TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Fakultät Verkehrswissenschaften • Institut für Automobiltechnik
Lehrstuhl für Fahrzeugmechatronik

VORLESUNG

Kraftfahrzeugelektrik und -elektronik

Skript Kapitel 2:

Elektrisches Energiebordnetz

Prof. Dr.-Ing. B. Bäker,
Dipl.-Ing. S. Büchner

Stand SS2005

2 Elektrisches Energiebordnetz

2.1 Überblick

Das elektrische Energiebordnetz dient zur Versorgung elektrischer und elektronischer Komponenten im Kraftfahrzeug mit elektrischer Energie.

Vorteile der elektrischen Energieform:

- gute Verteilbarkeit:
  rasch, zuverlässig, sauber, verlustarm
- sehr gute Steuerbarkeit:
  Kenngrößen einfach, genau und schnell messbar, steuerbar
- sehr gute Nutzbarkeit:
  lässt sich in alle Nutzenergieformen umwandeln
- gute Speicherfähigkeit:
  es existieren verschiedene Technologien mit unterschiedlicher Energie- und Leistungsdichte

→ bevorzugte Hilfsenergieform bei vielen Fahrzeugfunktionen

Nachteile beim Einsatz im Kfz

- autarke Energieerzeugung mit geringer Wirkungsgradkette
- Energieerzeugung nur bei Betrieb des Verbrennungsmotors
- Energiepuffer ist notwendig

Berechnung eines elektrischen Leistungsäquivalents

Bilanzgleichung (Kurbelwelle) [VarLaSchi-05]:

$$W_{Gen\,mech} = W_{VM}$$

$$\frac{P_{el}}{\eta_{Gen}} \cdot t = W_{VM\,spez} \cdot V_{Kraftstoff}$$

$$\frac{P_{el}}{\overline{\eta_{Gen}}} \cdot \frac{s}{v} = H_{Kraftstoff} \cdot \overline{\eta_{VM}} \cdot V_{Kraftstoff}$$

mit $W_{Gen\,mech}$, W_{VM} - mech. Arbeit Generator, Verbrennungsmotor,
t - Zeit, s - Weg, v - Geschwindigkeit, P_{el} - elektr. Leistung Generator,
η - Wirkungsgrad, V - Volumen, H - spezifischer Heizwert

Mehrverbrauch:

$$Verbrauch = \frac{V_{Kraftstoff}}{s} = \frac{P_{el}}{\overline{\eta_{Gen}} \cdot \overline{\eta_{VM}} \cdot v \cdot H_{Kraftstoff}}$$

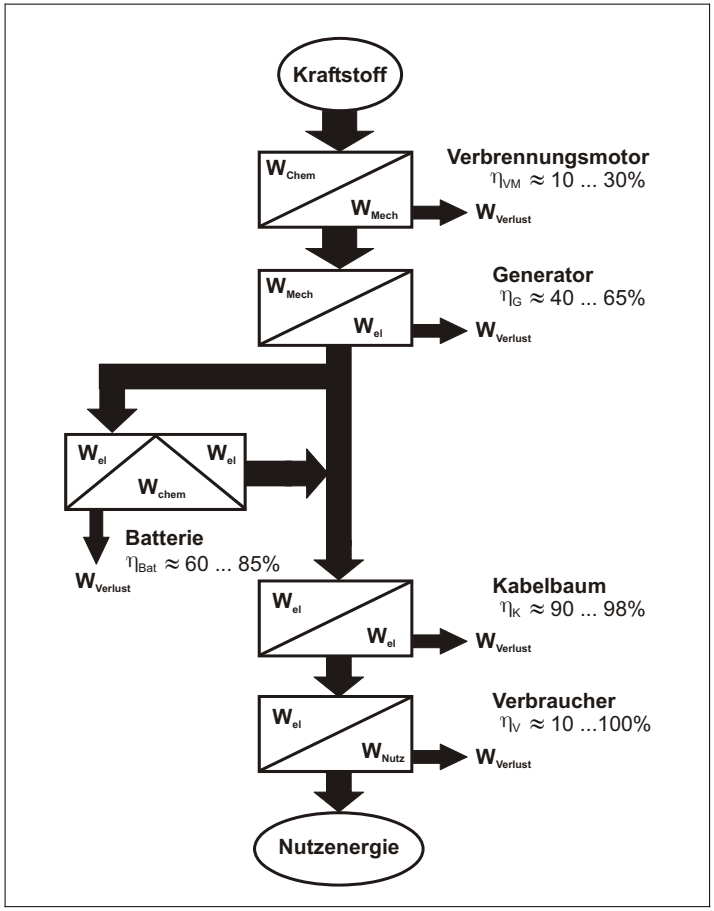


Bild 2.1: Energiefluss und Wirkungsgrade zur Nutzung elektrischer Energie im Kfz

Mehrverbrauch im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ):

$$Verbrauch_{NEFZ}(100W) = \frac{100W}{0{,}5 \cdot 0{,}39 \cdot 32{,}5\frac{km}{h} \cdot 8840\frac{Wh}{l}}$$

$$\approx 0{,}18\frac{l}{100km}$$

2.1.1 Komponenten

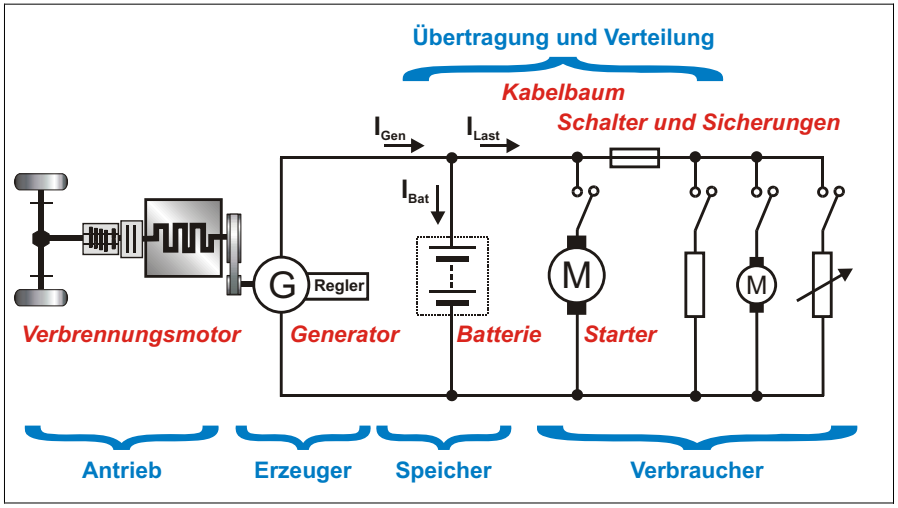


Bild 2.2: Schematisches Ersatzschaltbild Energiebordnetz

Generator

- Nebenaggregat des Verbrennungsmotors, Riemenantrieb
- Spannungsregler regelt auf konstante Bordnetzspannung unabhängig von Lastanforderung und Drehzahl
- bedarfsgerechte Versorgung der elektrischen Verbraucher
- Laden der Batterie

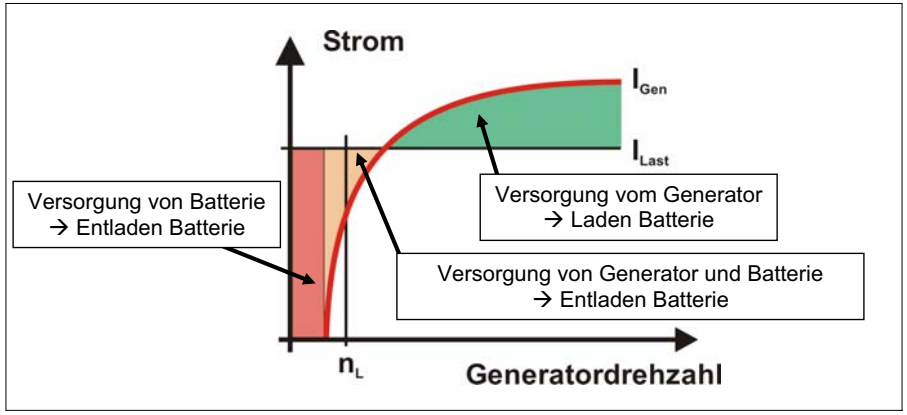


Bild 2.3: Drehzahlabhängige Versorgung der Verbraucher von Generator und Batterie [BOSCH-02]

Batterie

- direkte Parallelschaltung im Bordnetz („Stützbatterie“)
- Versorgung der Verbraucher bei Motorstillstand, insbesondere des Starters beim Motorstart
- Energiereserve bei unzureichender Generatorleistung
- Spannungsglättung im Bordnetz (Generatorwelligkeit, Ausgleichsvorgänge bei Lastwechseln)

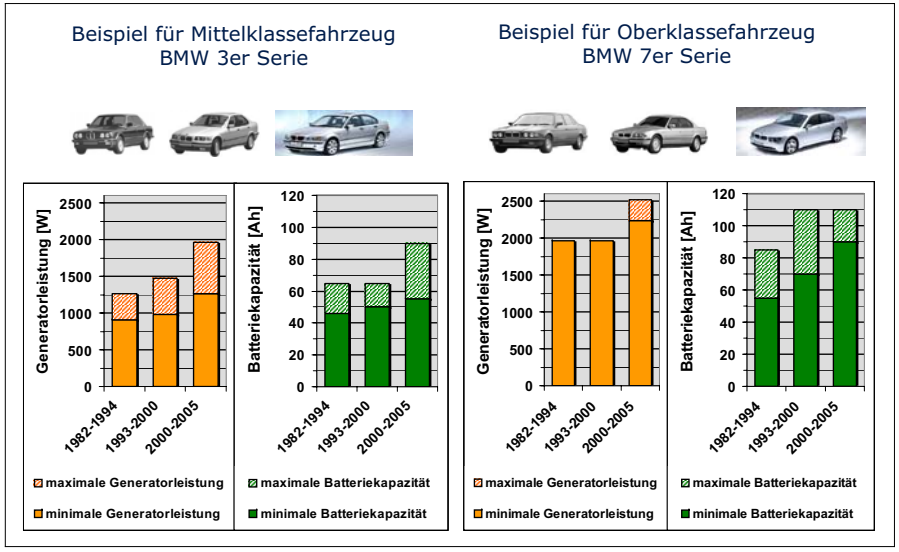


Bild 2.4: Beispiel für die Entwicklung von Generatorleistung und Batteriegröße mit Zahlenwerten von BMW

Bordnetz

Im Pkw Gleichspannung mit 12 V Nennspannung, weil

- Parallelbetrieb der Batterie möglich
- Gleichstrommotoren sind preiswert und einfach regelbar
- keine aufwendigen Schutzmaßnahmen notwendig (Schutzkleinspannung)
- Einleitersystem, Karosserie dient als Rückleiter und Potentialausgleich
- Gutes Kosten / Nutzen-Verhältnis bei kleinen bis mittleren Verbraucherleistungen

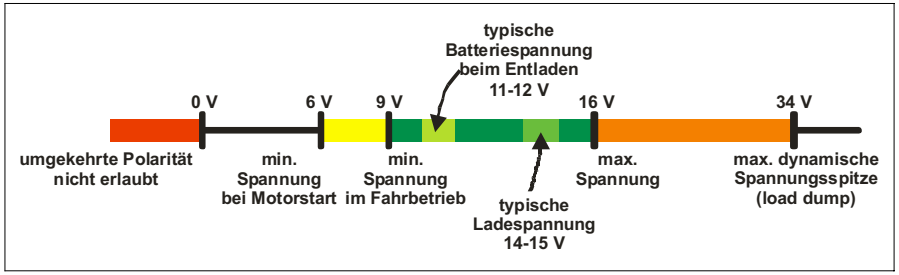


Bild 2.5: Spannungseckwerte des 12V-Bordnetzes (Zahlenwerte aus [HEN-90] u.a.)

2.1.2 Leistungsbedarf

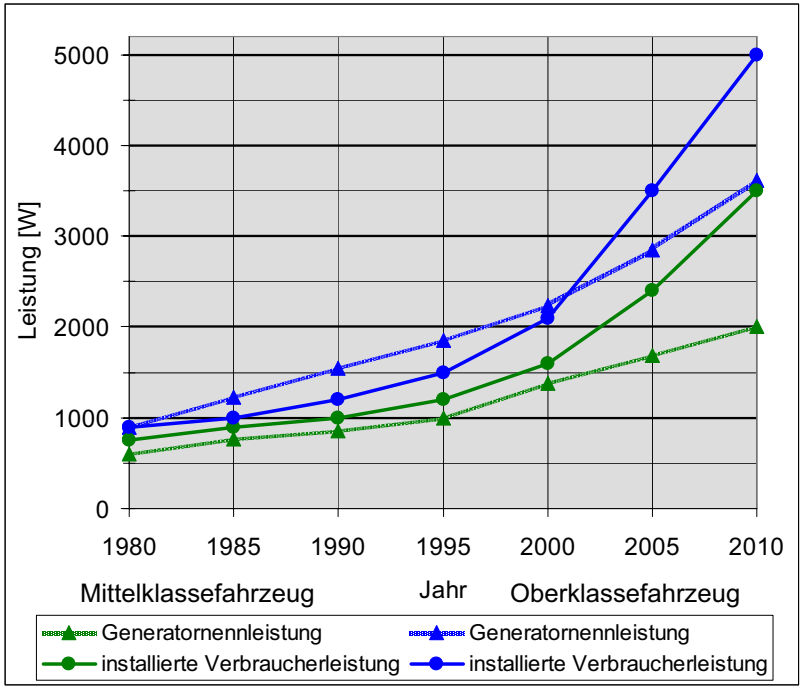


Bild 2.6: Entwicklung der elektrischen Verbraucherleistung im Pkw (Zahlenwerte aus [BOSCH-02] u.a.)

