiphasen-Wechselstrom)**

**201,6 V (Dreiphasen-Wechselstrom)**

**201,6 V (Gleichstrom)**

**12 V (Gleichstrom)**

DEKRA Automobil GmbH  
Aufwind Test Center  
Sartoweranger Straße 30  
D-11988 Berlin

3/5

Angabe (I) - Rev. 1  
Datum: 14.04.2009

## Belange der Sicherheit im gesamten Fz. Life Cycle

### Informationsbereitstellung und Schulungsmaßnahmen



## Belange der Sicherheit im gesamten Fz. Life Cycle

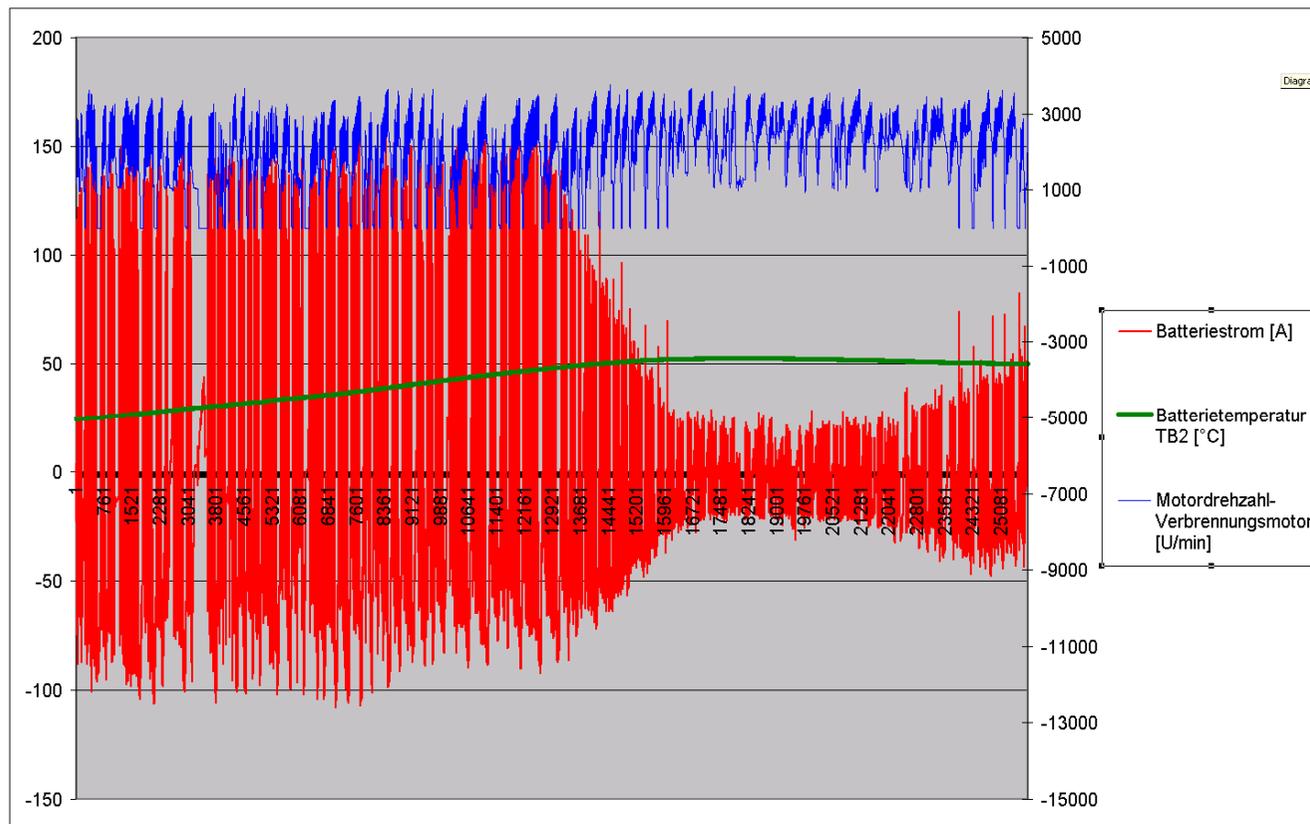
### *Beispiel: Untersuchung zur Temperaturüberwachung der HV-Batterie im Prius III*

- *Untersuchungen im DEKRA Automobil Test Center*
- *Fehlersimulation **Luftzufuhr** abgedeckt*
- *wiederholtes mehrmaliges Anfahren und Verzögern*
- *Messung der Batterietemperatur und des Lade- bzw. Entladestromes sowie Aufzeichnung der Motordrehzahl des Verbrennungsmotors*



## Belange der Sicherheit im gesamten Fz. Life Cycle

### Beispiel: Untersuchung zur Temperaturüberwachung der HV-Batterie im Prius III



## Belange der Sicherheit im gesamten Fz. Life Cycle

### Beispiel: Untersuchung des Crashverhaltens des Prius II

- *Crash Test im DEKRA Crash Test Center*
- *Frontanprall unter 30° Winkel in Anlehnung an FMVSS 305*
- *Aufprallgeschwindigkeit 49km/h*



## Belange der Sicherheit im gesamten Fz. Life Cycle

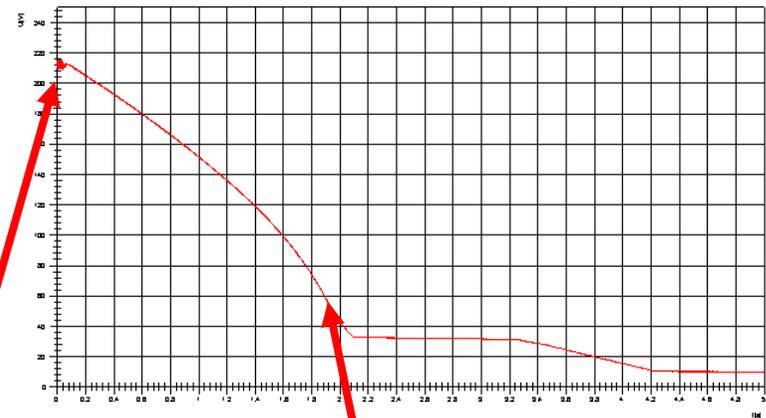
### Beispiel: Untersuchung des Crashverhaltens des Prius II



*Keine Verletzung der HV-Kabel am Unterboden*



*Sofortige Abschaltung der HV Spannung*



*HV Spannung < 60Vdc nach ca. 1,9s*

Verfasser	Uwe Giese, CFC, 10/03	Confidential / Vertraulich
Projekt	ZXEB-10/03	
Revisoren	SH09_48	

## Resümee

***„Es gibt keine Sicherheit, nur  
verschiedene Grade der Unsicherheit.“***

*(Zitat: Anton Neuhäusler, 1900-1997)*

