

## 1 Bordnetz

### 1.1 Schaltzeichen und Schaltpläne

### 1.2 Leitungswiderstände

### 1.3 Bordnetzstrukturen

#### 1.3.1 Energiefluss/Leistungsverteilung

##### 1.3.1.1 Elektroenergiebilanz/Elektrizitätsmengenbilanz

- Grundlagen
- Ermittlung der Verbraucherelektrizitätsmenge
- Ermittlung der Generatorelektrizitätsmenge
- Überprüfung und Optimierung der Elektrizitätsmengenbilanz

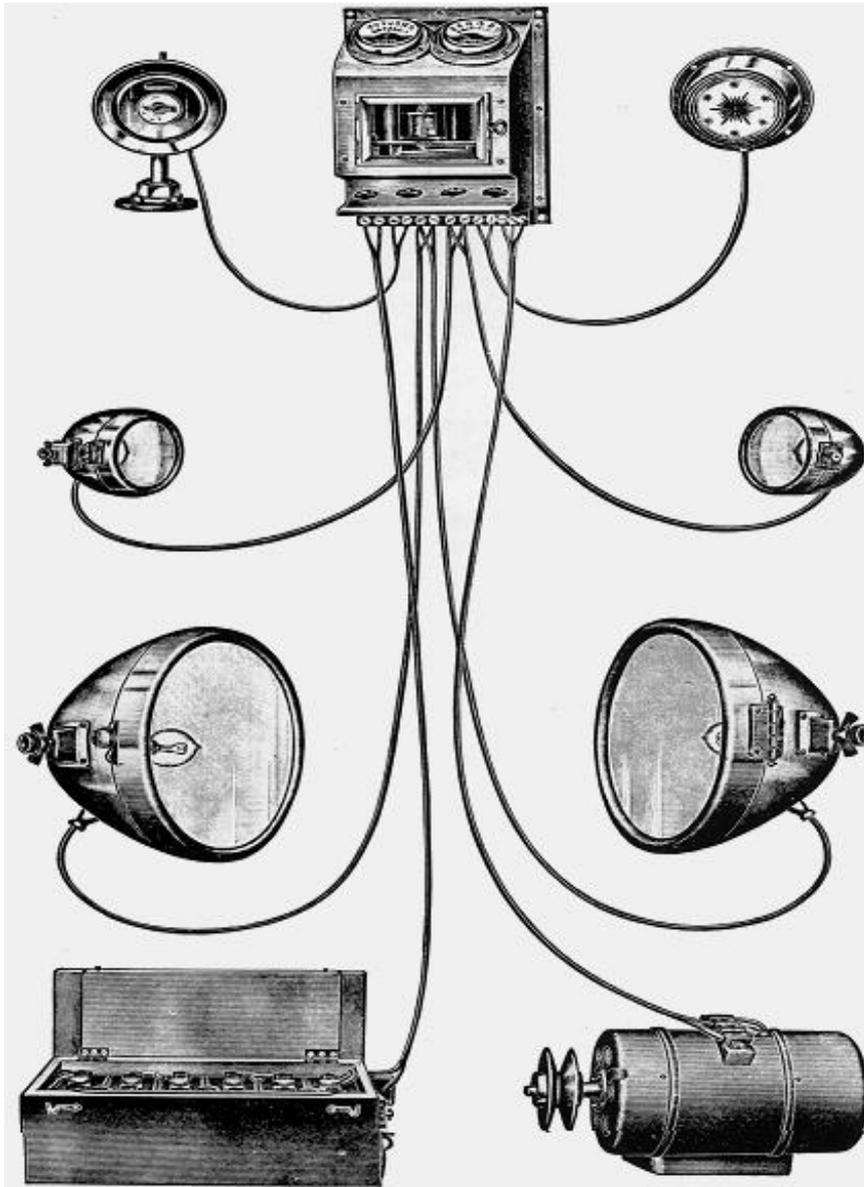
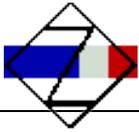
##### 1.3.1.2 Probleme des 14V-Niederspannungsbordnetzes

##### 1.3.1.3 Mehrspannungsbordnetze

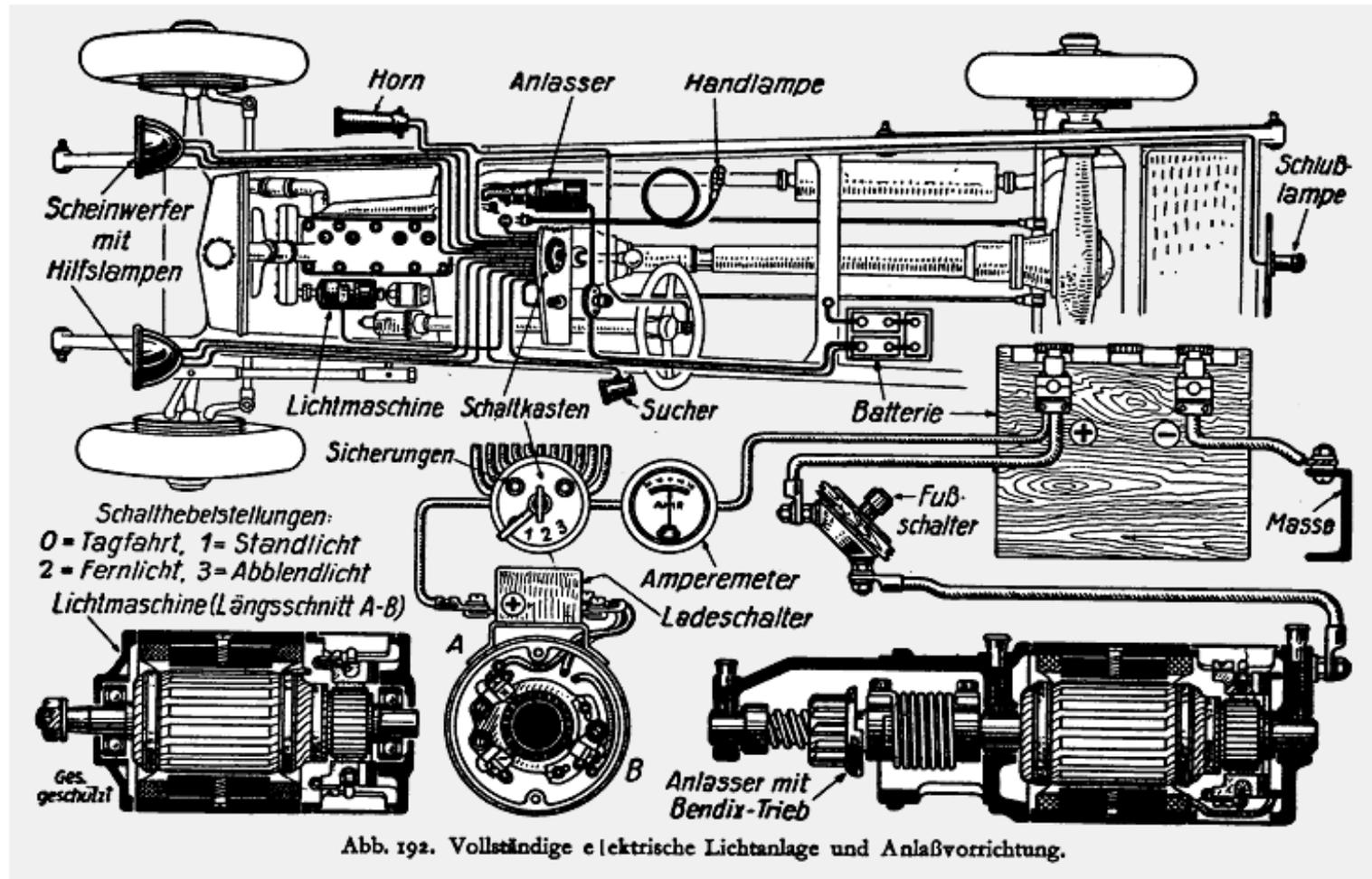
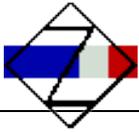
#### 1.3.2 Informationsfluss/Bussysteme

##### 1.3.2.1 Controller Area Network (CAN)

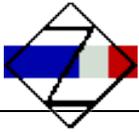
##### 1.3.2.2 Weitere Bussysteme



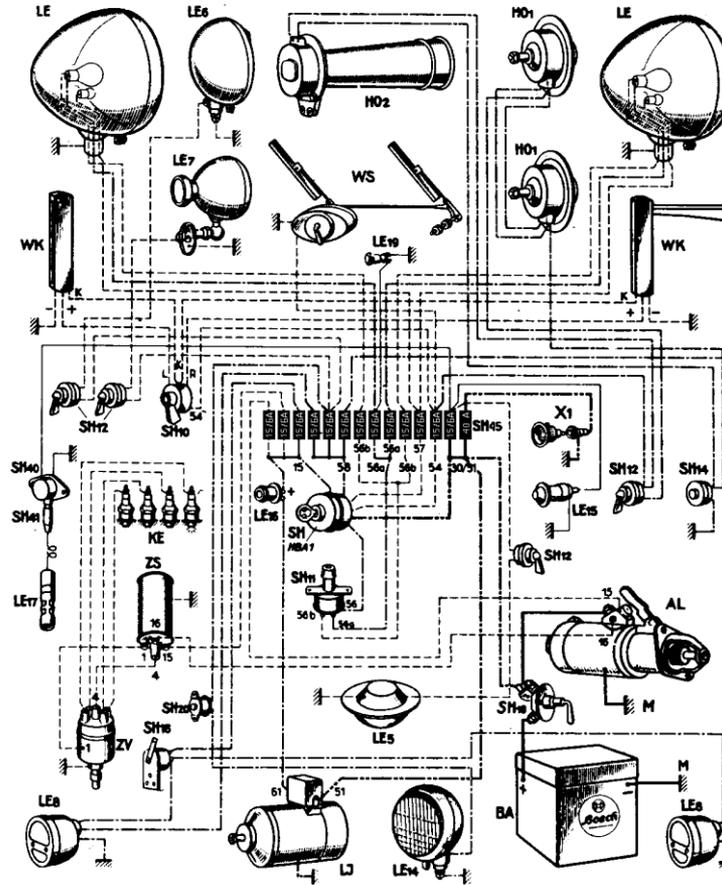
**Schaltplan um 1910**



Schaltplan dreißiger Jahre



Die Beleuchtungsanlage und Zubehör.

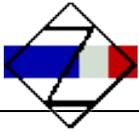


- |                      |                                 |   |                          |
|----------------------|---------------------------------|---|--------------------------|
| AL = Anlasser        | LE8 = Brems-Schluß-Nummernlampe | SH10 = Winkerschalter mit Anzeige-Lampe   | SH10 = Rückfahrsschalter |
| BA = Batterie        | LE14 = Rückfahr-Laterne         | SH11 = Fuß-Abblendschalter                | SH10 = Steckdose         |
| HO1 = Hellenhorn     | LE15 = Schallbreit-Laterne      | SH12 = Ein- und Ausschalter               | SH11 = Stecker           |
| HO2 = Trichterhorn   | LE16 = Lad-Anzeigelampe         | SH13 = Elektromagnetischer Ablenkschalter | SH12 = Sicherungen       |
| KE = Zündkerzen      | LE17 = Hand-Laterne             | SH14 = Druckknopf                         | WK = Winker              |
| LE = Scheinwerfer    | LE18 = Fernlicht-Anzeigelampe   | SH15 = Brennschalter                      | WS = Wischer             |
| LE5 = Decken-laterne | LJ = Lichtmaschine              | SH16 = Batterie-Hauptschalter             | X1 = Zigarrenanzünder    |
| LE6 = Breitstrahler  | M = Masse                       |   | ZS = Zündspule           |
| LE7 = Sucher         | SH = Schaltkasten               |   | ZV = Zündverteiler       |

Die Rückleitung des Stroms erfolgt über die Masse des Fahrgestells, es ist deshalb für gute Masseverbindung der Verbraucher zu sorgen.

Schaltplan der elektrischen Anlage eines Kraftwagens mit Otto-Motor (bei Anwendung von Schaltkasten HBA).

## Schaltplan vierziger Jahre



# 1 Bordnetz

## 1.1 Schaltzeichen und Schaltpläne

## 1.2 Leitungswiderstände

## 1.3 Bordnetzstrukturen

### 1.3.1 Energiefluss/Leistungsverteilung

#### 1.3.1.1 Elektroenergiebilanz/Elektrizitätsmengenbilanz

- Grundlagen
- Ermittlung der Verbraucherelektrizitätsmenge
- Ermittlung der Generatorelektrizitätsmenge
- Überprüfung und Optimierung der Elektrizitätsmengenbilanz

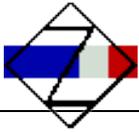
#### 1.3.1.2 Probleme des 14V-Niederspannungsbordnetzes

#### 1.3.1.3 Mehrspannungsbordnetze

### 1.3.2 Informationsfluss/Bussysteme

#### 1.3.2.1 Controller Area Network (CAN)

#### 1.3.2.2 Weitere Bussysteme

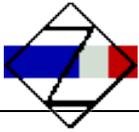


## Schaltzeichen:

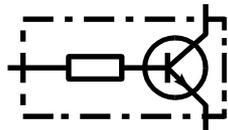
- Kleinste Bausteine eines Schaltplanes in vereinfachter Darstellung funktioneller Zusammenhänge von elektr. Bauteilen und Systemen.
- Übereinstimmung mit allgem. Darstellungsformen der Elektrotechnik (wenn möglich) als
  - Schaltzeichenelement oder als
  - Geräteschaltzeichenmit Symbolen, mathematischen. Zeichen, Formelzeichen, symbolische Kennlinien.

## Grundregeln:

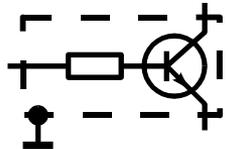
- Schaltzeichen werden im allg. im Grundzustand, d.h. ohne Einwirken einer physikalischen Größe dargestellt.
- Übersichtliche Darstellung, Drehungen um 90°, 180° oder 270° möglich. Wirkungsrichtung der Stromwege von links nach rechts und von oben nach unten. Geradlinige (möglichst) kreuzungsfreie Linienführung, durchgezogene Linien.
- Anschlüsse der Verbindungsleitungen frei wählbar (außer bei Verwechslungsgefahr:  ).
- Darstellung mechanischer Wirkverbindungen durch Strichlinie oder Doppelstriche, bei Betätigung der Bewegungsrichtung folgend.



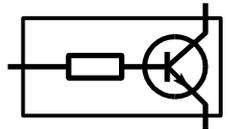
## Zusammenfassen konstruktiv oder funktionell zusammengehörender Schaltungsteile durch:



Strich-Punkt-Umrandung bei nicht geschirmten Baugruppen,

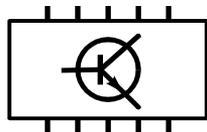


Strich-Umrandung bei geschirmten (d.h. mit Masse verbundenen) Baugruppen,



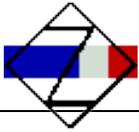
durchgehende Umrandung bei allgemeiner Darstellungsweise,

→ für Geräte bzw. Baugruppen mit Darstellung der Innenschaltung,

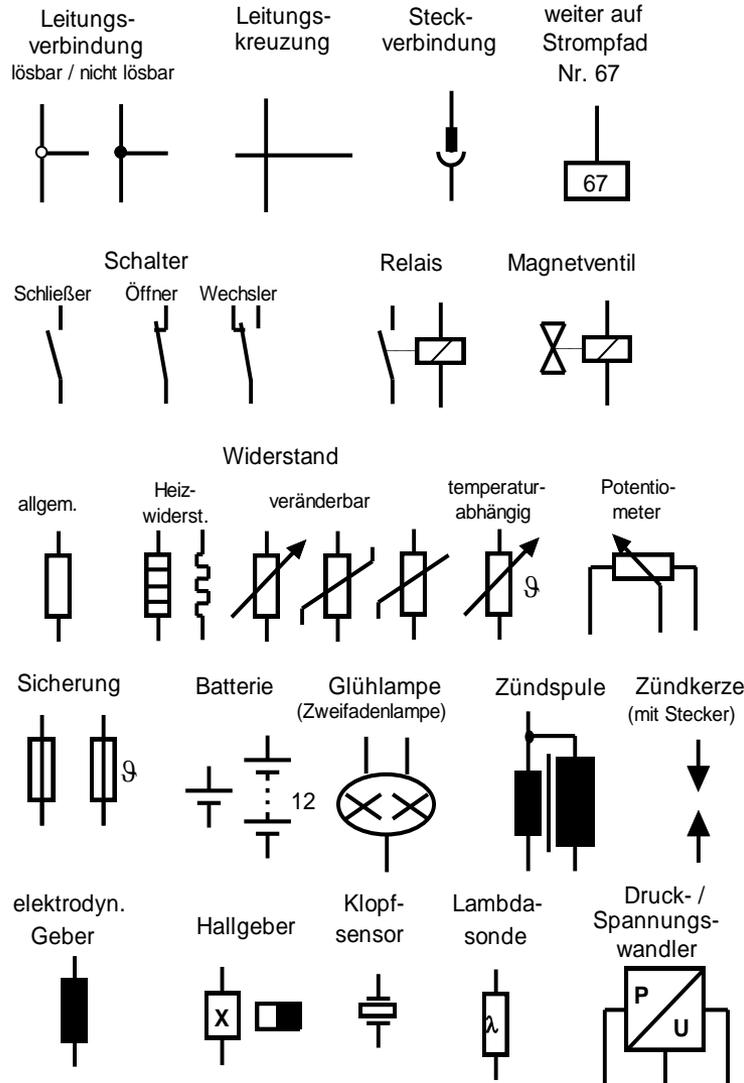


oder als Geräteschaltzeichen (Gerätesymbol mit Anschlüssen) bei umfangreicher Innenschaltung

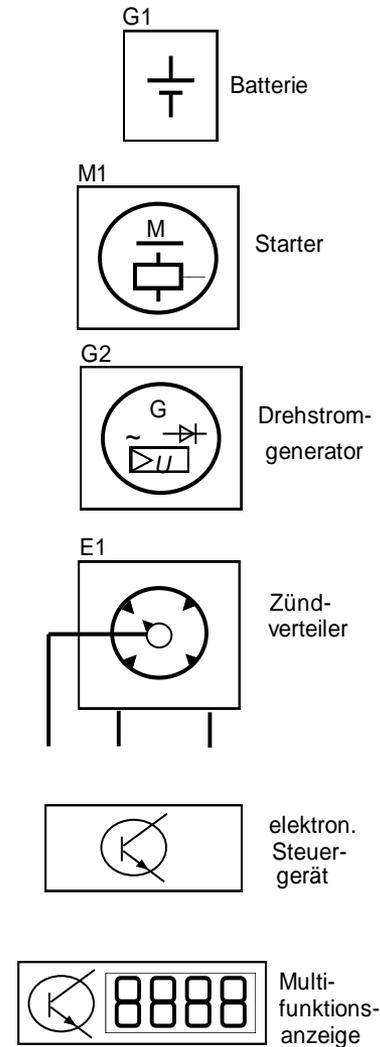
→ für Geräte bzw. Baugruppen ohne Darstellung der Innenschaltung.

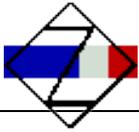


### Schaltzeichen



### Geräteschaltzeichen





## **Übersichtsschaltpläne:**

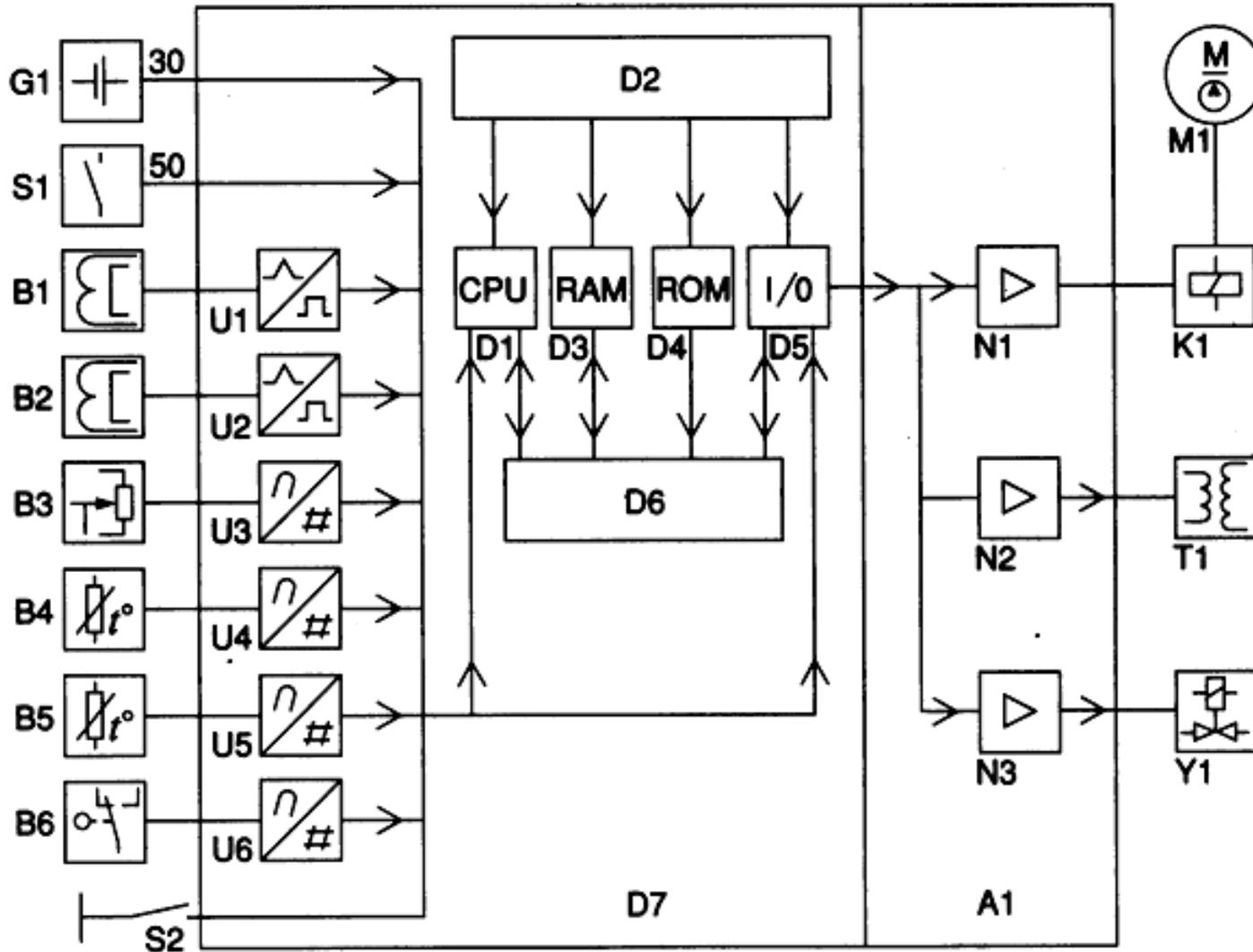
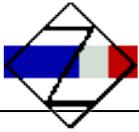
- Vereinfachte Darstellung einer Anlage, keine Schaltungsdetails (Anschlüsse, Klemmen, Verbindungsleitungen).
- Meist nur einpolige Darstellung mit Geräteschaltzeichen.

## **Stromlaufpläne:**

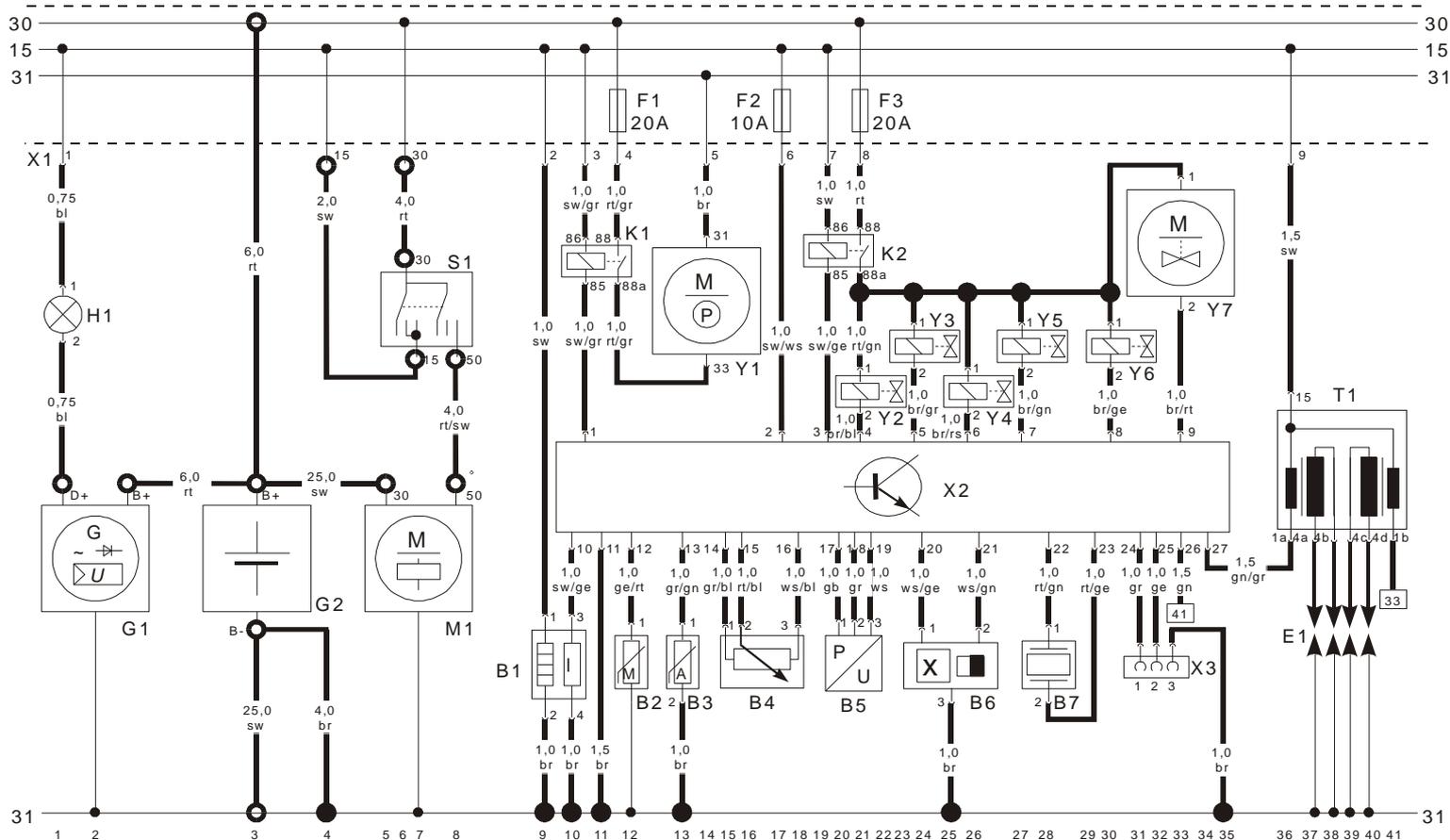
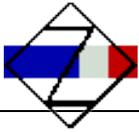
- Ausführliche und vollständige Darstellung einer Schaltung mit allen Strompfaden. Wenn erforderlich, in funktionelle Einheiten / Abschnitte zerlegt.
- Mindestumfang: Schaltung, Gerätekennzeichnung, Anschlussbezeichnungen.
- Weitere Angaben: Messpunkte, Hinweise für Fehlersuche, Wartung, Austausch, Leitungsquerschnitte, Leitungsfarben, Bezeichnungen von Massepunkten / Massesträngen, Verweise auf Weiterführungen von Leitungen in anderen Schaltungsabschnitten und die Fortsetzung des Stromlaufplanes.

## **Anschlusspläne/Leitungsverlegepläne/Zusammenbaupläne:**

- Ausführliche technologisch orientierte Darstellung für Herstellung, Montage und Anschluss von Schaltungsteilen und Verbindungsleitungen ohne Rücksicht auf funktionelle Zusammenhänge → für Schaltungsbeschreibung nur bedingt geeignet.
- Enthalten technologische Hinweise, Normteillisten, Verdrahtungsvarianten usw.



