

# Elektro- und Hybridfahrzeuge

## Überlegungen zu Sicherheitsfragen beim Feuerwehreinsatz

---

**Dipl.-Ing. Dr.techn. Rudolf Mörk-Mörkenstein**

Staatlich befugter und beeideter Ziviltechniker und  
Ingenieurkonsultent für Elektrotechnik

Allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger



FS Dateiname = Lehrgang Thema  
Ersteller VN NN

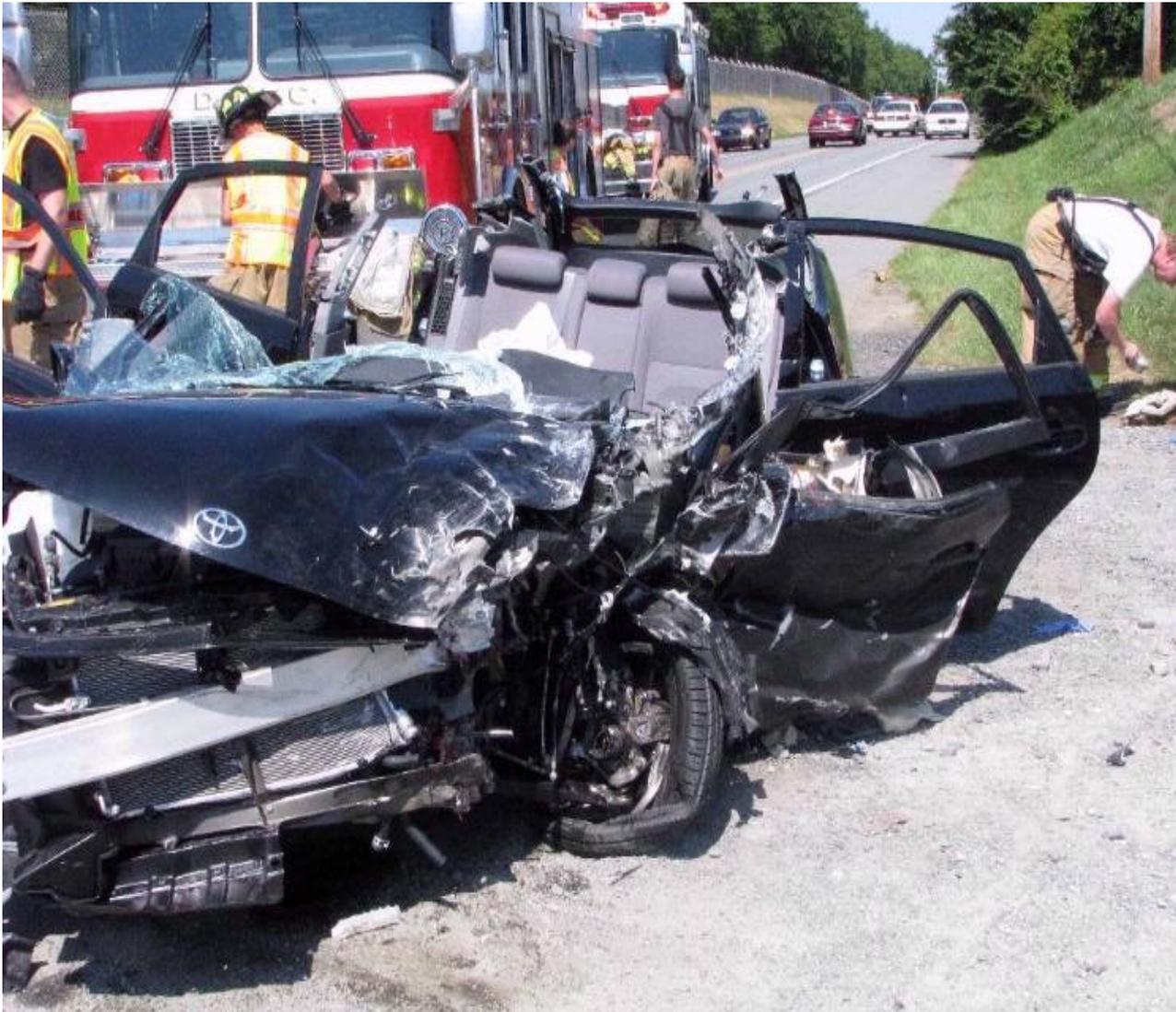
# Unfälle mit Elektro-/Hybridfahrzeugen



- Variante 1: Fahrzeug nur minimal beschädigt  
Eigensicherheit ist im Regelfall vorhanden  
Fahrzeug kann problemlos abgeschleppt werden
- Üblicherweise kein außergewöhnlicher Zeitdruck

# Unfälle mit Elektro-/Hybridfahrzeugen

## ➤ Variante 2: Fahrzeug extrem beschädigt, Brand



- Metallische Durchdringung kann Batterie beschädigen
- Sicherheit ist von außen nicht feststellbar

# Schulungsunterlage

# Elektro- und Hybridfahrzeuge

FS Dateiname = Lehrgang Thema  
Ersteller VN NN

E01 Freigabe am YYYYMMTT  
von VN NN

# Elektro- und Hybridfahrzeuge



Erkennen von Gefahrenquellen

Sicherer Umgang in Gefahrensituationen



# Vorbemerkungen

- Die folgende Aussagen beziehen sich nur auf Serienfahrzeuge.
- Technische Merkmale sind je nach Hersteller unterschiedlich.
- Die allgemeinen taktischen Grundsätze sind immer zu berücksichtigen.
- Jeder Einsatz erfordert individuelle Erkundung und Beurteilung.
- Gefahren durch Beladung sind hier nicht berücksichtigt.