(a) Einteilung der elektrischen Verbraucher nach Funktionalität:

- Startanlage
- Motormanagement und Antriebsstrang
  (z.B. Einspritzung, Zündung, E-Gas, Getriebesteuerung)
- Sicherheitssysteme: Fahrsicherheit, Insassensicherheit
  (z.B. Antiblockiersystem, Fahrdynamikregelung, Beleuchtung, Scheibenreinigungsanlage, Airbagsystem, Gurtstraffer)
- Komfortsysteme und Diebstahlschutz
  (z.B. Sitzverstellung, Klimatisierung, Türsteuerung, Wegfahrsperre)
- Informationssysteme
  (z.B. Navigationssystem, Telefon, Radio, Fahrzeuginformation und –diagnose)

(b) Einteilung der elektrischen Verbraucher nach Einschaltdauer:

- Kurzzeitverbraucher
  (z.B. Fensterheber, Bremsleuchten, Blinker)
- Langzeitverbraucher
  (z.B. Beleuchtung, Sitzheizung, Radio)
- Dauerverbraucher
  (z.B. Zündung, Kraftstoffpumpe, Steuergeräte)

Mittlere Verbraucherleistung (Energieverbrauch):

- Einschaltdauer (abhängig von Jahreszeit, Fahrerwunsch, Verkehr, …)
- mittlere Leistungsaufnahme (Spannungsabhängig)
- Anteil der Standverbraucher, Ruhestromverbrauch

→ Auslegungskriterium für Generatorgröße und Batteriegröße

Verbraucher	Leistungs-aufnahme	Mittlere Leistung
Zündung	20 W	20 W
Kraftstoffpumpe	50 W	50 W
Motronik	200 W	200 W
Abblendlicht	110 W	90 W
Schlussleuchten	30 W	25 W
sonst. Beleuchtung	22 W	20 W
Autoradio	20 W	20 W
Innenraum-heizung, Gebläse	120 W	50 W
Heckscheiben-heizung	200 W	60 W
Elektrischer Kühlerventilator	120 W	30 W
Scheibenwischer	50 W	10 W
Scheiben-waschanlage	60 W	5 W

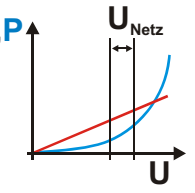
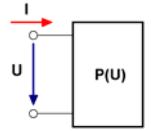
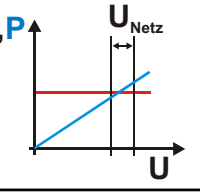
Bremslicht	45 W	12 W
Blinklicht	42 W	5 W
Nebelscheinwerfer	110 W	20 W
Nebelschlusslicht	21 W	2 W
elektr. Fensterheber	je 150 W	je 10 W
Sitzheizung	je 120 W	je 10 W
elektr. Sitzverstellung	je 110 W	je 5 W
elektr. Lenkradverstellung	25 W	2 W
SUMME	1625 W	646 W

Installierte Verbraucherleistung

bewertete mittlere Verbraucherleistung (Einschaltdauer, Schalthäufigkeit, Gleichzeitigkeitsfaktor)

Bild 2.7: Beispiele für mittlere Verbraucherleistungen [BOSCH-02]

(c) Einteilung der elektrischen Verbraucher nach Leistungsaufnahme:

ungeregelte Verbraucher *(z.B. Beleuchtung, Sitzheizung, Heckscheibenheizung)*	$R(U) = konst.$ $P(U) = \frac{U^2}{R}$		
geregelte Verbraucher *(z.B. Schaltnetzteile für Elektronik, Leistungstreiber für Stellmotoren)*	$I(U) = konst.$ $P(U) = I \cdot U$		

Schaltverhalten:

Maximaler Stromgradient, Einschaltstrom, getaktete Betriebsweise

→ Bestimmt Bordnetzstabilität, Spannungsqualität

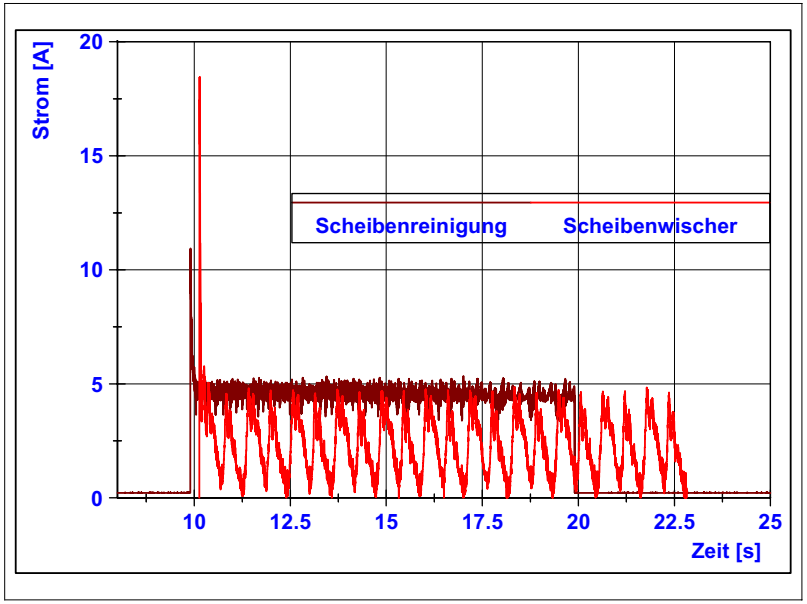


Bild 2.8: Beispiel für Verbraucherstromprofil (Bordnetzmessungen TU Dresden)

2.1.3 Anforderungen an die Energieversorgung

Funktion und Betriebssicherheit des Fahrzeugs muss jederzeit gegeben sein:

- Der Verbrennungsmotor muss innerhalb vorgegebener Grenzen gestartet werden können (ausreichender Ladezustand der Batterie notwendig → ausreichendes Laden der Batterie und begrenzter Ruhestrom bei Fahrzeugstillstand erforderlich)
- Im Fahrbetrieb ist für eine ausreichende Versorgung der Verbraucher und das Nachladen der Batterie zu sorgen (positive Ladebilanz)
- Bei Motorstillstand sollen elektrische Standverbraucher noch eine angemessene Zeit betrieben werden können
- Das gegebene Toleranzband der Bordnetzspannung muss eingehalten werden (Ausgleich von dynamischen Lastwechseln)

- Im Kurzschlussfall ist die defekte Komponente sicher und schnell vom Bordnetz zu trennen, ohne den Betrieb weiterer Systeme zu beeinträchtigen (dezentrale Absicherung)

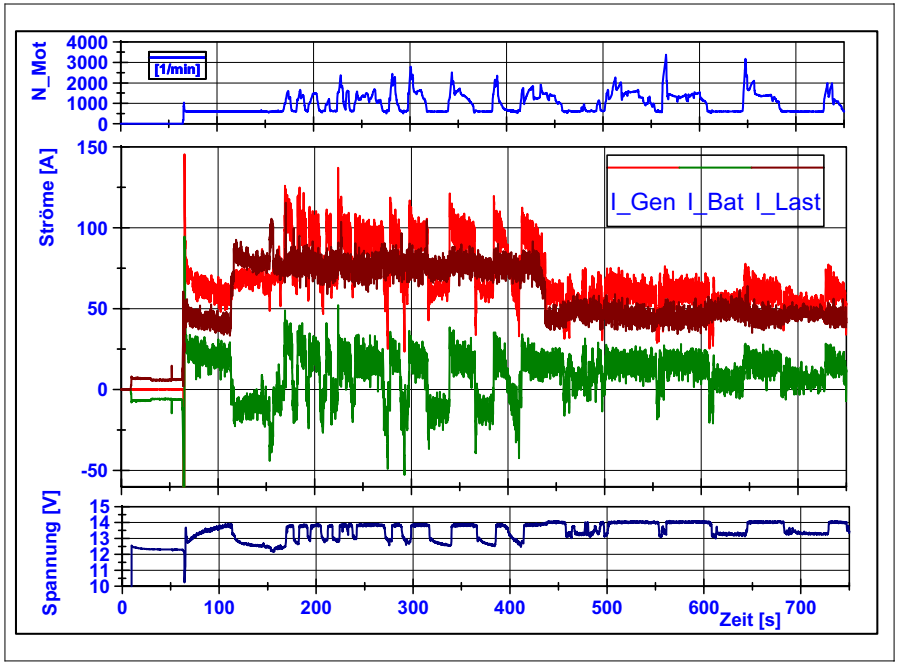


Bild 2.9: Bordnetzverhalten während einer Stadtfahrt (Beispiel) (Bordnetzmessung TU Dresden)

2.2 Generator

Seit der Verfügbarkeit kostengünstiger Leistungsdioden (ca. 1970) werden im Kfz Drehstrom-Synchron-Generatoren verwendet. Sie bieten wesentliche Vorteile gegenüber Gleichstromgeneratoren:

- Größere elektromagnetische Ausnutzung
  → *Gewicht, Wirkungsgrad*
- Leistungsabgriff erfolgt über fest stehende Ständerwicklungen
  → *Maximaldrehzahl, Maximalleistung, Wartung / Lebensdauer*

Aufbau und Funktion

- Feststehender Ständer mit dreiphasiger Ständerwicklung (Blechpaket mit Nuten)
- Rotierender Läufer mit den zwei klauenförmigen Polradhälften, der eingeschlossenen Erregerwicklung mit Schleifringen, Lüfterrad und Riemenscheibe
- Diodenplatte mit Gleichrichtdioden und Kühlblechen
- Elektronischer Regler mit Schleifringkontakten für die Erregerwicklung

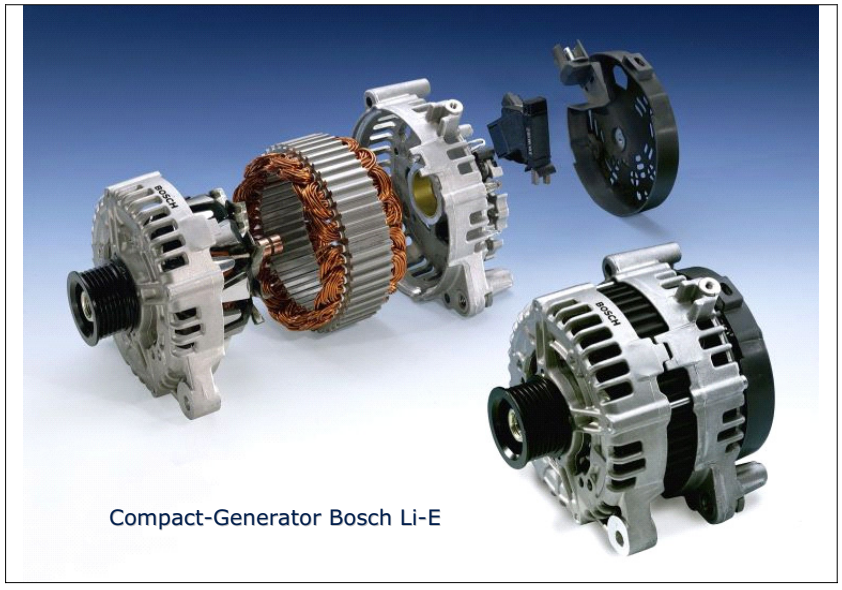


Bild 2.10: Explosionsphoto eines luftgekühlten Klauenpolgenerators [www.bosch.de]

Generatorantrieb

Kraftschlüssiger Riementrieb im Verbund mit weiteren Nebenaggregaten

- Schmalkeilriemen, heute Keilrippenriemen
- Richtige Riemenvorspannung wichtig für optimale Kraftübertragung (Schlupf < 1%, Wirkungsgrad 94 … 97%, geringes Laufgeräusch)
- Leistungsfähigkeit des Generators steigt mit Drehzahl; Drehzahlbegrenzung durch Fliehkräfte, Riemenbeanspruchung, erhöhter Verschleiß von Lagern, Schleifringen und Kohlebürsten
  → typische Übersetzung im Pkw von 1:2 bis 1:3 zur Motordrehzahl
- Generatordrehzahl ist durch festes Übersetzungsverhältnis direkt proportional zur Motordrehzahl

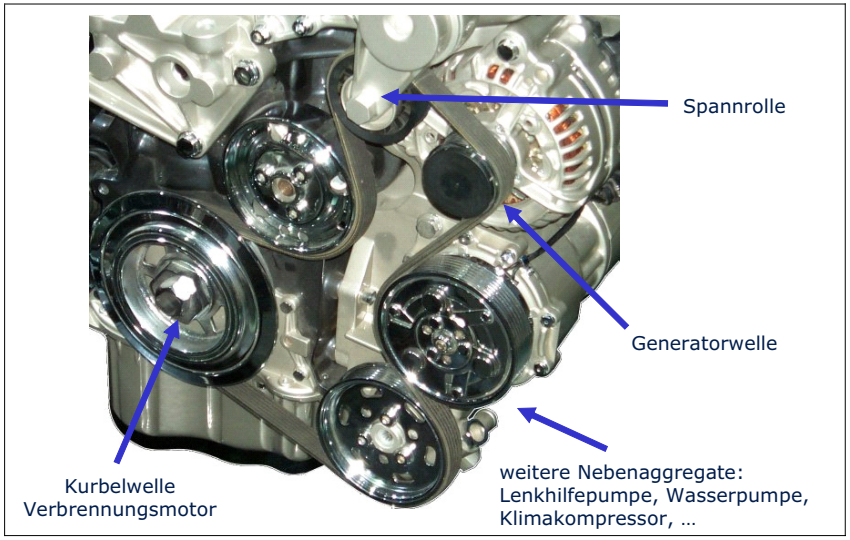


Bild 2.11: Riementrieb der Nebenaggregate mit Keilrippenriemen [www.kfz-tech.de]

Elektrischer Schaltplan (Übersicht)