Übersichts-  
Schaltplan  
Motronic-  
Steuengerät



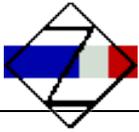
B1 - Lambdasonde  
B2 - Sensor Motortemperatur  
B3 - Sensor Ansauglufttemperatur  
B4 - Drosselklappenpotentiometer  
B5 - Sensor Ansaugdruck

B6 - Hallsensor  
B7 - Klopfsensor  
E1 - Zündkerzen  
F1...3 - Sicherungen  
G1 - Drehstromgenerator

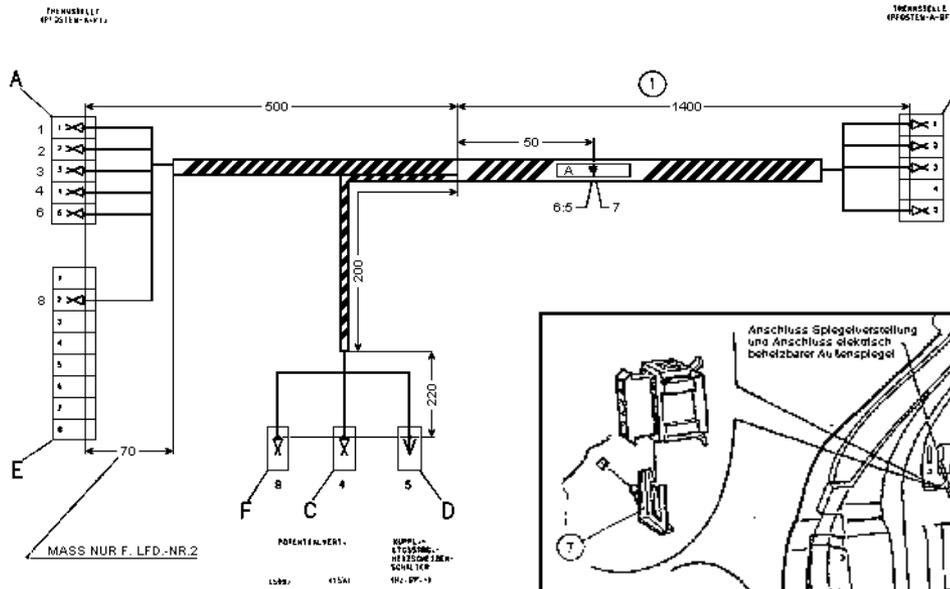
G2 - Batterie  
H1 - Generatorkontrolllampe  
K1 - Relais Kraftstoffpumpe  
K2 - Relais Magnetventile  
M1 - Starter

S1 - Zündstartschalter  
T1 - Zündspule  
X1 - zentraler Steckverbinder  
X2 - Motorsteuergerät  
X3 - Diagnosesteckdose

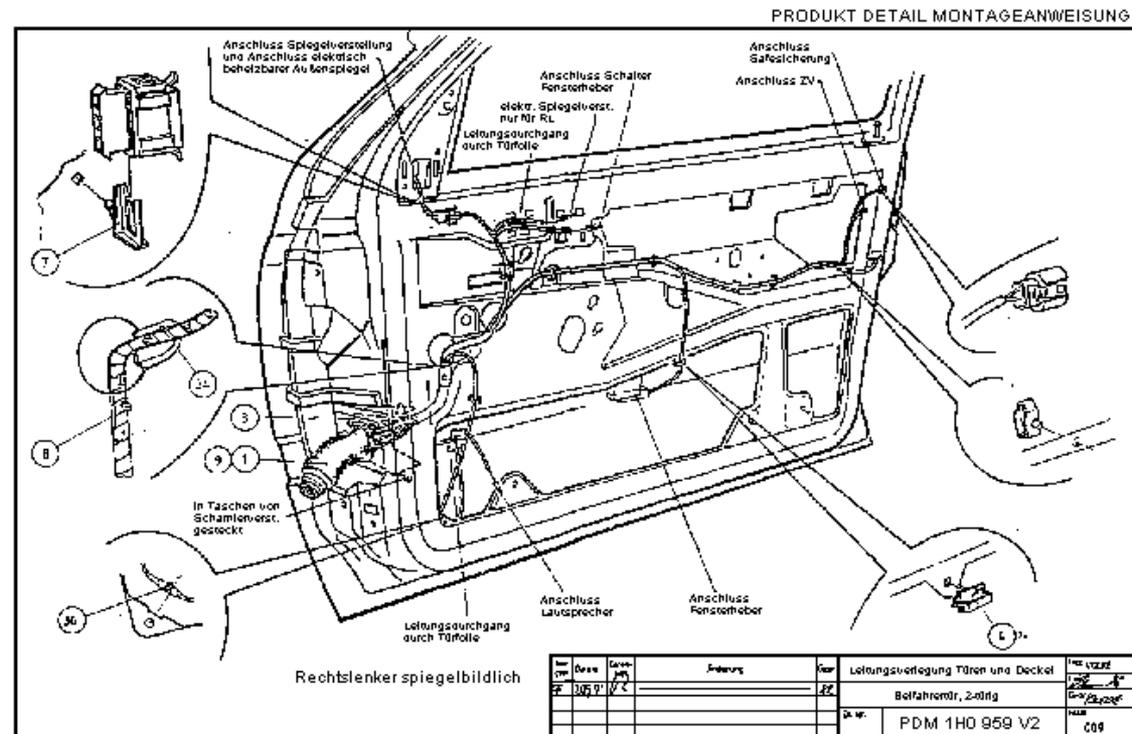
Y1 - elektr. Kraftstoffförderpumpe  
Y2...5 - Einspritzventile  
Y6 - Taktventil Aktivkohlefilter  
Y7 - Leerlaufstellmotor

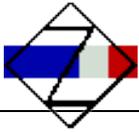


## Zusammenbauplan



**Leitungsverlegeplan**





### **Geräte:**

- Werden durch Geräteschaltzeichen dargestellt und durch Buchstaben-Ziffern-Kombinationen eindeutig ausgewiesen.
- Keine einheitlichen Bezeichnungsregeln → Legende erforderlich.

### **Klemmen:**

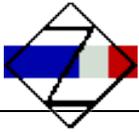
- Historisch gewachsene Zuordnung zwischen Klemmenbezeichnung und funktioneller Bedeutung eines Anschlusses → Normung, Austauschbarkeit.
- Durch Elektronik sehr viele neue Funktionen → konsequente Weiterführung der Klemmenbezeichnungen nicht mehr möglich.

### **Kontakte/Steckverbindungen:**

- Kennzeichnen einen Bauteilanschluss (nicht genormt).

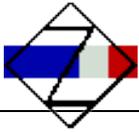
### **Leitungen:**

- Angabe von Nennquerschnitt und Farbe der Isolierung (Grundfarbe bzw. Grundfarbe + Kennfarbe).
- Historisch gewachsene Farbzunordnung der Leitungsführung nur für wenige (schon länger im Kfz vorhandene) elektrische Baugruppen vorgeschrieben.



## Klemmenbezeichnung in Kraftfahrzeugen (DIN 72552 - Auszug)

Klemmenbezeichnung	Bedeutung / Funktion
1	Klemme an Zündspule (Niederspannung) Klemme am Zündverteiler / Unterbrecher bzw. am Zündsteuergerät
4	Klemme an Zündspule (Hochspannung)
15	Ausgangsklemme am Zündschalter/Fahrtschalter/Lichtzündschalter (für Zündung und Tagverbraucher - "geschaltetes Plus" )
30	Eingangsklemme direkt von Batterie-Plus
31	Klemme für Rückleitung direkt zu Batterie-Minus oder Masse
40	<i>Plusleitung 48 V (Entwurf VDA)</i>
41	<i>Masserückleitung 48 V (Entwurf VDA)</i>
49	Blinkgeber - Eingang
49a	Blinkgeber - Ausgang
50	Startersteuerung
56	Ausgangsklemme am Lichtschalter und Eingangsklemme am Abblendlichtschalter
56a	Ausgangsklemme am Abblendlichtschalter für Fernlicht und Fernlichtkontrollleuchte
56b	Ausgangsklemme am Abblendlichtschalter für Abblendlicht
58	Ausgangsklemme am Lichtschalter für Begrenzungsleuchten, Schlussleuchten, Kennzeichenleuchten und Instrumentenbeleuchtung
61	Ausgangsklemme an Regler oder Generator für Ladekontrollleuchte
B+	Klemme für Batterie-Plus am Regler/Drehstromgenerator
B-	Klemme für Batterie-Minus am Regler/Drehstromgenerator
D+	Klemme für Dynamo-Plus zwischen Generator und Regler
D-	Klemme für Dynamo-Minus zwischen Generator und Regler
DF	Klemme für Dynamo-Feld zwischen Generator und Regler
L R	Am Blinkschalter Ausgangsklemme für Blinkleuchten links bzw. rechts



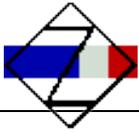
Farbe	Kürzel	Farbe	Kürzel	Farbe	Kürzel
blau	bl	grün	gn	schwarz	sw
braun	br	orange	or	türkis	tk
gelb	ge	rosa	rs	violett (lila)	vi (li)
grau	gr	rot	rt	weiß	ws

**Leitungsfarben**  
 (DIN 47002):

Leitung		Grundfarbe	Kennfarbe
von	nach		
Batterie	Starter	sw	-
Batterie	Masse	sw	-
Starter	Lichtmaschine	rt	-
Starter	Schaltkasten	rt	-
Lichtschalter	Zündschalter	rt	-
Zündspule	Zündverteiler/Unterbrecher	gn	-
Sicherung	Hauptscheinwerfer	ws	-
Sicherung	Abblendlicht	ge	-
Sicherung	Kennzeichen-, Schluss- und Begrenzungsleuchten (links)	gr	sw
Sicherung	Kennzeichen-, Schluss- und Begrenzungsleuchten (rechts)	gr	rt
Schalter für Fahrtrichtungsanzeige	Blinkleuchte links	sw	ws
Schalter für Fahrtrichtungsanzeige	Blinkleuchte rechts	sw	gr
Kontrollampen/ Anzeigeeinstrumente	Fernlicht Öldruck Kraftstoff	bl	ws gn sw
sämtliche Verbraucher	Masse	br	-

**Farbkennzeichnung Kraftfahrzeugbau**  
 (DIN 72551,  
 Blatt 4 - Auszug)

12 Grundfarben,  
 kombinierbar mit  
 jeweils einer  
 Kennfarbe (z.B. längs  
 laufende Farbstriche)



## 1 Bordnetz

### 1.1 Schaltzeichen und Schaltpläne

### 1.2 Leitungswiderstände

### 1.3 Bordnetzstrukturen

#### 1.3.1 Energiefluss/Leistungsverteilung

##### 1.3.1.1 Elektroenergiebilanz/Elektrizitätsmengenbilanz

- Grundlagen
- Ermittlung der Verbraucherelektrizitätsmenge
- Ermittlung der Generatorelektrizitätsmenge
- Überprüfung und Optimierung der Elektrizitätsmengenbilanz

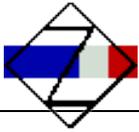
##### 1.3.1.2 Probleme des 14V-Niederspannungsbordnetzes

##### 1.3.1.3 Mehrspannungsbordnetze

#### 1.3.2 Informationsfluss/Bussysteme

##### 1.3.2.1 Controller Area Network (CAN)

##### 1.3.2.2 Weitere Bussysteme



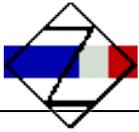
Fragestellung im Bordnetz:

Welcher Querschnitt muss für eine Leitung gewählt werden, damit ein **zulässiger Spannungsabfall  $\Delta U$**  nicht überschritten wird?

→ Erforderlichen Leiterquerschnitt berechnen.

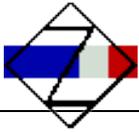
Dann nächst größeren Leiterquerschnitt aus der **Normenreihe für Leiterquerschnitte** wählen.

(Dabei zulässigen Dauerstrom und Erwärmung im Kabelbaum/Motorraum sowie Art der Verlegung - Einzelleitung oder Kabelbaum - beachten.)



eingesetzt für	in 12 V Anlagen		in 24 V Anlagen	
	Spannungsabfall in Plusleitungen	Gesamt- spannungsabfall ( Klemmen, Plusleitung Masserückltg. )	Spannungsabfall in Plusleitungen	Gesamt- spannungsabfall ( Klemmen, Plusleitung Masserückltg. )
Lichtleitungen bis 15 W	0,1 V	0,6 V	0,1 V	0,6 V
Lichtleitungen mehr als 15 W	0,5 V	0,9 V	0,5 V	0,9
Scheinwerfer	0,3 V	0,6 V	0,3 V	0,6 V
andere Verbraucher	0,5 V	1,5 V	1,5 V	2,0 V
Starterhaupt- leitung	0,5 V	-	1,0 V	-
Ladeleitung Generator - Batterie	0,4 V	-	0,8 V	-

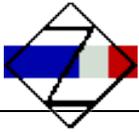
**Zulässiger Spannungsabfall** (nach Bosch: Kraftfahrtechnisches Taschenbuch)



Nennquerschnitt in mm <sup>2</sup>	<b>0,25</b>	<b>0,34</b>	<b>0,5</b>	<b>0,75</b>	<b>1</b>	<b>1,5</b>	<b>2,5</b>	<b>4</b>	<b>6</b>
zulässiger Dauerstrom in A bei T Umg. <b>30 °C</b> und T Kabel bis <b>90 °C</b>	5	8	12	15	19	24	32	42	54
zulässiger Dauerstrom in A bei T Umg. <b>50 °C</b> und T Kabel bis <b>70 °C</b>	3,5	5,7	8,5	10,6	13,5	17	22,7	29,8	38,3
zulässiger Dauerstrom in A bei T Umg. <b>70 °C</b> und T Kabel bis <b>90 °C</b>	2,9	4,6	7	8,7	11	13,9	18,6	24,4	31,3
zulässiger Dauerstrom in A bei T Umg. <b>85 °C</b> und T Kabel bis <b>90 °C</b>	1,5	2,3	3,5	4,4	5,5	7	9,3	12,1	15,7

Nennquerschnitt in mm <sup>2</sup>	<b>10</b>	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>35</b>	<b>50</b>	<b>70</b>	<b>95</b>	<b>120</b>	<b>150</b>
zulässiger Dauerstrom in A bei T Umg. <b>30 °C</b> und T Kabel bis <b>90 °C</b>	73	98	129	158	198	245	292	344	391
zulässiger Dauerstrom in A bei T Umg. <b>50 °C</b> und T Kabel bis <b>70 °C</b>	51,8	69,6	91,6	112	140	174	207	244	278
zulässiger Dauerstrom in A bei T Umg. <b>70 °C</b> und T Kabel bis <b>90 °C</b>	42,3	56,8	74,8	91,6	115	142	169	200	227
zulässiger Dauerstrom in A bei T Umg. <b>85 °C</b> und T Kabel bis <b>90 °C</b>	21,2	28,4	37,4	45,8	57,4	71,1	84,7	99,8	113

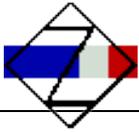
**Normenreihe für Leiterquerschnitte**  
(nach DIN ISO 6722 Teil 3, DIN VDE 0298 Teil 4)



Reduktion in Abhängigkeit von der Anzahl der Leitungen in einem Kabelbaum  
(nach DIN VDE 0298 Teil 4)

Anzahl der Leitungen in einem Kabelbaum	1	5	7	10	14	19	24	40	61
Reduktionsfaktor (Luftverlegung)	1,0	0,75	0,65	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3

Für Leitungen mit spezieller Isolierung (z.B. Silikonmantel)  
sind höhere Umgebungstemperaturen (z.B. bis 175 °C) möglich,  
wobei für Temperaturen bis 150 °C der Reduktionsfaktor 1,0 gilt.



Beispiel:

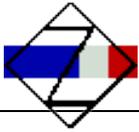
Eine Leitung für das Fernlicht (ein Scheinwerfer) soll berechnet werden.

Leitungslänge  $l_{Ltg} = 2 \text{ m}$ , Nennleistung  $P_{nom} = 60 \text{ W}$  bei  $U_{nom} = 12 \text{ V}$ ,

max. Generatorspannung  $U_{G max} = 14,2 \text{ V}$

ges.: erforderlicher Leiterquerschnitt

1. Schritt – Ermitteln der zulässigen Spannungsabfälle in der Leitung  $\Delta U_{Ltg}$  und insgesamt  $\Delta U_{tot}$  aus Tabelle:
2. Schritt – Berechnen des Leiterstromes  $I_V$ :
3. Schritt – Berechnen des erforderlichen Leiterquerschnittes  $A_q$ :
4. Schritt – Heraussuchen des nächst größeren Leiterquerschnittes unter Berücksichtigung des zulässigen Dauerstromes und der Randbedingungen aus Tabelle:



Beispiel:

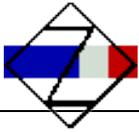
Eine Leitung für das Fernlicht (ein Scheinwerfer) soll berechnet werden.

Leitungslänge  $l_{Ltg} = 2 \text{ m}$ , Nennleistung  $P_{nom} = 60 \text{ W}$  bei  $U_{nom} = 12 \text{ V}$ ,  
max. Generatorspannung  $U_{G max} = 14,2 \text{ V}$

ges.: erforderlicher Leiterquerschnitt

5. Schritt – Überprüfen, ob Gesamtspannungsabfall eingehalten wird:

Bei Kurzzeitbetrieb: Stromdichte  $J_{max} < 30 \text{ A/mm}^2$



## 1 Bordnetz

### 1.1 Schaltzeichen und Schaltpläne

### 1.2 Leitungswiderstände

### 1.3 Bordnetzstrukturen

#### 1.3.1 Energiefluss/Leistungsverteilung

##### 1.3.1.1 Elektroenergiebilanz/Elektrizitätsmengenbilanz

- Grundlagen
- Ermittlung der Verbraucherelektrizitätsmenge
- Ermittlung der Generatorelektrizitätsmenge
- Überprüfung und Optimierung der Elektrizitätsmengenbilanz

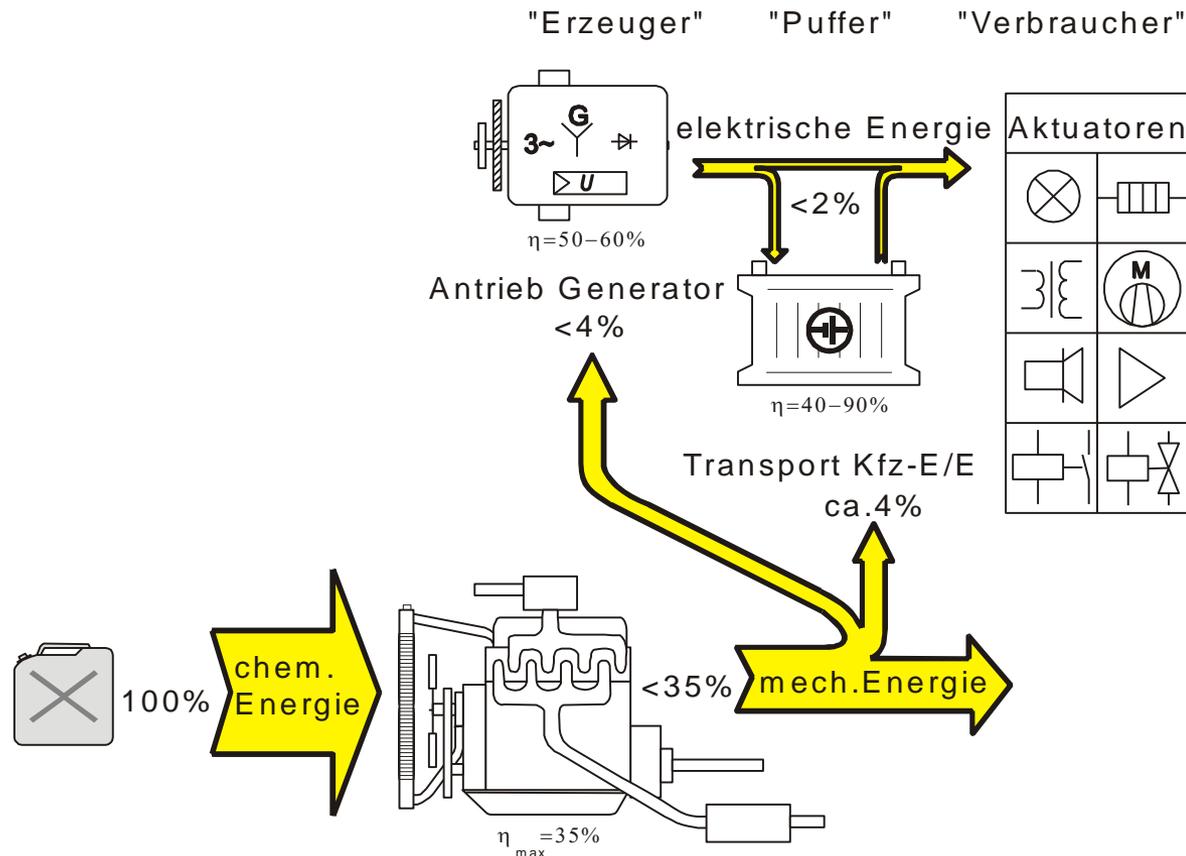
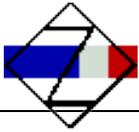
##### 1.3.1.2 Probleme des 14V-Niederspannungsbordnetzes

##### 1.3.1.3 Mehrspannungsbordnetze

#### 1.3.2 Informationsfluss/Bussysteme

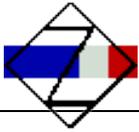
##### 1.3.2.1 Controller Area Network (CAN)

##### 1.3.2.2 Weitere Bussysteme

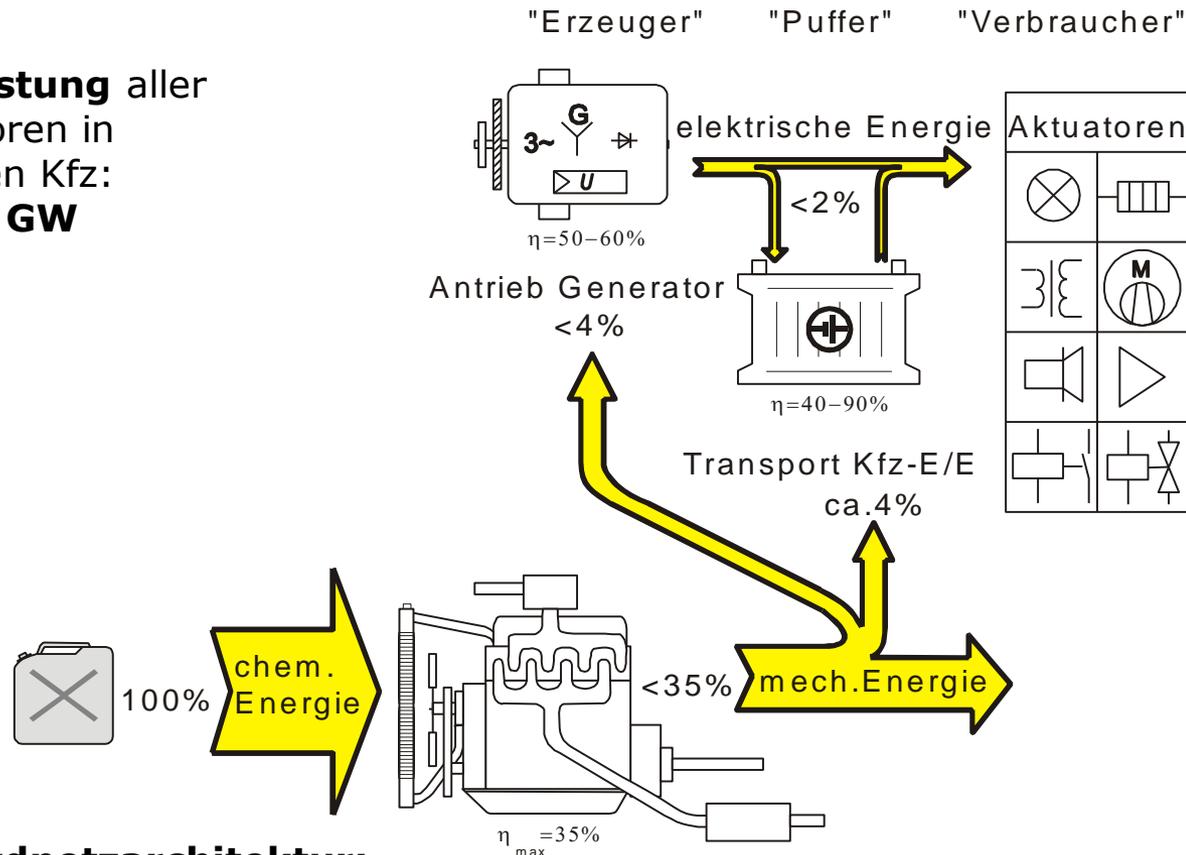


- ca. 5% Kraftstoffverbrauch für Elektroenergie-Versorgung
- ca. 10% Kraftstoffverbrauch für Transport elektrischer Komponenten
- ca. 15% Gesamtkraftstoffverbrauch für Kfz-Elektrik/Elektronik**

**Bei einem jährlichen Verbrauch Otto- und Dieseldieselkraftstoffe von 66 Mrd. Liter entfallen rund 10 Mrd. Liter auf Kfz-Elektrik/Elektronik.**



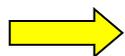
**Nennleistung** aller  
Generatoren in  
deutschen Kfz:  
**60 – 70 GW**



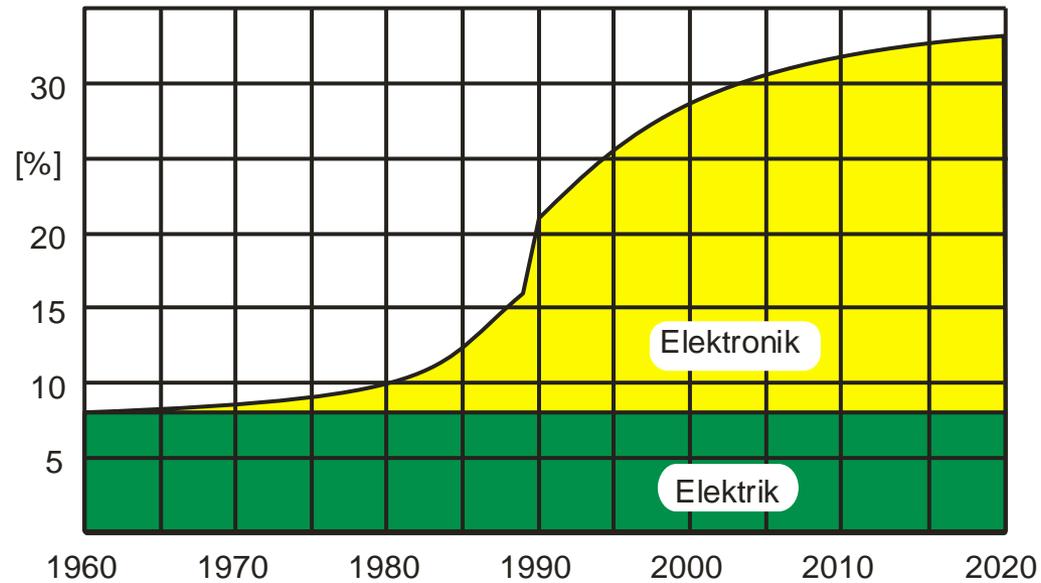
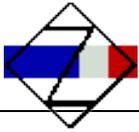
### Forum Bordnetzarchitektur:

Eine Einsparung der Fahrzeugmasse um 100 Kg bewirkt eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs um ca. 0,3 Liter pro 100 km.

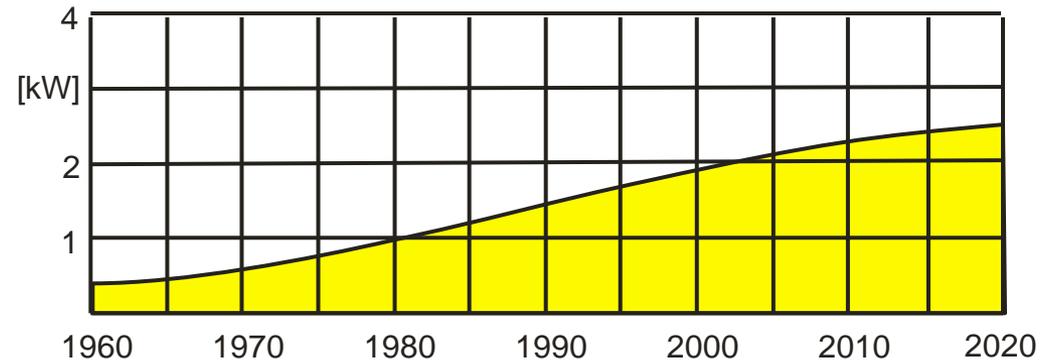
Im Stadtzyklus werden zum Erzeugen von 1000 W elektrischer Leistung etwa 1,7 Liter Kraftstoff pro 100 km benötigt.



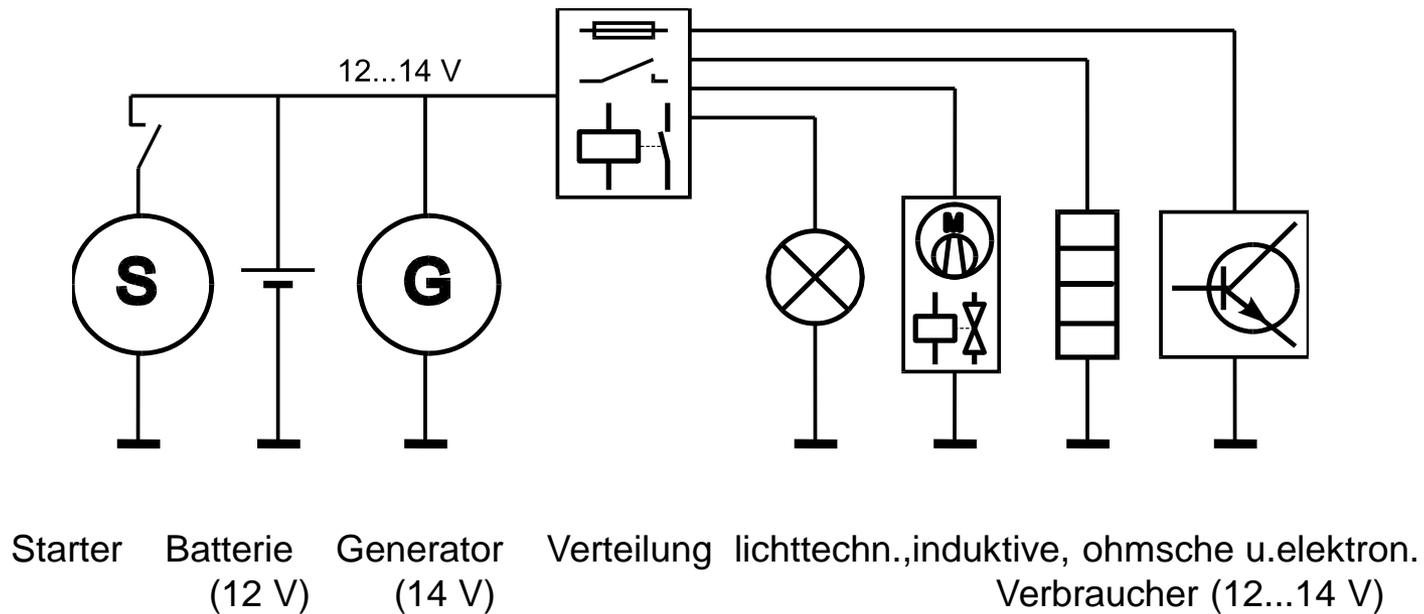
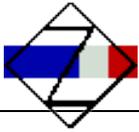
Die Einsparung von 175 W elektrischer Leistung hat den gleichen Effekt wie die Reduzierung der Fahrzeugmasse um 100 Kg.