Grundsätzlich gelten auch bei Elektro- und Hybridfahrzeugen die allgemeinen Einsatzregeln für Fahrzeugunfälle, insbesondere in der Erstphase die Vorgehensweise:

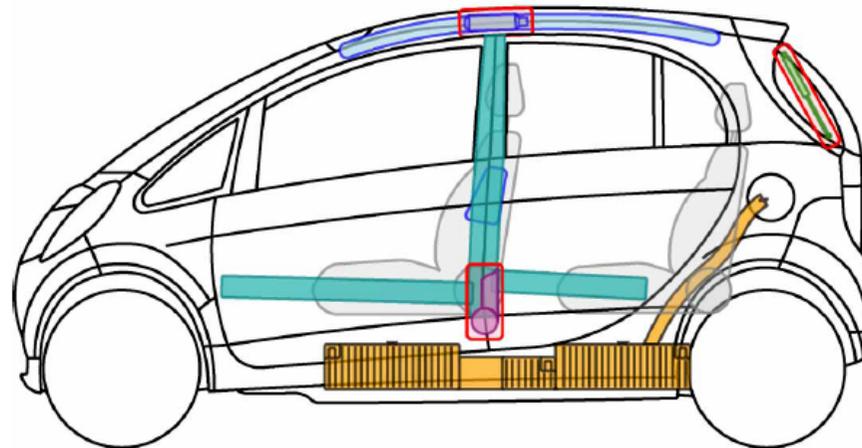
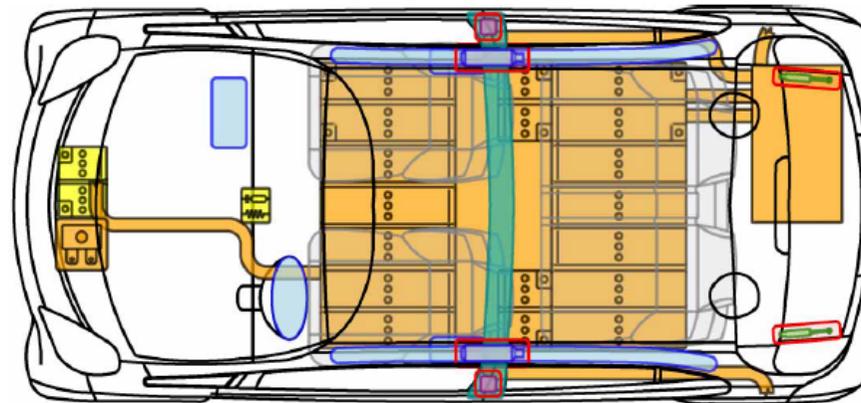
- Sichern (auch gegen Wegrollen)
- Zugang schaffen
- Lebenserhaltende Sofortmaßnahmen einleiten
- Menschenrettung

# Elektrofahrzeuge



**i-MiEV**

Typ: HA3W, ab Modelljahr 2011



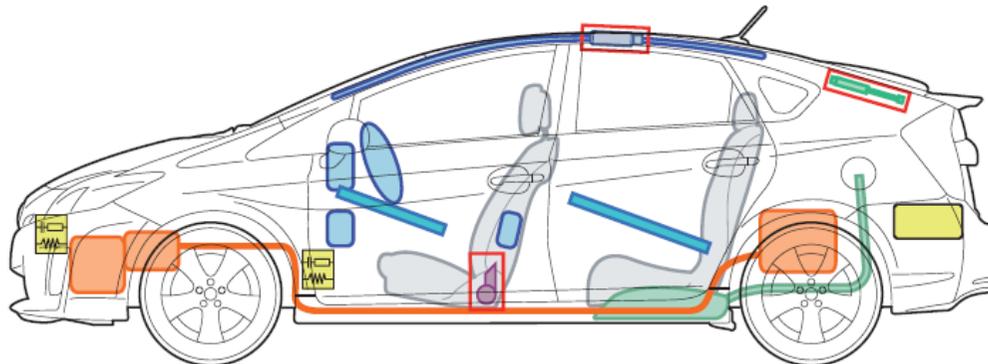
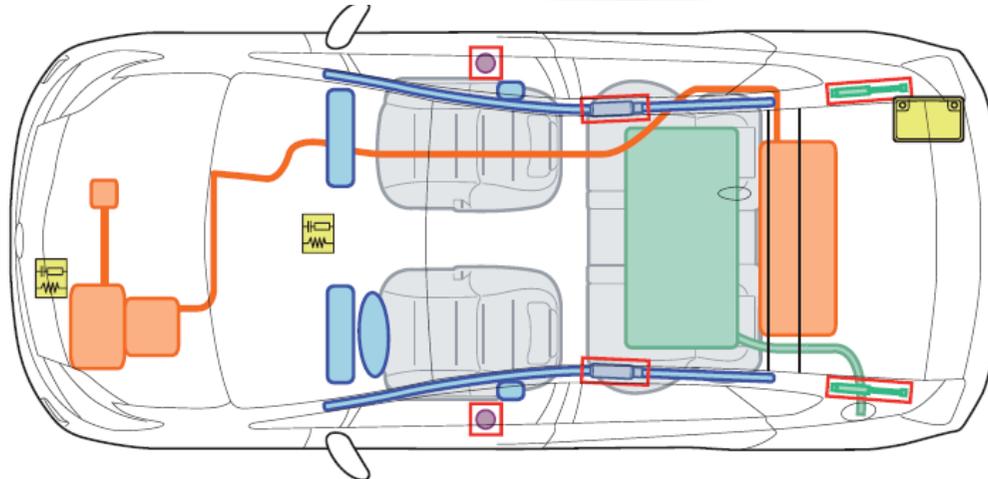
FS Datenname = Lehrgang Thema  
Ersteller VN NN

