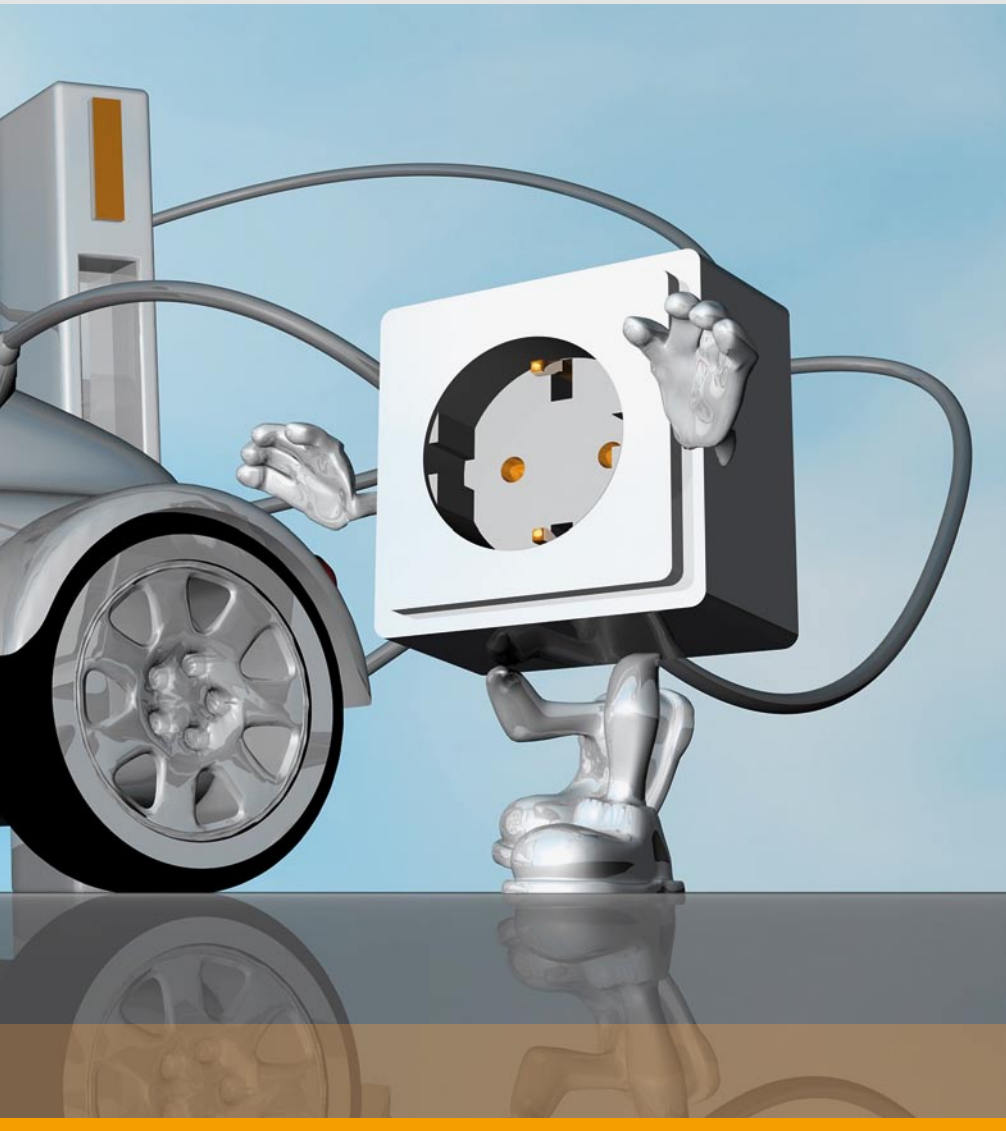


# Isolationsüberwachung in Hochvolt-Bordnetzen von Elektro- und Hybridfahrzeugen

Durch die jüngsten Entwicklungen der elektrischen Antriebe im Fahrzeugbau ergeben sich neue Aufgaben für den Personen- und Anlagenschutz. Die verwendeten Batteriespannungen sind mit 120 V DC bis 1000 V DC weit jenseits der Schutzkleinspannung. Daher ist es notwendig, das Hochvoltsystem auf sein Isolationsniveau gegenüber der Fahrzeugmasse zu überwachen. Durch eine ständige hochohmige Überwachung mit einem A-Isometer iso-F1 von Bender können mögliche hohe Berührungsspannungen und Ableitströme frühzeitig erkannt werden.