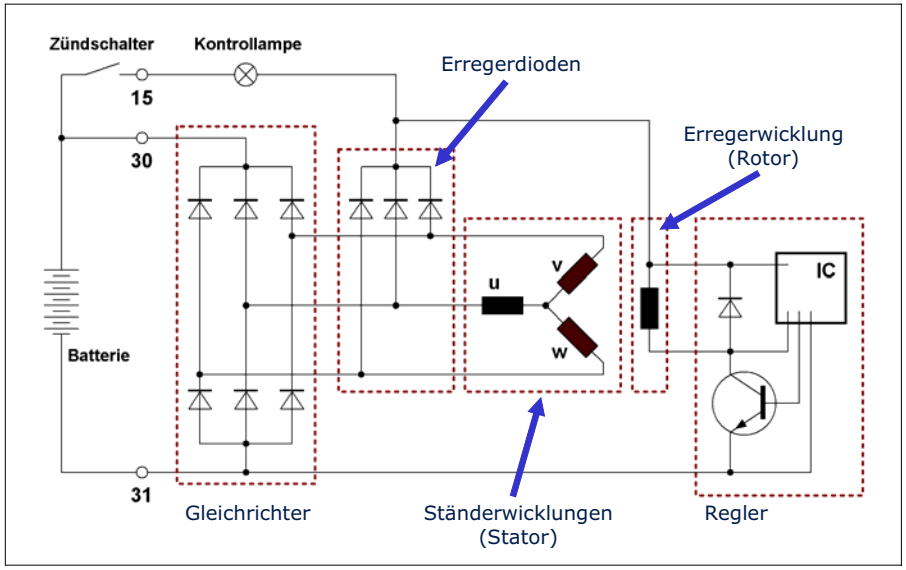


Bild 2.12: Schaltplan des Drehstromgenerators mit elektronischem Hybridregler nach [BOSCH-87]

Spannungsinduktion

Das rotierende Polrad (Läufer mit Klauenpolen) erzeugt ein Drehfeld. Dadurch wird in den drei um 120° räumlich versetzten Ständerwicklungen (Stränge) eine Wechselspannung mit der Frequenz f erzeugt:

$$f = n \cdot p$$

mit n - Drehzahl des Rotors
p - Polpaarzahl (typisch 6 oder 8)

Induzierte Spannung am Ständer (ideelle Polradspannung) [TOR-88]:

$$U_q = c \cdot \Phi \cdot f$$

mit c - konstruktiv bedingte Konstante
(z.B. Geometrie, Leiteranzahl pro Nut)
Φ - magnetischer Fluss

- Magnetfeld wird durch die Erregerspule verstärkt
- Erregerstrom wird über Schleifringe übertragen ($I_{err\,\max} = 4 \ldots 6A$)

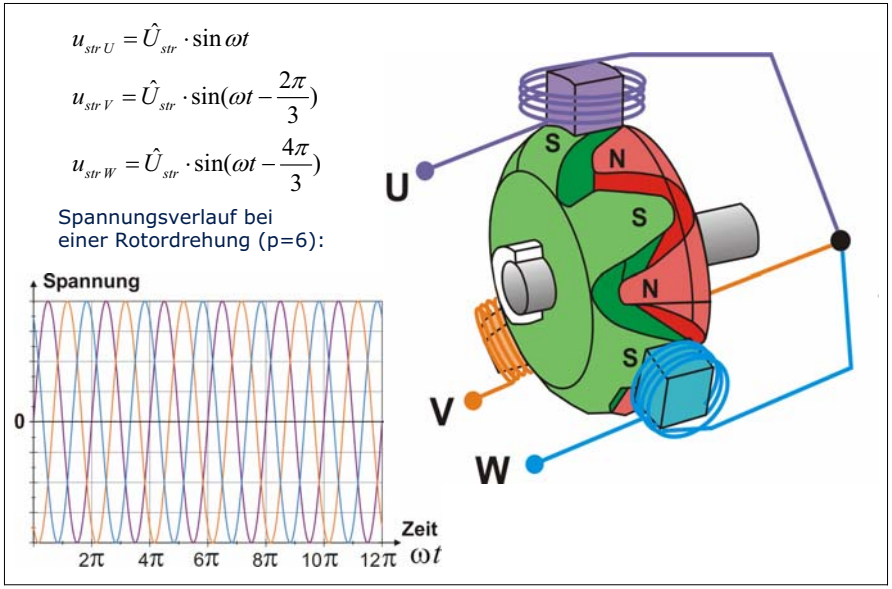


Bild 2.13: Spannungsinduktion in den Ständerwicklungen [TOR-88]

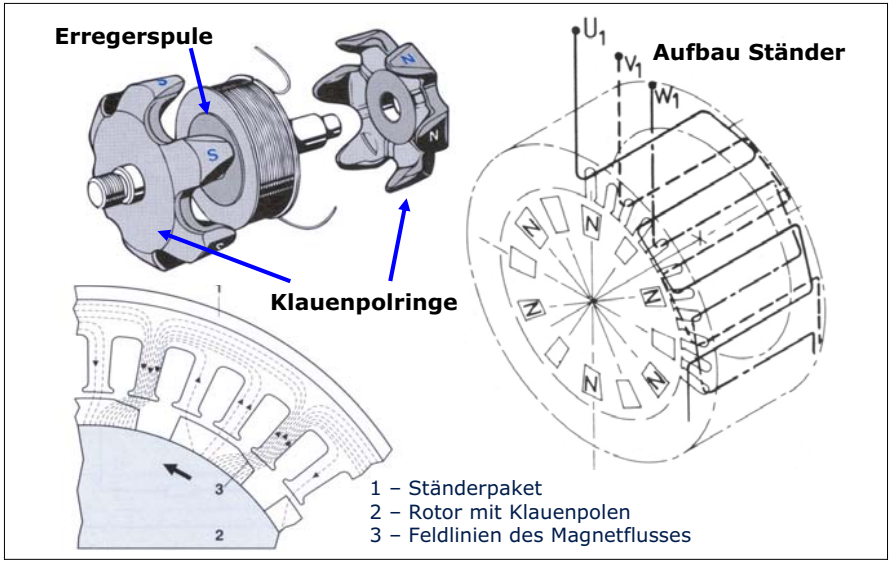


Bild 2.14: Aufbau Ständerwicklungen und Polrad [BOSCH-02], [MOM-90]

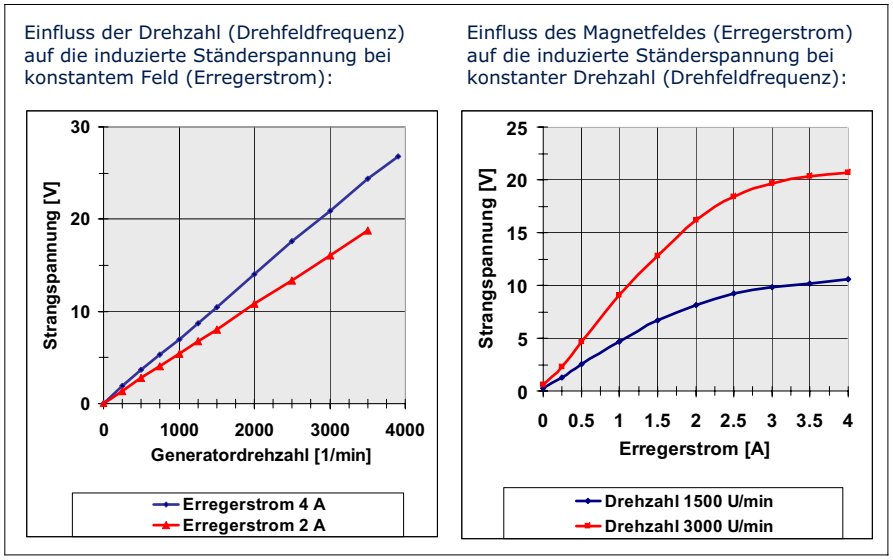
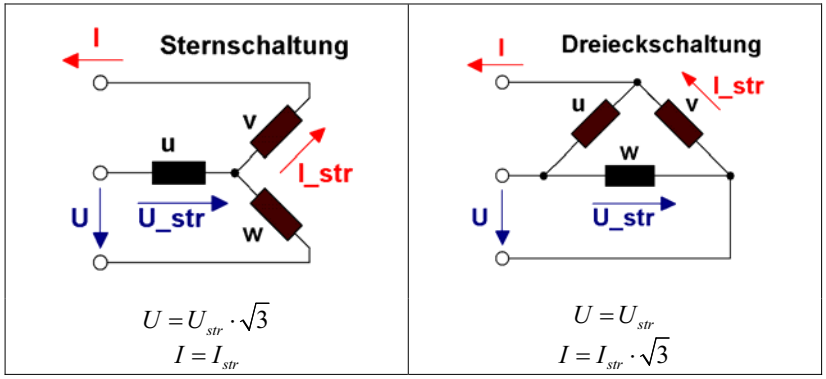


Bild 2.15: Leerlaufkennlinien der induzierten Ständerspannung
Messungen am Generator Bosch K1 23/55A (Praktikum V1)

Die Ständerwicklungen werden miteinander verkettet.
Bei Kfz-Generatoren kommen beide Schaltungsvarianten je nach Leistungsgröße zur Anwendung:



$$U = U_{str} \cdot \sqrt{3} \qquad I = I_{str}$$

$$U = U_{str} \qquad I = I_{str} \cdot \sqrt{3}$$

mit U - Leiterspannung, U_{str} - Strangspannung
I - Leiterstrom, I_{str} - Strangstrom

Spannungsregelung

Die (ungeregelte) Generatorspannung ist abhängig

- von der Drehzahl
- von der Art der Belastung durch:
  - Spannungsverluste im Ständer
  - Temperatureinfluss auf ohmschen Ständerwiderstand (auch abhängig von Lüfterdrehzahl, Umgebungstemperatur)
  - Ankerrückwirkung, Streufelder

→ Für eine konstante Generatorspannung ist ein Spannungsregler notwendig. Dieser stellt den Erregerstrom und beeinflusst damit das Erregerfeld und die Generatorleistung. Die internen und externen Störeinflüsse auf die Generatorspannung werden so kompensiert.

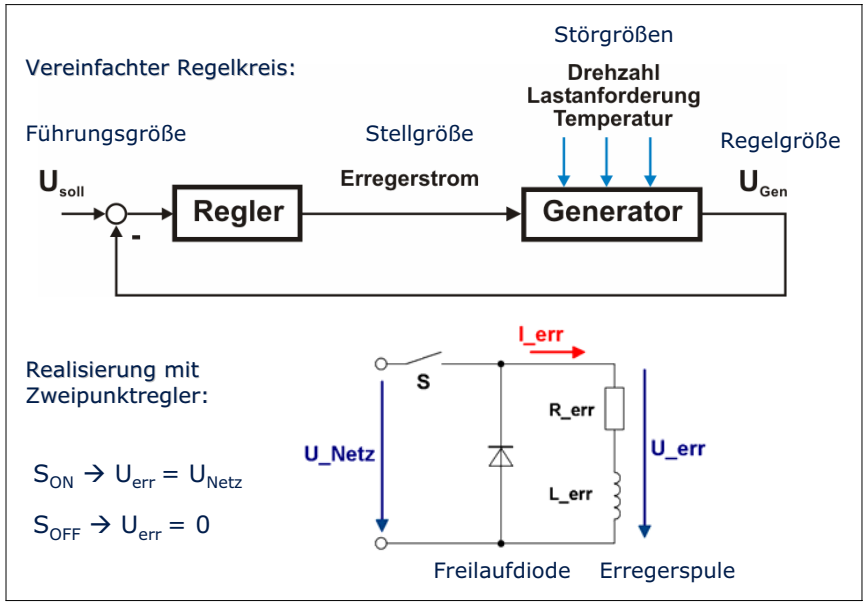


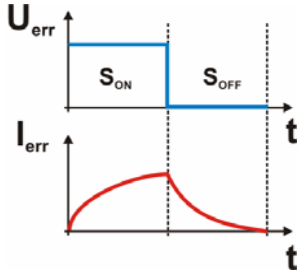
Bild 2.16: Prinzip der Spannungsregelung am Generator

- Die Sollspannung wird an die chemischen Eigenschaften der Batterie angepasst (negative Temperaturkennlinie):

$$U_{soll}(23°C) = 14{,}5\,V$$

$$\text{Gradient:} \quad -10\,mV/K$$

Die Anpassung kann z.B. über die thermischen Eigenschaften der elektronischen Bauelemente im Regler (Temperaturdrift) erfolgen.



$$i_{err}(t) = \frac{U_{err}}{R_{err}}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + I_0 \quad \text{bei } S_{ON}$$

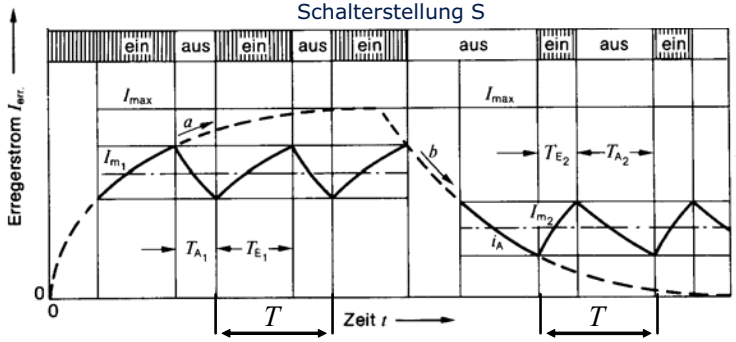
$$i_{err}(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{bei } S_{OFF}$$

mit I_0 - Anfangswert

τ - Zeitkonstante $\frac{L_{err}}{R_{err}}$

Bild 2.17: Strom- und Spannungsverlauf der Erregerspule

Der mittlere Strom durch die Erregerwicklung wird durch das Tastverhältnis des Schalters S bestimmt.



Tastverhältnis
DF (DynamoFeld):

$$DF = \frac{T_{ein}}{T_{ein} + T_{aus}} = \frac{T_{ein}}{T}$$

mittlerer Erregerstrom:

$$\overline{I_{err}} = I_{max} \cdot DF = \frac{U_{Netz}}{R_L} \cdot DF$$

Bild 2.18: Einfluss Tastverhältnis auf den Erregerstrom [BOSCH-02]

- Selbsterregung: Im Normalbetrieb wird der Erregerstrom vom erzeugten Generatorstrom abgezweigt
- Vorerregung: Beim Generatoranlauf erfolgt eine Vorerregung, um eine niedrige „Angehdrehzahl“ zu erreichen (Fremderregung aus der Batterie). Begründung: Die Remanenz des Eisenkernes der Erregerspule ist nicht groß genug, um bei kleinen Drehzahlen eine Generatorspannung zu induzieren, welche die Flussspannung der Dioden überwindet. Es kann noch kein Selbsterregerstrom fließen.