Quelle: <http://rdb.info-122.at/index.php/uebersicht/category/68-mitsubishi?download=654:mitsubishi-i-miev-ha3w-ab-2011>

# Hybridfahrzeuge



**Toyota Prius**  
(XW3 Hybrid 5-Türer, ab 2009)



FS Dateiname = Lehrgang Thier  
Ersteller VN NN

Quelle: [http://www.toyota.de/Images/Prius\\_RLF\\_V1\\_tcm281-926175.pdf](http://www.toyota.de/Images/Prius_RLF_V1_tcm281-926175.pdf)

# Hochvoltssysteme



FS Daten  
Ersteller V

EdF Projekt  
von V

Unter dem Begriff **Hochvoltssystem** versteht man die gesamte elektrotechnische Ausstattung eines Elektro- und Hybridfahrzeuges im Bereich des Antriebsstranges, welches mit deutlich höheren Spannungen als die bisher gewohnten 12 V oder 24 V, nämlich mit z. B. 400 V betrieben wird.

Elektrotechnisch gesehen handelt es sich um ein **Niederspannungssystem.**

Quelle: Landesfeuerwehrschule Vorarlberg - Amann

# Bauteile und Eigenschaften Hochvoltsystem



- Derzeit bis zu **400 V Gleichspannung** im Batteriekreis und bis zu 600 V Wechselspannung im Motorkreis.
- Kennzeichnung:  
**Kabelfarbe grundsätzlich orange**
- Das **Hauptrelais** an der Antriebsbatterie wird durch den **Zündschlüssel geschaltet**.
- Auch das **Ladekabel** schaltet beim Anstecken das Hauptrelais der Antriebsbatterie ein.

# Bauteile und Eigenschaften Hochvoltssystem



- „Ready“, „GO“ oder „⚡“-Lampe signalisiert "Hochvoltssystem ist eingeschaltet"



Ersteller VN NN

von VN NN

# Bauteile und Eigenschaften Hochvoltsystem



## IT-System

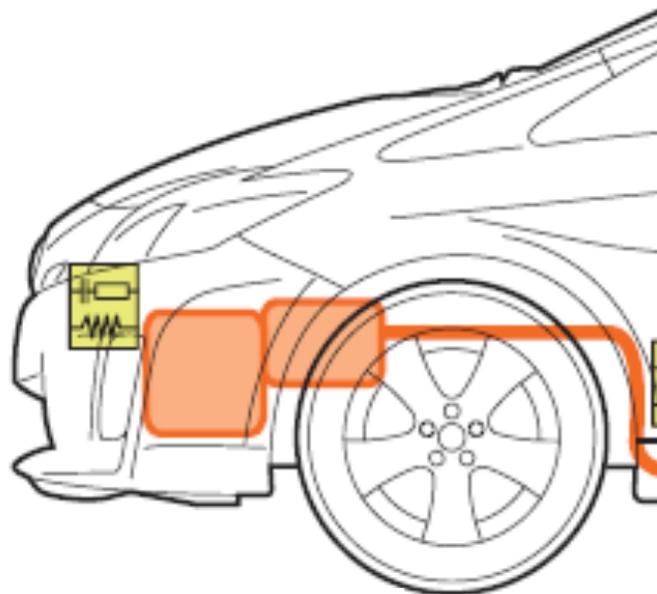


FS Datenname = Lehrgang Thema  
Ersteller VN NN

- Das Hochvoltsystem ist **mit beiden Polen gegenüber der Karosserie isoliert** ausgeführt.
- Das Durchtrennen und Berühren eines einzelnen Kabels (Isolationsfehler) führt daher noch zu keiner unmittelbaren Personengefährdung.
- Ein Doppelfehler (z. B. beide Pole werden kurz geschlossen) führt bei intakten Sicherheitssystemen zu einer sofortigen Abschaltung des Hauptrelais für das Hochvoltsystem.