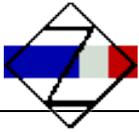
### Anteilige Herstellungskosten für Komponenten der Fahrzeug-Elektrik/Elektronik an einem PKW



### Leistungsbedarf für PKW der Oberklasse



### Grundstruktur des heutigen Elektroenergiesystems



## 1 Bordnetz

### 1.1 Schaltzeichen und Schaltpläne

### 1.2 Leitungswiderstände

### 1.3 Bordnetzstrukturen

#### 1.3.1 Energiefluss/Leistungsverteilung

##### 1.3.1.1 Elektroenergiebilanz/Elektrizitätsmengenbilanz

###### - Grundlagen

- Ermittlung der Verbraucherelektrizitätsmenge
- Ermittlung der Generatorelektrizitätsmenge
- Überprüfung und Optimierung der Elektrizitätsmengenbilanz

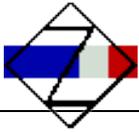
#### 1.3.1.2 Probleme des 14V-Niederspannungsbordnetzes

#### 1.3.1.3 Mehrspannungsbordnetze

#### 1.3.2 Informationsfluss/Bussysteme

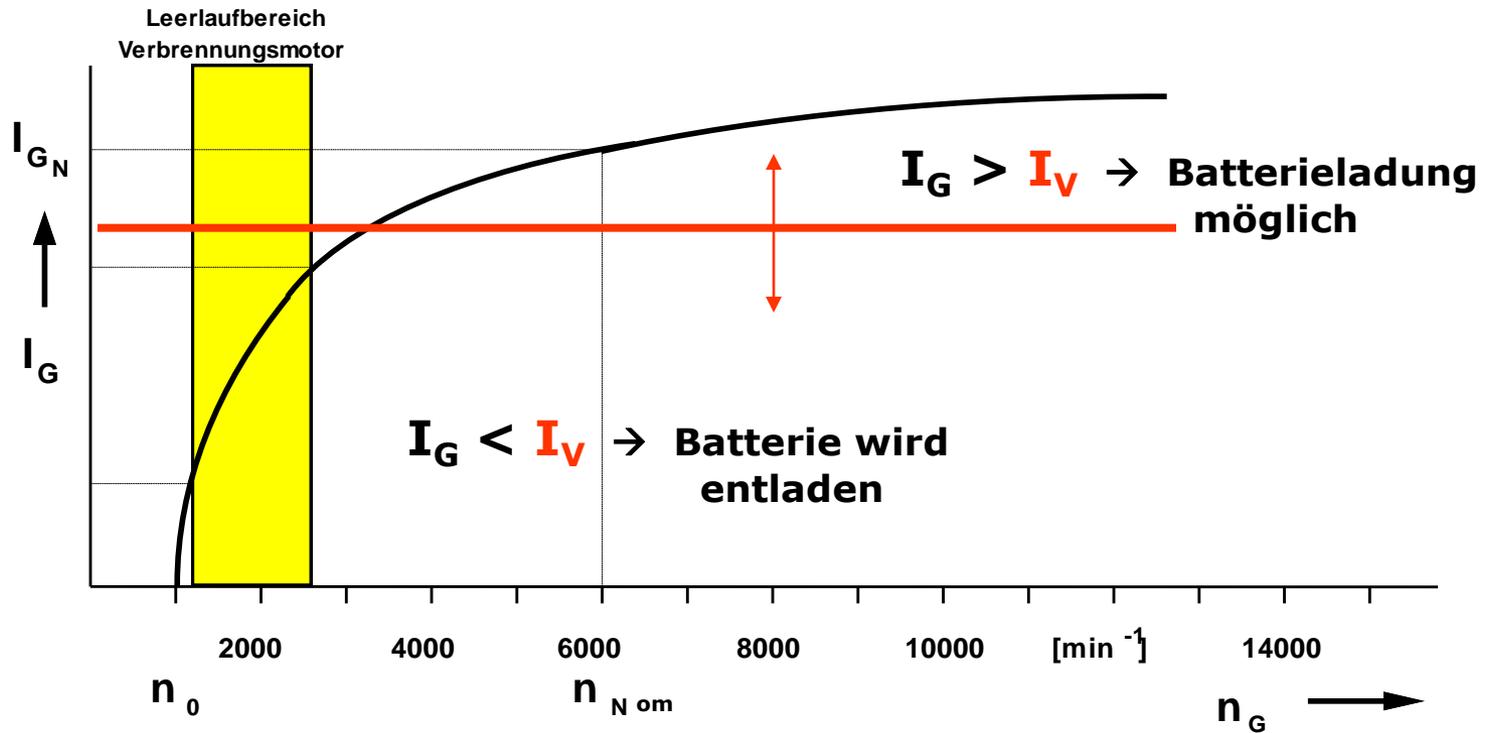
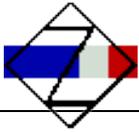
##### 1.3.2.1 Controller Area Network (CAN)

##### 1.3.2.2 Weitere Bussysteme

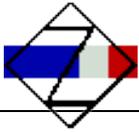


<b>ständig eingeschaltete Verbraucher</b>	<b>längere Zeit eingeschaltete Verbraucher</b>	<b>kürzere Zeit eingeschaltete Verbraucher</b>
Motormanagement - Zündung - Einspritzung - Steuergerät	elektrische Zusatzheizungen - Scheiben - Sitz	Blink- und Bremsleuchten
elektrische Kraftstoffpumpe	Beleuchtungseinrichtungen	elektrischer Motorlüfter
Steuergeräte für - Getriebeelektronik - Fahrwerkselektronik - Sicherheitselektronik	Belüftungs- und Klimaanlage Sonderausstattungen (Spezialfahrzeuge)	Glühkerzen (Dieselfahrz.) Ansaugluftvorwärmung beheizter Katalysator Komfortelektronik Getriebe-, Fahrwerks- und Sicherheitselektronik
Systeme der Verkehrsinformatik - Bordcomputer - Fahrtenschreiber - Navigationssysteme - Warnsysteme	Systeme der Verkehrsinformatik - Audio/Video - Telefon (Bereitschaft) - Funksysteme (Bereitschaft)	Systeme der Verkehrsinformatik - Telefon/Funk (aktiv)
		Starter

### Beispiele für Verbraucher im Kraftfahrzeug

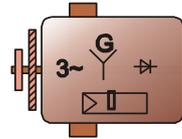


**Strom-Drehzahl-Kennlinien eines Drehstromgenerators (für  $U_G = \text{konst.}$ )  
mit Verbraucherstrom**



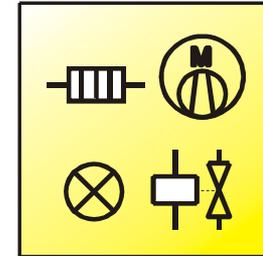
Klassenhäufigkeit

(Drehzahlkollektiv)

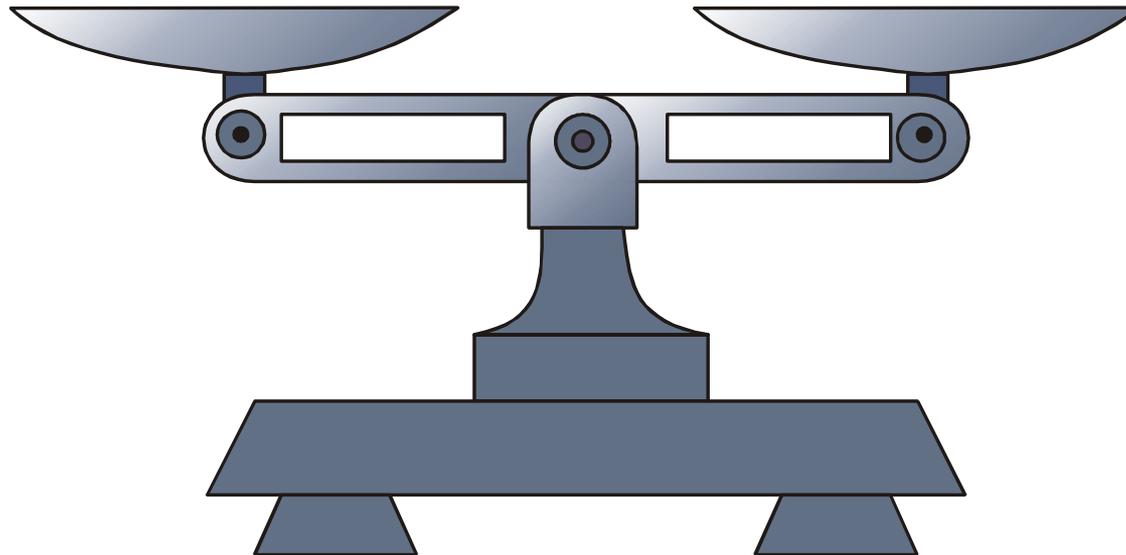


erzeugte  
Elektrizitätsmenge

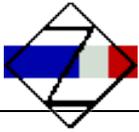
Einschaltdauer



verbrauchte  
Elektrizitätsmenge



**Elektroenergiebilanz - Elektrizitätsmengenbilanz**



Optimieren der erforderlichen Generatorleistung und der erforderlichen Batteriekapazität nach dem Leistungsbedarf der Verbraucher.

Verbraucher entnehmen dem Elektroenergiesystem elektrische Arbeit,

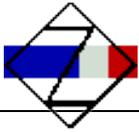
die durch den Generator aufgebracht werden muss.

Es gilt also:

Elektroenergiebilanz

bzw. aufgrund nahezu konstanter Bordspannung:

Elektrizitätsmengenbilanz



## 1 Bordnetz

### 1.1 Schaltzeichen und Schaltpläne

### 1.2 Leitungswiderstände

### 1.3 Bordnetzstrukturen

#### 1.3.1 Energiefluss/Leistungsverteilung

##### 1.3.1.1 Elektroenergiebilanz/Elektrizitätsmengenbilanz

- Grundlagen
- Ermittlung der Verbraucherelektrizitätsmenge
- Ermittlung der Generatorelektrizitätsmenge
- Überprüfung und Optimierung der Elektrizitätsmengenbilanz

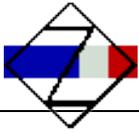
##### 1.3.1.2 Probleme des 14V-Niederspannungsbordnetzes

##### 1.3.1.3 Mehrspannungsbordnetze

#### 1.3.2 Informationsfluss/Bussysteme

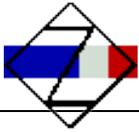
##### 1.3.2.1 Controller Area Network (CAN)

##### 1.3.2.2 Weitere Bussysteme



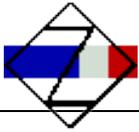
Verbraucher	Stromaufnahme [A]	Einschalt-dauer [h]	Gleichzeitig-keitsfaktor	Elektrizitäts-menge [Ah]
Motormanagement				
- Zündung	4	1	1	4
- Einspritzung	8			8
- Steuergerät	1			1
Kraftstoffpumpe	5			5
Scheinwerfer	10	1	1	10
andere Beleuchtungseinr.	3	1	1	3
Heckscheibenheizung	5	0,5	1,2	3
Sitzheizung	6	0,5	1,2	3,6
Scheibenwischer	10	0,3	1	3
Radio	5	1	1	5
Gebläse Heizung/Lüftung	10	0,5	1,2	6
elektr. Ansaugluftvorwärm.	20	0,5	1,2	12
Blink- und Bremsleuchten	7	0,2	1	1,4
elektr. beheizter Katalysator	160	0,01	2,5	4
Motorlüfter	15	0,4	1	6
Parklicht	0,3	10	1,2	3,6
Starter (Normalbetrieb) /	200 /	0,01	2,5	5 /
Start-Stopp-Anlage	200	0,1	2,5	50
<b>Gesamtelektrizitätsmenge</b>				<b>83,6 / 128,6</b>

**Verbraucherelektrizitätsmenge**



Ermitteln der Verbraucherelektrizitätsmenge durch  
Summieren aller Einzelverbräuche über einen repräsentativen Zeitraum  
(Fahrzyklus).

mit  $X_{Glzj}$  = Gleichzeitigkeitsfaktor wegen Batteriewirkungsgrad  
 $I_{Vj}$  = Einzelverbraucherstrom  
 $t_j$  = Einschaltdauer im Fahrzyklus



## 1 Bordnetz

### 1.1 Schaltzeichen und Schaltpläne

### 1.2 Leitungswiderstände

### 1.3 Bordnetzstrukturen

#### 1.3.1 Energiefluss/Leistungsverteilung

##### 1.3.1.1 Elektroenergiebilanz/Elektrizitätsmengenbilanz

- Grundlagen
- Ermittlung der Verbraucherelektrizitätsmenge
- Ermittlung der Generatorelektrizitätsmenge
- Überprüfung und Optimierung der Elektrizitätsmengenbilanz

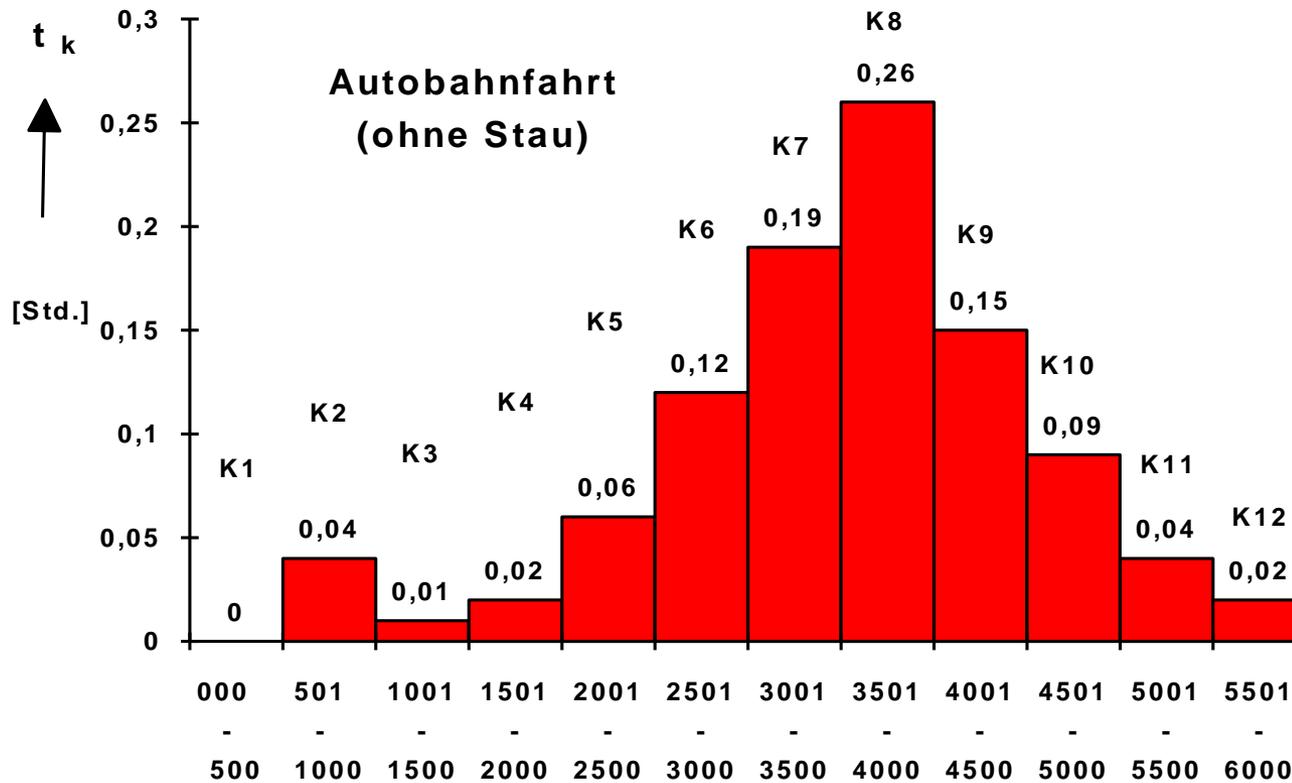
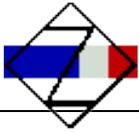
##### 1.3.1.2 Probleme des 14V-Niederspannungsbordnetzes

##### 1.3.1.3 Mehrspannungsbordnetze

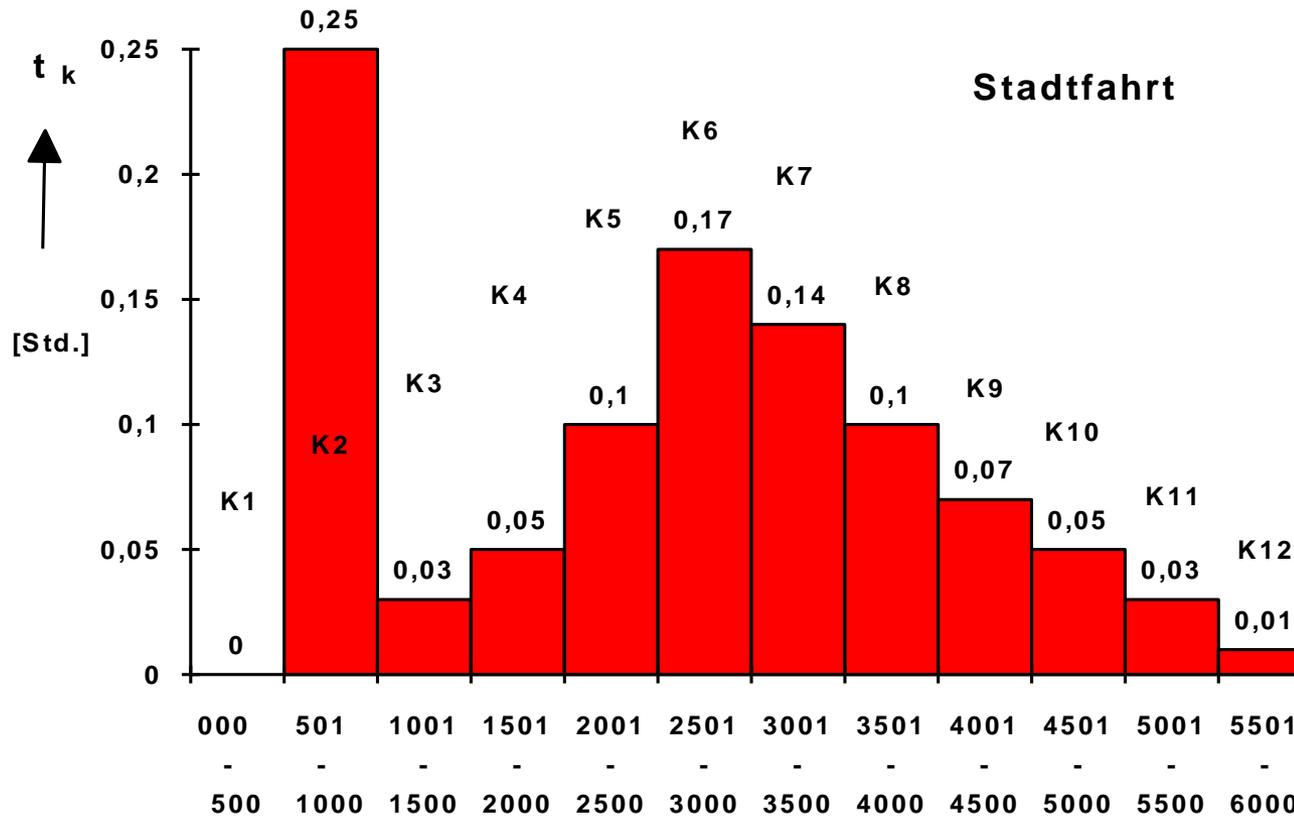
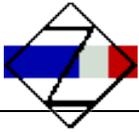
#### 1.3.2 Informationsfluss/Bussysteme

##### 1.3.2.1 Controller Area Network (CAN)

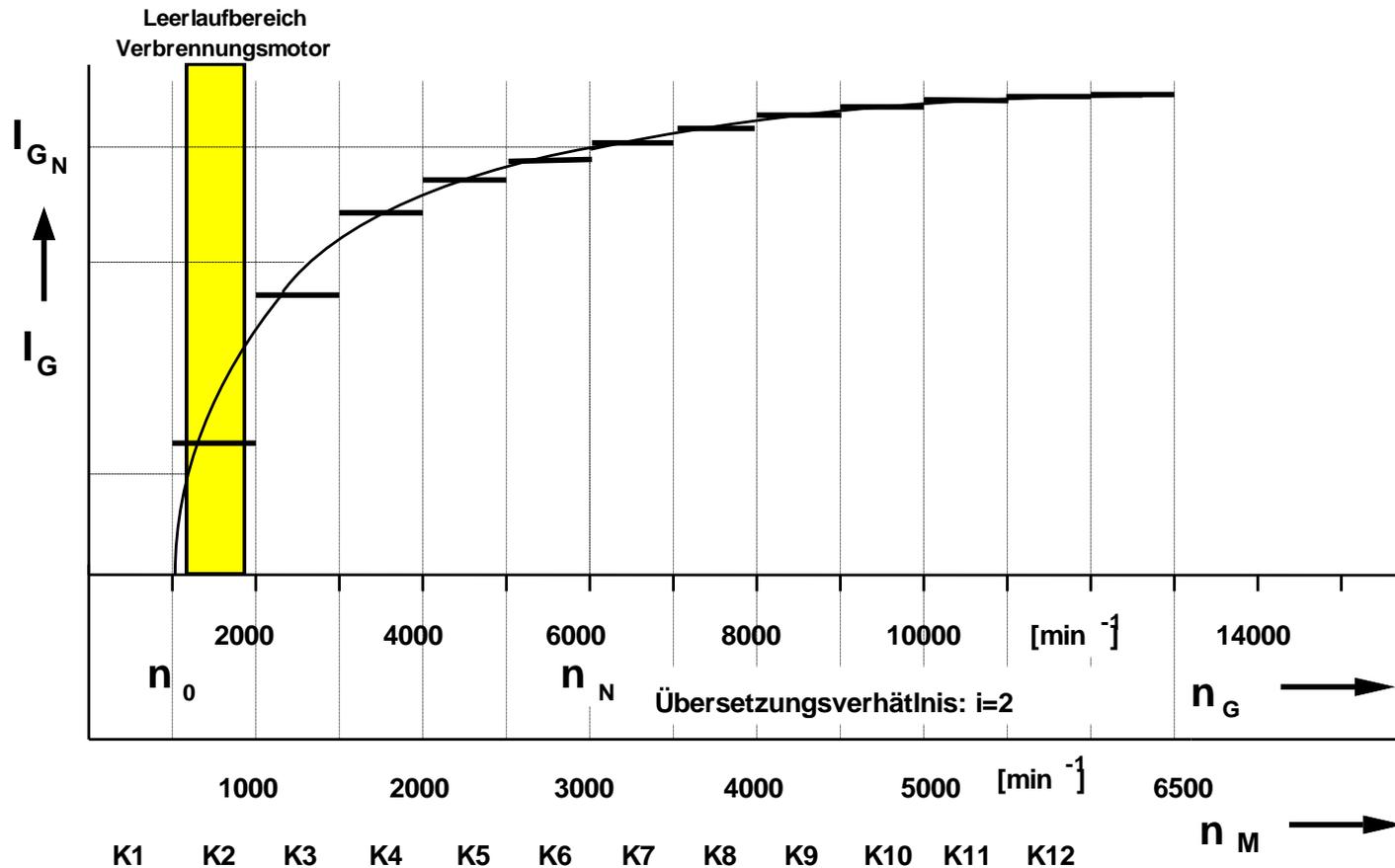
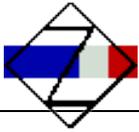
##### 1.3.2.2 Weitere Bussysteme



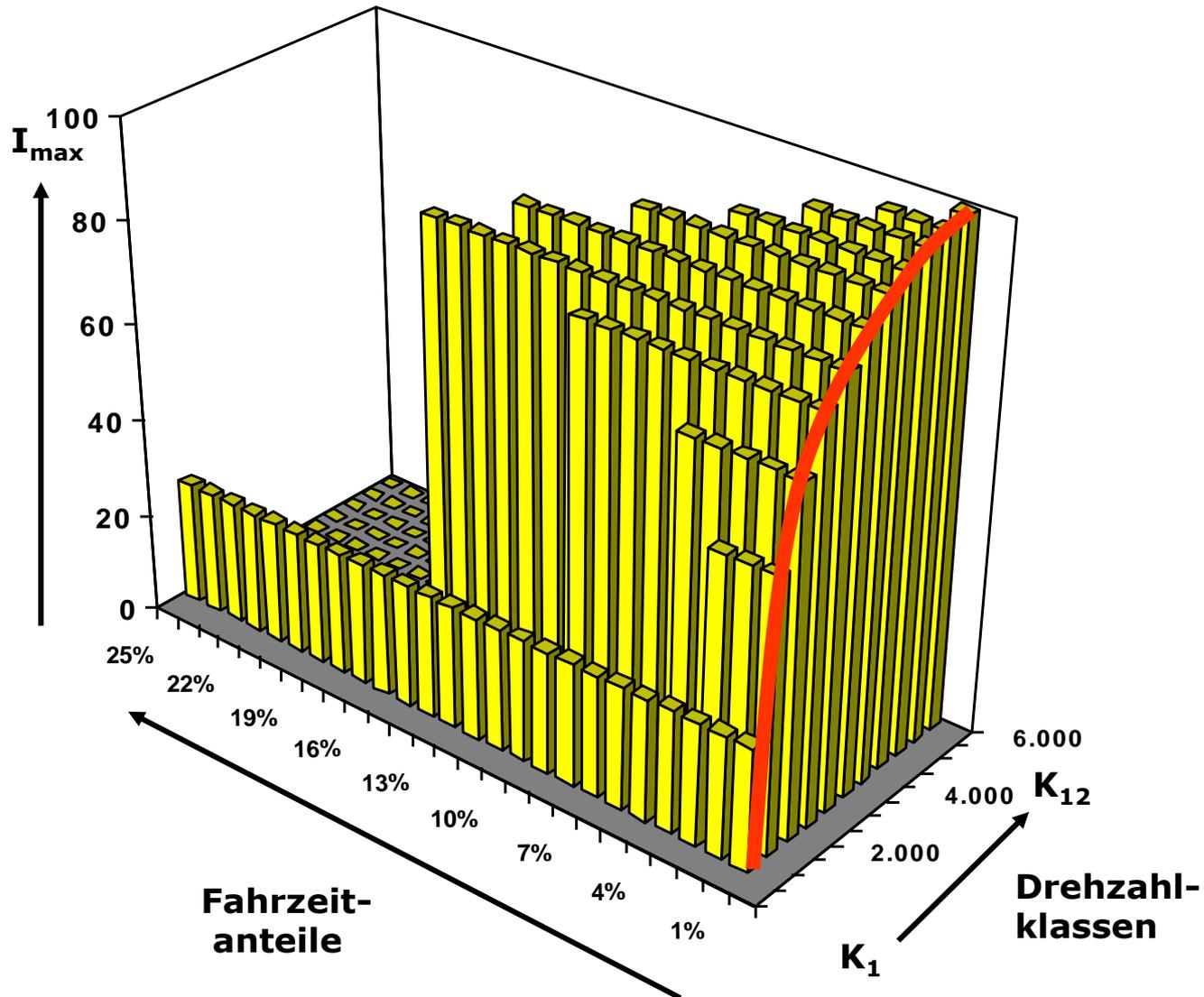
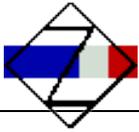
**Klassenfahrzeitdauer (absolut)/Klassenhäufigkeit (relativ)**



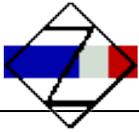
**Klassenfahrzeitdauer (absolut)/Klassenhäufigkeit (relativ)**



**Strom-Drehzahl-Kennlinien eines Drehstromgenerators (für  $U_G = \text{konst.}$ )  
normiert auf Motordrehzahlen und gemittelt in jeder Drehzahlklasse**



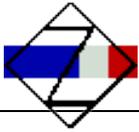
Generator-Gesamtelektrizitätsmenge



Ermitteln der Generatorelektrizitätsmenge:

1. Schritt – Bilden von Motordrehzahlklassen und Summieren der während der Gesamtfahrzeit (Fahrzyklus) in den jeweiligen Drehzahlklassen verbrachten Zeitanteile → **Klassenzeitdauer** bzw. **Klassenhäufigkeit**.
2. Schritt – Normieren der Generatorkennlinie auf Motordrehzahlklassen und Bilden eines gemittelten maximalen Generatorstromes für jede Motordrehzahlklasse.
3. Schritt – Kombination Klassenzeitdauer (Fahrzeitanteile) mit normierter Generatorkennlinie → **Teilelektrizitätsmengen**.
4. Schritt – Summieren aller Teilelektrizitätsmengen zur Gesamtelektrizitätsmenge, die vom Generator bei Bedarf im Verlauf der Gesamtfahrzeit abgegeben werden könnte.

mit  $I_{Gk}$  = gemittelter Generatorstrom in der Drehzahlklasse  
 $t_k$  = Fahrzeitanteil



## 1 Bordnetz

### 1.1 Schaltzeichen und Schaltpläne

### 1.2 Leitungswiderstände

### 1.3 Bordnetzstrukturen

#### 1.3.1 Energiefluss/Leistungsverteilung

##### 1.3.1.1 Elektroenergiebilanz/Elektrizitätsmengenbilanz

- Grundlagen
- Ermittlung der Verbraucherelektrizitätsmenge
- Ermittlung der Generatorelektrizitätsmenge
- Überprüfung und Optimierung der Elektrizitätsmengenbilanz

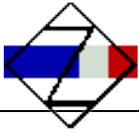
##### 1.3.1.2 Probleme des 14V-Niederspannungsbordnetzes

##### 1.3.1.3 Mehrspannungsbordnetze

#### 1.3.2 Informationsfluss/Bussysteme

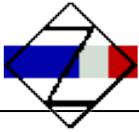
##### 1.3.2.1 Controller Area Network (CAN)

##### 1.3.2.2 Weitere Bussysteme



**Generatorgröße so wählen, dass**

$$Q_G \approx 1,1 \cdot Q_V$$



## 1 Bordnetz

### 1.1 Schaltzeichen und Schaltpläne

### 1.2 Leitungswiderstände

### 1.3 Bordnetzstrukturen

#### 1.3.1 Energiefluss/Leistungsverteilung

##### 1.3.1.1 Elektroenergiebilanz/Elektrizitätsmengenbilanz

- Grundlagen
- Ermittlung der Verbraucherelektrizitätsmenge
- Ermittlung der Generatorelektrizitätsmenge
- Überprüfung und Optimierung der Elektrizitätsmengenbilanz