## Der Autor



Dipl.-Ing.  
Holger Potdevin  
ist Key Account Manager OEM bei der Dipl. Ing. W. Bender GmbH & Co KG in Grünberg.

## 1 Einführung

Es besteht kein Zweifel an der Notwendigkeit, die Hochvoltssysteme von elektrisch unterstützten oder vollelektrisch angetriebenen Fahrzeugen hinsichtlich ihres Isolationsniveaus zu überwachen. In den bisher in Serie produzierten Batteriemanager-Systemen wurden jedoch meist nur sehr einfache, sogenannte passive Messmethoden verwendet. Mehr oder weniger intelligent wurde eine wechselnde Beschaltung des Plus- oder Minusleiters mit hochohmigen Widerständen gegen Fahrzeugmasse durchgeführt. Die durch die Batteriespannung getriebenen Fehlerströme wurden dann nach den Kirchhoffschen Regeln ausgewertet und ein Isolationswiderstand wurde berechnet. Diese Messtechnik ist 1885 von Siemens & Halske entwickelt und als „Drei-

Voltmeter-Methode“ bekannt geworden. Die Erfahrung zeigt, dass sie sich hervorragend insbesondere für den Einsatz in den statischen fest installierten DC-Netzen im Bergbau eignete.

Bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen hingegen begegnen den Ingenieuren bei Verwendung dieser Methode jedoch mehrere Probleme, die sich durch sogenannte aktive Messmethoden wie die ständige hochohmige Überwachung mittels A-Isometer iso F1 der Firma Bender, **Bild 1**, lösen lassen:

- Es können nur unsymmetrische Fehler erfasst werden. Ein zum Beispiel gleichmäßig durchfeuchteter Steckverbinder würde jedoch einen symmetrischen Fehler generieren.
- Eine Messung durch die Wechselrichter hindurch ist nicht möglich. Als Folge bleiben Antriebsstränge und Re-

kuperations-Generatoren und damit der größte Teil des Hochvoltsystems unüberwacht.

- Durch Beschleunigen oder Abbremsen werden hohe Spannungsgradienten verursacht. Diese bringen die meisten einfach aufgebauten Isolationsüberwachungen während des Betriebes des Fahrzeugs zum „Aussteigen“, das heißt, während der Fahrt wird nicht überwacht, was ebenfalls unbedingt verhindert werden muss.

## 2 Ungeerdete (IT)-Systeme: Industrieanwendung für das Fahrzeug

Wie bereits beschrieben, handelt es sich bei der „Drei-Voltmeter-Methode“ um eine sehr alte und bewährte Messmethode, die in den Anfängen der isoliert aufgebauten Versorgungsnetzsysteme, den sogenannten ungeerdeten (IT)-Systemen, ihren Einsatz fand. Diese IT-Systeme wurden und werden wegen der besonderen Eigenschaft eingesetzt, dass der erste (Isolations-)Fehler im DC-Netz noch

keinen Fehlerstrom generieren kann. Denn die Verbindung der aktiven Leiter zum Potenzialausgleich in der Spannungsquelle fehlt hier. Dies führt zu einer deutlich erhöhten Verfügbarkeit dieses Netzsystems: Das Netz muss im Fehlerfall nicht abgeschaltet werden. Es genügt, diesen Isolationsfehler zu erkennen und zu melden. Das Netz sollte jedoch nur solange weiter betrieben werden wie unbedingt notwendig, und nach der Abschaltung der Fehler durch einen Fachmann lokalisiert und behoben werden.