Reglerausführungen

Bei heutigen Generatoren werden elektronische Regler verwendet, welche direkt am Gehäuse befestigt sind.

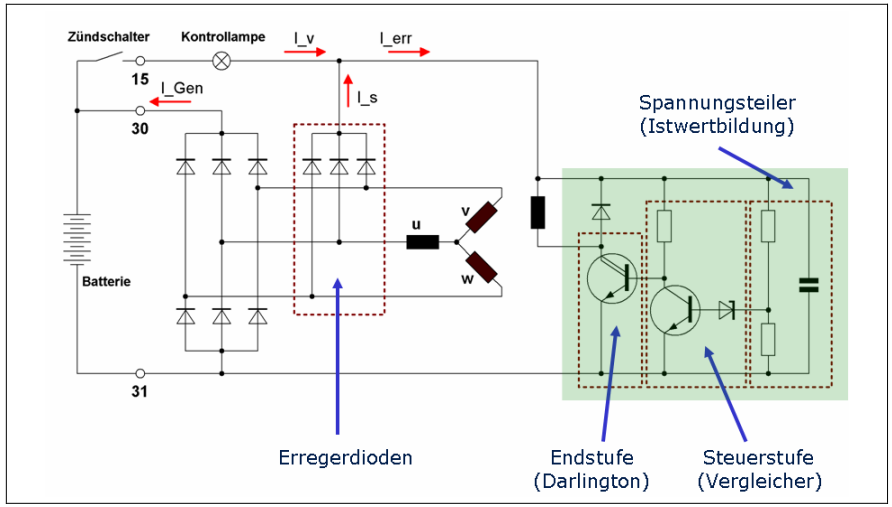


Bild 2.19: Schaltbild eines elektronischen Transistorreglers nach [TOR-88]

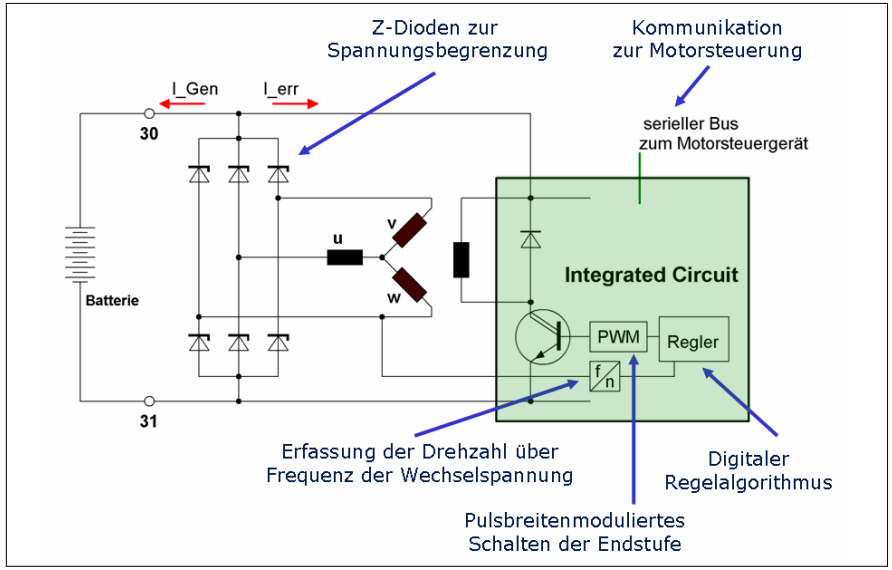


Bild 2.20: Schaltbild eines Multifunktions-Schnittstellenreglers [HEN-90]

Weiterentwicklungen der Generatorregler

- Hybridregler:
  Spannungsteiler und Steuerstufe ist in einem IC realisiert
- Monolithregler:
  Zusätzliche Integration der Freilaufdiode und Leistungsstufe in einem Chip

Erweiterte Funktionalität eines Multifunktions-Spannungsreglers:

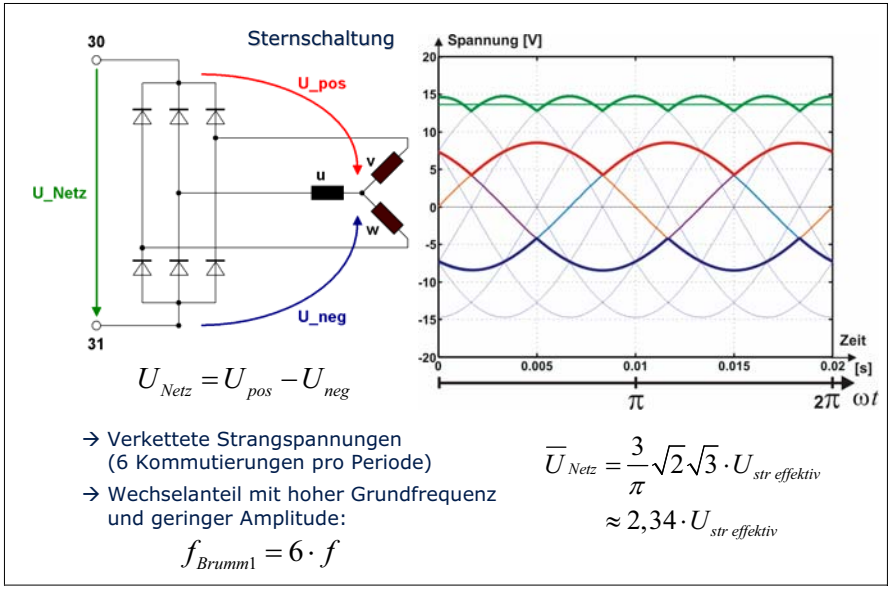
- *Drehzahlerkennung:*
  Ermittlung der Generatordrehzahl über die Frequenz einer Strangspannung
  → Erregdioden, Kontrolllampe werden nicht benötigt
- *Temperaturerfassung im Regler:*
  bei kritischen Temperaturen wird die Generatorleistung reduziert
  → Schutz elektronischer Bauelemente
- *Load Response Control:*
  Bei niedrigen Drehzahlen (Motorleerlauf) wird bei positiven elektrischen Laständerungen der Erregerstromanstieg (DF) durch eine Rampe begrenzt
  → ruhigerer Leerlaufdrehzahlverlauf durch „weiche“ Drehmomentensprünge an der Kurbelwelle
- *Gesteuerte Vorerregung:*
  Generator wird erst nach dem Motorstart zugeschaltet, feste Angehdrehzahl
  → Widerstandsdrehmoment ist während des Startvorgangs reduziert
- *Kommunikation mit Motorsteuergerät:*
  Digitale Steuersignale oder serieller Bus (BSS, LIN):
  Auslastung, Sollspannung, Fehler
  → Integration in ein Energiemanagement

Gleichrichtung

6-Puls Gleichrichter-Brücke (B6)

- Meistbenutzte Gleichrichterschaltung für Drehstrom
- Bestes Aufwand/Nutzen-Verhältnis
- Geringe Welligkeit der Ausgangsspannung (4%)

Bei der Gleichrichtung entsteht eine Gleichspannung, welcher ein Wechselanteil mit hoher Frequenz überlagert ist („Rippel“, „Brummspannung“). Die Welligkeit wird im Bordnetz durch die Batterie geglättet.



$$U_{Netz} = U_{pos} - U_{neg}$$

$$f_{Brumm1} = 6 \cdot f$$

$$\overline{U}_{Netz} = \frac{3}{\pi}\sqrt{2}\sqrt{3} \cdot U_{str\ effektiv} \approx 2{,}34 \cdot U_{str\ effektiv}$$

Bild 2.21: Ideale Spannungsverläufe an der Gleichrichterbrücke [HEN-90]

2.2.2 Kennlinien und Eigenschaften

Stromkennlinie

Maximalstromabgabe in Abhängigkeit der Drehzahl bei konstanter Spannung und definierter Umgebungstemperatur.

Wichtige Drehzahlpunkte:

- *Mindestdrehzahl* n_0:
  Erreichen der Nennspannung im Generatorleerlauf (Null-Ampere-Drehzahl)
- *Einschaltdrehzahl* n_A:
  Angehdrehzahl bei Generatoranlauf $n_A > n_0$
  (abhängig von Vorerregerleistung und Läuferremanenz)
- *Drehzahl bei Motorleerlauf* n_L:
  Bereich der Motorleerlaufdrehzahl 1500 min^{-1} bis 1800 min^{-1}
  (abhängig von der Übersetzung)
- *Nenndrehzahl* n_N:
  Festgelegt bei 6000 min^{-1} (Nennstrom)

- *Höchstdrehzahl* n_{max}:
  Maximaldrehzahl 18000 min^{-1} bis 22000 min^{-1}, abhängig von Generatortyp und Baugröße (Maximalstrom)

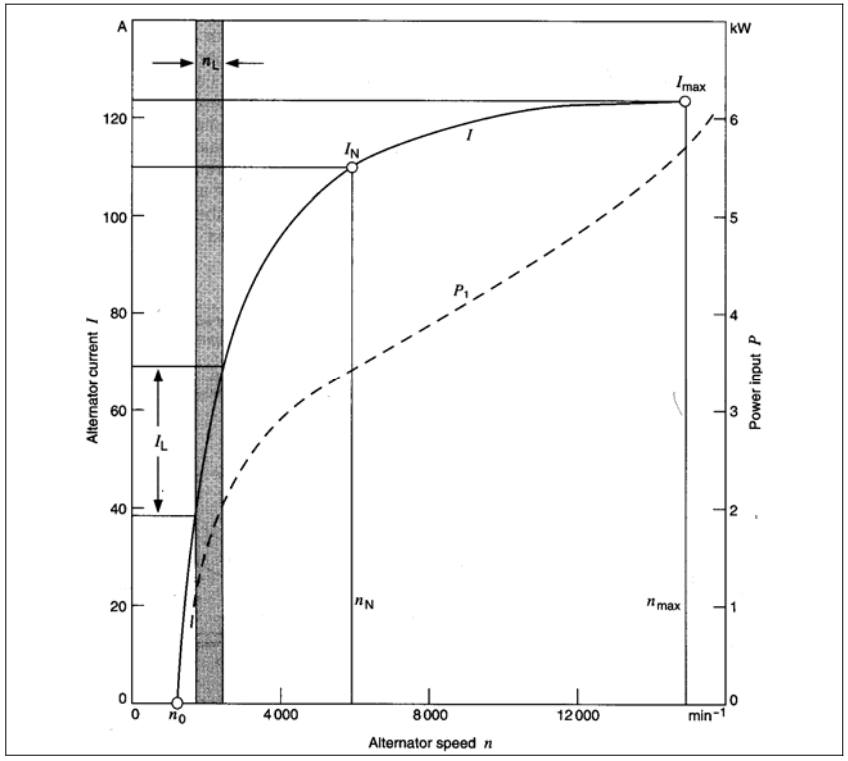
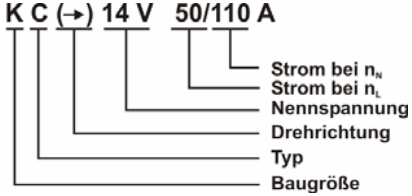


Bild 2.22: Typische Kennlinie eines Drehstromgenerators [BOSCH-87]

Angaben am Typenschild

Beispiel [BOSCH-02]:



Leistungsverluste und Wirkungsgrad

- Eisenverluste (Magnetisierungsverluste)
- Kupferverluste (Ohmsche Verluste)
- Mechanische Verluste (Reibung Lager und Schleifring, Lüfterrad)

Wirkungsgrad: $\eta_{Gen} = \frac{P_{elektrisch}}{P_{mech\ Antrieb}} = \frac{U_{Gen} \cdot I_{Gen}}{M_{Gen} \cdot 2\pi \cdot n_{Gen}}$

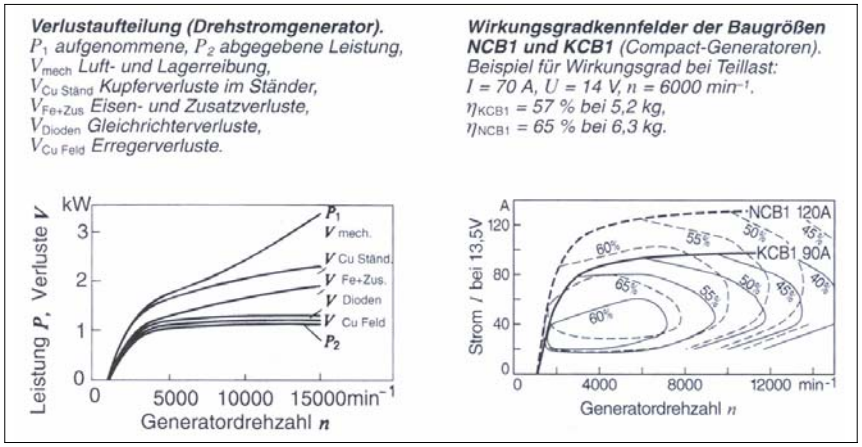


Bild 2.23: Wirkungsgrad-Kennfeld und Verlustaufteilung [BOSCH-99]

Kühlung

- Hohe Umgebungstemperaturen im Motorraum
  $\vartheta_{max\,Umgebung} = 80...120°C$ (Kapselung, Wärmestrahlung)
- Hauptsächlich luftgekühlte Generatoren
- Dioden sind in Kühlkörper (Gehäuse, Plusdiodenplatte) eingepresst
  $\vartheta_{max\,Dioden} = ca.\,200\ldots225°C$
- Regler auf Kühlkörper angebracht
  $\vartheta_{max\,Regler} = ca.\,150°C$

Bei großen Generatoren: Frischluftansaugung oder Wasserkühlung (erfordert hohen Aufwand und Kosten!)