ED1 Freigegeben  
von VN

# Bauteile und Eigenschaften Hochvoltsystem



Steuergerät

FS Dr  
Ersteller VN NN

ED1 Freigabe am YYYYMMTT  
von VN NN

- Ein **Crashsensor** schaltet bei den meisten Herstellern bei einem Aufprall das Hauptrelais des Hochvoltsystems automatisch ab.
- Ein ausgelöster Airbag kann daher darauf hinweisen, dass das Hochvoltsystem abgeschaltet wurde.

Quelle: [http://www.toyota.de/Images/Prius\\_RLF\\_V1\\_tcm281-926175.pdf](http://www.toyota.de/Images/Prius_RLF_V1_tcm281-926175.pdf)

# Bauteile und Eigenschaften Hochvoltsystem



- Das Hauptrelais des HV-Systems wird durch einen 12 V-Kreis angesteuert.
- Eine Unterbrechung des 12 V-Kreises z. B. durch Abziehen der zugeordneten 12 V-Sicherung bewirkt ein Abschalten des Hauptrelais des 400 V-Kreises.

FS Dateiname = Lehrgang Thema  
Ersteller VN NN

ED1 Freigabe am YYYYMMTT  
von VN NN

# Isolationsüberwachung



- Ein Isolationsüberwachungssystem kontrolliert ständig den ordnungsgemäßen Zustand der Hochvoltkabel.
- Bei einem Masseschluss wird das Hauptrelais des Hochvoltsystems automatisch abgeschaltet.

FS Dateiname = Lehrgang Thema  
Ersteller VN NN

E01 Freigabe am YYYYMMTT  
von VN NN

# Hochvoltkabel



FS Dateiname = Lehrgang Thema  
Ersteller VN NN

ED1 Freigabe am YYYYMMTT  
von VN NN

- Die Hochvoltkabel (grundsätzlich orange) sind besonders dick ummantelt, verstärkt isoliert und mit einem Schirmgeflecht ausgestattet.
- Eine Durchtrennung oder schadhafte Quetschung bewirkt einen Masseschluss, sodass das Isolationsüberwachungssystem das Hauptrelais des Hochvoltsystems automatisch abschaltet.



# Gefahren durch höhere Spannungen

Das Hochvoltsystem hat daher eine Sicherheitskette, bei der mehrere Elemente gleichzeitig versagen müssen, um eine Gefahrensituation entstehen zu lassen.

Man spricht hier auch von der sogenannten **Eigensicherheit eines Hochvoltsystems.**

FS Dateiname = Lehrgang Thema  
Ersteller VN NN

ED1 Freigabe am YYYYMMTT  
von VN NN

# Grundsätzliche Gefahren



FS Dateiname = Lehrgang Thema  
Ersteller VN NN

Freigabe am YYYYMMTT  
von VN NN

Folgende Gefahren können trotzdem entstehen:

- **Lichtbogenfehler:**

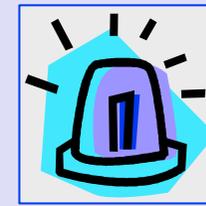
Bei einem Gleichstromsystem kann es zu einem "stehenden" d. h. länger andauernden Lichtbogen kommen.

- **Gefahr eines Stromschlages:**

Berührungsspannungen mit bis zu 400 V Gleichspannung und 600 V Wechselspannung bedeuten eine Personengefährdung durch elektrischen Schlag.

- **Elektrolytaustritt**

# Umgang mit Hochvolt-(HV-)Systemen im Einsatzfall

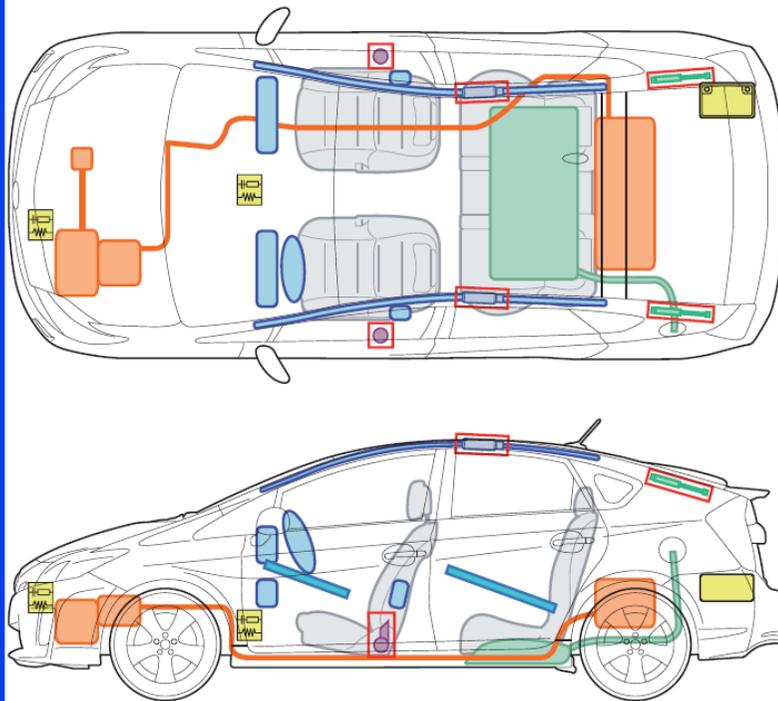
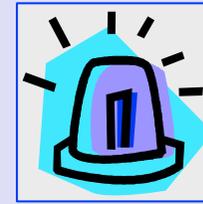