Um den Begriff „IT-System“ verwenden zu können gilt: Der Schutzleiter muss absichtlich geerdet sein. Bei einem elektrisch angetriebenen Fahrzeug ist die Erdung jedoch undefiniert und, wenn überhaupt vorhanden, stark witterungsabhängig. Ein Erdungskabel kommt aus naheliegenden Gründen ebenfalls nicht in Betracht. In diesem Anwendungsfall sollte man deshalb besser von einer Schutztrennung (mit fest angeschlossenen Verbrauchern) als von einem IT-System sprechen. Der Vorteil

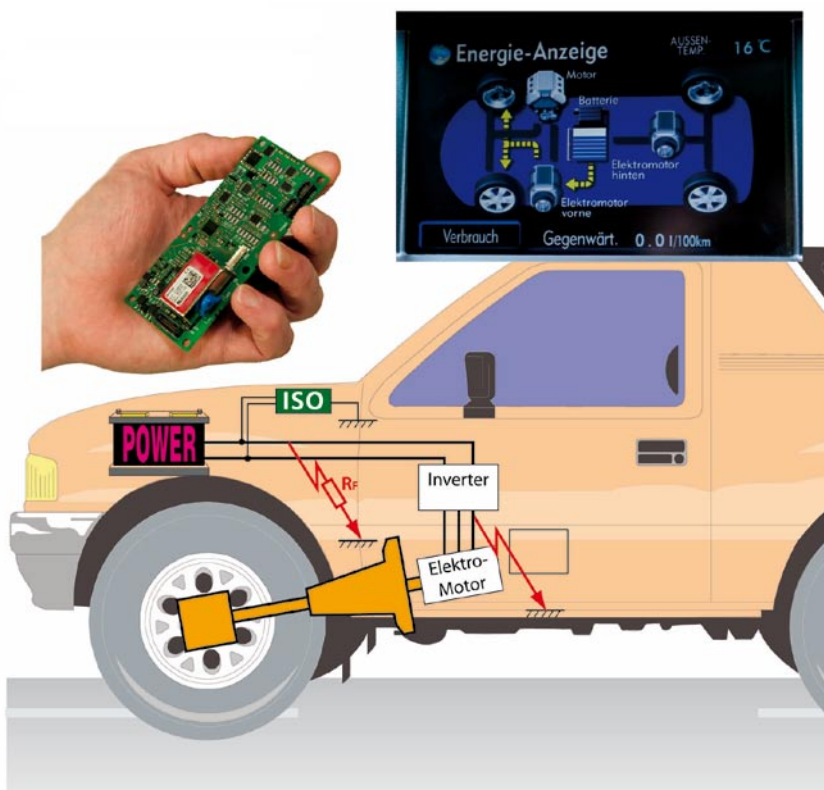
ist jedoch der gleiche: Der Antrieb muss im ersten Fehlerfall nicht abgeschaltet werden. Eine Abschaltung würde unter Umständen eine viel größere Gefährdung der Insassen des Fahrzeuges zur Folge haben.

## 3 Entwicklung der Messtechnik

Da sich der Einsatz des IT-Systems bewährt hat und immense Vorteile bringt, hat sich diese Form der Installation immer weiter verbreitet. Die Anforderungen an die Überwachungsgeräte wurden immer komplexer und technologisch anspruchsvoller. In der Industrie finden schon seit Jahrzehnten Umrichter- oder Wechselrichter in Verbindung mit Antrieben und Generatoren ihren Einsatz. Diese werden auch in den hochverfügbaren IT-Systemen installiert.

Zu den obersten Zielen der Unternehmensgruppe Bender zählt die Entwicklung neuester innovativer Messtechnik für die in den verschiedenen Netzformen zu installierenden Schutzmaßnahmen. So gelingt es immer wieder, für noch sehr junge Entwicklungen in sehr frühen Projektphasen die passende messtechnische Lösung zur Isolationsüberwachung anbieten zu können. Die Erfahrungen, die in der Vergangenheit im Non-Automotive-Bereich gemacht wurden, helfen heute, die Hochvoltsicherheit in Hybrid- und Elektrofahrzeuge zu erhöhen.

Ein kurzer Rückblick: Eine der ersten Anforderung war, mit einer aktiven Messspannung reine AC-Netze zu überwachen. Hier konnte Herr Walther Bender bereits 1939 eine gerätetechnische Lösung zum Patent anmelden. Mit dem Einsatz der Umrichtertechnik konnte dann auch Gleichspannung aus dem DC-Zwischenkreis dem Messsignal überlagert sein. Dieser Umstand erforderte die Messspannung so zu verändern, dass man sie von der „Fremdgleichspannung“ unterscheiden konnte. Nun war man in der Lage Isolationsfehler hinter direkt angeschlossenen Gleichrichtern wertrichtig zu erfassen, wenn durch die Gleichrichterventile ein Laststrom von 5 bis 10 mA bei Isolationsfehlern  $> 10 \text{ k}\Omega$  und rund 100 mA bei Isolationsfehlern  $< 10 \text{ k}\Omega$  fließt. Mit immer ausgedehnteren Netzsystemen tauchte die Herausforderung der größer werdenden Netzableitkapazitäten auf. Durch