Geräusch

- Aerodynamisches Geräusch durch Luftstrom
  → Lüfterdesign, Luftführung

- Magnetisch angeregte Geräusche durch wechselnde Kraftwirkung des Magnetfeldes zwischen Läufer und Ständer
  → Klauenpolgeometrie, Toleranz Luftspalt
- Mechanische Anregung durch Motorblock
  → Befestigung, Lager

2.2.3 Generatorausführungen und Entwicklungskriterien

Generatorausführungen

- *Klauenpolgeneratoren mit Schleifringen:*
  - Topf-Generatoren
  - Compact-Generatoren (*Bild 2.10*)

  → meistbenutzte Bauform für Leistungen bis 5 kW, geringer Erregerkupfer-Aufwand, einfache Fertigung
- *Generator mit Leitstückläufer (Bild 2.24):*
  fest stehende Erregerwicklung, keine Schleifringe
  → längere Lebensdauer, höheres Gewicht, zwei Luftspalte, wassergekühlte Ausführung möglich
- *Einzelpolgenerator:*
  Läufer mit einzelnen Polen (Schenkelpolmaschine)
  → größere Baulänge möglich, große Leistungen (> 5 kW), höherer Erregerstrom erforderlich, geringere Drehzahlen

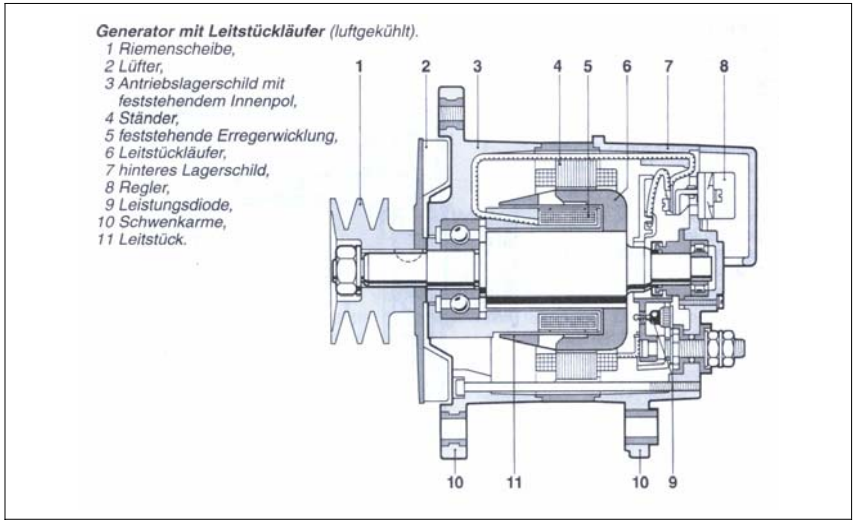


Bild 2.24: Schleifringloser Generator mit Leitstückläufer [BOSCH-99]

Entwicklungskriterien

- Prioritätenreihenfolge bei der Entwicklung:
  1. Kosten
  2. Leistung
  3. Wirkungsgrad
  4. Reglerfunktion
  5. Geräusch
  6. Lebensdauer
  7. Bauvolumen
  8. Gewicht
  9. Drehmasse
  10. …
- Wesentliche Maßnahmen zur Leistungssteigerung:
  - Optimierung des Magnetischen Kreises (Reduzierung des Erregerbedarfs und der Streuung)
  - Wickeltechnik der Ständerwicklungen (Erhöhung des Füllfaktors)

Einfluss einiger Parameter auf die Generatorleistung:

Verkettung der Stränge: Dreieckschaltung gegenüber Sternschaltung	+ geringere Kupferverluste im Ständer - höhere Einschaltdrehzahl
Ständerwicklungsauslegung: größere Leiterzahl je Strang (Nut)	+ niedrigere Einschaltdrehzahl - niedrigerer Wirkungsgrad (größere Ankerrückwirkung)
Anzahl der Polpaare: Größere Polpaarzahl	+ bessere Maschinenausnutzung - größere Streuverluste im Feld

2.3 Batterie

Im Kfz werden vorrangig Bleiakkumulatoren (Bleibatterien) als Energiespeicher verwendet.

- Elektrochemischer Energiespeicher:
  - Elektroden aus Blei und Bleidioxid
  - Elektrolyt aus verdünnter Schwefelsäure
- Sekundäre Batterie (reversible Wandlung zwischen elektrischer und chemischer Energie möglich)
- Vergleich zu anderen Akkumulatortypen:
  - Vorteile: bewährte und einfache Technologie, preisgünstig
  - Nachteile: geringe Leistungsdichte, bedingt zyklenfest

2.3.1 Aufbau und Funktion

Elektrochemische Reaktion

$$PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \underset{Laden}{\overset{Entladen}{\rightleftharpoons}} 2PbSO_4 + 2H_2O$$

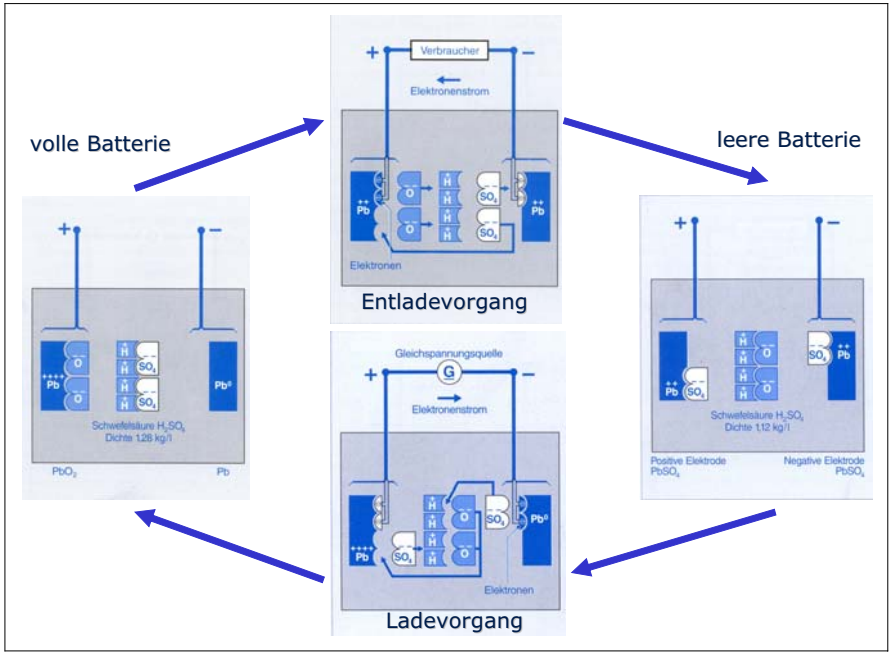


Bild 2.25: Prinzip der elektrochemischen Rektionen [BOSCH-02]

	Positive Elektrode	Elektrolyt	Negative Elektrode
Geladene Zelle	(braunes) Bleidioxid	Schwefelsäure hoher Dichte	(graues) Blei
Entladene Zelle	(weißes) Bleisulfat	Schwefelsäure geringer Dichte	(weißes) Bleisulfat

- Blei kann in verschiedenen Valenzen auftreten
- Dichte (Konzentration) des Elektrolyten ändert sich mit dem Ladezustand → Säureprüfer bei herkömmlichen Batterien
- Wird eine vollständig geladene Batterie weiter geladen oder mit zu hoher Spannung geladen, wird Wasser im Elektrolyt zersetzt (Elektrolyse) → Gasungsspannung (abhängig von der Temperatur)
- Potentialdifferenz zwischen beiden Elektroden und Elektrolyt beträgt ca. 2V (abhängig von Ladezustand, Plattenmaterial, Säuredichte und Elektrolyttemperatur) → Normierung auf 2,0 V

→ Reihenschaltung von 6 Einzelzellen ergibt Bleiakkumulator mit 12V Nennspannung

Aufbau

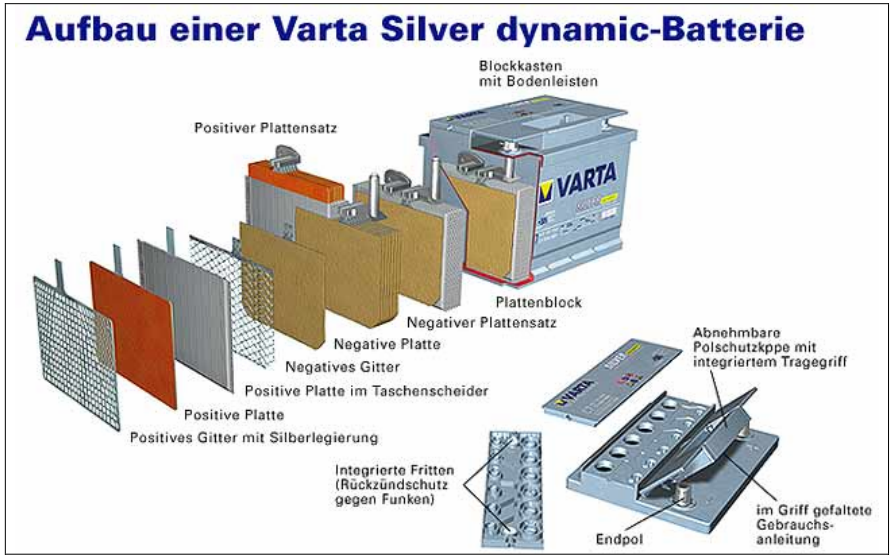


Bild 2.26: Explosionszeichnung einer Bleibatterie [varta-automotive.de]

- Plattenblöcke:
  - Gitterplatten: Bleiplatten als Träger des aktiven Materials (Elektroden), Streckmetall
  - Separatoren: Scheidewände zwischen den einzelnen Platten des Plattenblocks; galvanische Isolation, aber Elektrolytdurchlässig
- säurebeständiger Blockkasten
- Zellenverbinder und Endpole

Batterietypen

Gitterplatten möglichst dünn und porös (große spezifische Oberfläche!):
→ Blei ist sehr weich (Problem bei Herstellung und mech. Haltbarkeit)
→ daher Einsatz von Bleilegierungen

Herkömmliche Batterietechnologie

- Blei-Antimon-Legierung ($PbSb$):
  - „Hartblei“, schnellere Aushärtung als reines Blei
  - schnelle Alterung: Antimon löst sich vom Plusgitter und setzt sich an Minusgitter ab („Antimonvergiftung“ der Minusplatte) → höhere Selbstentladung, niedrigere Gasungsspannung
  - Hoher Wasserverbrauch (Gasung), schnelle Alterung
  - Problem Tiefentladung (Sulfatierung)

Wartungsfreie Batterien

- Blei-Kalzium-Legierung ($PbCa$):
  - geringer Wasserverbrauch
  - Kalzium ist elektrochemisch inaktiv
  - Problem des Ausfalls bei zyklischer Belastung und Tiefentladungen („Antimonfrei-Effekt“)
- Blei-Kalzium-Silber-Legierung ($PbCaAg$):
  - Härtere Platten ermöglichen bessere Ausnutzung
  - Entgegenwirken des „Antimonfrei-Effekts“ durch Zusatz von Zinn / Silber

Verschlossene Batterien

- Blei-Gel-Batterien: Gel aus Kieselsäure, hohe Gebrauchsdauer, zyklischer Einsatz
- AGM-Batterien: Glasfasermatten, hohe Entladeströme
  - Elektrolyt ist gebunden, Rekombination von Sauerstoff zu Wasser erfolgt fast vollständig → fast keine Gasung
  - Gleichmäßige Säureverteilung
  - Elektrolyt kann durch Kippen nicht austreten

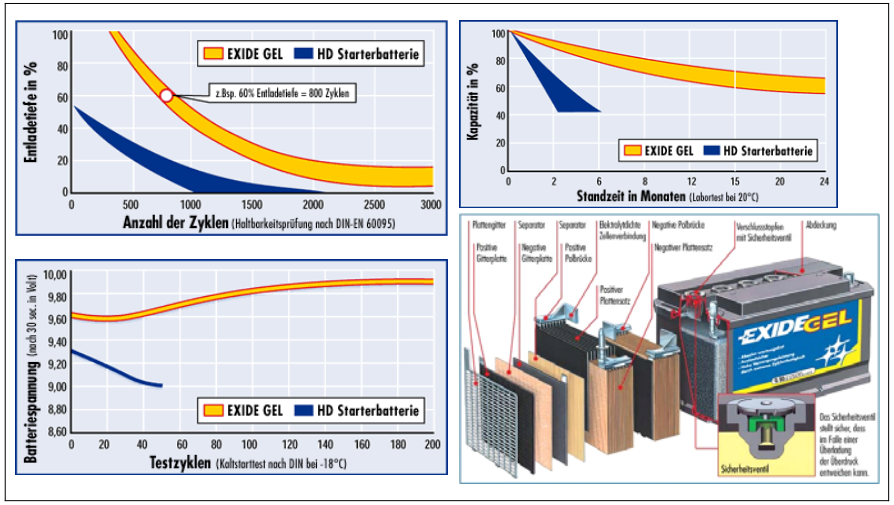


Bild 2.26: Vergleich einer „HeavyDuty“-Bleibatterie mit einer Blei-Gel-Batterie [exide-automotive.de]

2.3.2 Kenngrößen und Eigenschaften

Kenngrößen

Auf dem Typenschild sind folgende Kenngrößen angegeben:
(Prüfmethoden nach DIN EN 60 095-1)

- Nennkapazität K_{20}:
  Ladungsmenge, die bei einem konstantem Entladestrom bei 25°C 20 Stunden lang kontinuierlich aus der Batterie entnommen werden kann, ohne dass die Klemmenspannung unter 10,5V abfällt. Entladestrom I_{20}:

$$I_{20} = \frac{K_{20}}{20[h]} \text{ bzw. } K_{20} = I_{20} \cdot 20[h]$$

- Kälteprüfstrom I_{CC}:
  Stromabgabefähigkeit der voll geladenen Batterie für 10 Sekunden bei $-18°C$, ohne dass die Klemmenspannung unter 7,5V sinkt.