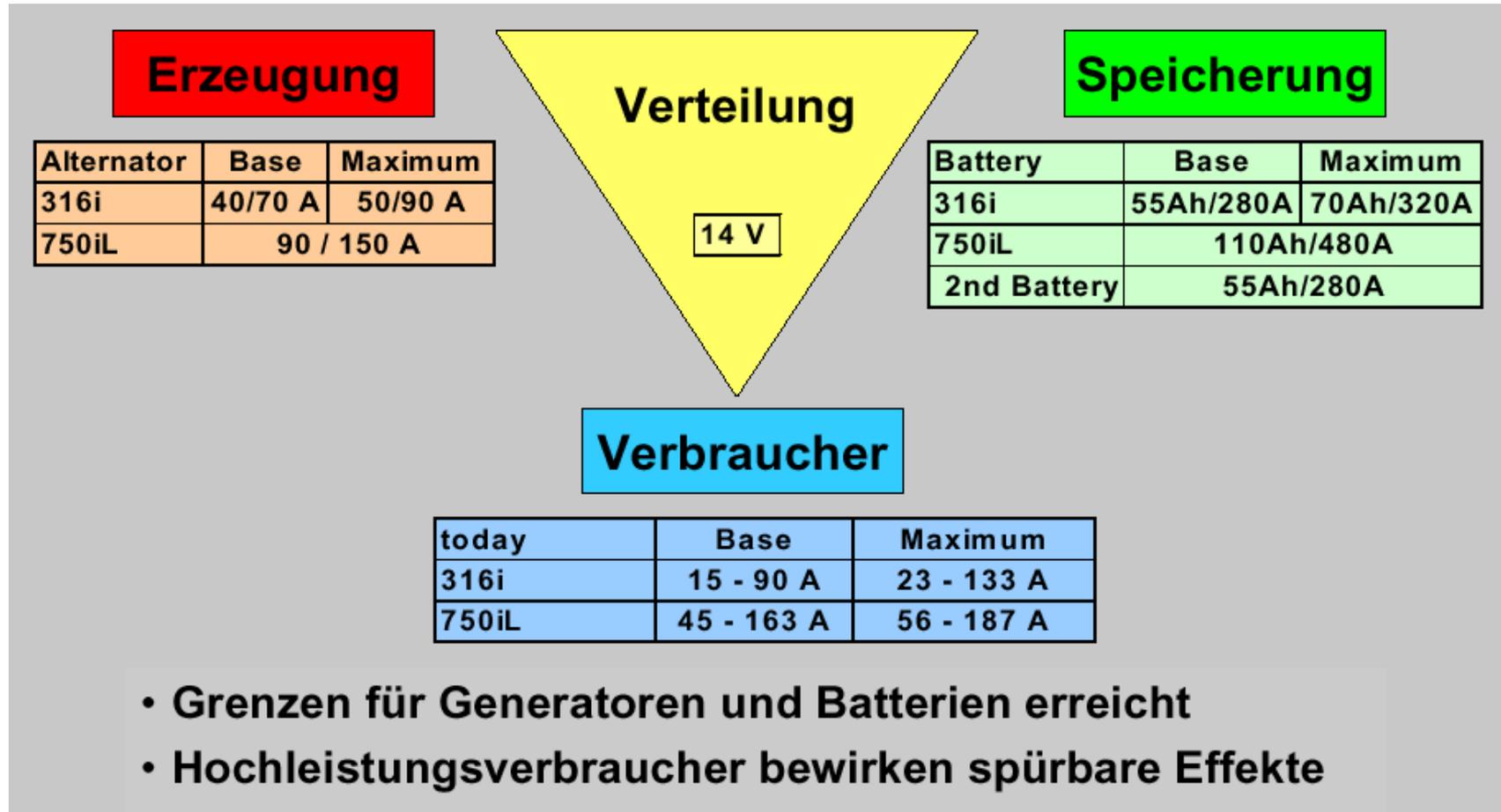
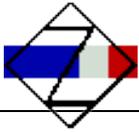
##### 1.3.1.2 Probleme des 14V-Niederspannungsbordnetzes

##### 1.3.1.3 Mehrspannungsbordnetze

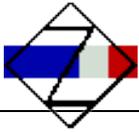
#### 1.3.2 Informationsfluss/Bussysteme

##### 1.3.2.1 Controller Area Network (CAN)

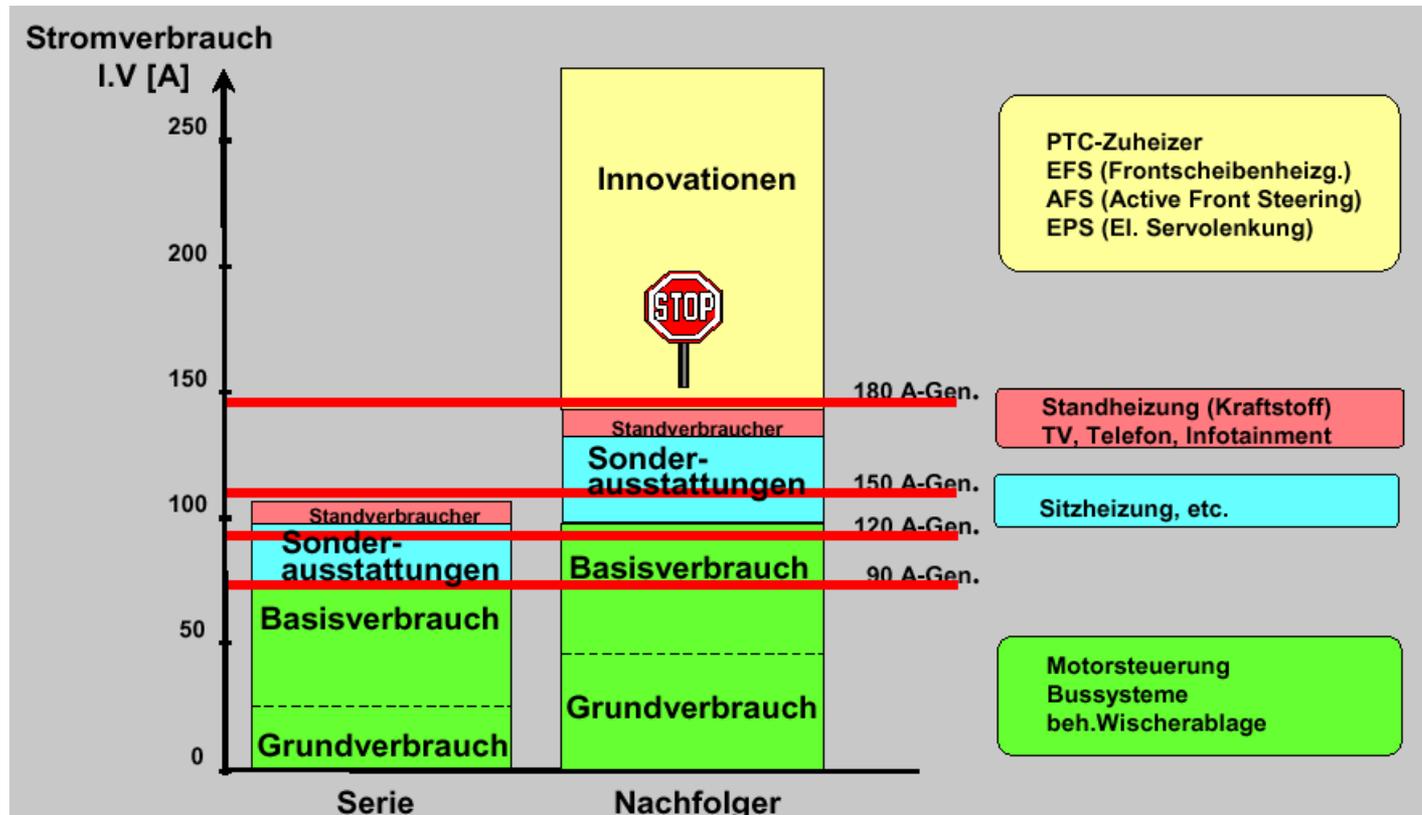
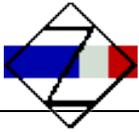
##### 1.3.2.2 Weitere Bussysteme



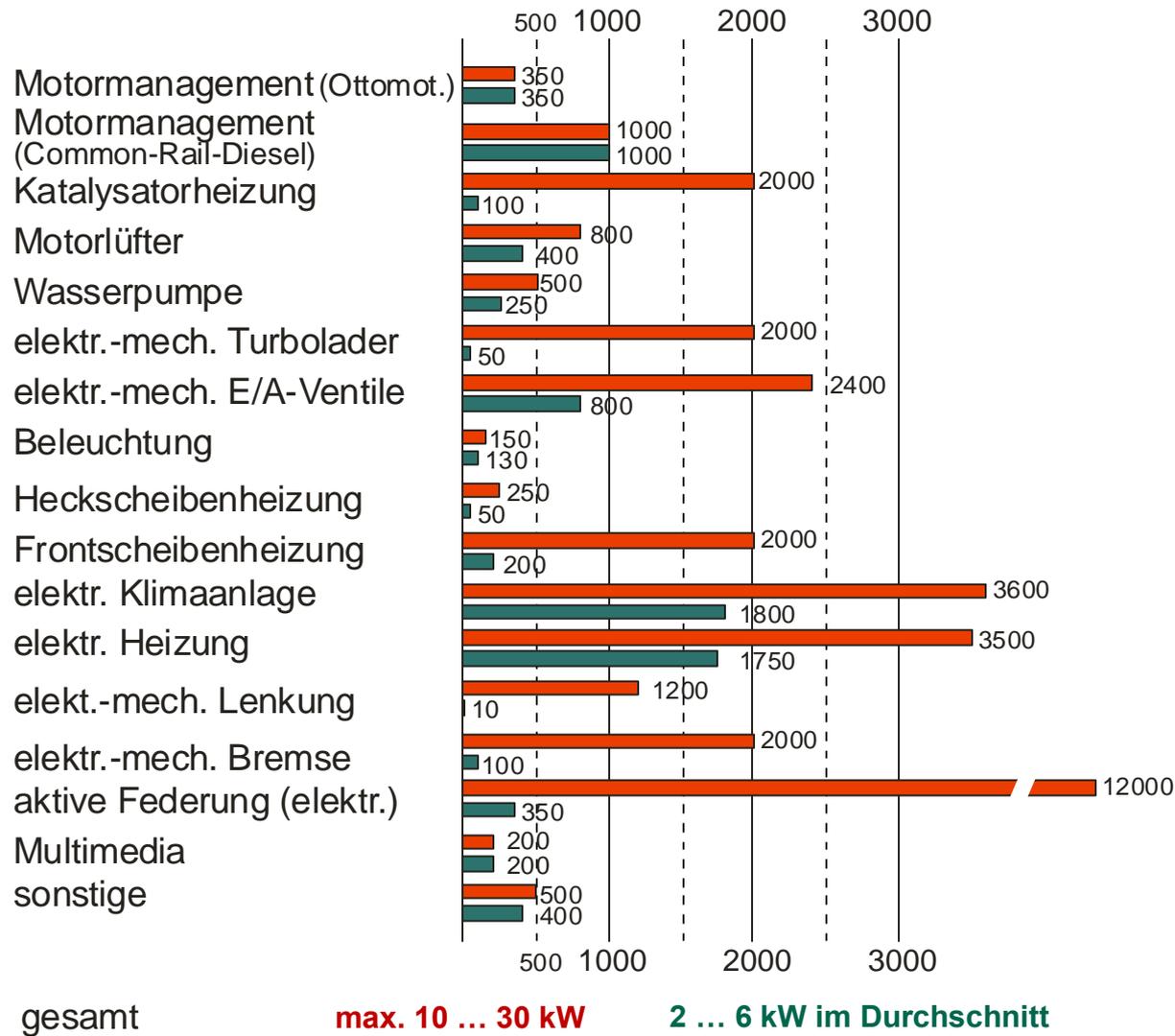
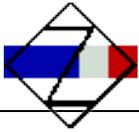
### Stromstärken und Elektrizitätsmengen im heutigen 14 V Bordnetz



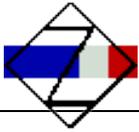
**Drehstromgenerator  
150 A,  
flüssigkeitsgekühlt**



## Anforderungen an die Stromversorgung im Kraftfahrzeug



**Elektrische Verbraucher im Kfz (heute ... künftig ?)**



## 1 Bordnetz

### 1.1 Schaltzeichen und Schaltpläne

### 1.2 Leitungswiderstände

### 1.3 Bordnetzstrukturen

#### 1.3.1 Energiefluss/Leistungsverteilung

##### 1.3.1.1 Elektroenergiebilanz/Elektrizitätsmengenbilanz

- Grundlagen
- Ermittlung der Verbraucherelektrizitätsmenge
- Ermittlung der Generatorelektrizitätsmenge
- Überprüfung und Optimierung der Elektrizitätsmengenbilanz

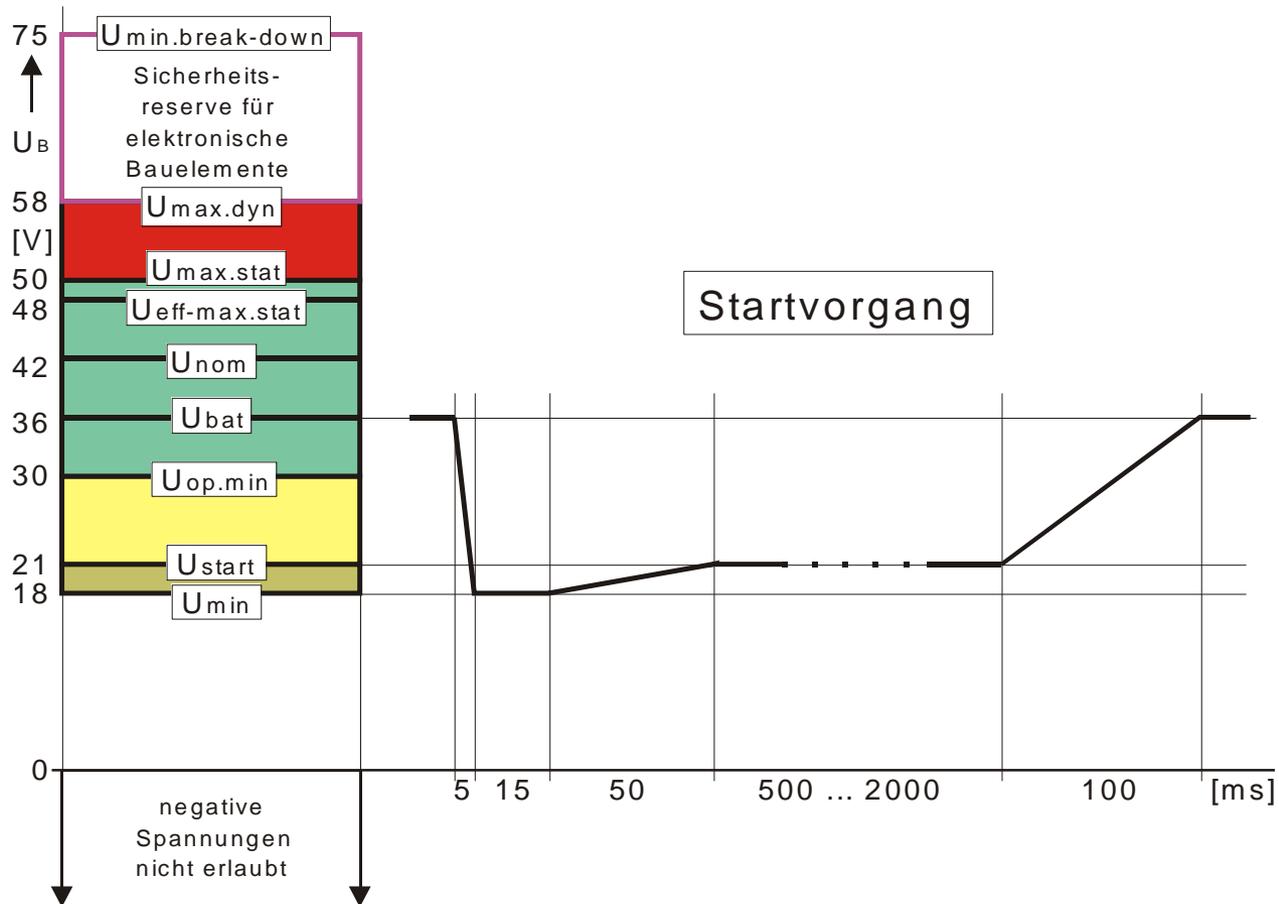
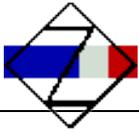
##### 1.3.1.2 Probleme des 14V-Niederspannungsbordnetzes

##### 1.3.1.3 Mehrspannungsbordnetze

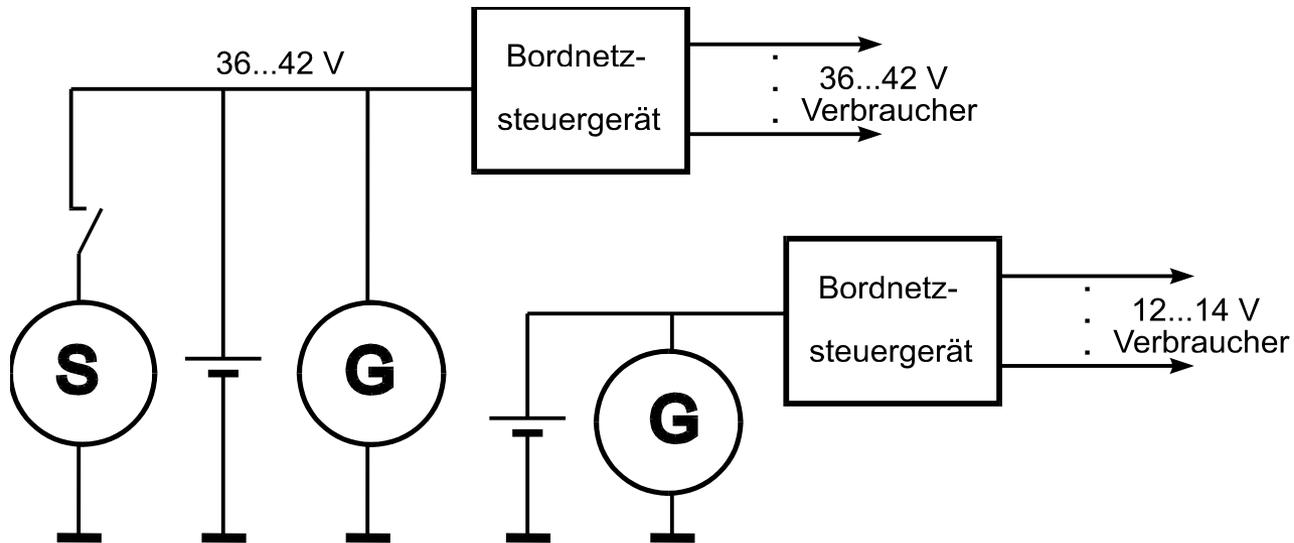
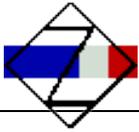
#### 1.3.2 Informationsfluss/Bussysteme

##### 1.3.2.1 Controller Area Network (CAN)

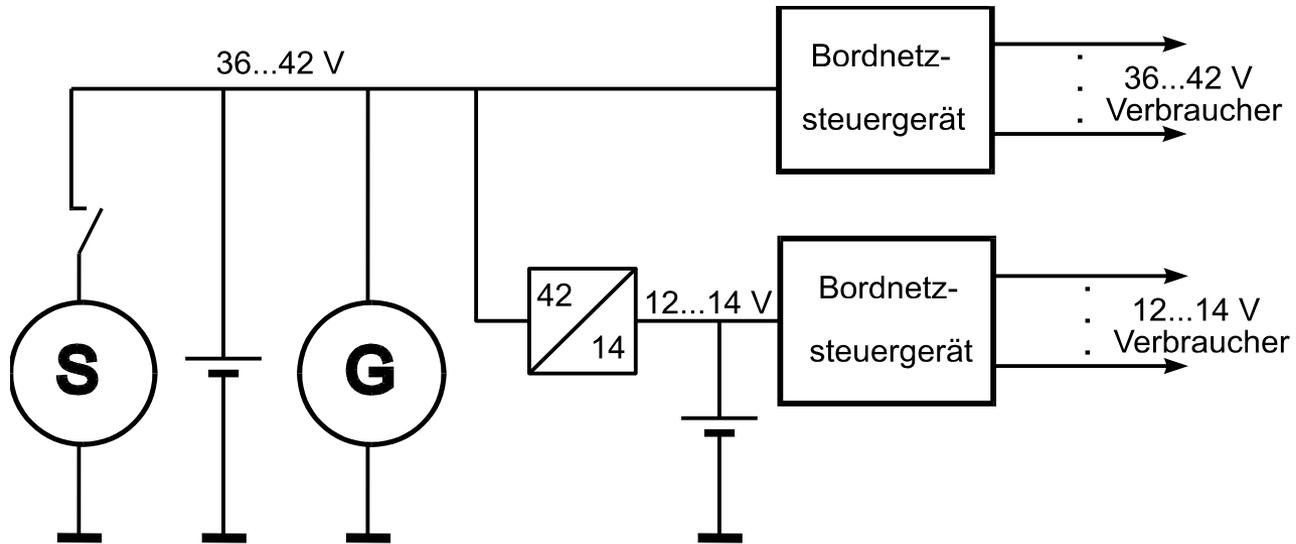
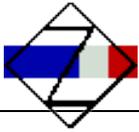
##### 1.3.2.2 Weitere Bussysteme



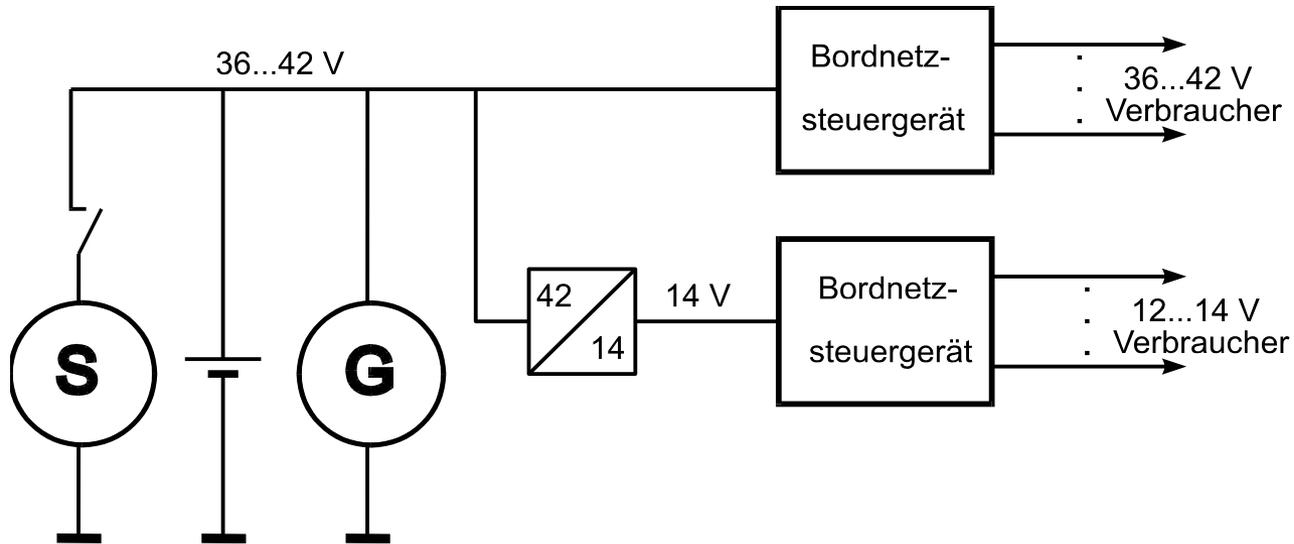
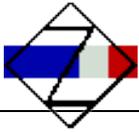
**Bordnetzspannung 42 V** (Entwurf Normung vom 31.1.2000)



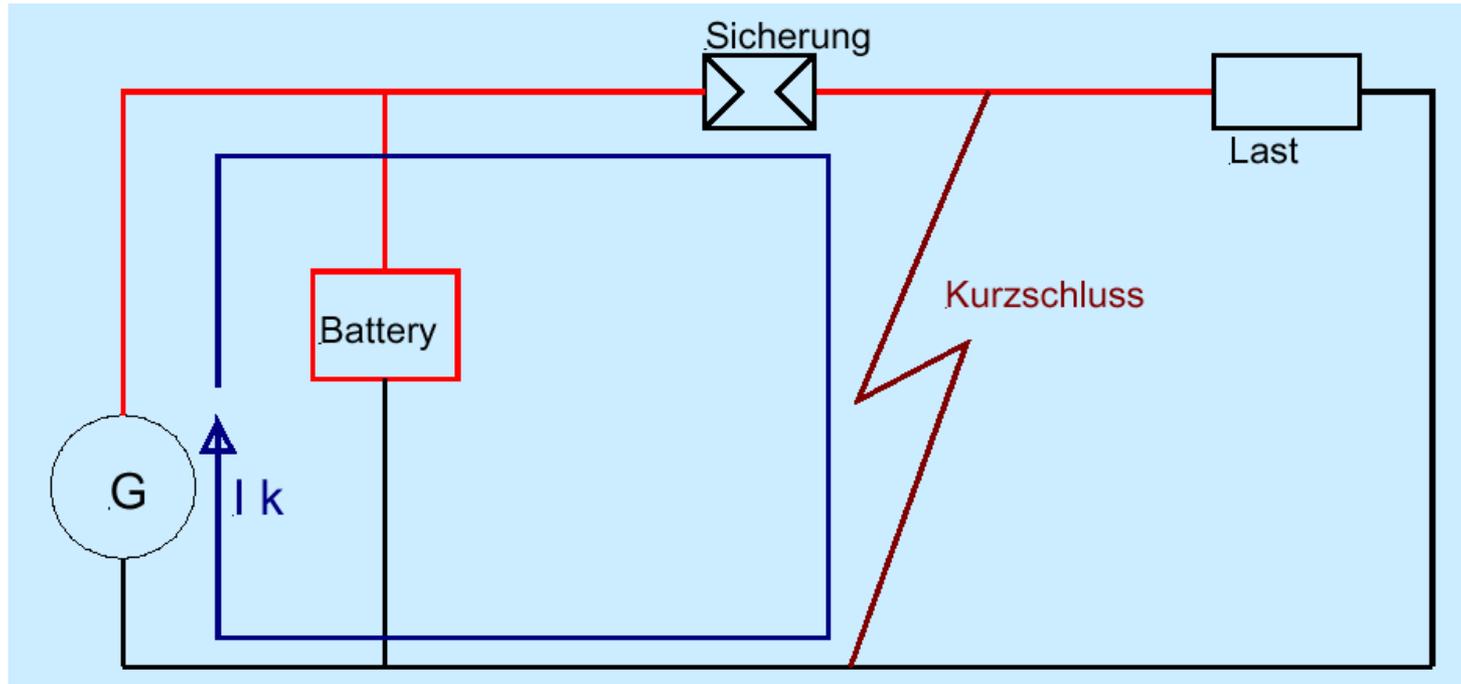
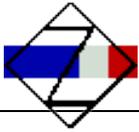
**Struktur des Elektroenergiesystems mit 42 V Bordnetz (Variante 1)**



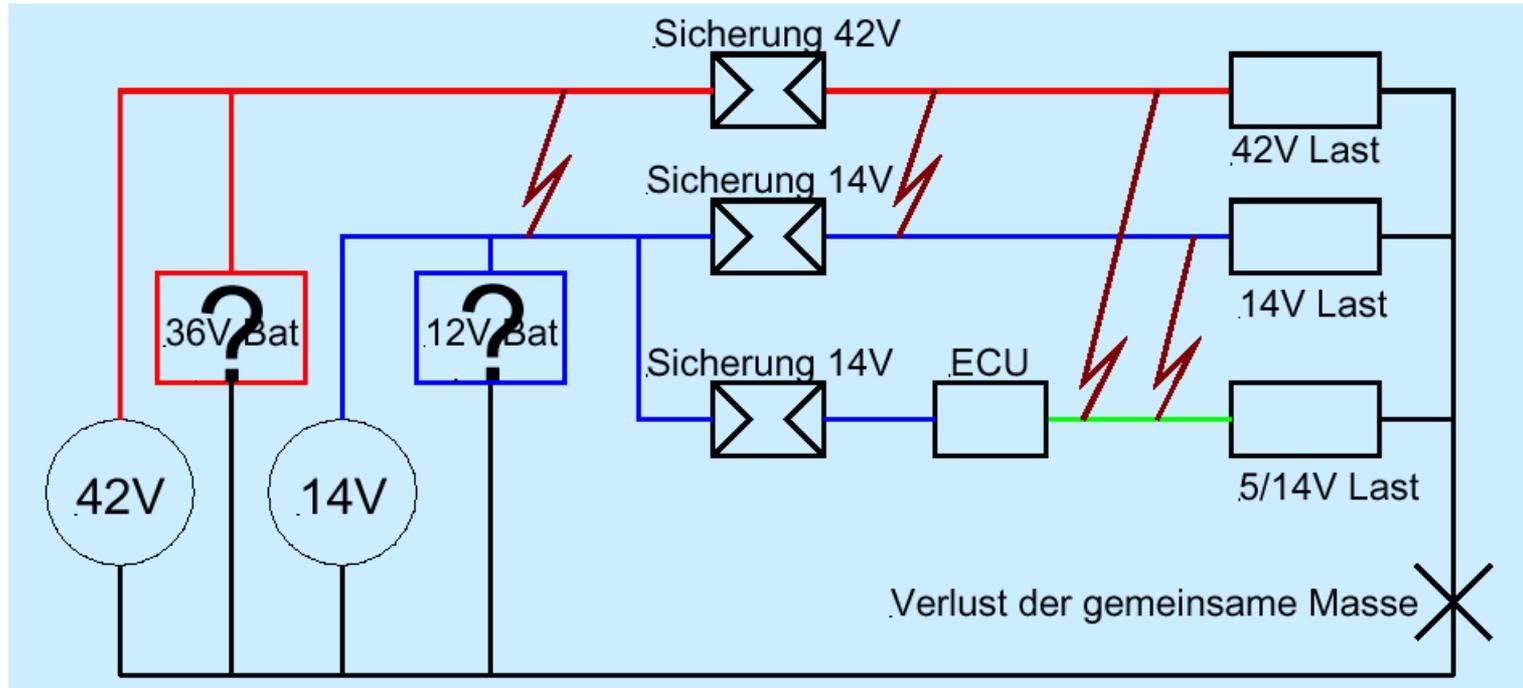
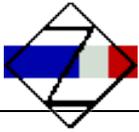
**Struktur des Elektroenergiesystems mit 42 V Bordnetz (Variante 2)**