FS Dateiname = Lehrgang Thema  
Ersteller VN NN

Quelle: Video ADAC Crashtest

- Elektro- und Hybridfahrzeug geben im eingeschalteten Zustand keine Geräusche ab.
- Elektrofahrzeuge können sich daher jederzeit „unbemerkt“ still bewegen, daher entsprechend absichern.
- In Unfallsituationen wird durch das fahrzeugtypische Sicherheitssystem das Hochvoltsystem im Regelfall automatisch abgeschaltet.
- Bei detektiertem Unfallgeschehen könnte in unwahrscheinlichen Fällen bei Isolationsfehlern mit gleichzeitigem Versagen der Sicherheitskette eine Gefahr durch Strom auftreten.

# Umgang mit Hochvolt-(HV-)Systemen im Einsatzfall



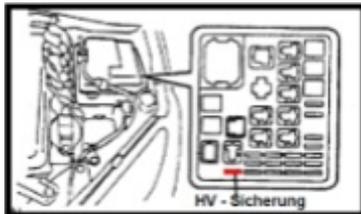
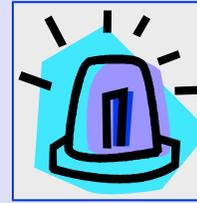
Ersteller VN NN

- Die Hochvoltkabel sind oft in den Holmen und Trägern des Unterbodens des Fahrzeuges verlegt. Beim Arbeiten mit hydraulischen Rettungsgeräten ist daher besondere Vorsicht geboten.
- Die Lage der Hochvoltkabel, der Hochvoltbatterie und der anderen Komponenten sind dem jeweiligen Rettungsdatenblatt des Fahrzeuges zu entnehmen.

ED1 Freigabe durch PPFV  
von VN

Quelle: [http://www.toyota.de/Images/Prius\\_RLF\\_V1\\_tcm281-926175.pdf](http://www.toyota.de/Images/Prius_RLF_V1_tcm281-926175.pdf)

# Mögliche Sicherheitsmaßnahmen



FS Datenblatt  
Ersteller VW

- Abschalten des Fahrzeuges  
Zündschlüssel bzw. Start/Stop-Taste  
(= Abschaltung des Hauptrelais)
- Entfernen der 12 V-Sicherung für den Steuerkreis des HV-Systems  
(im Zweifel alle 12 V-Sicherungen)
- Zusätzlich Abklemmen der 12 V-Batterie  
(= Abschaltung des Hauptrelais)
- Wartungsstecker bei HV-Batterie entfernen (siehe Rettungsdatenblatt) zur Unterbrechung des Hochvoltkreises  
Dabei Verwendung von Schutzhandschuhen (Lichtbogengefahr) und Gesichtsvision vom Feuerwehrhelm

# Hauptbatterie



- Nickel-Metallhydrid-Batterie (NiMH) in Fahrzeugen der Generationen bis 2011 und



- Lithium-Ionen-Batterie (Li-Ion) in praktisch allen neueren Fahrzeugen seit 2011

Seltener im Einsatz sind

- Zebra-(Hochtemperatur-)Batterien mit typisch 300 °C Betriebstemperatur.



ED1 Freigabe am YYYYMMTT  
von VN NN

Quellen:

<http://www.sblimotive.com/en/products.html>;  
[http://www.focus.de/auto/news/technik-nickel-metallhydrid-batterien-bleiben-im-rennen\\_aid\\_433967.html](http://www.focus.de/auto/news/technik-nickel-metallhydrid-batterien-bleiben-im-rennen_aid_433967.html); [http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=zebra%20battery%20handbook&source=web&cd=5&ved=0CEIQFjAE&url=http%3A%2F%2Fds1.dreifels.ch%2Ftwikeklub%2Fimages%2F1622\\_Studie\\_ZEBRA\\_fuer\\_TWIKE\\_20070702.pdf&ei=LmEqT-DuB6r74Q8xoy\\_Dg&usq=AFQjCNetIjue45BKJX5BAPbfh66sG4ttoQ&cad=rja](http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=zebra%20battery%20handbook&source=web&cd=5&ved=0CEIQFjAE&url=http%3A%2F%2Fds1.dreifels.ch%2Ftwikeklub%2Fimages%2F1622_Studie_ZEBRA_fuer_TWIKE_20070702.pdf&ei=LmEqT-DuB6r74Q8xoy_Dg&usq=AFQjCNetIjue45BKJX5BAPbfh66sG4ttoQ&cad=rja)