- Nennspannung:
  Anzahl der Einzelzellen in Reihe multipliziert mit der normierten Zellenspannung aus der elektrochemischen Spannungsreihe. Entspricht der durchschnittliche Klemmenspannung beim Entladen mit geringen Stromstärken

Ersatzschaltbild

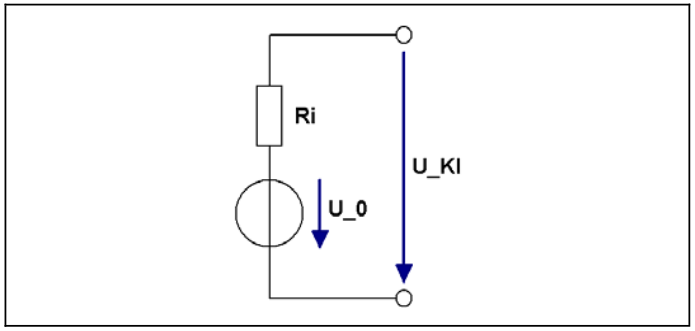


Bild 2.27: Lineares Zweipolersatzschaltbild einer Batterie

- Leerlaufspannung U_0: Ruhespannung der unbelasteten Batterie
  - nach abgeschlossenen Lade-/Entladevorgängen erfolgen elektrochemische Ausgleichsvorgänge (Polarisation, Diffusion) → Leerlaufspannung ändert sich langsam bis zur Ruhespannung
  - Ruhespannung abhängig von Ladezustand und Elektrolyttemperatur

  Ruhespannung bei Elektrolyttemperatur 20°C [VARTA-92]:

Ladezustand	100 %	80 %	60 %	40 %	20 %	0 %
Ruhespannung	12,7 V	12,5 V	12,3 V	12,1 V	11,9 V	11,7 V

- Innenwiderstand R_i: Ersatzreihenwiderstand aus Übergang zwischen Elektrode/Elektrolyt, Elektrolyt, Elektroden und Zellenverbinder
  - abhängig von aktiver Elektrodenoberfläche (Alterung!) → damit abhängig von Batteriegröße!
  - abhängig von Ladezustand und Elektrolyttemperatur

Das Modell gilt nur für einen bestimmten Betriebspunkt (Ladezustand, Temperatur) für ein kleines Zeitintervall (z.B. Startvorgang). Die Ladungsänderung (Kapazität) ist im Modell nicht berücksichtigt.

Die entnehmbare Ladungsmenge (Kapazität) ist abhängig von:
- Entladestromstärke
- Dichte, Säureverteilung und Temperatur des Elektrolyten
- Zeitlicher Verlauf der Entladung
- Alter der Batterie, vorangegangene Entladungen („Batteriegedächtnis“)

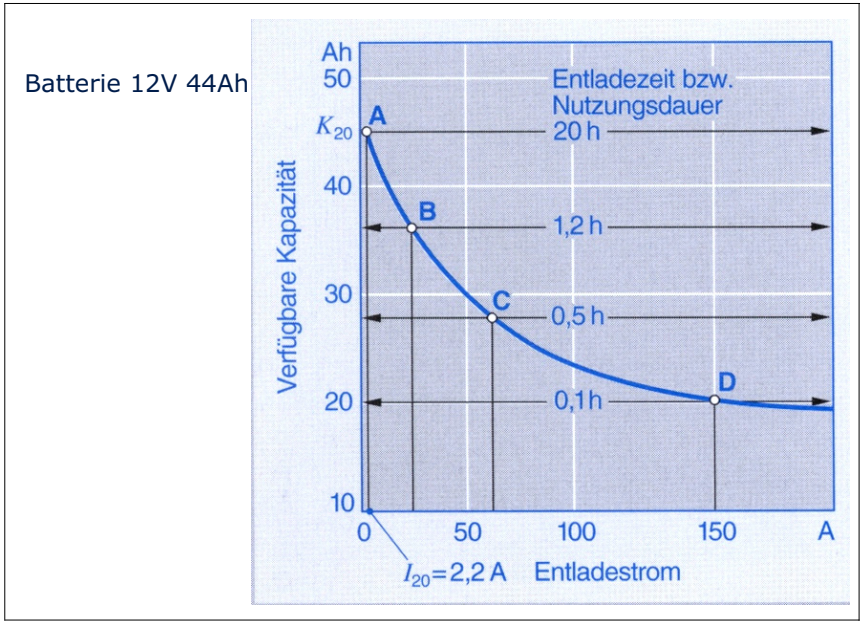


Bild 2.28: Abhängigkeit der Batteriekapazität vom Entladestrom [BOSCH-02]

Selbstentladung

- Ladungsverlust bei offenen Klemmen auf Grund elektrochemischer Wechselwirkungen und Leckströmen (Verschmutzungen im Elektrolyten, Gitterplatten)
- abhängig von der Temperatur und dem Ladezustand

Richtwerte bei Raumtemperatur [HEN-90]:
- Herkömmliche Batterien: ca. 0,5 % Ladungsverlust pro Tag (bis auf über 1 % steigend mit zunehmender Alterung)
- Wartungsfreie/Verschlossene Batterien (Antimonfrei): ca. 0,1 % Ladungsverlust pro Tag (über Lebensdauer annähernd konstant)

→ begrenzte Lagerzeit (Nachladung, Erhaltungsladung)

Alterung

Tabelle wichtiger Alterungsmechanismen [www.basytech.de]:

	Ursachen	Folgen
Abschlammung: aktives Material löst sich von den Elektroden-platten und fällt in den Schlammraum am Boden	Hohe Ladespannung (Gasung) Mechanische Stöße Große Entladeströme Tiefentladungen	Aktives Material geht verloren: Kapazitätsverlust Kurzschlussgefahr
Verbleiung: Auswaschung der „Spreizmittel“ aus den neg. Elektrodenplatten	Hoher Ladungsdurchsatz (zyklische Belastung)	Aktive Oberfläche wird verkleinert: Kapazitätsverlust Größerer Innenwiderstand
Korrosion: Elektrochem. Oxidation der Gitterplatten mit verdünnter Schwefelsäure	Hohe Ladespannungen Hohe Temperaturen Ungünstige Legierungen (Antimon) Hohe Säuredichte im Elektrolyt (Säureschichtung!)	Zersetzung der Gitter und Stromleiter: Größerer Innenwiderstand Leiterbruch Kurzschlussgefahr
Sulfatierung: Bildung von Bleikristallen an den Gitterplatten bei entladener Batterie	Tiefentladungen Unzureichendes Laden Lagern im (teilweise) entladenen Zustand Lange Standzeiten Hohe Säuredichte im Elektrolyt (Säureschichtung!)	Aktive Oberfläche wird verkleinert: Kapazitätsverlust Größerer Innenwiderstand Kurzschlussgefahr Geringere Säuredichte

Maßnahmen zur Erhöhung der Lebensdauer:

- Halten eines dauerhaft hohen Ladezustands
- Vermeiden von Tiefentladungen, Lagerung im entladenen Zustand
- Vermeiden von unnötigen Entlade-/Ladezyklen (zyklische Belastungen)
- Vermeiden von hohen Temperaturen und zu hohen Ladespannungen

Lademethoden

- Ladespannung muss unter Gasungsspannung liegen
- Normalladung mit geringem Ladestrom $I_{Lade} \leq 2 \cdot I_{20}$
- Schnellladung bis 80% von K_{20} bis $I_{Lade} \leq 10 \cdot I_{20}$ möglich
- Mikroprozessorgesteuerte Laborladegeräte mit verschiedenen Kennlinien (automatische Abschaltung, Erhaltungsladung, …)

Ladekennlinien werden in DIN 41 772 beschrieben:

Kurzzeichen	Kennlinie / Parameter
I	Konstanter Ladestrom
U	Konstante Ladespannung
W	Widerstandskennlinie
0	Automatisches Umschalten
A	Automatisches Abschalten
E	Automatisches Neueinschalten

Beispiele:

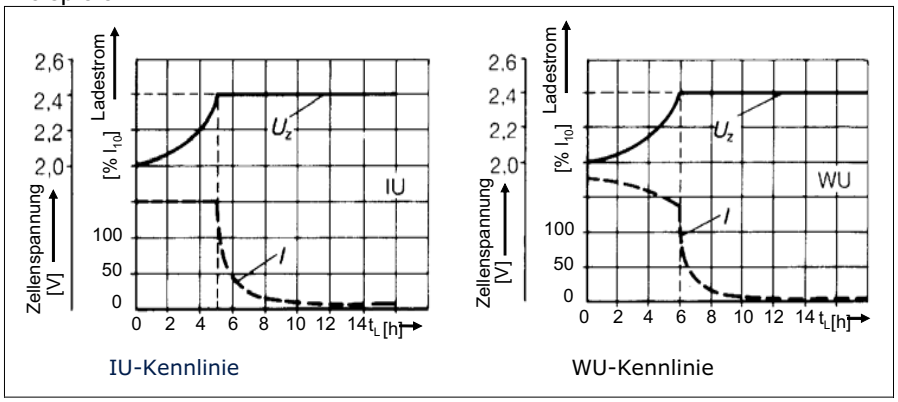


Bild 2.29: Beispiel für Ladekennlinien einer Batterie [VARTA-92]

- Ladung im Fahrzeug mit Spannungsbegrenzung, ähnlich der IU-Lademethode (Generatorregelung mit variabler Sollspannung, abhängig von der Temperatur, siehe Abschnitt 2.2.1):
  - Maximalstrom ist durch Generatorleistung begrenzt
  - Laden mit konstanter Spannung, die unter der Gasungsspannung liegt (Richtwert: $13{,}5\,V \leq U_{Kl} \leq 14{,}7\,V$)

2.4 Startanlage

Für die Startanlage im Kfz werden heute Gleichstrommotoren mit Einspursystem verwendet. In modernen Pkw kommen dabei permanenterregte Motoren mit Vorgelege zum Einsatz.

- Sehr hohe spezifische Leistungsdichte (kein Erregerkupfer); Dimensionierung auf Kurzzeitbetrieb
- Keine Leistungselektronik für Ansteuerung des Motors notwendig

2.4.1 Startvorgang des Verbrennungsmotors

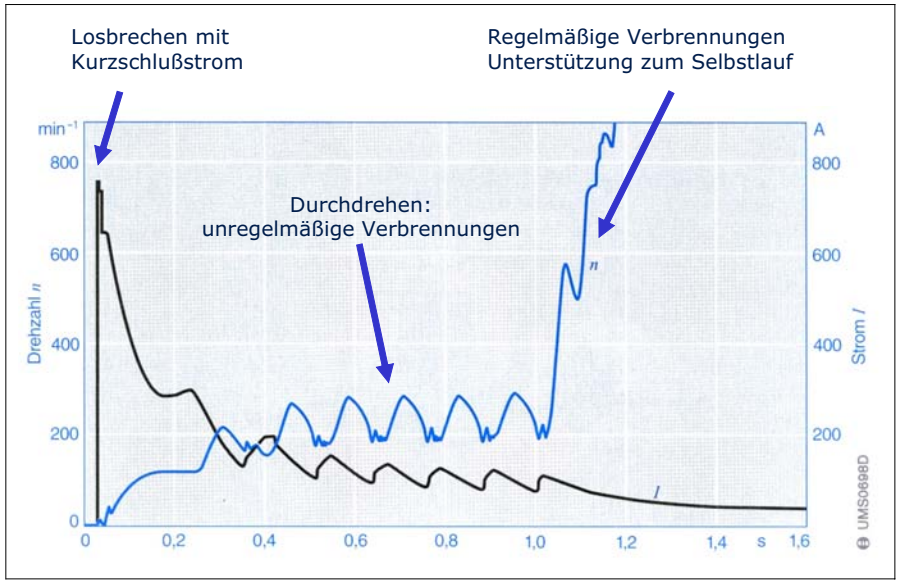


Bild 2.30: Drehzahl- und Starterstromverlauf beim Startvorgang [BOSCH-02]

- Schleppmoment des Verbrennungsmotors („Durchdrehwiderstand“) abhängig von:
  - Hubraum
  - Viskosität des Motoröls → Temperatur
  - Bauart (konstruktive Merkmale, Drehmasse, Lager)
  - Schlepplasten (Nebenaggregate, Kupplung, …)
  - Drehzahl

- Antriebsmoment des Startermotors ist abhängig von:
  - Motortyp und Baugröße
  - Leistungsfähigkeit der Batterie → Batteriegröße, Temperatur
  - Widerstände der elektrischen Zuleitungen

→ Bewegungsgleichung ($M_{Starter}$, J_{ges} bezogen auf Kurbelwelle):

$$M_{Starter}(t) - M_{Schlepp}(t) = 2\pi \cdot J_{ges} \cdot \frac{dn_{VM}(t)}{dt} \qquad (2.1)$$

mit
- $M_{Starter}$ - Antriebsmoment Startermotor
- $M_{Schlepp}$ - Schleppmoment Verbrennungsmotor
- J_{ges} - Trägheitsmoment
- n_{VM} - Drehzahl des Verbrennungsmotors

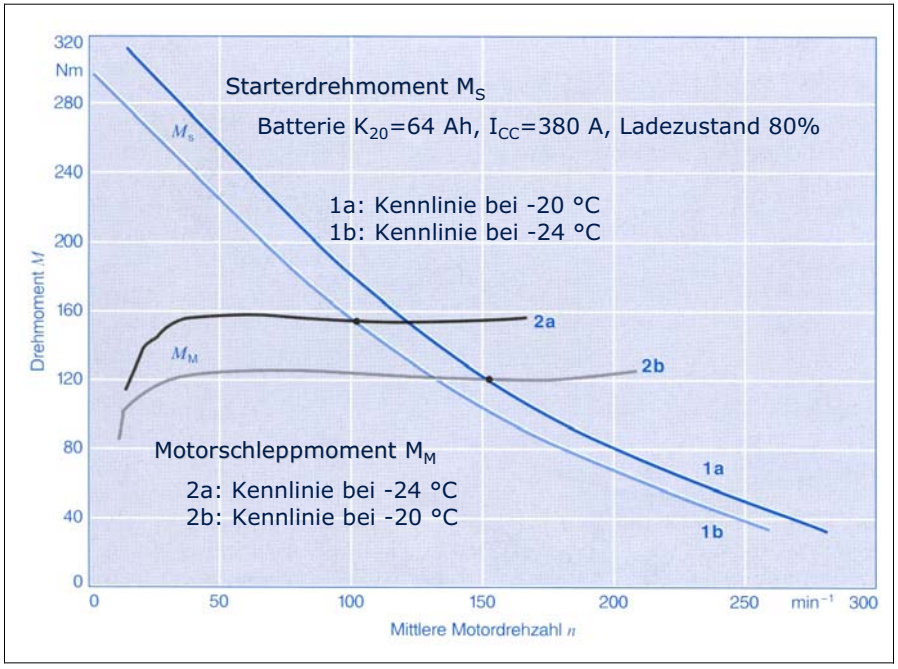
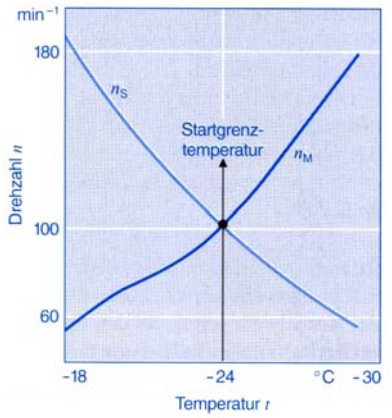