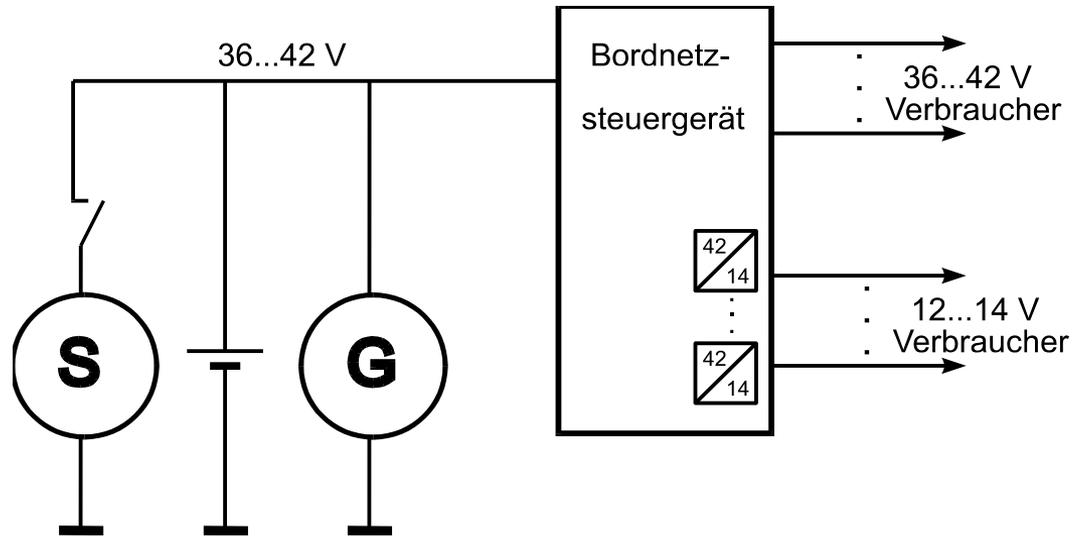
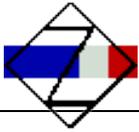
**Struktur des Elektroenergiesystems mit 42 V Bordnetz (Variante 3)**



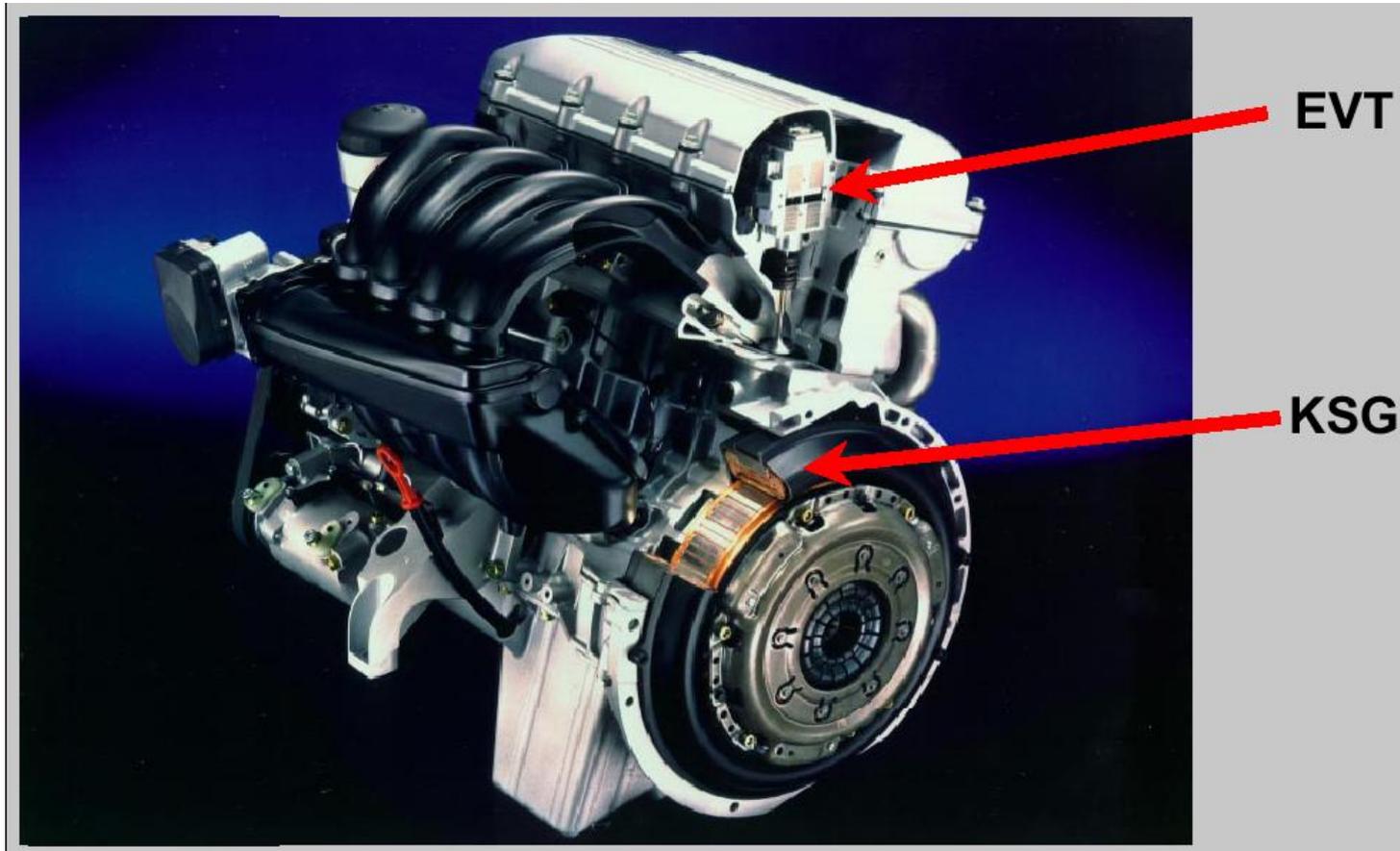
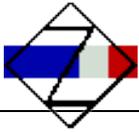
### Fehlermöglichkeit durch Kurzschluss im Einspannungsbordnetz



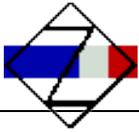
### Fehlermöglichkeiten durch Kurzschlüsse im Mehrspannungsbordnetz



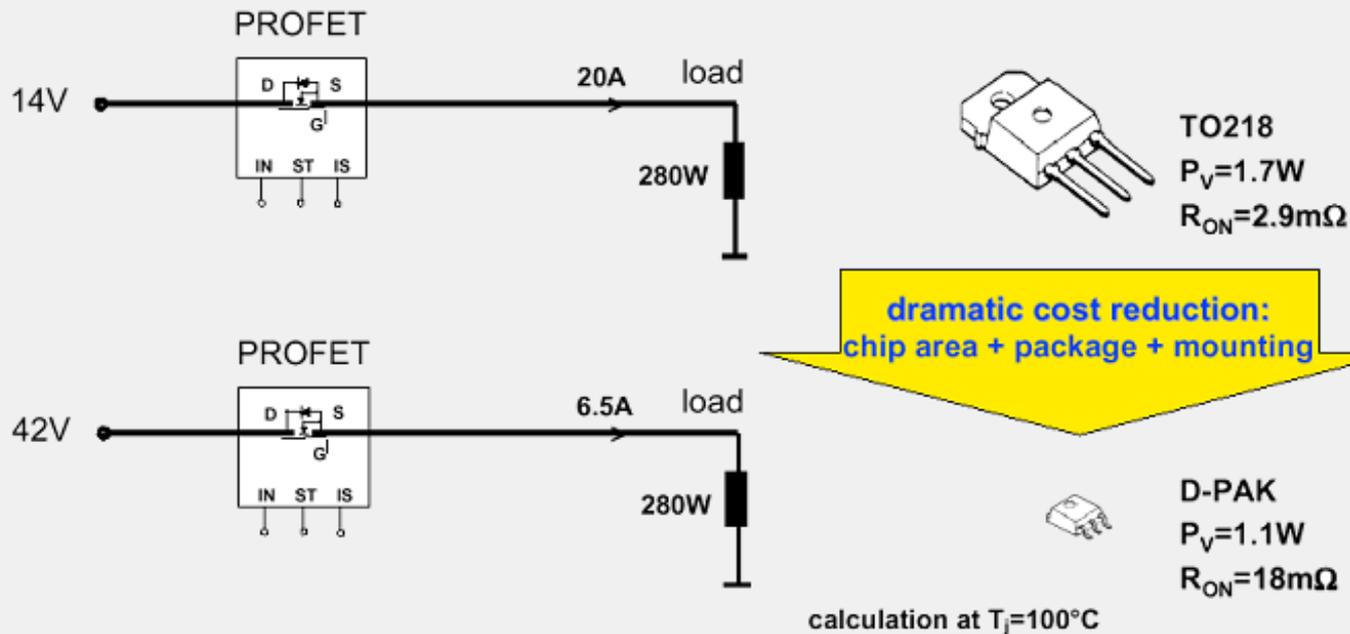
**Struktur des Elektroenergiesystems mit 42 V Bordnetz (Variante 4)**



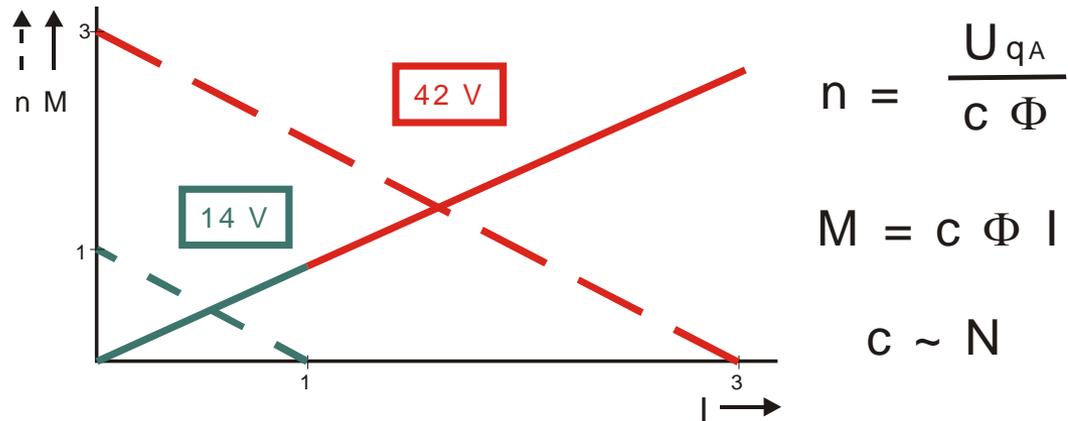
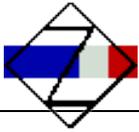
**Versuchsmotor mit Komponenten des 42 V Bordnetzes**  
**Kurbelwellen-Starter-Generator (KSG)**  
**Elektromagnetischer Ventiltrieb (EVT)**



Example: 280W heater at 14V or 42V



Systemvorteile beim Übergang von 14 V auf 42 V Bordnetzspannung

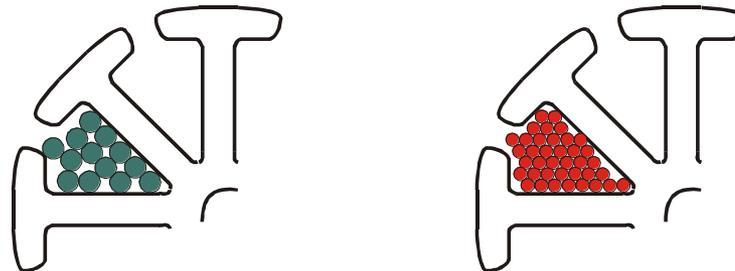


bei unverändertem Magnetkreis:

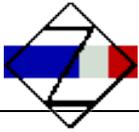
$$N_{42} = 3 N_{14} \rightarrow U_{qA42} = 3 U_{qA14} \rightarrow n_{42} = n_{14}$$

$$\text{und } I_{42} = \frac{1}{3} I_{14} \rightarrow M_{42} = M_{14}$$

$\curvearrowright A_{q42} = \frac{1}{3} A_{q14}$  d.h. Kupfervolumen bleibt gleich

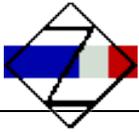


**Umstellung von 14 V auf 42 V bei Kleinmotoren**



### **Probleme bei der Einführung des 42 V Bordnetzes:**

- Doppelspannungssystem → mehr Leitungen und Steckverbinder → höhere Kosten**
  - Parallelität der Doppelspannung → größere Risiken bei Kurzschlüssen und Werkstattarbeiten**
  - Technische Probleme durch höhere Spannung bei (einfachen) Elektromotoren (mechan. Kommutierung) und Glühlampen (Lebensdauer)**
- 42 V Bordnetz steht seit 2000 vor der Einführung, ist aber bis heute noch in keinem Fahrzeug zu finden.**



## Hybridfahrzeug – TOYOTA Prius II

Antrieb:

Benzinmotor 1497 cm<sup>3</sup>, 57 kW (78 PS), 115 Nm

Elektromotor 50 kW (68 PS), 400 Nm

Gesamt: 82 kW (113 PS), 478 Nm,

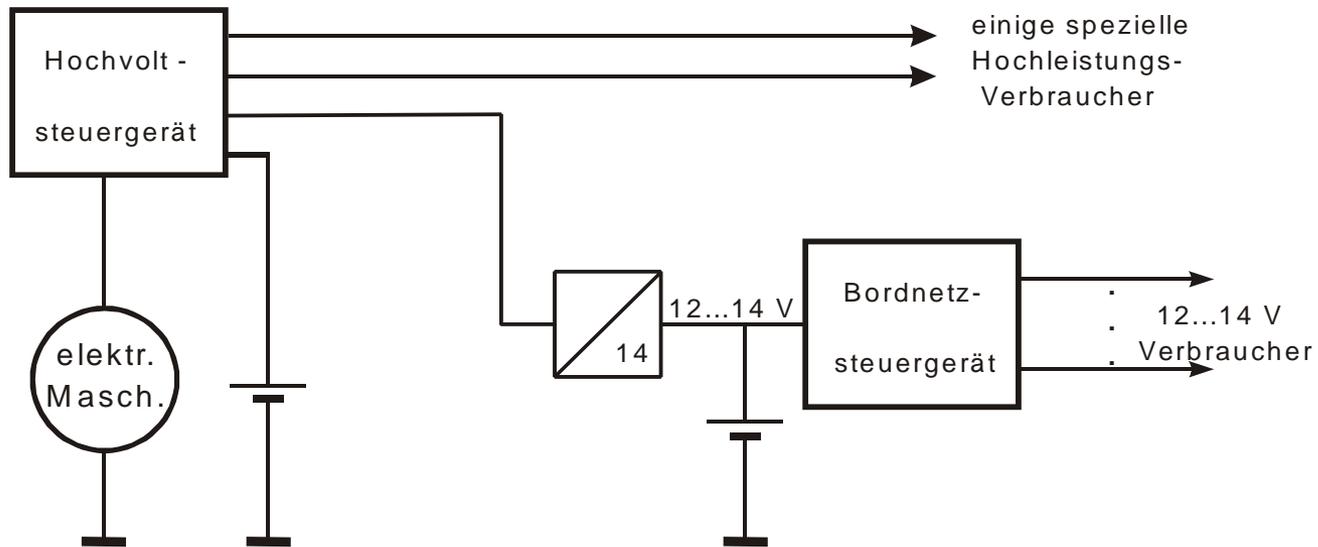
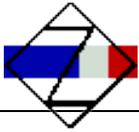
von 0 auf 100 km/h in 10,8 s,  $v_{\max}$  170 km/h

Verbrauch innerorts: 5,0 l/100 km,

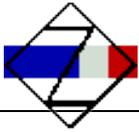
außerorts: 4,2 l/100 km,

Durchschnittsverbrauch: 4,3 l/100 km





**Mögliche Struktur des Elektroenergiesystems mit 14 V Bordnetz und Hochvolt-Stromversorgung für Hybridantrieb und spezielle Hochleistungsverbraucher**



Neue 4-Zylinder Motoren mit High Precision Injection im Magerbetrieb bzw. Common Rail der 3ten Generation

Schaltpunkt-anzeige

Bremsenergie-rück-gewinnung BER

Auto Start Stopp Funktion ASSF

Luftklappensteuerung

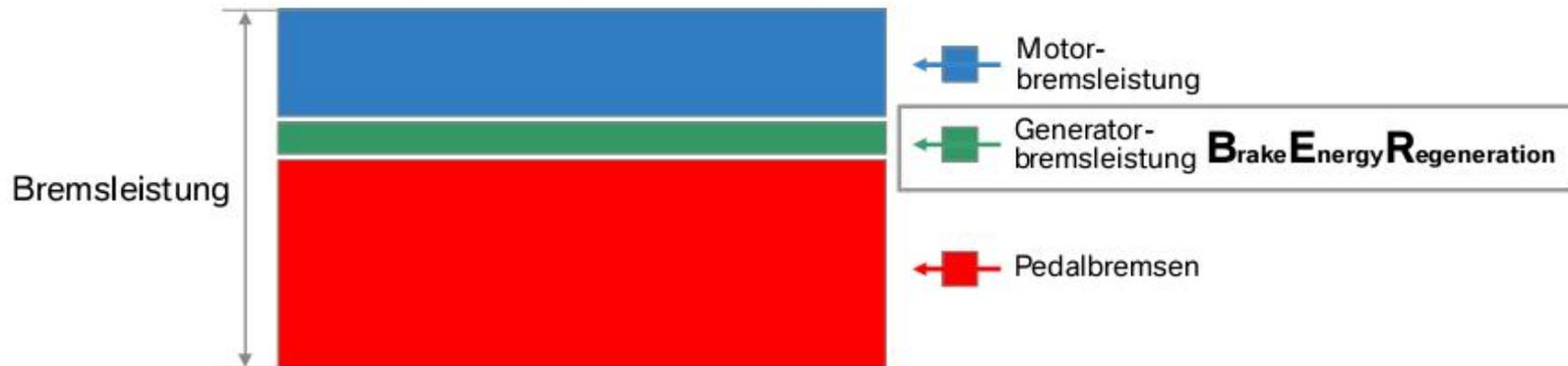
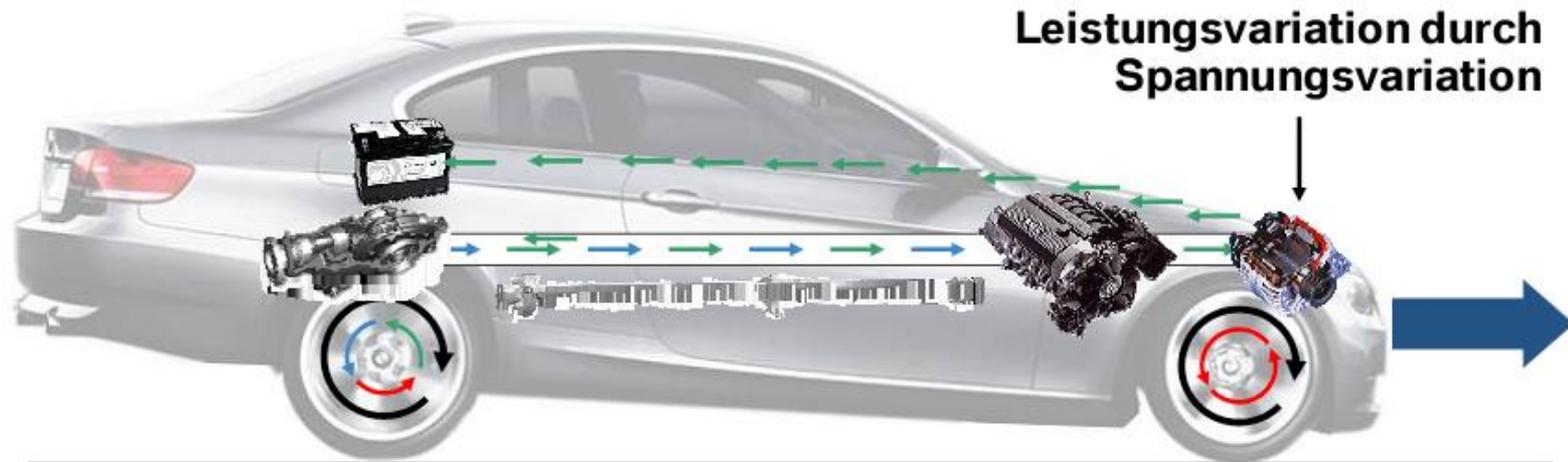
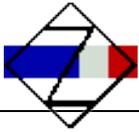
Electric Power Steering EPS

Rollwiderstands-Reduzierte Reifen

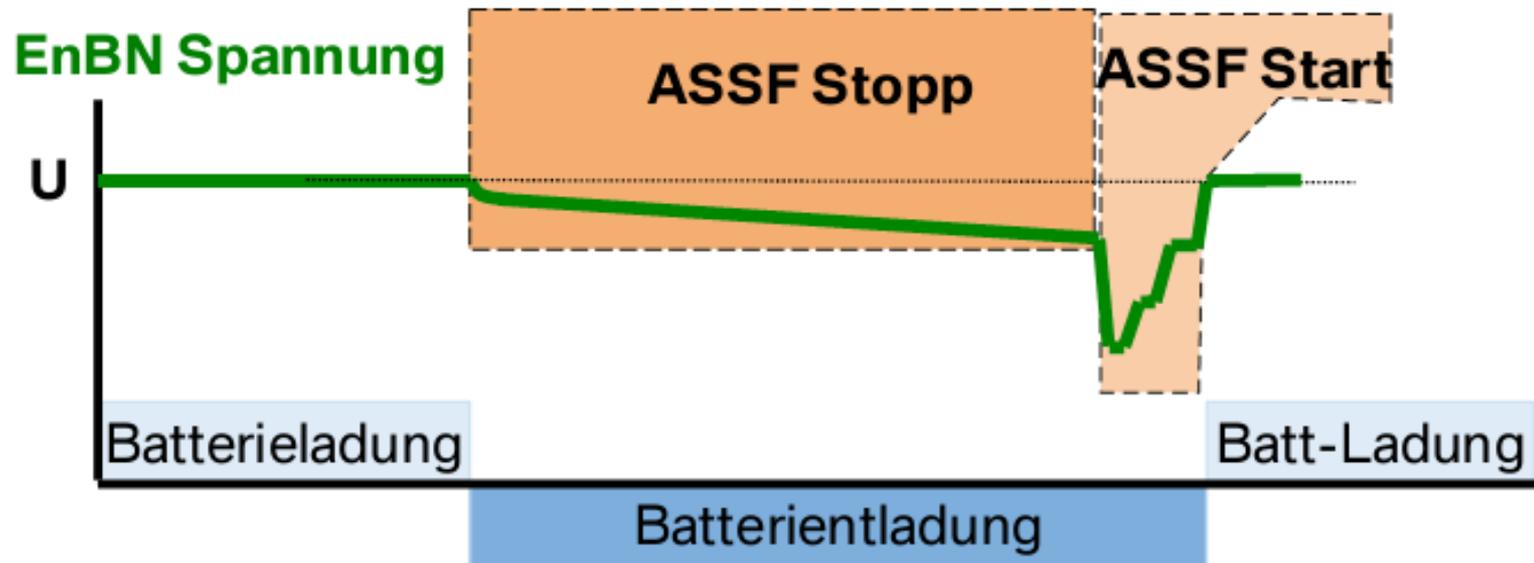
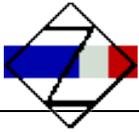
Efficient Dynamics High Precision Injection

MFP 4225

## BMW – Efficient Dynamics: Neuerungen im elektrischen Bordnetz

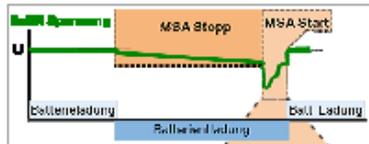
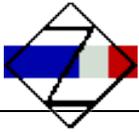


### Bremsenergieerückgewinnung (BER)



### Anforderungen an das Bordnetz durch Auto Start Stopp Funktion (ASSF):

1. Gewährleistung der ASSF-Verfügbarkeit auch bei erhöhtem Energie-durchsatz in Motor-Stopp-Phasen.
2. Verfügbarkeit der notwendigen und gewünschten Kundenfunktionen während des ASSF-Starts, d.h. höhere Anforderungen als beim Kaltstart.

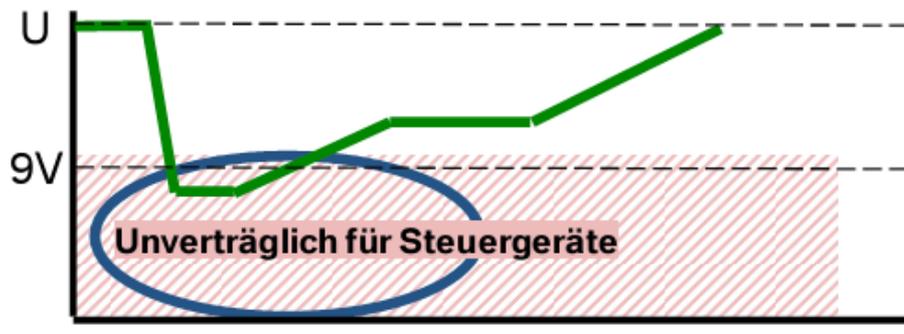


- **Einschränkung Kundenfunktion**
  - Audiunterbrechung
  - Bildschirmflackern
  - ...

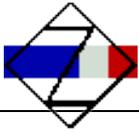
**ASSF Startimpuls**

**Kundenverträglichkeit  
sicherstellen!**

**Batteriespannung**



**Auswirkungen auf das Bordnetz**

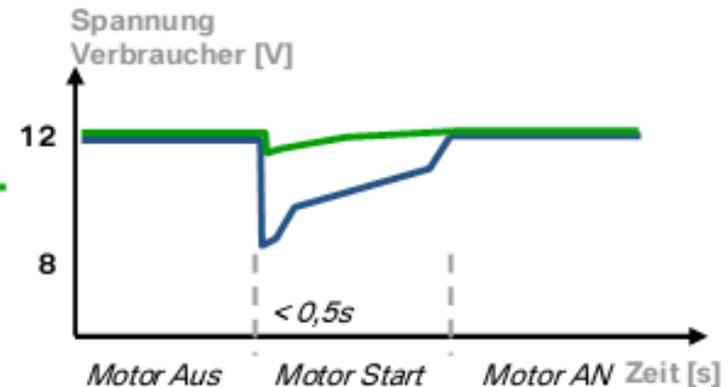
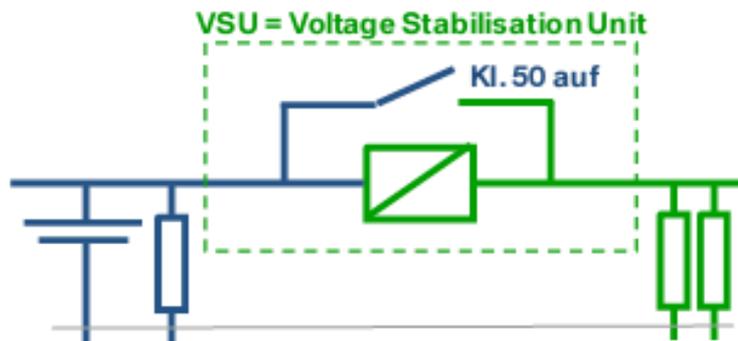


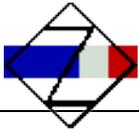
**Negative Auswirkungen des Motorstarts vermeiden entweder durch**

- **Befähigung der Steuergeräte, mit geringeren Versorgungsspannungen auszukommen (z.B. 8,5 V);**

**oder durch**

- **Vermeidung von größeren Spannungseinbrüchen an sensiblen Steuergeräten durch Spannungsstabilisierung.**





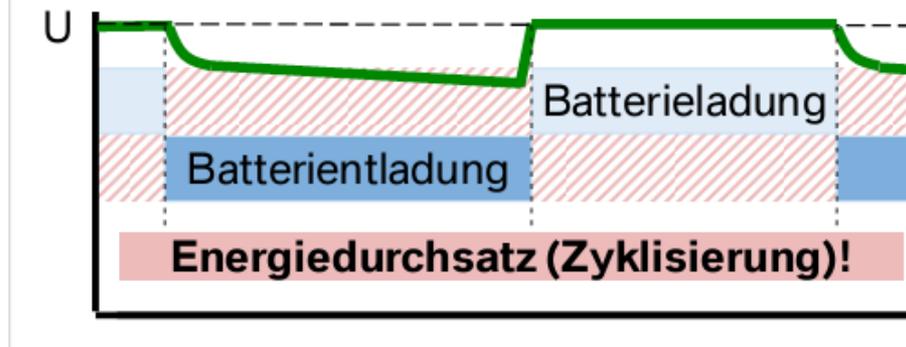
**Energiedurchsatz (Zyklisierung) reduziert die Lebensdauer (Leistungsfähigkeit) der Batterie:**

Vorzeitige Einschränkung der Batteriefunktionen.  
Vorzeitiger Ausfall der Batterie.