V04

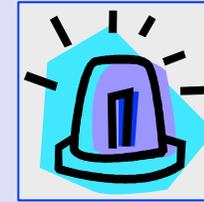


# Technische Eigenschaften von Hochvoltbatterien

- HV-Batterien sind üblicherweise im Bereich der Fahrgastzelle angeordnet, dadurch ist ein gewisser Grundschutz bei Unfällen gegeben.
- Bei einigen Modellen füllt die HV-Batterie den Bereich der Bodenplatte aus.
- Einzelne Modelle haben die Li-Ionen-Batterie auch unter der Motorhaube.
- HV-Batterien sind in auslaufsicheren und versiegelten Metallgehäusen eingebaut.
- Auch sind die einzelnen Zellen, Zellengruppen oder Module wiederum in dichten und separaten Gehäusen versiegelt.
- Das Auslaufen von chemischen Substanzen ist bei einer mechanischen Zerstörung der Batterie möglich (→ Verfahren wie bei Chemikalienaustritt).
- In Einzelfällen kann es bei einer mechanischen Beschädigung zu einer Selbstentzündung kommen, vor allem bei Li-Ionen-Batterien.
- Lithium-Brände sind kaum löschbar (Selbstentzündung mit Feuchtigkeit).



# Umgang mit Hochvolt-(HV-)Batterien im Einsatzfall



- Die Metallgehäuse der Batteriemodule dürfen unter keinen Umständen aufgebrochen oder entfernt werden, auch nicht im Brandfall.

Die Missachtung dieser Vorschrift kann zu schweren Brandverletzungen oder einem elektrischen Schlag, unter Umständen auch mit schweren Personenschäden, führen.

- Im Falle einer Personenrettung mit Hilfe von hydraulischen Rettungsgeräten ist zu beachten, dass beim Schneiden oder Spreizen die Kapselung der Hauptbatterie nicht beschädigt wird.
- Die Lage der Hauptbatterie, der Hochvoltkabel und der anderen Komponenten ist dem jeweiligen Rettungsdatenblatt des Fahrzeuges zu entnehmen.

FS Daten  
Ersteller



# Brandbekämpfung der Hochvoltbatterie

Der Einsatzleiter entscheidet über eine offensive oder defensive Brandbekämpfung:

- **Offensive Brandbekämpfung**

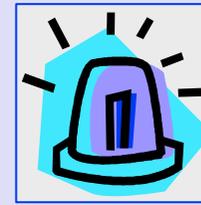
Ein Brand im Hochvolt-Batteriepaket lässt sich wirkungsvoll unter Kontrolle bringen, wenn das Batteriepaket aus sicherer Entfernung mit großen Wassermengen “geflutet” wird, da die nebeneinander liegenden Batteriemodule dadurch auf eine Temperatur unterhalb ihrer Zündtemperatur abgekühlt werden. Batteriezellen z. B. bei Li-Ionen-Batterien, bei denen der Brand durch das Wasser nicht gelöscht wird, brennen aus.

- **Defensive Brandbekämpfung**

Wurde eine defensive Brandbekämpfung beschlossen, sollte sich das Löschteam zurückziehen und die Batteriemodule aus sicherer Entfernung ausbrennen lassen.

Dabei ist zu beachten, dass der Rauch giftige und ätzende Komponenten enthält wie z. B. Flusssäure.

# Brandbekämpfung



- Beim ersten Brandbekämpfungsversuch schnell und aggressiv vorgehen.

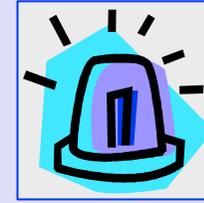
Das Löschteam erkennt möglicherweise erst nach Bekämpfung der Flammen und beim Beginn der Aufräumarbeiten, dass es sich um ein Elektro- oder Hybridfahrzeug handelt.

- Die Einsatzkräfte sind auf die zusätzlichen Gefahren der Elektro- und Hybridfahrzeuge hinzuweisen!
- Auf die persönliche Schutzausrüstung ist zu achten.

FS Dateiname = Lehrgang Thema  
Ersteller VN NN

ED1 Freigabe am YYYYMMTT  
von VN NN

# Brandbekämpfung



- In Brandfällen sind die üblichen Regelungen für Niederspannungsanlagen anzuwenden (ÖVE/ÖNORM E8350).
- Als Löschmittel ist möglichst Wasser zu verwenden. Löschschaum darf bei elektrischen Anlagen grundsätzlich nur im spannungsfreien Zustand angewendet werden.
- Beim Einsatz von CM-Strahlrohren gemäß ÖNORM F 2190 und Löschmittel Wasser ist ein Sicherheitsabstand bei **Sprühstrahl von 1 m** und bei **Vollstrahl von 5 m** einzuhalten.