**Bild 1:** Einsatz des Isolationsüberwachungsgerätes für ungeerdete DC-Stromversorgung (IT-Systeme) in Elektro- und Hybridfahrzeugen: überwacht das gesamte Antriebssystem, schützt vor Stomunfällen und mindert Brandgefahr

den Einsatz von Microcontrollern war man jedoch in der Lage sich an die vorhandenen Netzverhältnisse automatisch anzupassen. Auch die verschiedensten Netzfrequenzen und Störgrößen konnte man bald mit dem Einsatz von immer intelligenteren aktiven und digitalen Filtern beherrschen.

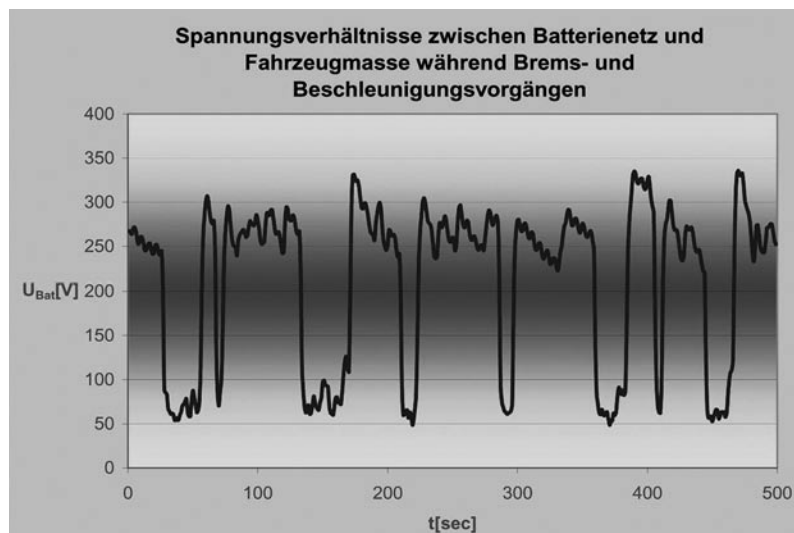
In der Fahrzeugtechnik kommt nun eine weitere Störgröße hinzu: die stark schwankende Netzspannung, **Bild 2**, die so bisher in der Industrie nur in reinen DC-Systemen bekannt war. Dieser Umstand machte einen weiteren Kunstgriff nötig: Man muss nun zwei intelligente Messsysteme miteinander verknüpfen, um die gewünschten Ergebnisse zu erzielen, was jetzt auch gelingt.

#### 4 HV-Isolationsüberwachung – Gerätetechnische Entwicklung

In der nun schon fast 70-jährigen Geschichte der Unternehmensgruppe Bender entstanden schwerpunktmäßig kom-

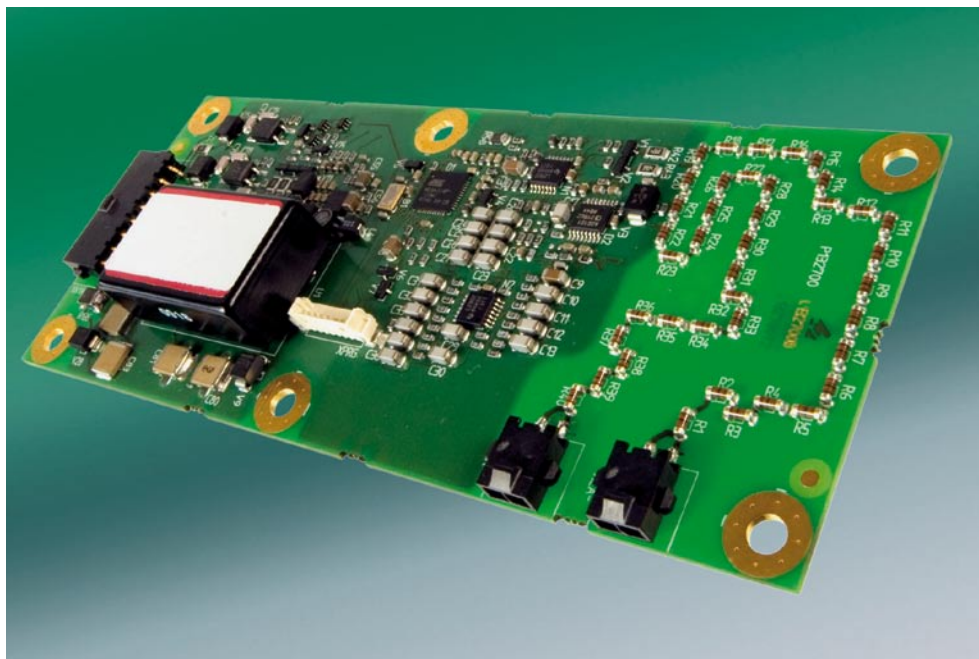
plette Systeme zur Installation in Industrieanlagen. Diese Industriegeräte sind mit gut zugänglichen Anschlussklem-