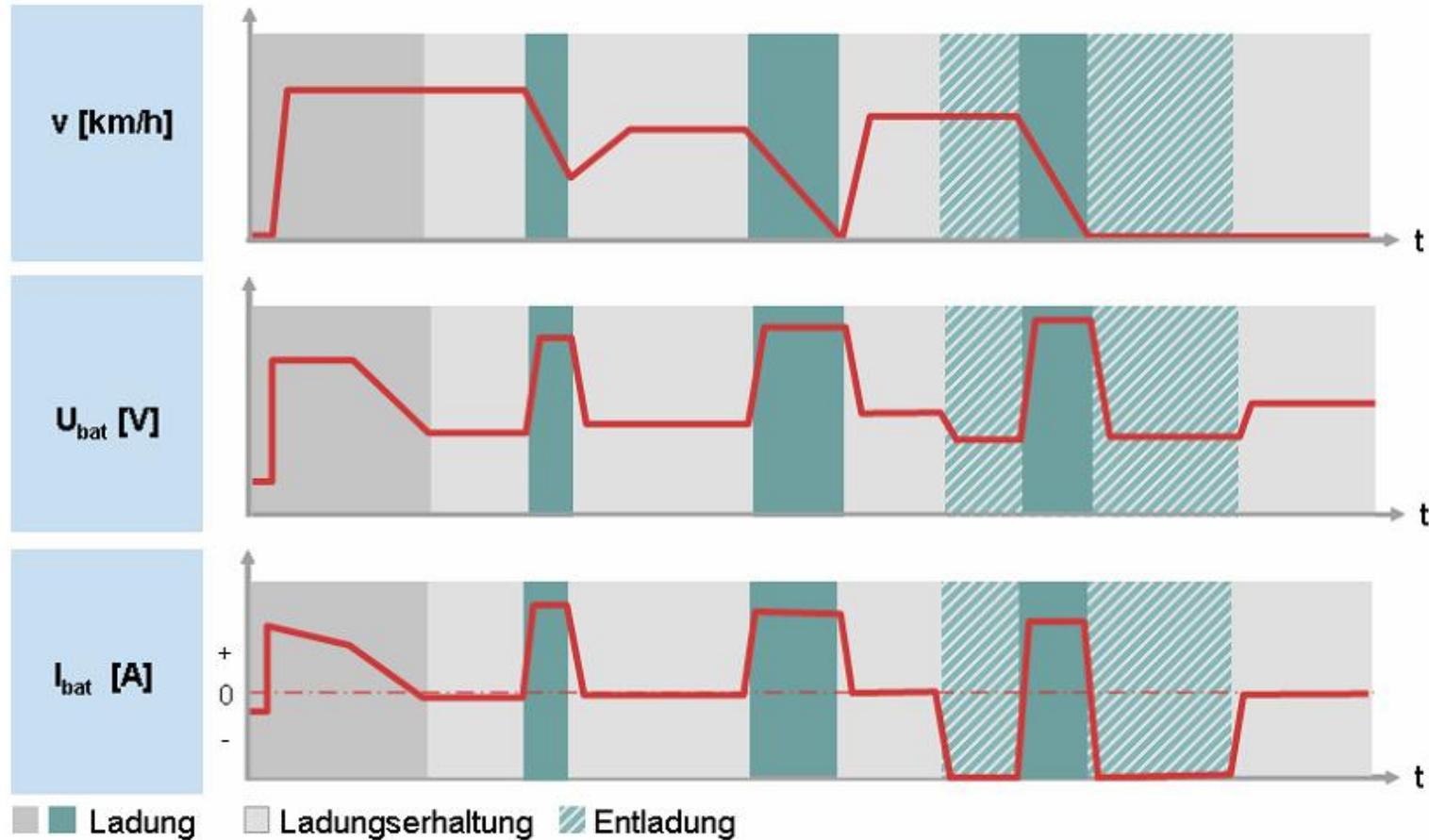
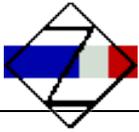
**Batterielebensdauer sicherstellen!**

**ASSF Stopp**

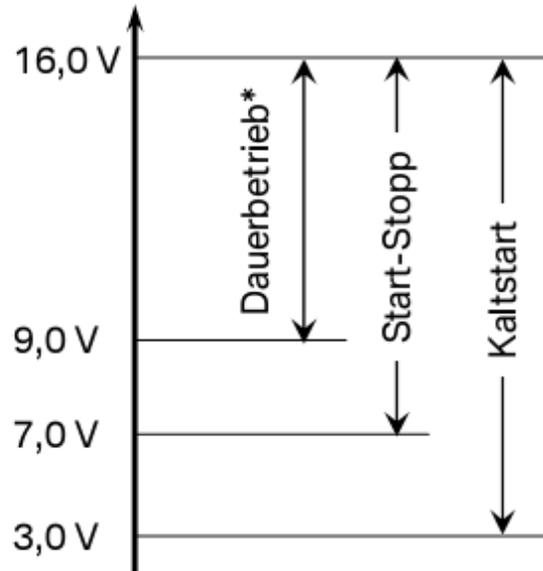
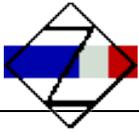
**Batteriespannung**



→ Einsatz zyklenfesterer Batterien, z. B. sog. Absorbent Glas Material (AGM) – Batterien.

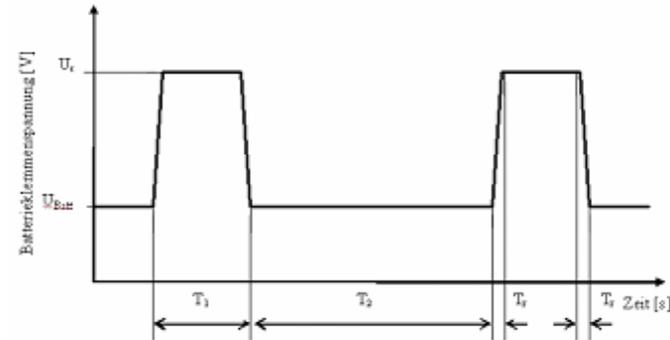


## Bremsenergieerückgewinnung (BER) - typische Spannungs- und Stromverläufe

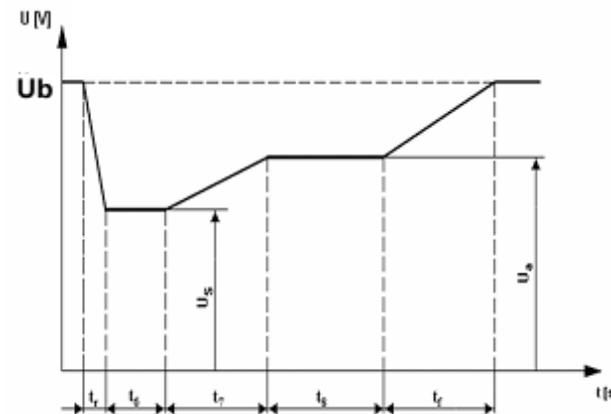


\*Leistungsreduzierung bei Lastverbrauchern

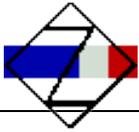
Vereinheitlichung der Spezifikation  
im 12-V-Bordnetz bei allen Herstellern  
Ist Basis für Industriebaukasten.



### Rekuperation im 12-V-Bordnetz



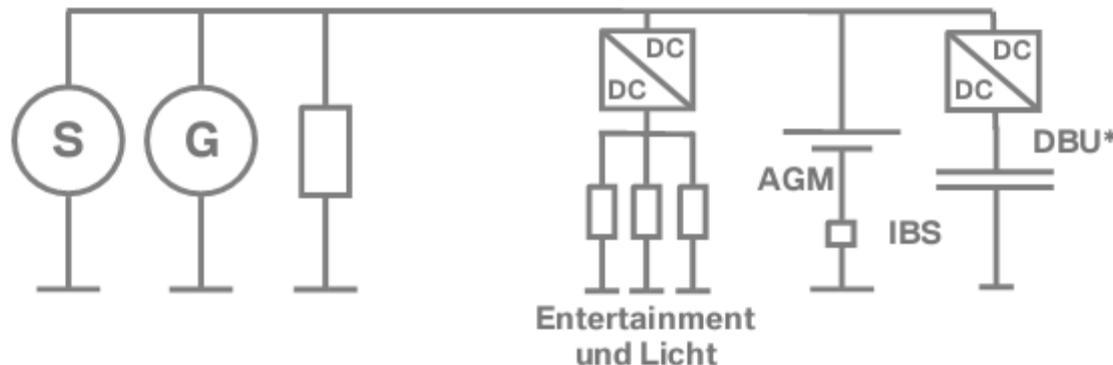
**Vorschlag BMW:**  
**Vereinheitlichung und Spezifizierung der Bereiche für die Bordspannung.**

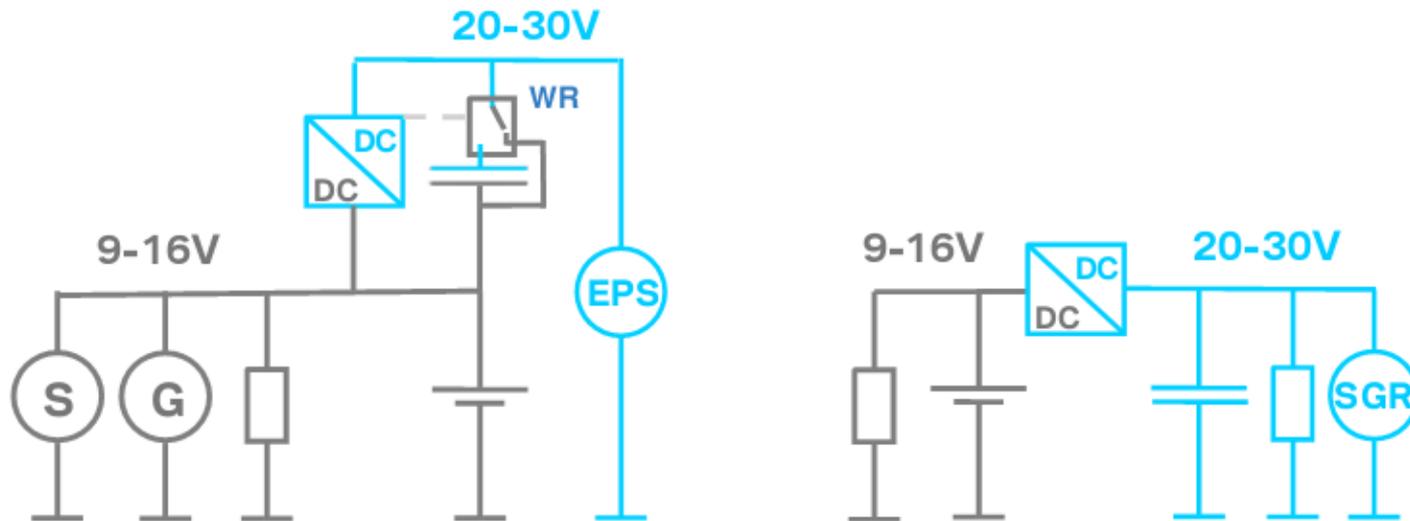
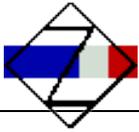


### Vorschlag BMW:

**Ausschöpfen und Erweitern des Funktionsbereiches für eine Bordnetzspannung zwischen 9 und 16 V durch folgende Maßnahmen:**

- **Stabilisierung des Motor-Start-Stopp-Spannungseinbruches durch zentrale Spannungswandler und dezentrale Stützung von Steuergeräten;**
- **Erkennen des Batteriezustandes durch flächendeckenden Einsatz des Batteriesensors IBS;**
- **Verbesserung der Batterielebensdauer durch zyklenfestere Batterien;**
- **Einsatz von Ultracaps zur weiteren Stabilisierung des Bordnetzes,**

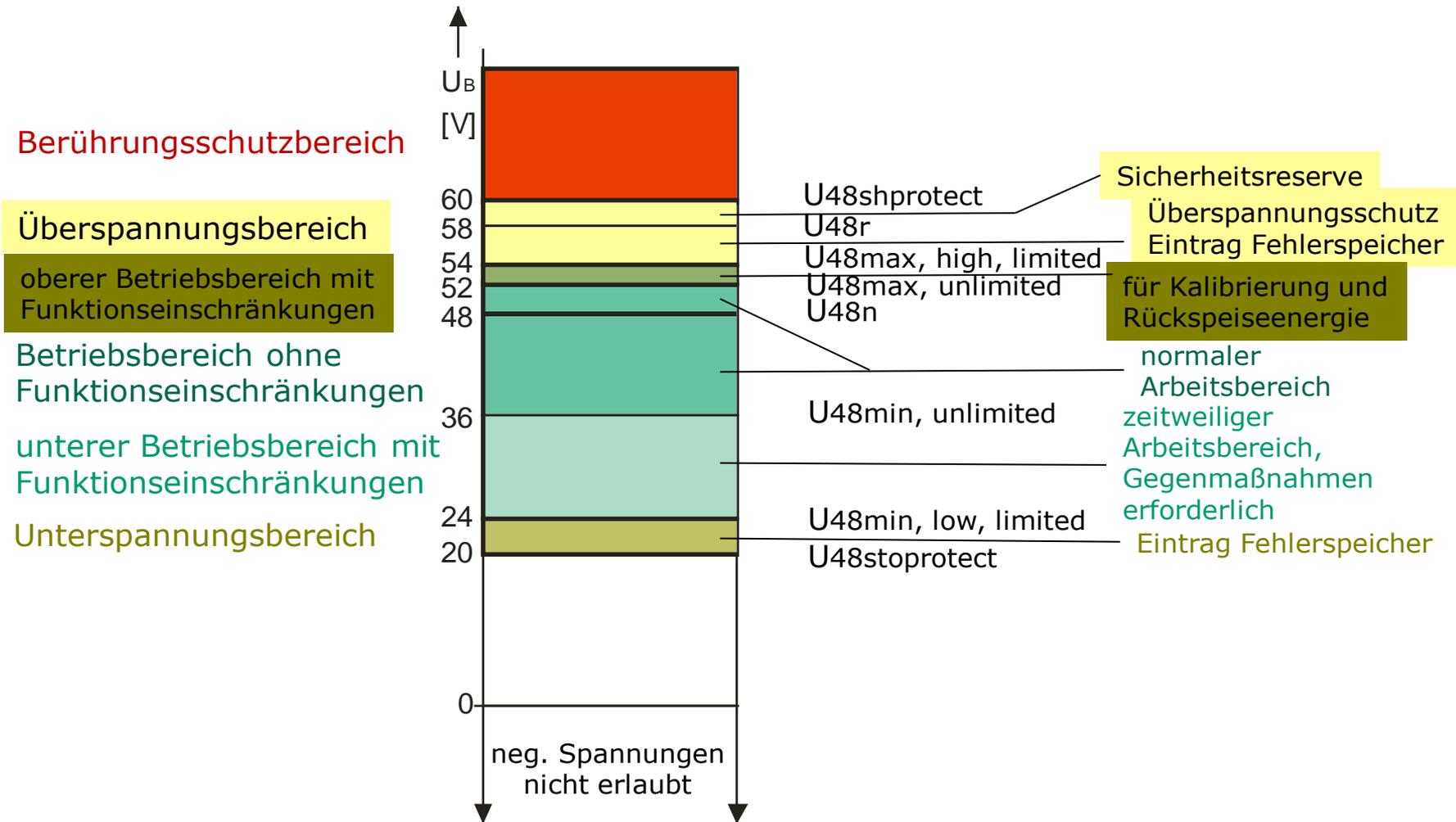
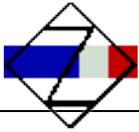




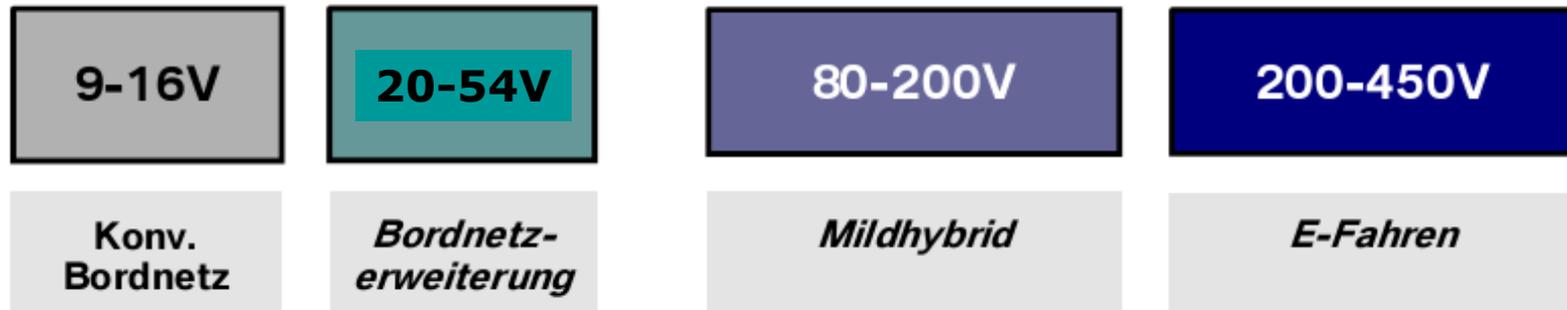
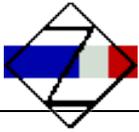
**Integration von Hochstromverbrauchern wie z. B. der elektrischen Aktivlenkung oder erweitertem riemengetriebenen Starter-Generator durch Erhöhung der Bordspannung in Teilbereichen des Bordnetzes auf 20 bis 30 V.**

**(Anmerkung: Warum nur auf 20 bis 30 V und nicht auf z.B. 42 V?**

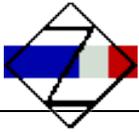
**Antwort: Um Synergieeffekte zu bestehenden LKW- und Bus-Bordnetzen zu erreichen.)**



**Bordnetzspannung 48 V** (Entwurf Audi, BMW, Daimler, Porsche, VW, VDA)



**Spannungsbereiche nach Anforderungen an das Bordnetz  
in den nächsten Jahren.**



**HV Kabel** außerhalb von Gehäusen sind orangefarben zu kennzeichnen (siehe ISO/DIS 23273-3 Teil 6.2; vgl. SAE J2578 Teil 4.4.1 und 4.7). Innerhalb von Gehäusen kann auf die Kennzeichnung verzichtet werden, wenn die **Gehäuse** mit dem Symbol s.o. gekennzeichnet sind.  
Für Schutzabdeckungen von Kabeln wird ebenfalls der gleiche Warnhinweis empfohlen.

#### **HV-Leitungssatz:**

Leitungsisolierung nach HV-Spezifikation

Leitung/Stecker Farbe Orange

Abgeschirmte Kabel an Masse angeschlossen

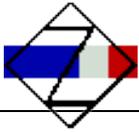
Schraub/Steck- Verbinder vormontiert

Beidseitiger Berührschutz an Steckverbindern

mit Fingerschutzkappe nach VDE 0110/VDE0627

Steck/Schraubverbinder verwechslungssicher codiert. Alle berührbaren Teile im verbautem Zustand isoliert und abgedeckt.

### **Maßnahmen beim Einsatz von Spannungen > 60 V**



## 1 Bordnetz

### 1.1 Schaltzeichen und Schaltpläne

### 1.2 Leitungswiderstände

### 1.3 Bordnetzstrukturen

#### 1.3.1 Energiefluss/Leistungsverteilung

##### 1.3.1.1 Elektroenergiebilanz/Elektrizitätsmengenbilanz

- Grundlagen
- Ermittlung der Verbraucherelektrizitätsmenge
- Ermittlung der Generatorelektrizitätsmenge
- Überprüfung und Optimierung der Elektrizitätsmengenbilanz

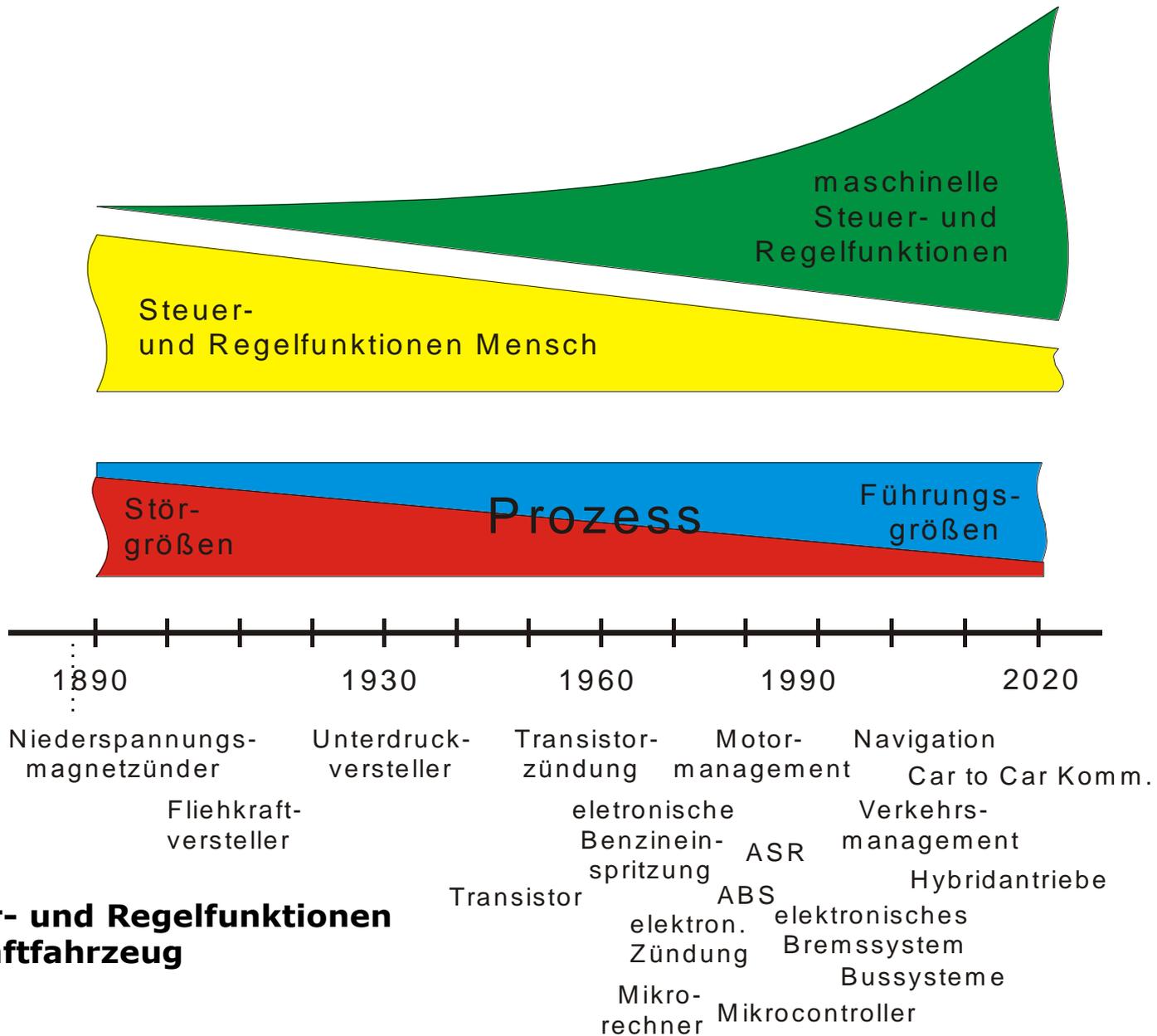
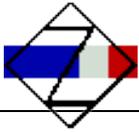
##### 1.3.1.2 Probleme des 14V-Niederspannungsbordnetzes

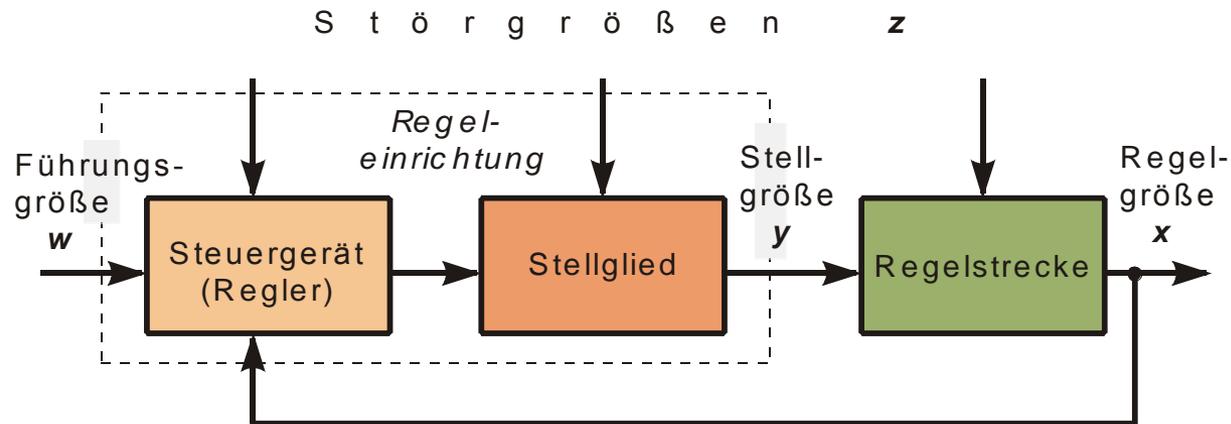
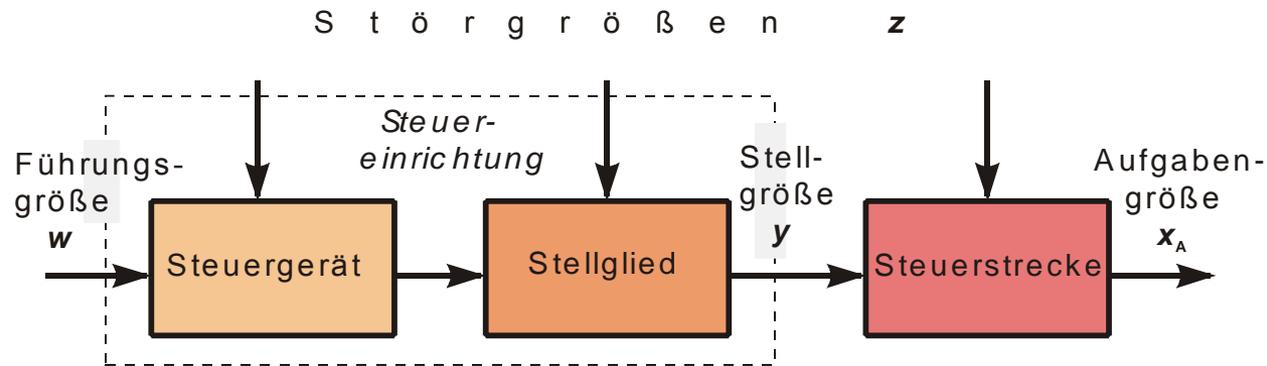
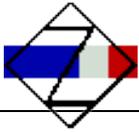
##### 1.3.1.3 Mehrspannungsbordnetze

#### 1.3.2 Informationsfluss/Bussysteme

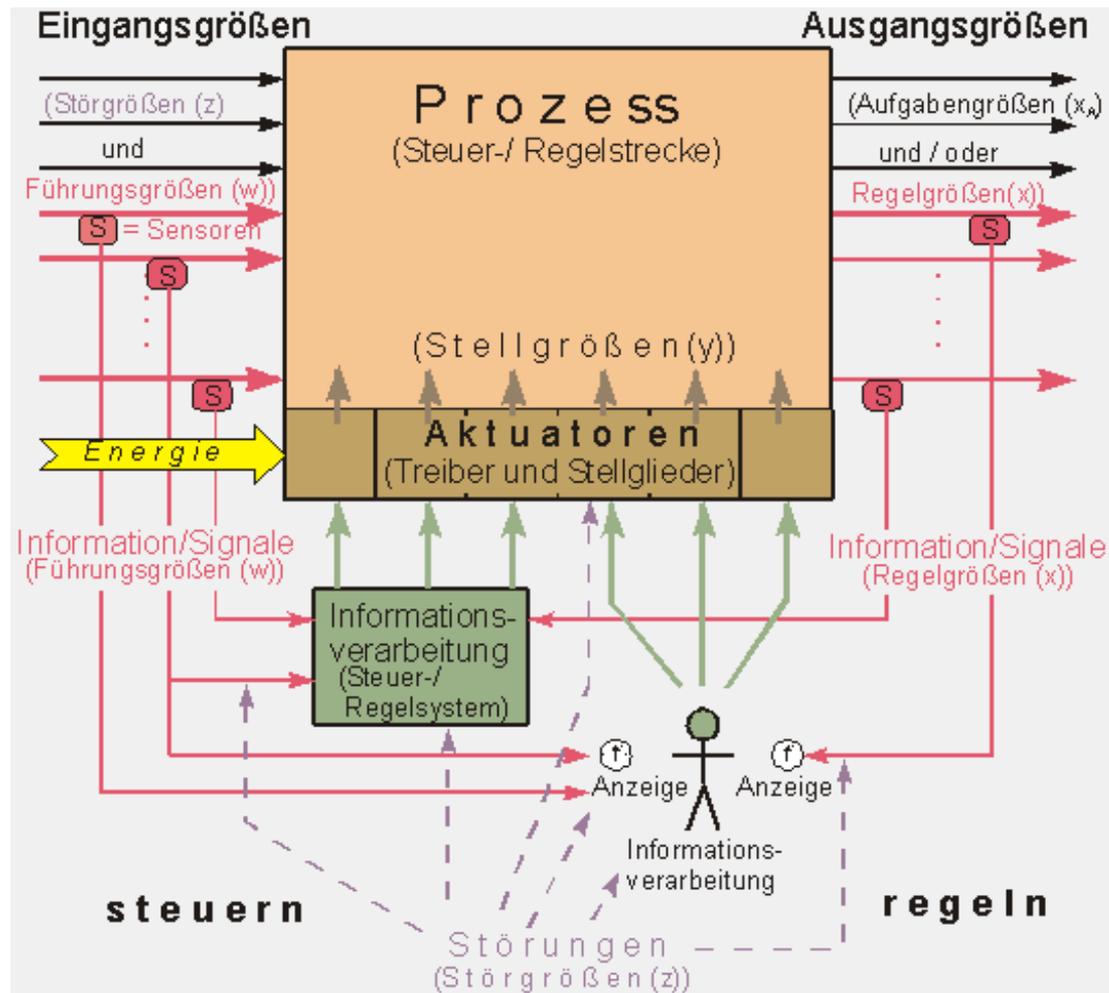
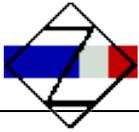
##### 1.3.2.1 Controller Area Network (CAN)