FS Dateiname = Lehrgang Thema  
Ersteller VN NN

ED1 Freigabe am YYYYMMTT  
von VN NN

# Li-Ionen-Batterien

- Brände von **Li-Ionen-Batterien** mit großen Wassermengen löschen.
- *Vorteil: Alle geschädigten Zellen, deren Gehäuse offen sind, brennen endgültig durch den Kontakt mit Wasser ab. Nicht beschädigte Zellen werden gut gekühlt.*
- *Li-Ionen-Akkus sind hermetisch gekapselt. Bei Beschädigungen reagiert das Lithium-Metall aber heftig mit Wasser. Durch die Reaktion des Lithiums mit dem Löschwasser entsteht Wasserstoff (zündfähiges Gas, wobei Wasserstoffflammen nicht sichtbar sind).*
- Anmerkung: Kommen offene, bereits ausgebrannte Li-Ionen-Batteriezellen mit Wasser in Berührung, entsteht knoblauchartig riechender und hochgiftiger Phosphorwasserstoff (Monophosphan,  $\text{PH}_3$ ). Dies ist vor allem dann ein Problem, wenn das beschädigte und abgelöschte Fahrzeug in geschlossenen Räumen ohne entsprechenden Luftdurchsatz steht!
- In einem Schadensfall ist bei Li-Ionen-Batterien für eine fortgesetzte Kühlung auch nach Beendigung eines Löscheinsatzes zu sorgen, bis das Fahrzeug einer qualifizierten Fachwerkstätte übergeben werden kann.



# Zebra-Batterien

Bei **Zebra-Batterien** ist Folgendes zu beachten:

- Durch die hohe Betriebstemperatur von typischerweise 300 °C ist betriebsmäßig eine ständige Kühlung der Batterie notwendig.
- Bei einer Durchdringung oder einem Aufplatzen der Zebra-Batterie kann es zu einem internen Temperaturanstieg kommen, der dann auch auf der Außenseiten Oberflächentemperaturen von bis zu 500 °C zur Folge haben kann.
- Es ist daher im Schadensfall für eine fortgesetzte Kühlung auch nach Beendigung eines Löscheinsatzes zu sorgen, bis das Fahrzeug einer qualifizierten Fachwerkstätte übergeben werden kann.
- Ein Abstellen des Fahrzeuges in geschlossenen Räumen ist zu vermeiden, da auch hier in geringen Mengen giftige Gase entstehen können.

# Sonderfall: Fahrzeugbergung aus dem Wasser



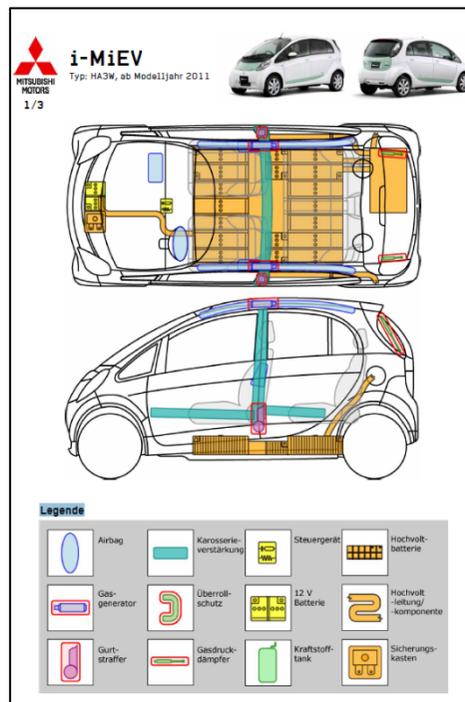
- Um ein Elektro- oder Hybridfahrzeug, das sich vollständig oder teilweise unter Wasser befindet, sicher handhaben zu können, sollten das HV-System und die Airbags frühestmöglich deaktiviert werden.
- Das Fahrzeug bergen.
- Wenn möglich, das Wasser aus dem Fahrzeug ablassen.
- Die erforderlichen Maßnahmen zum Ausschalten des Fahrzeugs durchführen.

FS Dateiname = Lehrgang Thema  
Ersteller VN NN

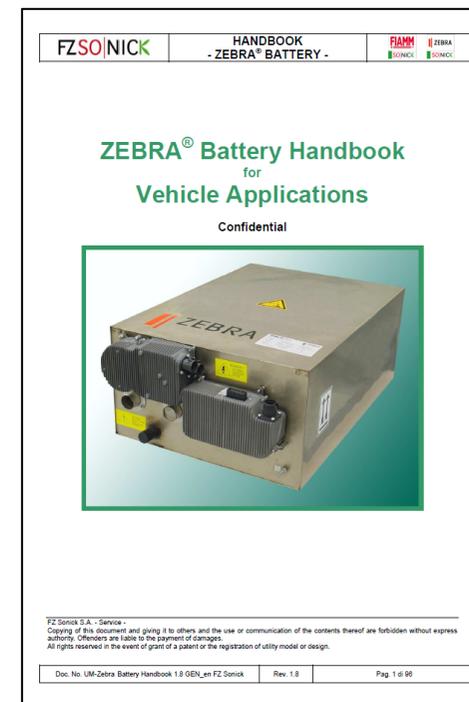
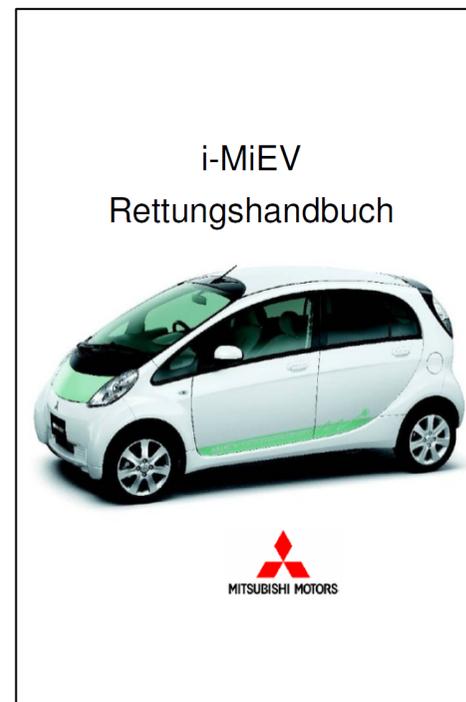
ED1 Freigabe am YYYYMMTT  
von VN NN