Bild 2.30: Temperaturabhängigkeit der Drehmomente beim Motorstart [BOSCH-02]

- Mindest-Startdrehzahl („Zünddrehzahl“) ist temperaturabhängig:
  - Selbstzündung bei Dieselmotor
  - Ausreichende Gemischbildung bei Ottomotor



n_S – mit dem Startsystem erreichte Motordrehzahl (Arbeitspunkte aus Bild 2.33)

n_M – für den Start erforderliche Mindestdrehzahl

Dimensionierung der Starteranlage auf Temperaturen von -18 … -28 °C (Europa)

Mindeststartdrehzahlen für -20°C:

Ottomotor	60 … 100 min^{-1}
Dieselmotor ohne Starthilfe	80 … 200 min^{-1}
Dieselmotor mit Starthilfe	60 … 120 min^{-1}

Bild 2.31: Ermittlung der Startgrenztemperatur [BOSCH-02]

→ Startbedingung: Der Verbrennungsmotor muss bis zur Mindest-Startdrehzahl beschleunigt werden

$$M_{Starter}(n_M) > M_{Schlepp}(n_M)$$

2.4.2 Aufbau und Funktion

- Gleichstrommotor
  - rotierender Läufer mit Ankerwicklungen (Blechpaket mit Nuten) und Kommutatorlamellen
  - Ständer mit Permanentmagnetpolen oder mit zusätzlichen Erregerwicklungen
  - Kohlebürsten, die auf dem Kommutator schleifen
- Einrückrelais mit Einrückhebel
- Welle mit Vorgelege (Planetengetriebe), Freilauf und Einspurgetriebe

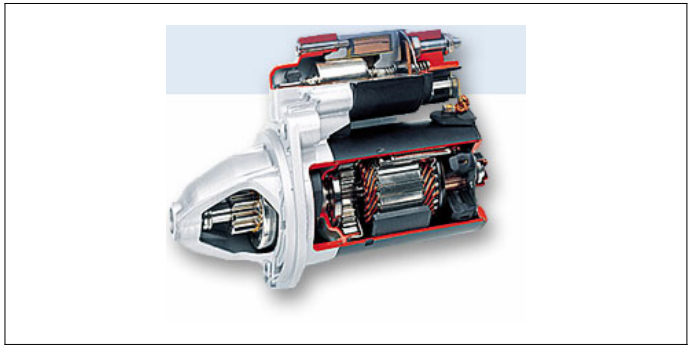
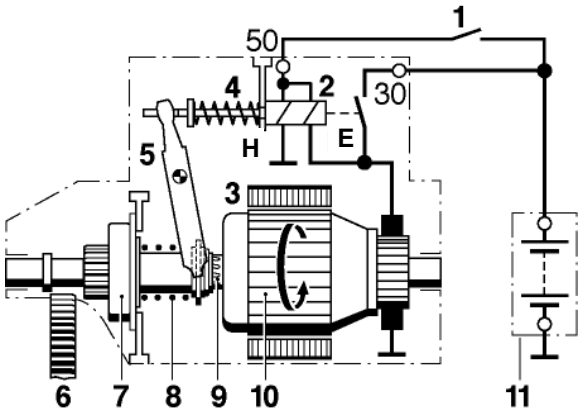


Bild 2.32: Schnittphoto eines permanenterregten Vorgelegestarters Bosch R70 [www.bosch.de]

Funktionsprinzip der Startanlage



1 – Zünd-Start-Schalter
2 – Einrückrelais
3 – Permanentmagnet
4 – Rückstellfeder
5 – Einrückhebel
6 – Zahnkranz (Kurbelwelle)
7 – Freilauf mit Ritzel
8 – Einspurfeder
9 – Steilgewinde
10 – Läufer (Anker)
11 – Batterie
E – Einrückwicklung
H – Haltewicklung

Bild 2.33: Funktionsschema am Beispiel eines Schubschraubtriebstarters [BOSCH-99]

- Mit Schließen des Zünd-Start-Schalters wird Einrückrelais bestromt
- Relaisanker wird gegen die Rückstellfeder angezogen
  → Einrückhebel wird bewegt
- Ritzel des Starters wird auf Zahnkranz geschoben (Zahn-Lücke)
- Trifft Zahn auf Zahn, wird Einspurfeder gespannt; Steilgewinde drückt beim Anlaufen des Starters das Ritzel zusätzlich in den Zahnkranz
- Hauptstromkreis wird geschlossen und Starter treibt Kurbelwelle an
- Beim Öffnen des Zünd-Start-Schalters wird Ritzel durch Rückstellfeder ausgespurt

Einrückrelais

- Leistungskontakt zum Schalten des Hauptstroms (im Pkw bis zu 1500 A)
- Einsatz von zwei Magnetspulen: Einrückwicklung und Haltewicklung
  - Einrückwicklung wird beim Schließen des Hauptstromkontakts kurzgeschlossen
    → Größerer Starterhauptstrom (Ankerstrom) möglich
    → Geringere thermische Belastung des Relais

Freilauf

- Drehmomentübertragung nur vom Starter zur Kurbelwelle:
  → Verhindert, dass Starterläufer bei dem Hochlauf des Verbrennungsmotors auf unzulässig hohe Drehzahlen beschleunigt wird
- Kraftschlüssige Bauarten:
  - Rollenfreilauf (bei kleinen bis mittleren Leistungen)
  - Lamellenfreilauf, Stirnzahnkupplung (bei größeren Leistungen)

Direktstarter / Vorgelegestarter

- Direktstarter:
  - Starterritzel wird mit Ankerdrehzahl angetrieben (klassische Bauart)
  - Drehzahluntersetzung (ca. 10:1 bis 15:1) zwischen Ritzel und Zahnkranz am Motorschwungrad
- Vorgelegestarter:
  - Einsatz eines Planetengetriebes zur zusätzlichen Drehzahluntersetzung (ca. 3:1 bis 6:1) zwischen Anker und Ritzel
  - Einsatz von kleineren, schneller drehenden Elektromotoren
    → deutlich kleineres Volumen und Gewicht der Startanlage

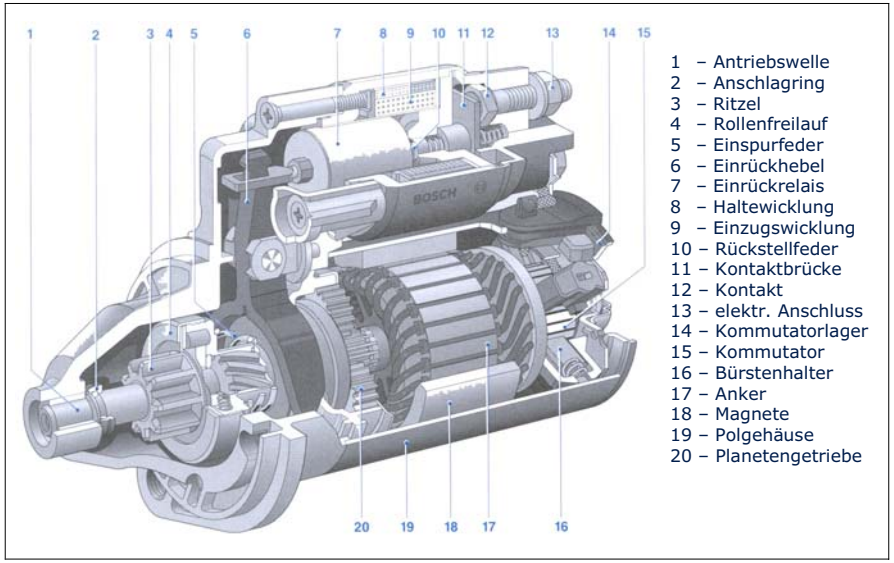


Bild 2.34: Schnittbild eines permanenterregten Vorgelegestarters Bosch R70 [BOSCH-02]

Startelektronik

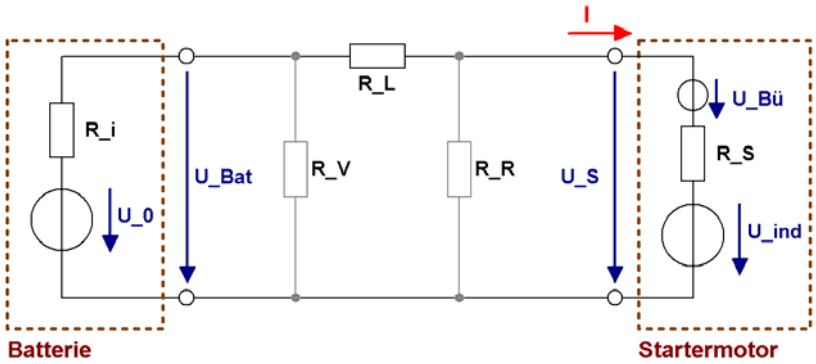
- Starterzuschaltung (Klemme 50) wird über Steuergerät geschalten (Start-Zünd-Schalter ist nur Fahrerwunsch)
- Überprüfung des Zuschaltens:
  - Diebstahlschutz
  - Kupplungsstaus überprüfen (Automatikgetriebe Stufe „N“)
  - Starten nur bei ruhendem Motor
- Vollautomatische Startsysteme:
  - Drehzahlerkennung und automatisches Abschalten des Starters

2.4.3 Kennlinien und Eigenschaften von Startermotoren

Forderung:

Hohes Drehmoment bei kleinen Drehzahlen (großes Losbrechmoment)
→ Reihenschlussverhalten („weiche Kennlinie“)

Betrachtung des elektrischen Starterstromkreises:



U_0 - Ruhespannung Batterie
R_i - Innenwiderstand Batterie
R_V - Widerstand Verbraucher
R_R - Widerstand Relaiswicklung
R_L - Widerstand Zuleitung
R_S - Widerstand Motor (Anker)
U_{ind} - induzierte Gegenspannung
$U_{Bü}$ - Spannungsabfall über Kommutatorbürsten

Bild 2.35: Ersatzschaltbild des Starterstromkreises nach [HEN-90]

- Energieversorgung erfolgt aus Bleibatterie (keine konstante Spannungsquelle!)
- Startermotor wir direkt an Batterie angeschlossen (ungeregelter Betrieb!)
- Zusätzliche Belastung der Batterie durch Einrückrelais und weiterer Verbraucher (Steuergeräte, Motronik, …)

- Äußere Masche [HEN-90]: (Vernachlässigung von R_V und R_R)

$$U_0 = R_{ges} \cdot I + U_{Bü} + U_{ind}$$

mit R_{ges} - Gesamtwiderstand $R_{ges} = R_L + R_S$
$U_{Bü}$ - Spannungsabfall über Kommutator (ca. 2,4 V)
U_{ind} - induzierte Gegenspannung im Anker

- Induzierte Gegenspannung im Anker:

$$U_{ind} = c_1 \cdot \Phi \cdot n$$

mit c_1 - Maschinenkonstante
Φ - magnetischer Fluss
n - Läuferdrehzahl

- Verhalten der Drehzahl n beim Gleichstrommotor [HEN-90]:

$$n = \frac{U_0 - I \cdot R_{ges} - U_{Bü}}{c_1 \cdot \Phi}$$

- Drehmomentbildung beim Gleichstrommotor [HEN-90]:

$$M_{Starter} = c_2 \cdot \Phi \cdot I - M_{reib}$$

mit c_2 - Maschinenkonstante
Φ - magnetischer Fluss
M_{reib} - Reibmoment Starteranlage

Permanenterregter Motor:

- Konstante Felderregung durch starke Magnetwerkstoffe
- Drehmoment steigt linear zum Ankerstrom
- Drehzahl sinkt linear mit zunehmenden Ankerstrom (Anstieg abhängig von R_{ges})
  → Nebenschlusscharakteristik wird „aufgeweicht“
- Einsatz von Flussleitstücken an Permanentmagnetpolen kann Kennlinie weiter in Richtung Reihenschlussverhalten verformen

→ Einsatz im Pkw-Bereich:
- Ottomotoren bis 1,6 l Hubraum: Direktstarter
- Größere Ottomotoren und Dieselmotoren: Vorgelegestarter

Reihenschlussmotor:

- Gesamtwiderstand erhöht sich um R_E der Erregerwicklung
- Ankerwicklung und Erregerstrom werden von gemeinsamen Strom durchflossen: Laststromabhängige Felderregung $\Phi = c_3 \cdot I_A$
- Beim Anlauf unter Belastung fließt maximaler Ankerstrom
  → sehr hohes Anlaufdrehmoment $M_{Starter} = k_1 \cdot I^2$
- Drehzahl nimmt bei sinkender Belastung hyperbolisch zu $n \sim \frac{k_2}{I}$

→ Einsatz im Nkw-Bereich: Dieselmotoren bis 16 l Hubraum

Doppelschlussmotor:

- Besitzt Reihenschluss- und Nebenschlusserregerwicklungen
- Definierte Leerlaufdrehzahl (Motor kann nicht „durchgehen“)
- Sanftes Anlaufverhalten, große Drehmomente
- Einspursystem mit elektromotorischer Ritzelverdrehung (Schubtrieb)

→ Einsatz im Nkw-Bereich:

- Dieselmotoren von 6 l bis 24 l Hubraum

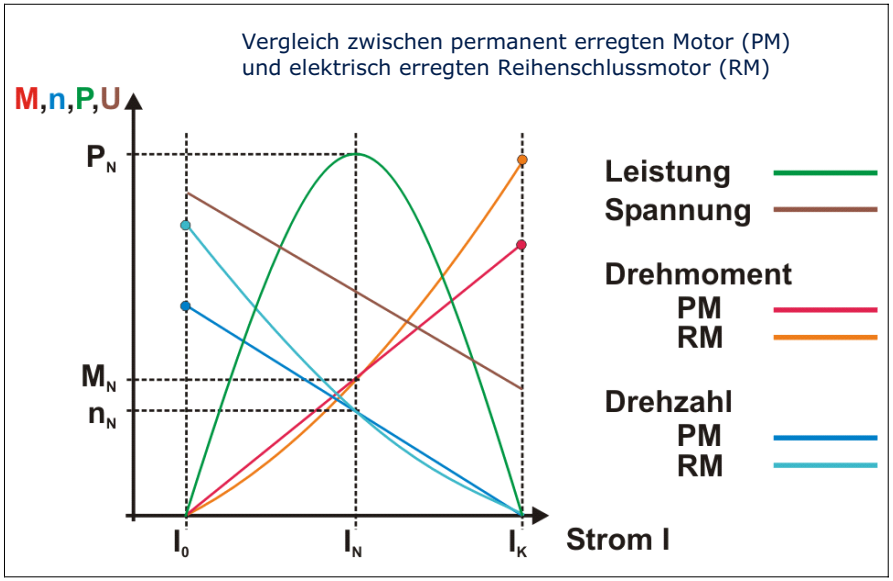


Bild 2.36: Qualitativer Kennlinienvergleich der Startermotoren nach [HEN-90]

2.5 Energieübertragung und Verteilung

Die Übertragung und Verteilung elektrischer Energie erfolgt über den Kabelbaum. Zusätzlich gehören in heutigen Kraftfahrzeugen zum Kabelbaum Signalleitungen zur Übertragung von Informationen (siehe Kapitel 3 - Vernetzung der Steuergeräte).