##### 1.3.2.2 Weitere Bussysteme

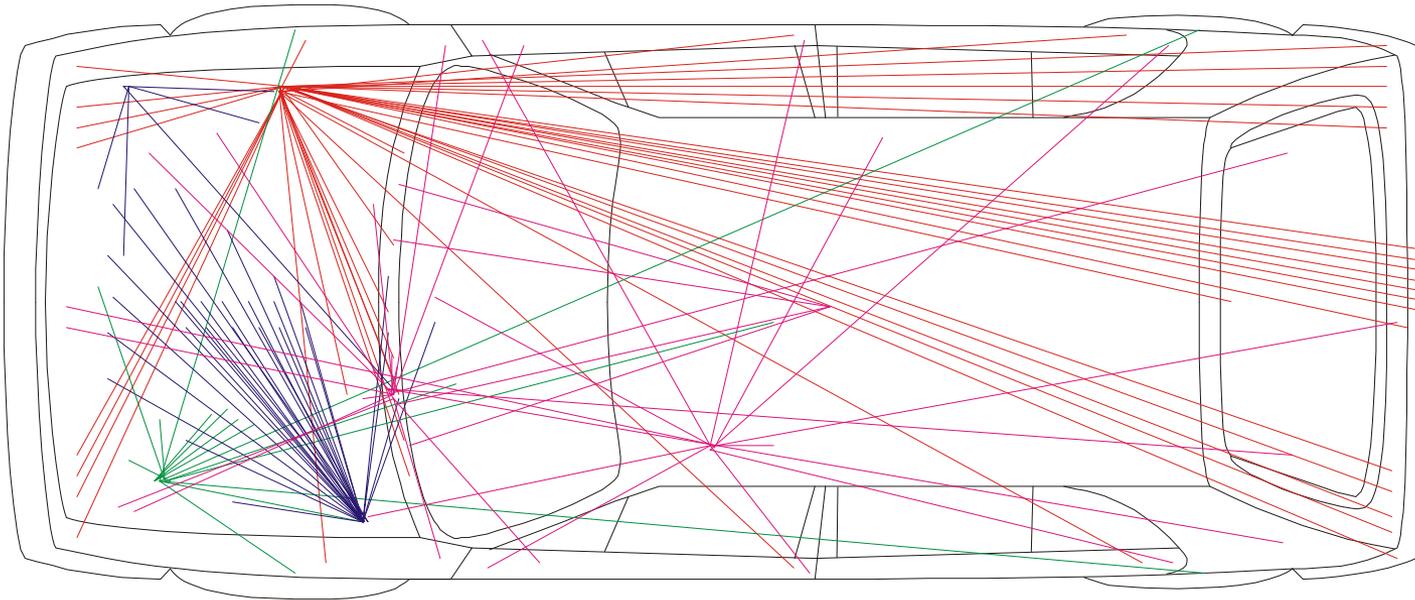
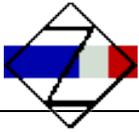




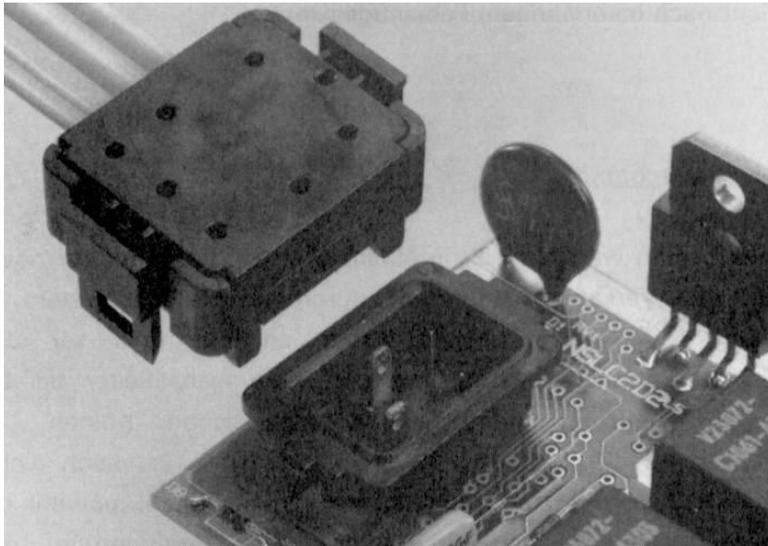
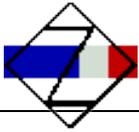
**Steuerkette und Regelkreis**



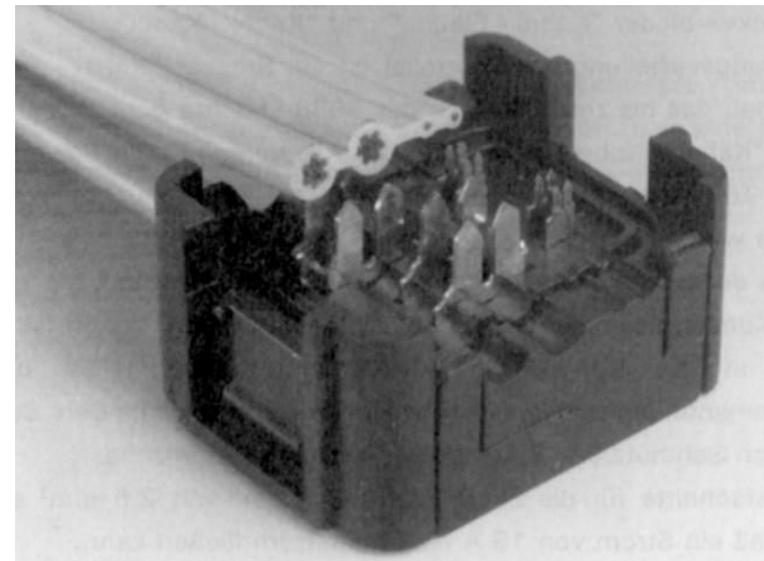
**Informationsfluss in Steuer- und Regelprozesses**



**Elektrische Punkt-zu-Punkt-Verbindungen in einem PKW**

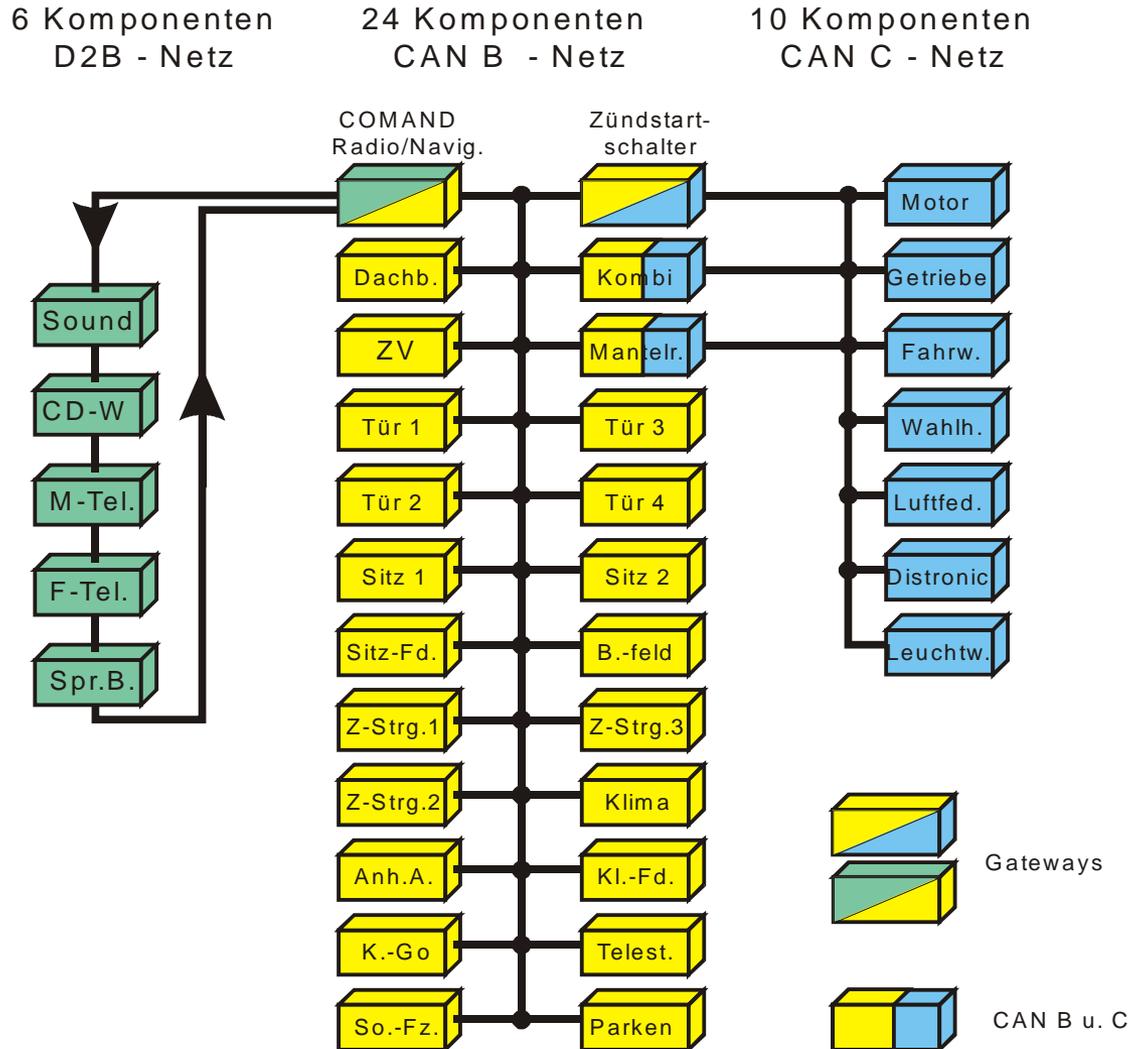
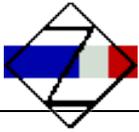


Schneidklemmenverbindung  
Kabel - Platine

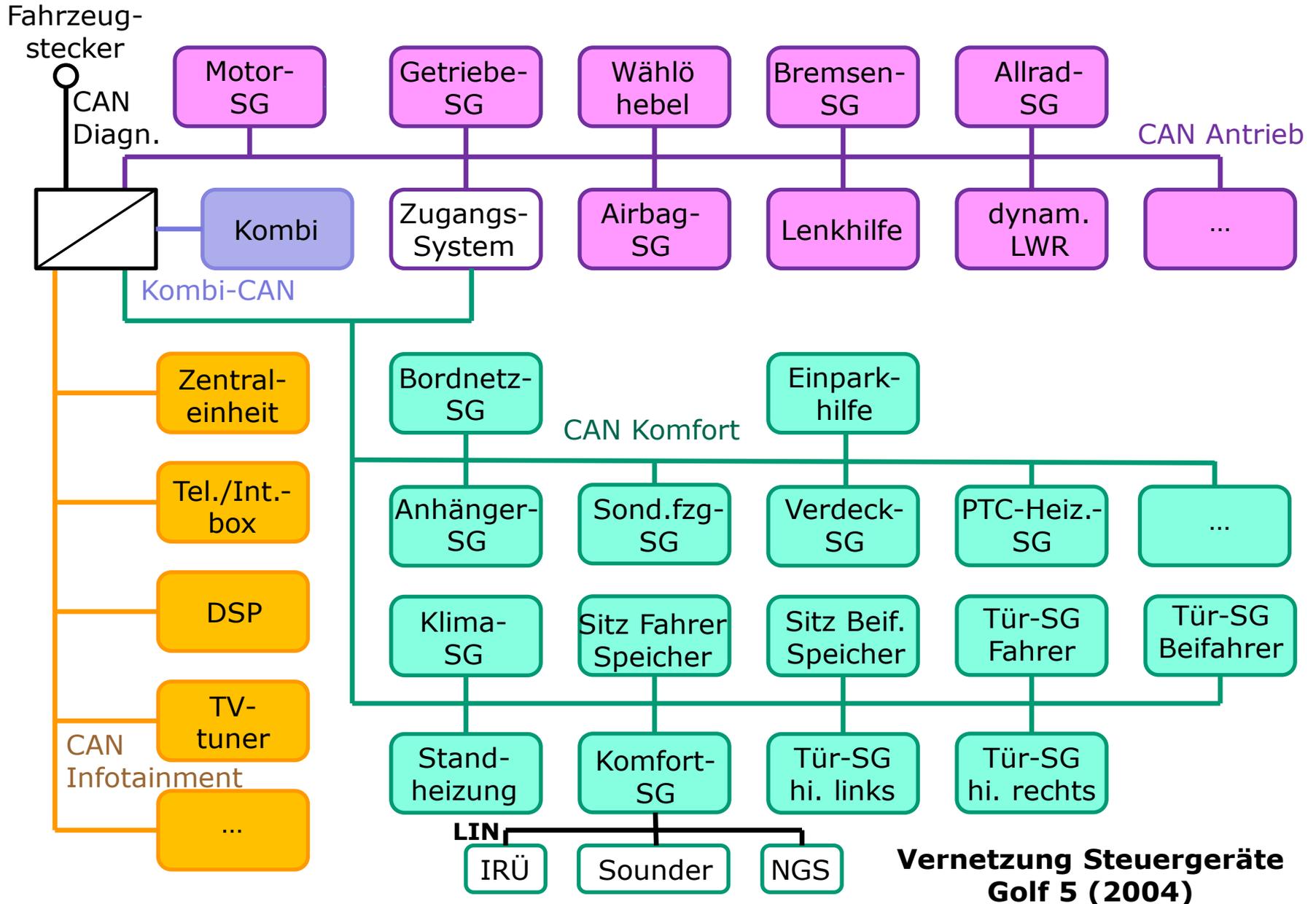
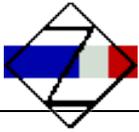


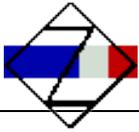
Schneidklemmenverbindung  
Kabel - Kabel

### Ring-Multiplexsystem



### Logische Netzwerkarchitektur Mercedes-Benz S-Klasse (1998)





Der Informationsaustausch über Bussysteme findet in digitaler Form statt.

Dabei muss die Auflösung der Datenwörter den Genauigkeitsanforderungen entsprechen.

Geringste Anforderungen bestehen bei Temperaturmessgrößen - zulässig sind Fehler bis 5 %, d.h.  $1/20$  vom Messbereich.

→ Der Messbereich muss in mind. 20 Stufen bzw. Schritte aufgeteilt werden. Um diese 20 Stufen zu kodieren, sind 5 Bit erforderlich ( $2^4=16$ ,  $2^5=32$ ).

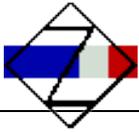
Höchste Anforderungen bei kurbelwinkelbezogenen Größen. Hier wird mit Auflösungen bis  $0,1^\circ$  KW gearbeitet, d.h.  $1/3600$  einer Vollumdrehung.

→ Der Messbereich muss in mind. 3600 Stufen bzw. Schritte aufgeteilt werden. Um diese 3600 Stufen zu kodieren, sind 12 Bit erforderlich ( $2^{11}=2048$ ,  $2^{12}=4096$ ).

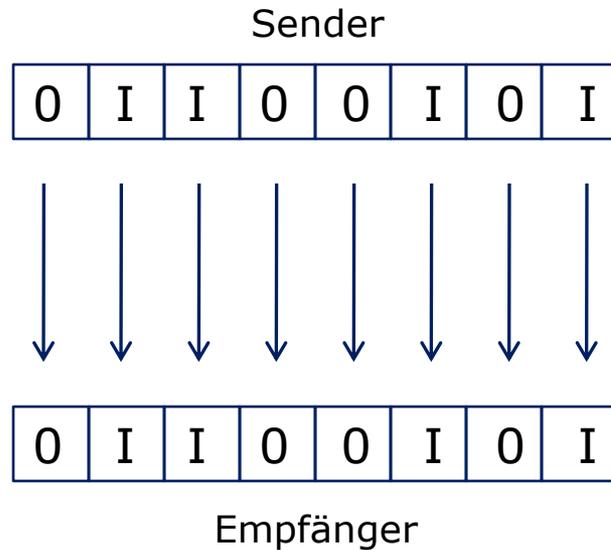
→ Kfz-spezifisch notwendige Datenwortbreiten zwischen 5 und 12 Bit.

Da Datenübertragung und Weiterverarbeitung in Mikrocontrollern auf der Basis von Bytes erfolgt, liegen die tatsächlichen Datenwortbreiten bei 8 oder 16 Bit.

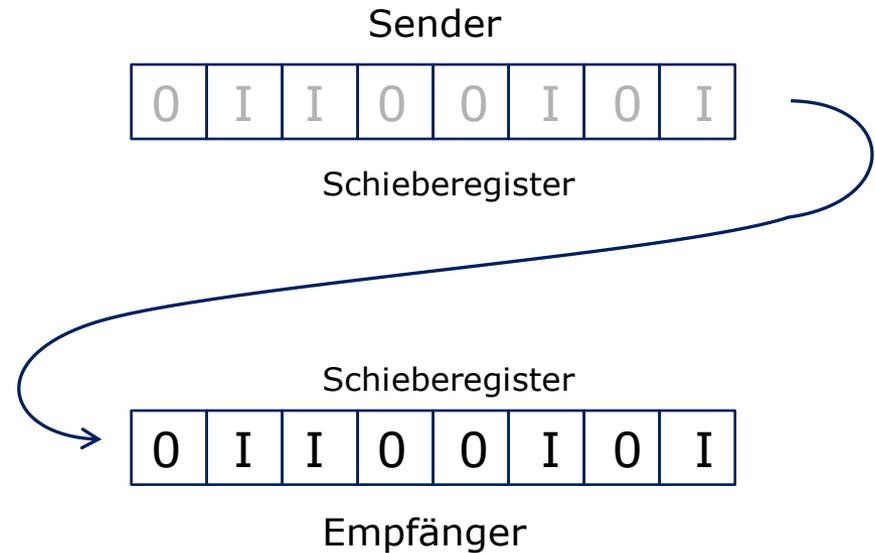
(Bemerkung: noch höhere Auflösungen bestehen im Multimediabereich. Z.B. wird bei CDs pro Kanal mit 16 Bit gearbeitet, d.h. mit jeweils 65.536 Teilschritten.)



Die Übertragung digitaler Daten vom Sender zum Empfänger kann grundsätzlich parallel oder seriell erfolgen.

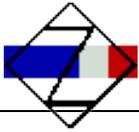


Übertragungszeit: 1 Takt  
aber 8 Leitungen erforderlich.



Übertragungszeit: 8 Takte  
aber nur 1 Leitung erforderlich.

In Kfz räumlich ausgedehnte Netze → serielle Datenübertragung.



## 1 Bordnetz

### 1.1 Schaltzeichen und Schaltpläne

### 1.2 Leitungswiderstände

### 1.3 Bordnetzstrukturen

#### 1.3.1 Energiefluss/Leistungsverteilung

##### 1.3.1.1 Elektroenergiebilanz/Elektrizitätsmengenbilanz

- Grundlagen
- Ermittlung der Verbraucherelektrizitätsmenge
- Ermittlung der Generatorelektrizitätsmenge
- Überprüfung und Optimierung der Elektrizitätsmengenbilanz

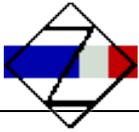
##### 1.3.1.2 Probleme des 14V-Niederspannungsbordnetzes

##### 1.3.1.3 Mehrspannungsbordnetze

#### 1.3.2 Informationsfluss/Bussysteme

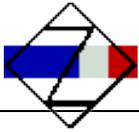
##### 1.3.2.1 Controller Area Network (CAN)

##### 1.3.2.2 Weitere Bussysteme



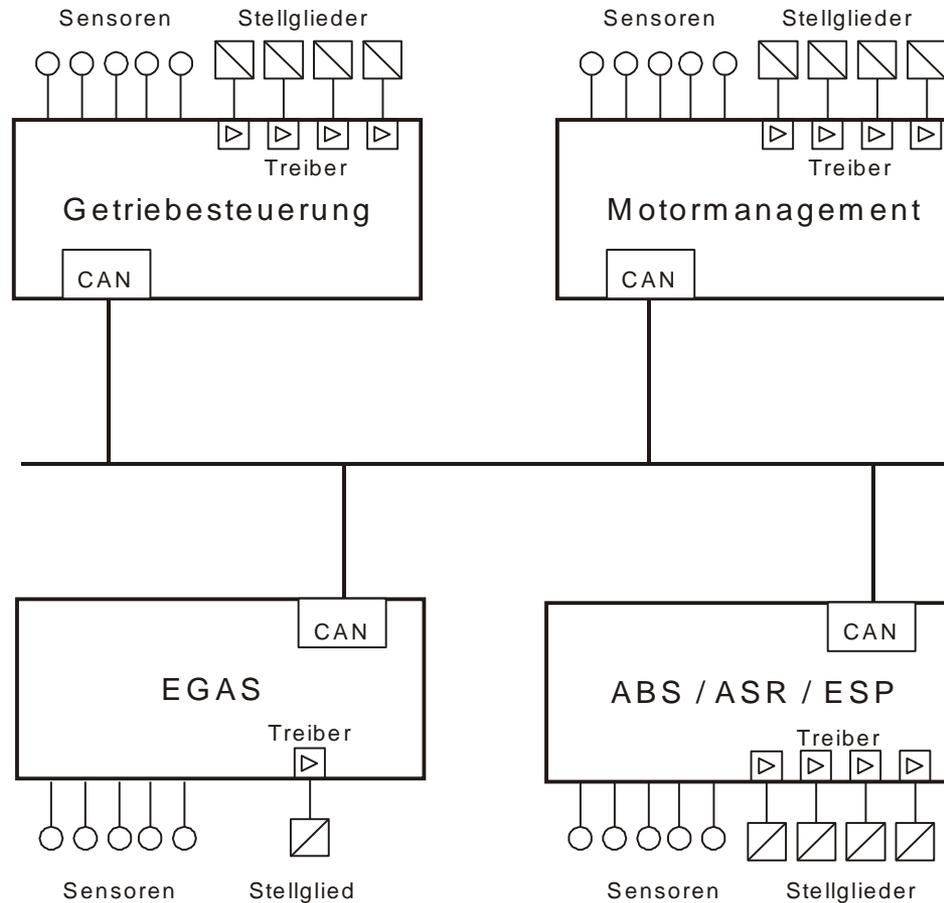
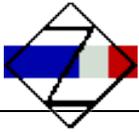
### Grundzüge der Systemarchitektur:

- Modularität, Flexibilität, Erweiterungsmöglichkeiten → offene Netzstruktur;
- lineare Busstruktur mit theoretisch beliebig vielen Busteilnehmern;
- alle Busteilnehmer sind gleichberechtigt (Multi-Master-Konzept)
  - Selbstüberwachung der an das Bussystem angeschlossenen Stationen und ggf. Eigenabschaltung ohne Netzbeeinflussung;
- keine Empfängeradressierung
  - übertragene Daten stehen allen Busteilnehmern zur Verfügung
  - Inhaltskennzeichnung erforderlich;
- geringe Latenzzeiten (d.h. wie lange muss eine Station warten, um wichtige Daten senden zu können)
  - priorisierte Datenübertragung;
- hohe Sicherheit bei der Datenintegrität und netzweite Datenkonsistenz;
- geringe Restfehlerwahrscheinlichkeit durch umfangreiche Maßnahmen zur Fehlererkennung.

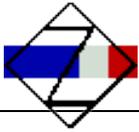


### Eigenschaften:

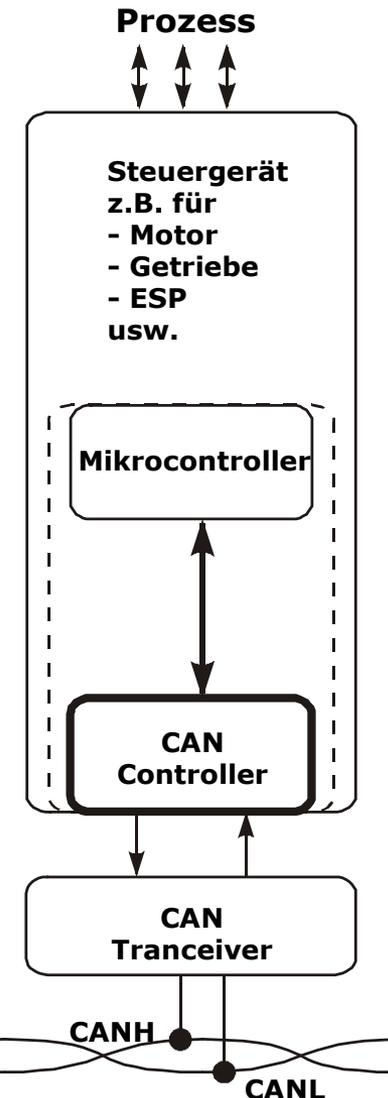
- Highspeed CAN (Can C) maximale Datenrate: 1 Mbit/s mit Ausdehnung bis 40 m, übliche Datenrate jedoch 500 KBit/s mit bis zu 100 m Leitungslänge;
- Lowspeed CAN (Can B) maximale Datenrate: 125 Kbit/s mit bis zu 500 m;
- Priorisierte inhaltsgekennzeichnete (d.h. nicht adressierte) Datenübertragung als sog. Botschaften/Nachrichten mit 0 bis 8 Byte (0 bis 64 Bit) für die Übertragung von Informationen und 46 Bits (im Standardformat) bzw. 65 Bits (im erweiterten Format) zur Organisation und Absicherung der Übertragung.  
→ Gesamtlänge einer Botschaft: ca. 110 Bit (ca. 130 Bit im erw. Format);
- zerstörungsfreies Buszugriffsverfahren;
- flexible Konfiguration mit theoretisch beliebig vielen Teilnehmern;
- kostengünstig durch verdrehte Zweidrahtleitung;
- Fehlererkennung und -signalisierung;
- Selbstüberwachung der angeschlossenen Stationen mit Behandlung sporadischer Fehler und Abschaltung bei Dauerfehlern;
- Umfangreiche Maßnahmen zur Fehlererkennung, Fehlersignalisierung und Wiederholung von Botschaften senken Restfehlerwahrscheinlichkeit auf  $10^{-13}$  pro Nachricht.  
(→ Über gesamte Lebensdauer eines Pkw (4.000 Std.) treten nur  $10^{-2}$  unerkannte Fehler im System auf.)



### Steuergerätekopplung über das CAN Bussystem

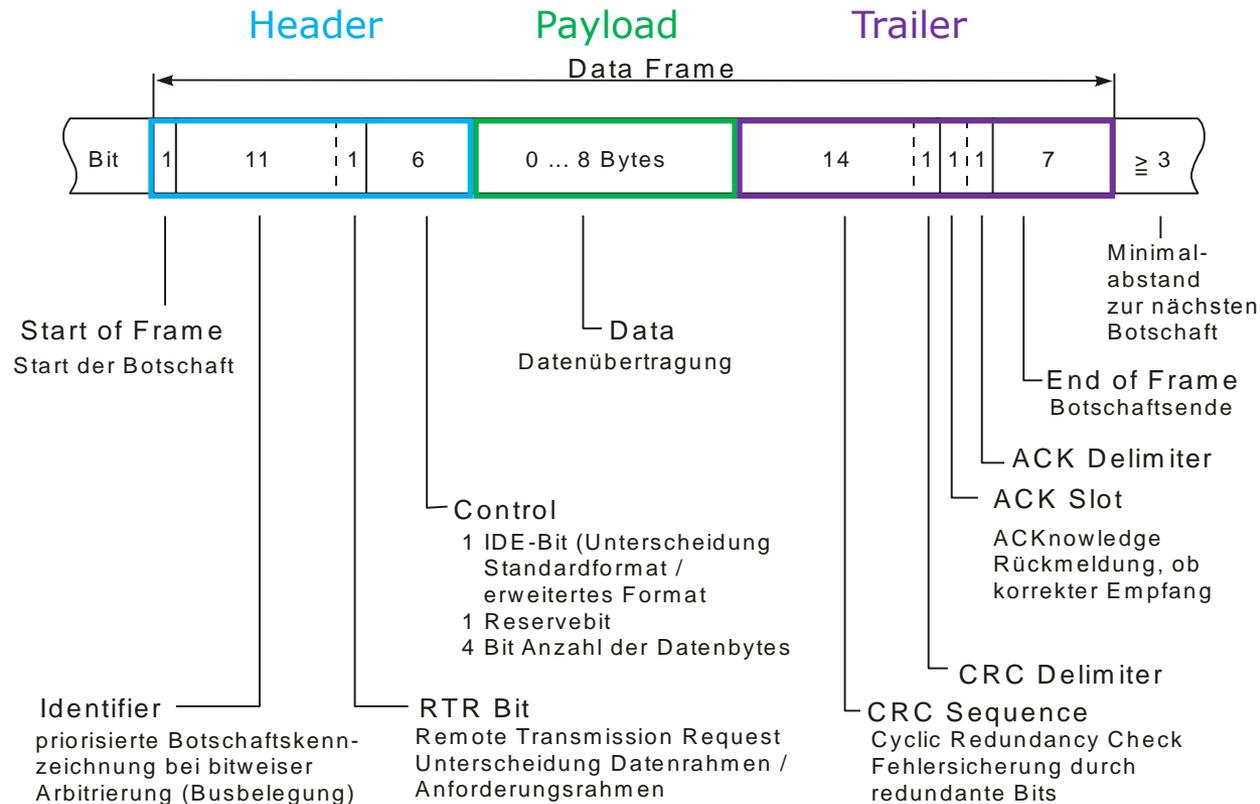
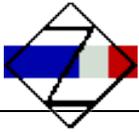


OSI Schichten (Open Systems Interconnection)	CAN Spezifizierung
7. Anwendungsschicht (Application Layer)	Benutzerebene Schnittstelle zur Anwendung
6. Darstellungsschicht (Presentation Layer)	Schichten 3 bis 6 aus Gründen der Echtzeit- fähigkeit und wegen des hohen Implemen- tierungsaufwandes nicht realisiert.
5. Kommunikations- Steuerungsschicht (Session Layer)	
4. Transportschicht (Transport Layer)	
3. Vermittlungsschicht (Network Layer)	
2. Sicherungsschicht (Data Link Layer)	Protokollebene
1. Bitübertragungsschicht (Physical Layer)	Schnittstelle zum Übertragungsmedium

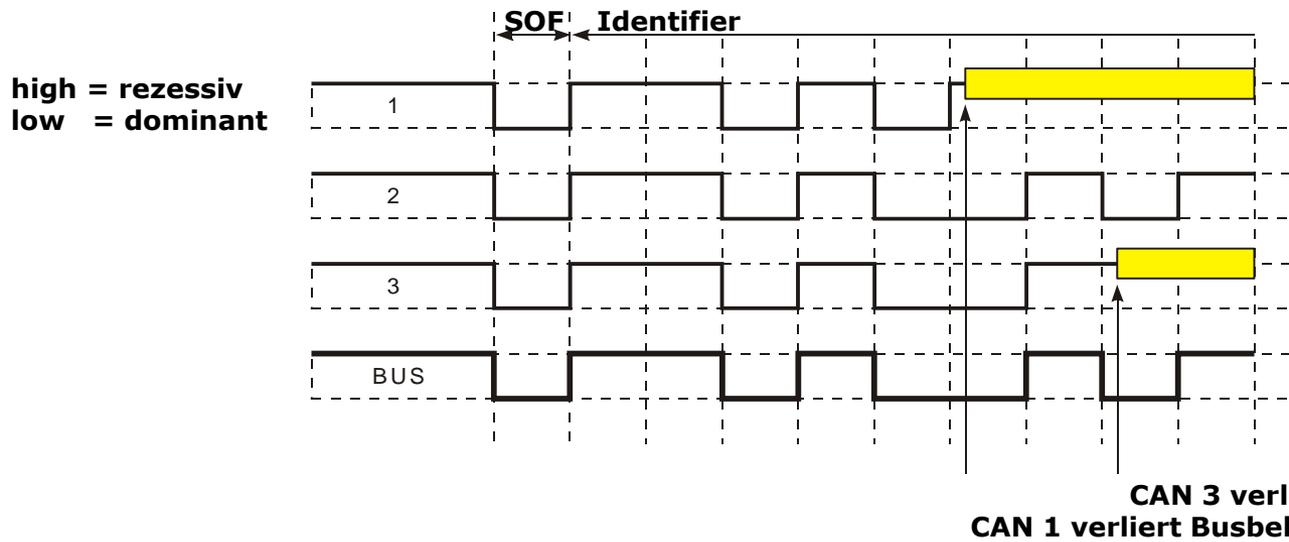
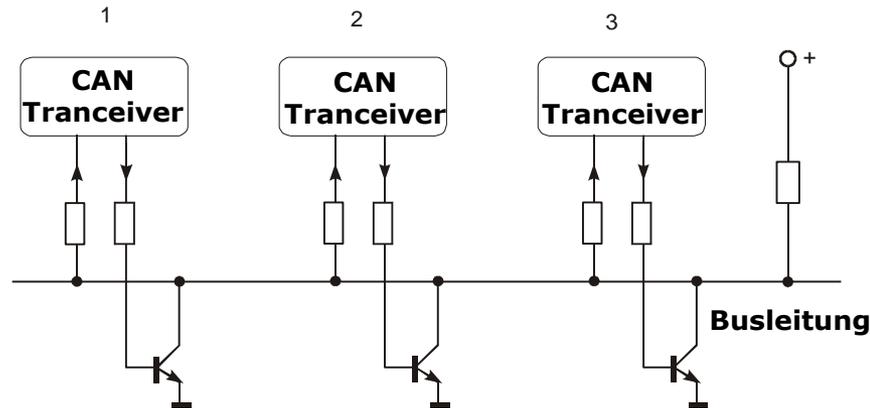
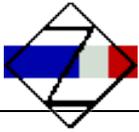


### CAN Standard im OSI Schichtenmodell

Nach DIN-ISO 7498 (Kommunikation offener Systeme)

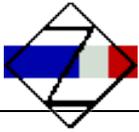


### CAN Botschaftsrahmen (Standardformat)

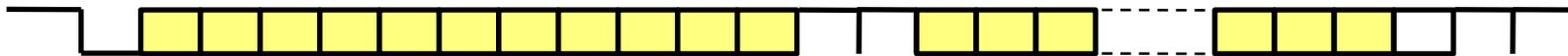


CAN 2 bleibt aufgrund der meisten dominanten Bits im Identifier „Sieger“ bei der Busbelegung und kann nun ungestört den Rest der Botschaft übertragen.