# Detailunterlagen der Fahrzeughersteller

- Rettungsdatenblätter  
<http://rdb.info-122.at/>  
[http://www.vda.de/de/arbeitsgebiete/rettungsleitfaeden\\_feuerwehr/](http://www.vda.de/de/arbeitsgebiete/rettungsleitfaeden_feuerwehr/)
- Rettungsanweisungen
- Hinweise für die Handhabung der Batterie



FS Datenname = Lehrgang Thema  
Ersteller VN NN



# Abschlussarbeiten nach einem Einsatz



- Es können von außen nicht erkennbare Gefahren weiter bestehen.
- Bei unbemerkten Beschädigungen z. B. der Hauptbatterie ist eine Selbstentzündung mit Zeitverzögerung von mehreren Stunden möglich.
- Solche Gefahren sind nur durch einen Fachmann/Fachwerkstätte erkennbar.
- Information des Eigentümers über die Gefahren, wenn er über die weitere Verwahrung seines Fahrzeuges selbst verfügt (z. B. elektrischen Schlag, Selbstentzündung einer defekten Hauptbatterie o. ä.)

Ebenso ist der Abschleppdienst darüber zu informieren.

- **Niemals ein Elektro- oder Hybridfahrzeug nach einem Einsatz unbeaufsichtigt oder in geschlossenen Hallen abstellen!**

- **Übergabe des Fahrzeugs an einen Fachmann oder eine Fachwerkstätte!**

Dabei sind auch entsprechende Informationen über den Unfallverlauf, die Fahrzeugbergung, Besonderheiten während des Einsatzes etc. mitzuteilen.

# Schlussbemerkung

- Vor allem in der Situation einer starken Beschädigung eines Elektro- und Hybridfahrzeuges, eines Fahrzeugbrandes, einer akuten Personenbergung und dies dann auch noch unter einem extremen Zeitdruck kann **die Hochvoltsicherheit eines Fahrzeuges von außen nicht festgestellt werden.**
- Es gibt daher auch keinen „Standardablauf“ zur Vorgehensweise in Extremsituationen.
- Eine Haftung für den Inhalt dieser Präsentation und die Eignung der Hinweise im Einzelfall kann trotz sorgfältigster Recherche nicht übernommen werden.
- **Eine eigene sorgfältige Erkundung und Beurteilung der im Falle eines konkreten Einsatzes zu beachtenden Umstände bleibt daher immer unverzichtbar.**



# Kontaktadressen Mitarbeiter der Arbeitsgruppe

## **Dipl.-Ing. Dr. Rudolf Mörk-Mörkenstein**

Ziviltechniker für Elektrotechnik,  
Allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter  
Sachverständiger für Elektro- und Hybridfahrzeuge  
und KFZ-Elektronik  
Leopold Gattringer-Str. 27  
2345 Brunn am Gebirge  
ziviltechniker@moerk-moerkenstein.at  
Tel. +43 676 905 1000

## **Ing. Franz Schuster**

Leiter der NÖ Landesfeuerwehrschule Tulln  
Langenlebarner Straße 106  
3430 Tulln an der Donau  
franz.schuster@noel.gv.at  
Tel. +43 2742 9005 16662

Bildnachweis:  
Rettungsdatenblätter und Rettungsanweisungen der  
Herstellen Fahrgestellhersteller  
Handbuch der Batteriehersteller  
Film ADAC Crash-Test  
Fotos der Landesfeuerwehrschule Vorarlberg

## **Dipl.-Ing. Dr. Michael Sternad**

Senior Researcher - Lithium Power Group  
Technische Universität Graz  
Institut für Chemische Technologie von Materialien  
Stremayrgasse 9  
8010 Graz  
michael@sternad.com  
Tel. +43 664 463 2727

## **Ing. Reinhard Amann**

Leiter der Landesfeuerwehrschule Vorarlberg  
Florianistraße 1  
6800 Feldkirch  
reinhard.amann@lfv-vorarlberg.at  
Tel. +43 5522 3510 213

## **Hubert Springer**

Weber-Hydraulik GmbH  
Weber Rescue Systems  
Industriegebiet 3 + 4  
4460 Losenstein  
hubert.springer@weber-hydraulik.at  
+43 664 8284030