men ausgestattet. Sie werden in Gehäusen zur Hut-Schienen-Montage oder zum Schalttafeleinbau eingebracht, haben ei-



**Bild 2:** In der Fahrzeugtechnik kommt nun eine weitere Störgröße hinzu: die stark schwankende Netzspannung; man muss nun zwei intelligente Messsysteme miteinander verknüpfen, um die gewünschten Ergebnisse zu erzielen

**Bild 3:** 50 g leichte Platinenversion eines Isolationsüberwachungsgerätes nach DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8), das mit einem Temperaturbereich von  $-46^{\circ}\text{C}$  bis  $105^{\circ}\text{C}$  ( $125^{\circ}\text{C}$  für 3 h)



ne große Bedienfront mit beleuchtetem Display und eine anwenderorientierte Menusteuerung. In vielen Fällen kann noch über einen speziellen Messsystembus mit anderen Komponenten kommuniziert werden.

Für den Fahrzeugbau sind diese Systeme leider gänzlich ungeeignet, denn sie sind groß, haben einen relativ niedrigen Innenwiderstand, einen hohen Energiebedarf und sind relativ kostenintensiv. In den vergangenen Jahren hat dennoch eine Vielzahl verschiedenster Industriegeräte-Lösungen, ihren Weg in diverse Fahrzeugprojekte gefunden. Verantwortungsvolle Systementwickler haben erkannt, dass man nur mit der richtigen Messtechnik sinnvoll überwachen kann. Bender greift bei den jetzt in Hybrid- und Elektrofahrzeugen benötigten Hochvoltisoliationsüberwachungs-Lösungen auf eine ehemalige Entwicklung zurück. Auf Basis einer Machbarkeitsstudie zu einer Hybridanwendung in einem Militärfahrzeug entstand eine kleine Platinenlösung. Diese sah zwar keine Auswertelligenz und Bedienmöglichkeit vor, sollte aber Extrembedingungen standhalten und mit modernsten Messverfahren ausgestattet sein.

#### 4.1 Status Quo

Als im Oktober 2008 ein Rennstall aus der Formel 1 an Bender herantrat, und nach

einer Überwachungslösung für ein „Kers“-System fragte, konnte man schon im Dezember die ersten 100 Funktionsmuster bereitstellen. Hierbei ist eine 50 g leichte Platinenversion eines Isolationsüberwachungsgerätes nach DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8) entstanden, **Bild 3**, das mit einem Temperaturbereich von  $-46^{\circ}\text{C}$  bis  $105^{\circ}\text{C}$  (sogar  $125^{\circ}\text{C}$  für 3 h), extremen Schock- und Vibrationsfestigkeiten und sehr hoher Spannungs- und EMV-Festigkeit die Anforderungen aus dem Fahrzeugbau meist sogar noch übertrifft. Dieses iso-F1 ist nun bereits in hohen Stückzahlen, in den verschiedensten Elektro- und Hybridfahrzeugen ohne Ausfälle oder Fehlmessungen im Einsatz. Verschiedene Versionen, zum Beispiel DC-Nennspannung bis 800 V mit 1 MOhm Innenwiderstand (1 MOhm Leiter gegen Schutzleiter, 4 MOhm Leiter gegen Leiter) oder bis 1000 V mit  $R_i = 1,2\text{ MOhm}$  beziehungsweise 4,8 MOhm mit Versorgungsspannung von 9 bis 18 V DC oder 10 bis 36 V DC sind bereits erhältlich. Dabei spielt es keine Rolle, welche Form des Energiespeichers, beispielsweise Brennstoffzellen, Doppelschichtkondensatoren, Blei-, NiCd-, NiMH- oder Li-ion-Batterien, zum Einsatz kommt. Auch der prinzipielle Aufbau – ob Vollelektroantrieb, serieller Hybrid, parallel Hybrid oder Mild-Hybrid – ist für den Einsatz der Messtechnik des iso-F1 kein Ausschlusskriterium.