**Bitweise Arbitrierung/Busvergabe am Beispiel einer Eindrahtleitung  
(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)**



SoF 11 Bit Identifier (Standardformat) **RTR IDE**  
**Remote Identifier Extension Bit**  
**Transmission Bit** (erstes Bit im Steuerfeld)

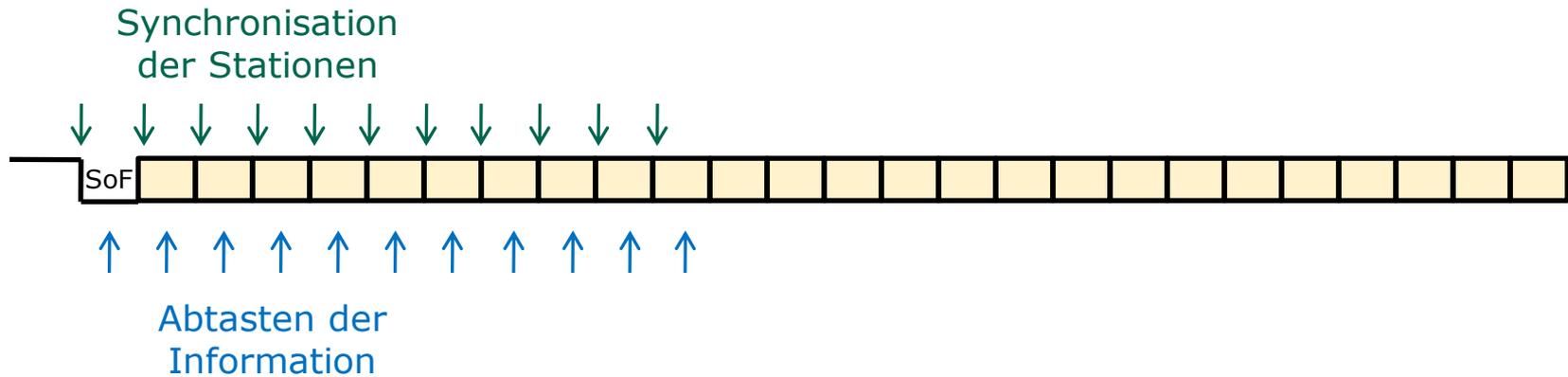
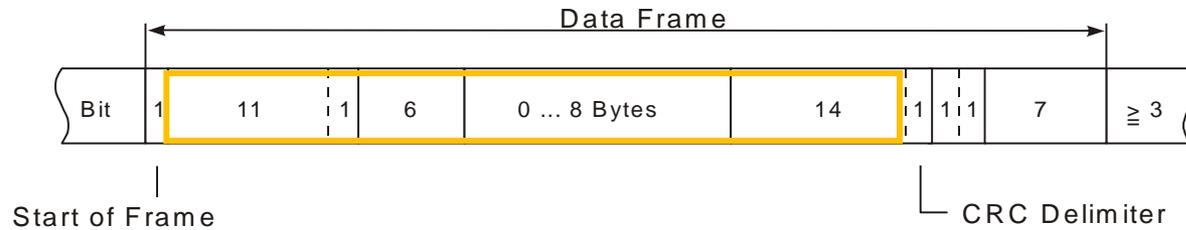
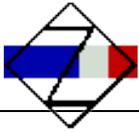


SoF 11 Bit Identifier (wie Standardformat) **SRR IDE** weitere 18 Bit **RTR IDE**  
**Substitute RTR** (erweitertes Format) **Reservebit**  
(erstes Bit im Steuerfeld)

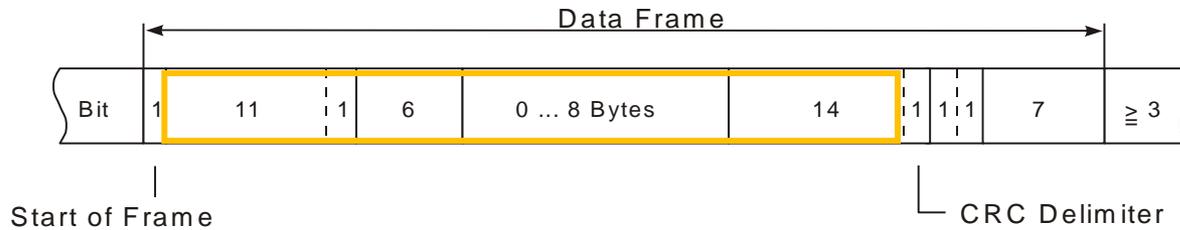
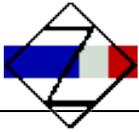
**Standardformat mit 11 Bit  $\rightarrow 2^{11} = 2.048$  Identifier**

**erweitertes Format mit 29 Bit  $\rightarrow 2^{29} = 536.870.912$  Identifier**

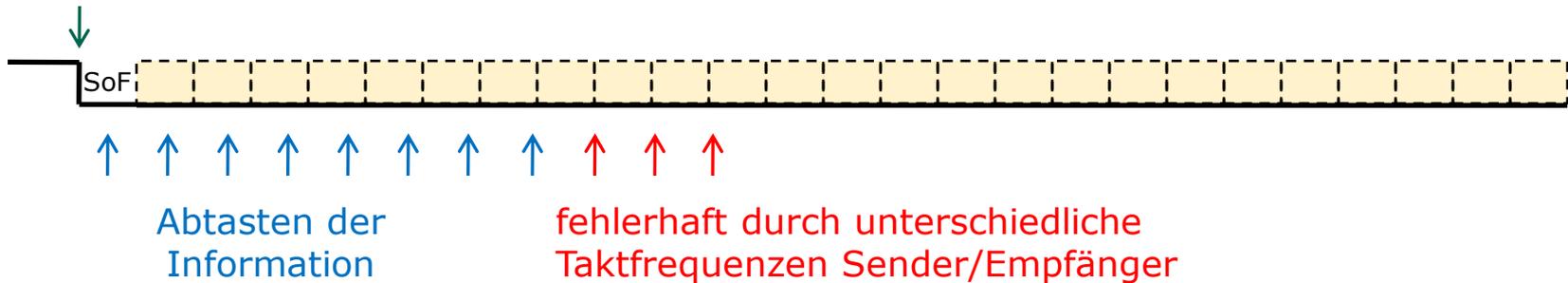
**CAN Botschaftsrahmen - Identifier**



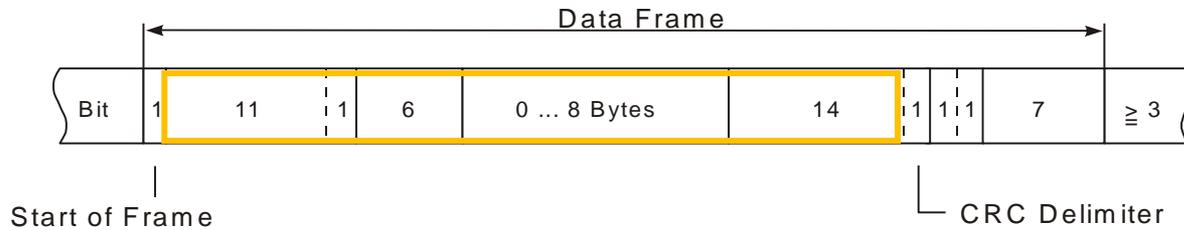
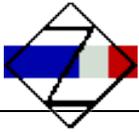
### CAN Botschaftsrahmen - Bitstuffing



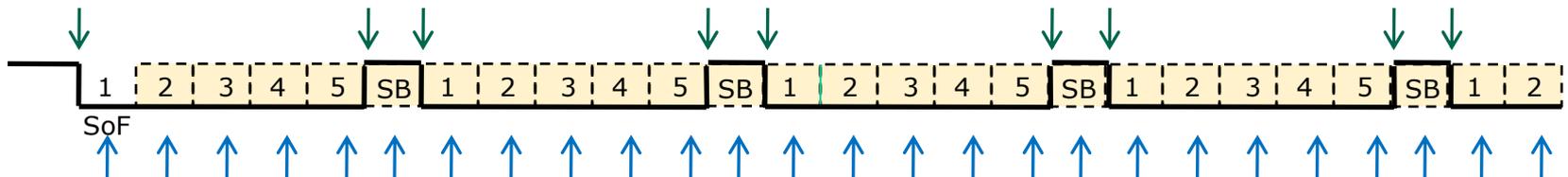
fehlende Synchronisation der Stationen  
bei aufeinanderfolgenden gleichen Bits



## CAN Botschaftsrahmen - Bitstuffing



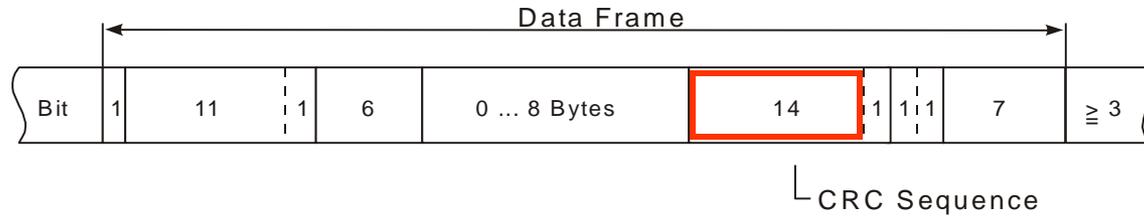
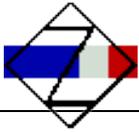
Synchronisation der Stationen durch Stuffing-Bits,  
eingefügt vom Sender nach fünf gleichen Bits.



Abtasten der Information in der Zeitmitte der Bits beim Sender gewährleistet.  
Stuffing-Bits werden beim Empfänger wieder herausgefiltert (Destuffing).

Außerdem können Leitungstörungen erkannt werden.

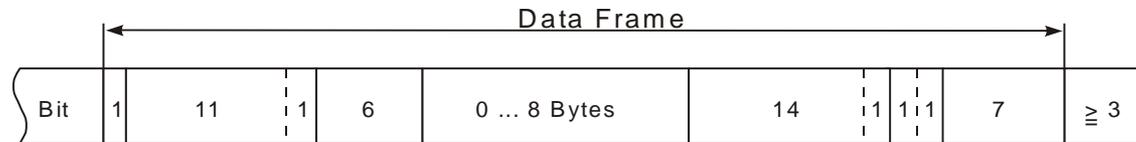
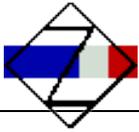
### CAN Botschaftsrahmen - Bitstuffing



Absicherung aller vorausgegangenen Bits durch eine „Prüfsumme“ mithilfe eines Cyclic Redundancy Check (zyklische Redundanzprüfung).

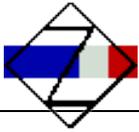
→ Sehr sicheres Verfahren mit äußerst geringer Restfehlerwahrscheinlichkeit.

## CAN Botschaftsrahmen – CRC Sequenz



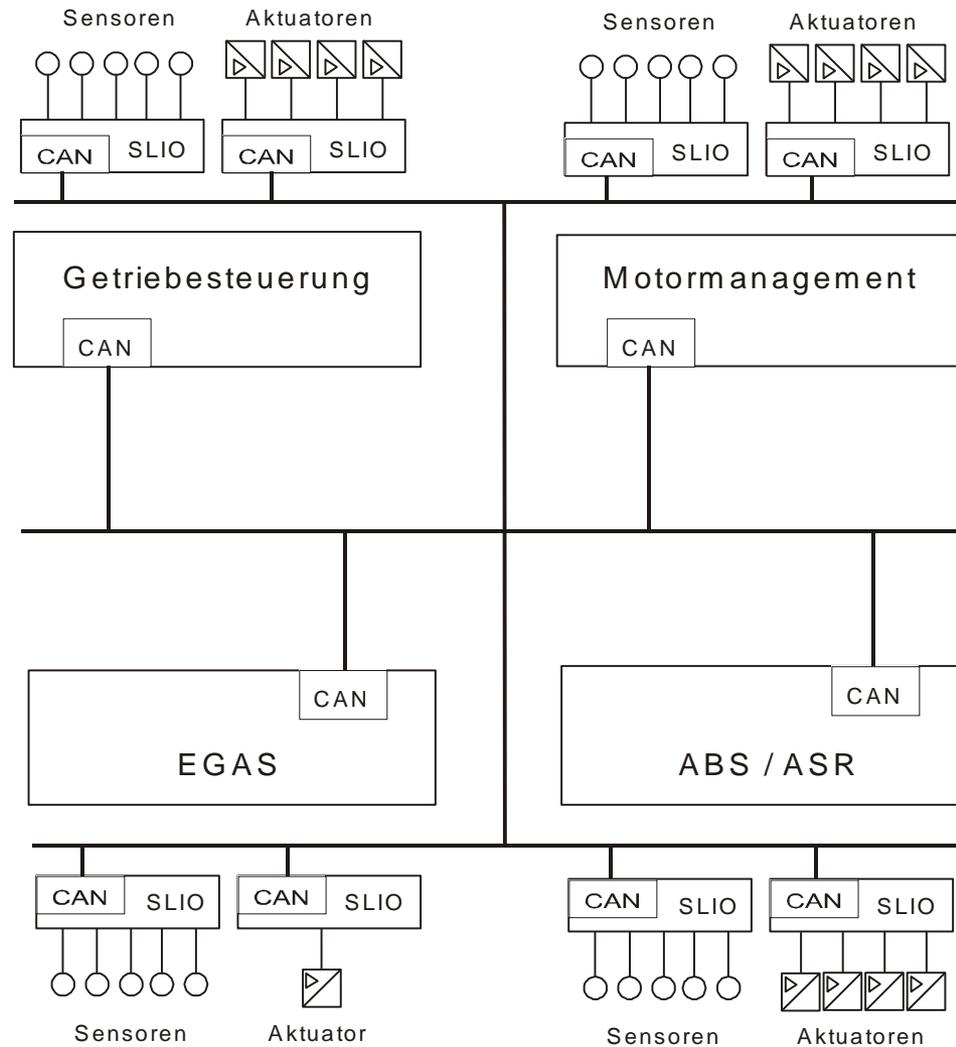
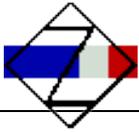
- Alle Stationen des Busses überprüfen ständig die Einhaltung des Datenrahmens. Erkennt eine Station einen Fehler, so unterbricht sie durch Senden eines Error-Frames die laufende Übertragung. Ein Error-Frame besteht unter Verletzung der Stuffing-Regel aus sechs aufeinanderfolgenden dominanten Bits (0), was sowohl die sendende als auch alle anderen Stationen erkennen. Die sendende Station bricht die Übertragung ab und versucht es später erneut.
- In allen Stationen ist ein Fehlermechanismus zur Selbstüberwachung implementiert. Erkennt eine Station einen Fehler zuerst, so wird ein Fehlerbit gesetzt und ein Fehler-Zähler hochgezählt. Bei Erreichen einer ersten Fehlerschwelle schaltet sich die Station passiv, d.h. sie sendet nicht mehr (auch keine Fehler-Frames). Bei Erreichen einer zweiten Fehlerschwelle wird die Station komplett inaktiv.

### **CAN Botschaftsrahmen - Fehlerbehandlung**



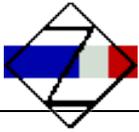
### CAN Probleme:

- Der CAN-Bus ist für hoch priorisierte Botschaften prinzipiell echtzeitfähig, aber nur bei geringer bis mittlerer Busauslastung und wenn alle Stationen ordnungsgemäß arbeiten.
  - Bei hoher Buslast oder bei einer fehlerhaften Station (bubbling idiot) kann die Übertragung wichtiger Informationen innerhalb eines Zeitrasters nicht mehr gewährleistet werden, d.h. der Bus ist nicht mehr echtzeitfähig.
- CAN Bus für Vernetzung sicherheits- und/oder zeitkritischer Systeme wie Airbag, Lenkung, Bremsen nicht geeignet.



### Systemkopplung über CAN

(SLIO = Serial Linked I/O, hat sich aus Kostengründen nicht durchgesetzt)



## 1 Bordnetz

### 1.1 Schaltzeichen und Schaltpläne

### 1.2 Leitungswiderstände

### 1.3 Bordnetzstrukturen

#### 1.3.1 Energiefluss/Leistungsverteilung

##### 1.3.1.1 Elektroenergiebilanz/Elektrizitätsmengenbilanz

- Grundlagen
- Ermittlung der Verbraucherelektrizitätsmenge
- Ermittlung der Generatorelektrizitätsmenge
- Überprüfung und Optimierung der Elektrizitätsmengenbilanz

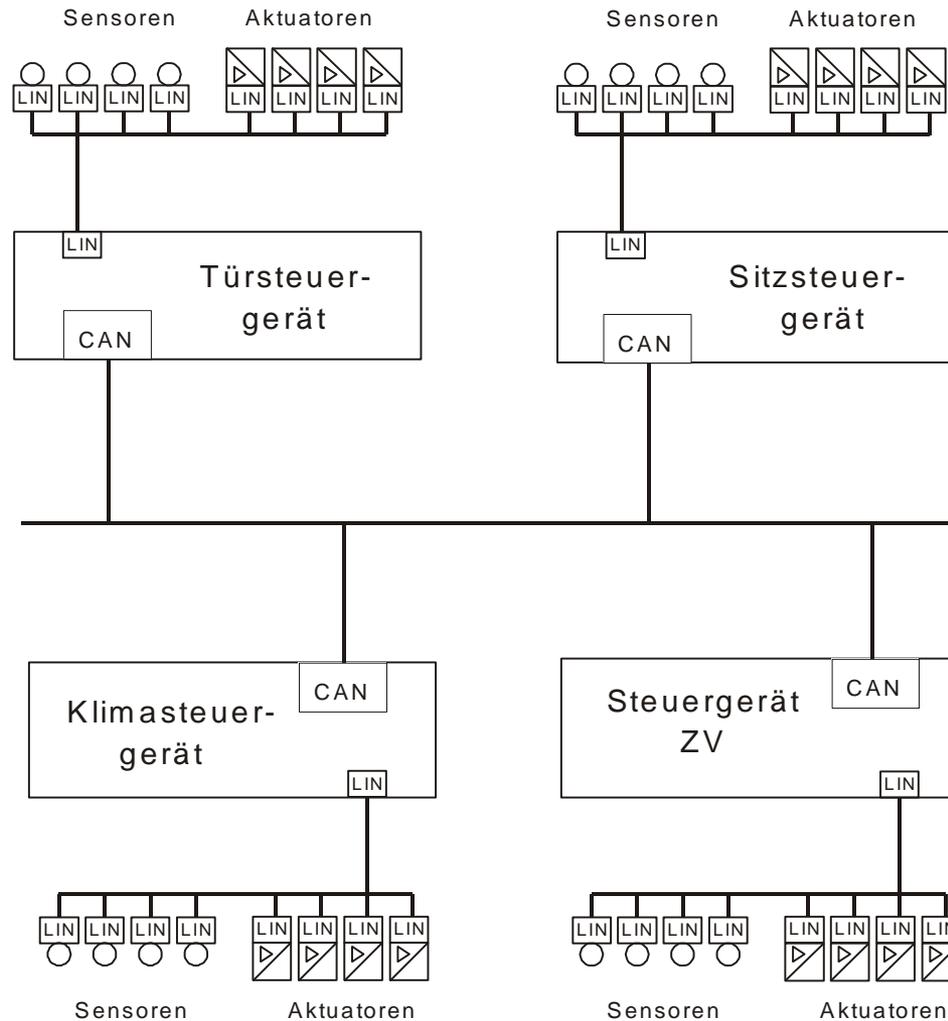
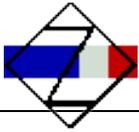
##### 1.3.1.2 Probleme des 14V-Niederspannungsbordnetzes

##### 1.3.1.3 Mehrspannungsbordnetze

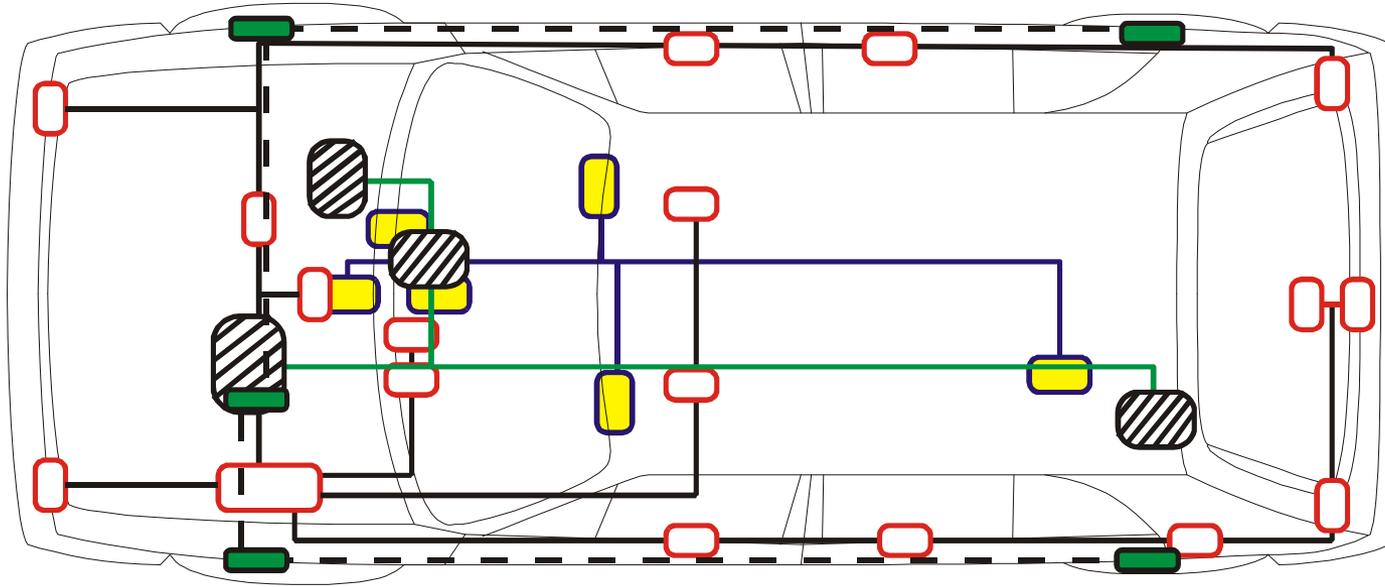
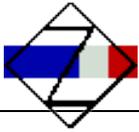
#### 1.3.2 Informationsfluss/Bussysteme

##### 1.3.2.1 Controller Area Network (CAN)

##### 1.3.2.2 Weitere Bussysteme



**Systemkopplung über CAN – lokale Vernetzung über LIN**



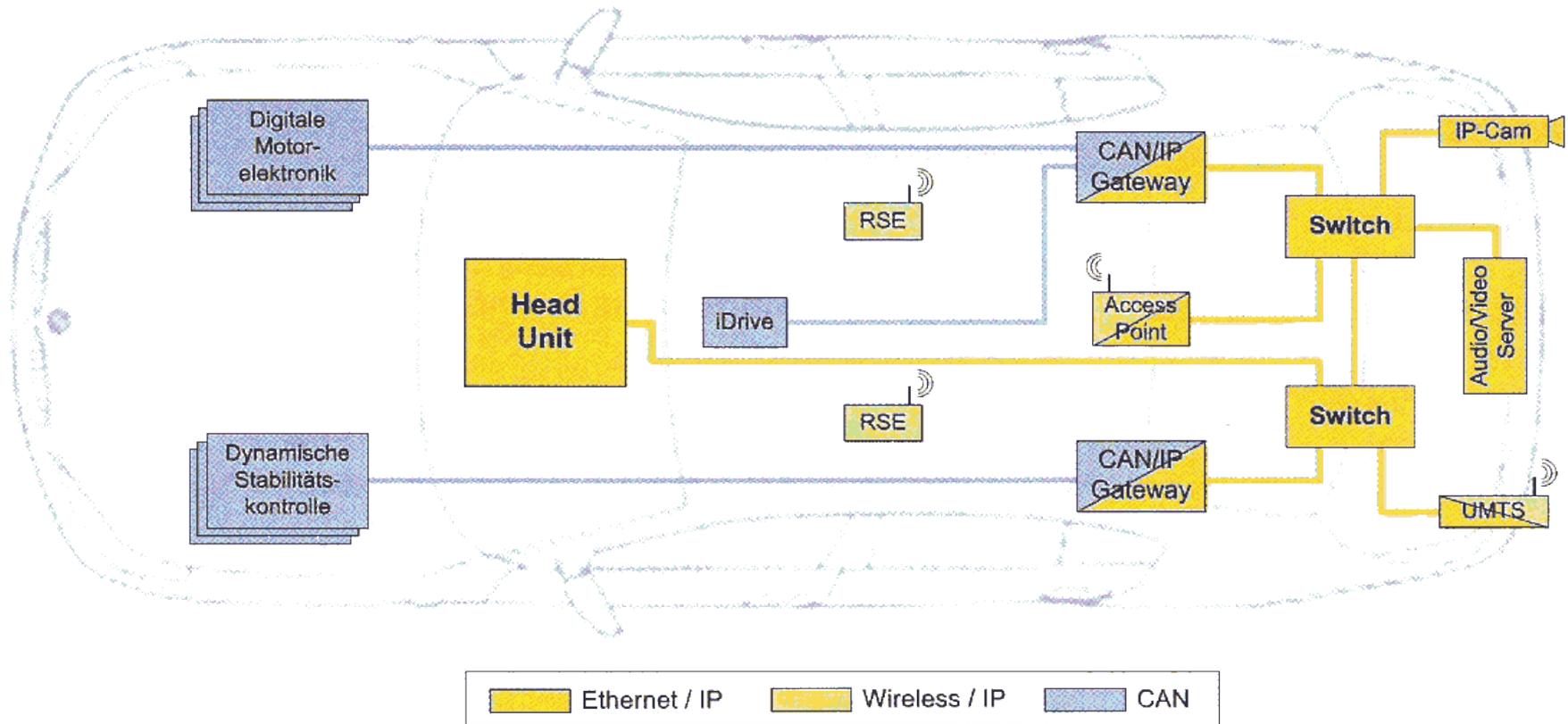
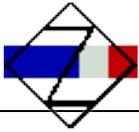
Datenbusse im Karosserie- und Komfortbereich (bis 125 kBit/s) —   
mit Unter-Bussen bis 10 kBit/s

Datenbusse im Antriebsstrang (bis 1 MBit/s) — 

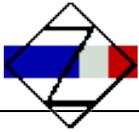
Datenbusse für sicherheitskritische Anwendungen (bis 10 MBit/s) — 

Datenbusse im Multimediabereich (bis 150 MBit/s) — 

### Heutige Kfz-Bussysteme



### mögliche künftige Netzstruktur in Kfz



<b>Klasse A</b> LIN	Datenraten bis 10 Kbit/s (LIN = Local Interconnect Network), lokale Vernetzung von Steuergeräten, Sensoren und Aktuatoren.
<b>Klasse B</b> CAN (lowspeed)	Datenraten bis 125 Kbit/s (CAN = Controller Area Network), Vernetzung von Steuergeräten im Karosserie- und Komfortbereich.
<b>Klasse C</b> CAN (highspeed)	Datenraten bis 1 Mbit/s, Vernetzung von Steuergeräten im Antriebsstrang.
<b>Klasse C+</b> FlexRay und TTP	Datenraten bis 10 Mbit/s, Vernetzung von Steuergeräten mit sicherheitskritischem Hintergrund. FlexRay → vorrangig im Automobilbau, TTP (= Time Triggered Protocol) → vorrangig im Flugzeug- und Schienenfahrzeugbau.
<b>Klasse D</b> MOST	Datenraten bis 150 Mbit/s, Vernetzung von Steuergeräten im Multimediabereich.
<b>Klasse E</b> Ethernet	Datenraten bis 1000 Mbit/s, Paketorientierte Vernetzung der meisten (aller?) Steuergeräte.