#### 4.2 Ausblick und Empfehlungen

Mit der weiteren „Modellpolitik“ möchte Bender auf die Automobilhersteller oder Zulieferer zugehen und besondere Anforderungen wie CAN-Bus onboard oder Verzicht auf eigenen DC/DC-Wandler (Netzteil) als Weiterentwicklungen realisieren.

Ein weiteres komplexeres Thema wird die Startsequenz sein. Hierbei gilt es zu verhindern, dass eine „gute“ auf eine „schlechte“ Komponente aufgeschaltet wird. Das bedeutet, es sollte weder eine mit Isolationsfehler behaftete Batterie auf das Antriebssystem geschaltet werden, noch sollte ein schlecht isoliertes Antriebssystem hochgefahren werden. Diese Messung der bis zum Start getrennten Systeme auf einer Platine zu realisieren, stellt eine große Herausforderung dar. Wichtig ist hierbei auch die Forderung der Fahrzeughersteller zu berücksichtigen, dass die Startsequenz genauso schnell wie beim Verbrennungsmotor ablaufen muss. Damit schließen sich lange Messzeiten von vornherein aus. Entscheidend für die Konzeption der Geräte wird auch die Positionierung im Gesamtsystem sein. Es gibt viele Fahrzeugkonzepte, die das Isolationsüberwachungsgerät in der Batterie integrieren. Es gibt aber auch Lösungen, bei denen die Überwachung vom Wechselrichter aus angedacht ist, auch die die Integration im

Batterie-Management-System ist ein häufiger Ansatz.

Die Weiterentwicklung der Überwachungskomponenten muss auch den noch undefinierten Aufbau der Ladestationen berücksichtigen. Hier ist noch nicht klar, ob der Aufbau geerdet oder über einen Trafo ungeerdet realisiert wird. Auch ist der Einsatz Schutzmaßnahmen in der Ladestation mit der Schutzmaßnahme im Fahrzeug abzustimmen. Dabei gilt es vor allem normative Grundlagen in den entsprechenden Gremien zu erarbeiten. Durch die Mitarbeit in zahlreichen Normenkomitees hat Bender die nötige Erfahrung und Kompetenz, um Unterstützung für diese Arbeiten anzubieten.

## 5 Fazit

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass gewisse Berührungängste mit dem Thema der elektrischen Schutzmaßnahmen in den Hochvoltsystemen im Automobil bestehen. Messtechnische Lösungen werden manchmal recht lapidar abgehackt und einfachst ausgeführt und somit die Gefahr von Stromunfällen erhöht. Mit auf den Fahrzeugmarkt zugeschnittenen technischen Lösungen macht Bender deutlich, dass es sich hier nicht um ein weiteres kurzfristig „unlösbares“ Problemfeld der Elektromobilität handelt, sondern dass Zulieferer und Fahrzeughersteller auf bewährte Technik und normgerechte Installation zurückgreifen können. Die Unternehmensgruppe Bender nimmt die Herausforderungen aus dem Fahrzeugmarkt an. Maßgeschneiderte und dem Fahrzeugkonzept angepasste, technischen Lösungen, sorgen dafür, auch den Strom in Fahrzeugen „sicher zu machen“. ■

Download des Beitrags unter  
[www.ATZonline.de](http://www.ATZonline.de)

**ATZ**  
online

**ATZ**  
elektronik

Read the English e-magazine.  
Order your test issue now:  
[SpringerAutomotive@abo-service.info](mailto:SpringerAutomotive@abo-service.info)