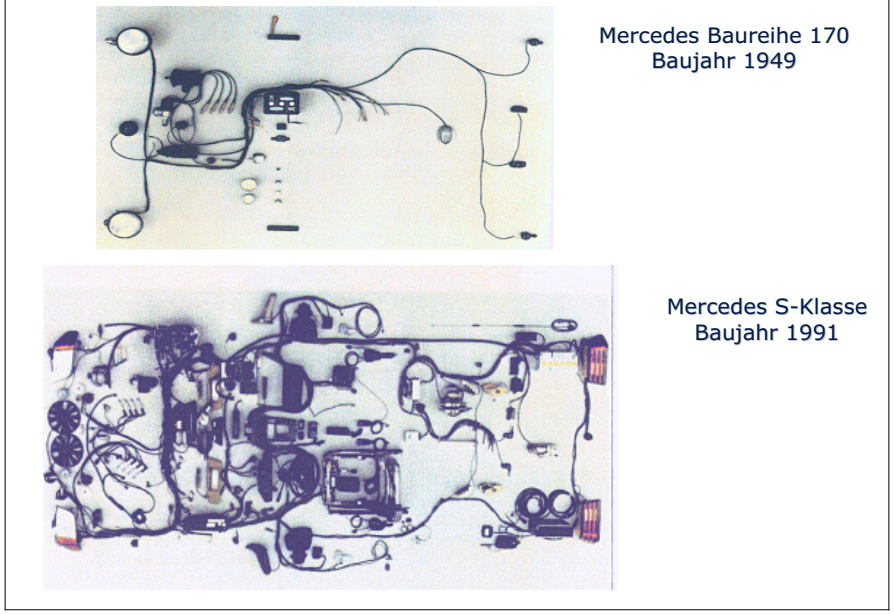


Bild 2.37: Beispiel für die Entwicklung des Kabelbaums [DaimlerChrysler]

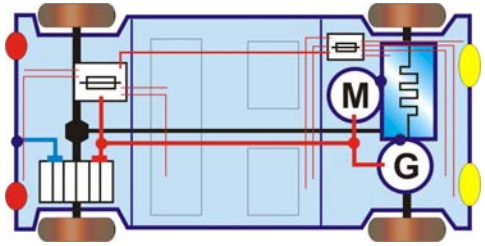
2.5.1 Aufbau und Dimensionierung

- Kabelbaumlänge in Fahrzeugen bis 3 km Länge
  - Wesentlicher Einfluss auf Kosten (Fertigung) und Gewicht
  - Bündelung der Energieversorgung (Baumstruktur)
  - Einsatz von Bussystemen zur Informationsübertragung (z.B. CAN, …)

- Häufige Fehlerursache bei elektrischen Systemen:
  - Unterbrechungen (z.B. Kontakte, Leiterbruch)
  - Kurzschlüsse (z.B. Isolationsschaden)
  - Zu hoher Spannungsabfall (z.B. Korrosion, Kontakte)

Anordnung der Komponenten im Fahrzeug

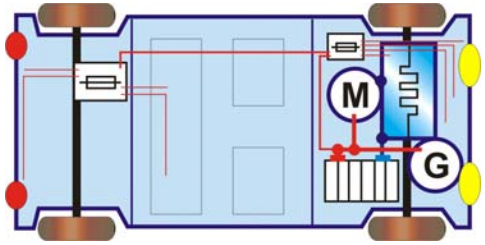
- Generator und Starter am Motorblock
- Kriterien für die Platzierung der Batterie:
  - Umgebungsbedingungen (Temperatur, mech. Belastung, …)
  - Gewichtsverteilung im Gesamtfahrzeug
  - Leitungslängen (Ladeleitung, Starterleitung)



Batterie im Kofferraum

+ Gewichtsverteilung im Fahrzeug mit Heckantrieb
+ Geschützte Umgebung der Batterie
- Lange Ladeleitung zur Batterie
- Lange Starterleitung

→ Großer Querschnitt für Leitung Generator/ Batterie notwendig!



Batterie im Motorraum

+ Kurze Ladeleitung zur Batterie
+ Kurze Starterleitung
- Raue Umgebung der Batterie
- Platzbedarf im Motorraum

Bild 2.38: Platzierung der Batterie im Fahrzeug

Steckverbindungen

- Besondere Belastungen im Kfz:
  - mechanische Schwingungen
  - Feuchtigkeit, Spritzwasser, Salznebel
  - Große Temperaturschwankungen
- Weitere Anforderungen:
  - Geringer Übergangswiderstand
  - Leichte Handhabung in der Montage
  - Sicherer Verpolschutz
- Wichtige Ausführungen:
  - Crimp-Verbinder (Bosch-Mikro-Kontakt)
  - Flachstecker, Rundstecker, …

Leitungsdimensionierung

Leiterquerschnitt:

- Maximaler Spannungsabfall über Leitung (siehe untere Tabelle) bei Nennleistung:

$$U = \frac{\rho \cdot l}{A} \cdot I$$

mit ρ - spezifischer elektrischer Widerstand
l - Leitungslänge
A - Leiterquerschnitt

Empfohlener maximaler Spannungsabfall (Beispiele) [BOSCH-98]:

Art der Leitung	Plus-Leitung	Gesamter Stromkreis
Ladeleitung Batterie	0,4 V	
Starterhauptleitung	0,5 V	
Sonstige Steuerleitungen	0,5 V	1,5 V
Lichtleitung (Scheinwerfer)	0,3 V	0,6 V

- Maximale Stromdichte S bei Spitzenbelastung:

$$S = \frac{I}{A} < 30 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

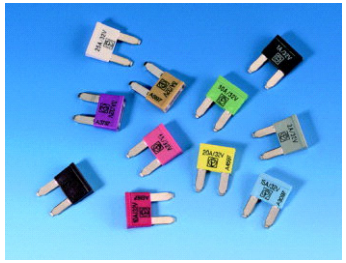
- Nennquerschnitte $\left[mm^2 \right]$:

0,35	0,5	0,75	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95

- Isolation: verschiedene Isolationsstärken und Materialien
  - Mechanische Beanspruchung
  - Thermische Beanspruchung
- Angaben der Werksnormen der Automobilhersteller sowie Spezifikation von Komponentenherstellern sind bei Leitungsdimensionierung einzuhalten!

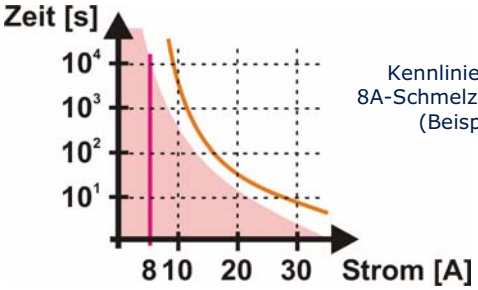
Sicherungen

- Schmelzsicherungen
- Ausführungen: Glassicherungen, Keramiksicherungen, Flachsicherungen (auch Mini-Flachsicherungen)
- Auslösecharakteristik: Strom-Zeit-Kennlinie





Quelle: Internet [www.conrad.de]



Kennlinie einer 8A-Schmelzsicherung (Beispiel)

Bild 2.39: Beispiel einer Auslösecharakteristik für eine Schmelzsicherung [MOM-90]

2.5.2 Schaltpläne

- Übersichtsschaltplan:
  - Blockschaltbilder zur Übersicht des Gesamtsystems
- Stromlaufplan nach DIN 40719:
  - detaillierte Darstellung einer Schaltung mit Gerätekennzeichnung und Anschlussbezeichnungen
  - Schaltzeichen nach EN 60617 (IEC 617)
  - Anschlussplan: Anschlusspunkte einzelner Komponenten, Klemmenbezeichnungen, Gerätekennzeichen
- Wirkschaltpläne:
  - Stromlaufpläne zur Beschreibung von Systemfunktionen
  - Zusammenfassen von Systemkreisen / Subsystemen
  - Übersichtliche Darstellung komplexer, vernetzter Systeme

Kennzeichnung elektrischer Geräte (Beispiele) [BOSCH-02]:

Kennbuchstabe	Art	Beispiele
A	Anlage, Baugruppe	Steuergeräte
B	Umsetzer nichtelektrisch/elektrisch	Sensoren
E	Verschiedene Geräte	Klimaanlage
F	Schutzeinrichtung	Sicherungen
G	Stromversorgung	Generator, Batterie
H	Kontrollgerät, Meldegerät	Kontrolllampe
K	Relais, Schütz	Startrelais
M	Motor	Stellmotoren
S	Schalter	Lichtschalter
X	Klemme, Stecker	Leitungsverbinder

Klemmenbezeichnung nach DIN 72552 (Beispiele) [BOSCH-99]:

Klemme	Bedeutung
1	Zündverteiler Niederspannung
4	Zündverteiler Hochspannung
15	Geschaltetes Plus (Zünd-Schalter)
30	Eingang von Batterie Plus (direkt)
31	Rückleitung ab Batterie (direkt)
32	Rückleitung Elektromotoren
33	Hauptanschluss
45	Getrenntes Startrelais
49	Blinkgeber Eingang
50	Starter Hauptstrom (direkt)
56	Scheinwerferlicht
75	Radio, Zigarettenanzünder
81, 82, 83	Schalter, Öffner und Wechsler
85, 86	Schaltrelais

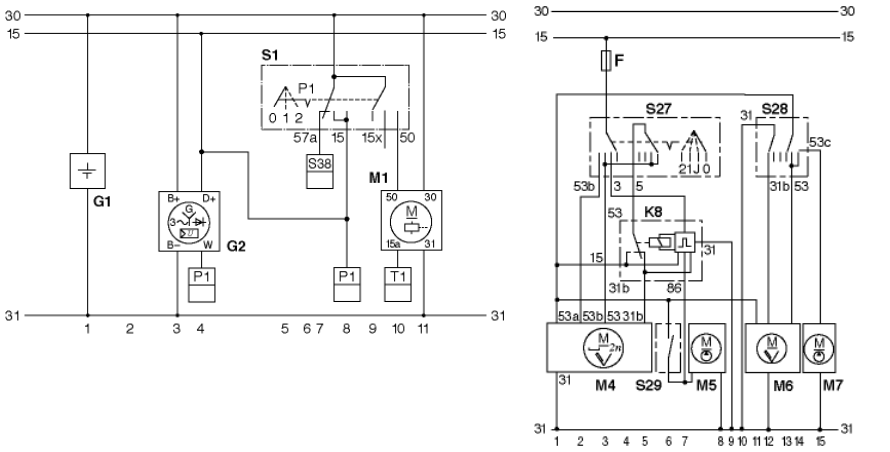


Bild 2.40: Beispiele für Stromlaufpläne [BOSCH-99]

2.6 Elektrisches Energiemanagement

2.6.1 Ziele und Komponenten
2.6.2 Erzeuger- und Speichermanagement
2.6.3 Verbrauchermanagement

2.7 Zukünftige Technologien

2.7.1 Startergeneratoren
2.7.2 Speichertechnologien
2.7.3 Bordnetztopologien

Literaturverzeichnis

[BOSCH-87] *Robert Bosch GmbH (Hrsg.)*:
Autoelektrik, Autoelektronik am Ottomotor. 1. Auflage, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1987. – ISBN 3-18-419106-0.

[BOSCH-99] *Robert Bosch GmbH (Hrsg.)*:
Kraftfahrzeugtechnisches Taschenbuch. 23. Auflage, Braunschweig: Vieweg&Sohn Verlagsgesellschaft, 1999. – ISBN 3-528-03876-4.

[BOSCH-02] *Robert Bosch GmbH (Hrsg.)*:
Autoelektrik, Autoelektronik. 4. Auflage, Braunschweig: Vieweg&Sohn Verlagsgesellschaft, 2002. – ISBN 3-528-13872-6.

[FraFriJuRu-90] *Franz, G.; Friedel, G.; Jung, G.; Rudolph, H.*: Rotierende elektrische Maschinen. 8. Auflage, Berlin: VEB Verlag Technik, 1990. – ISBN 3-341-00143-3.

[HEN-90] *Henneberger, G.*: Elektrische Motorausrüstung. Braunschweig: Vieweg&Sohn Verlagsgesellschaft, 1990. – ISBN 3-528-04764-X.

[MOM-90] *Mom, G. (Hrsg.)*: Das Auto und seine Elektrik. 1. Auflage, Stuttgart: Motorbuch Verlag, 1990. – ISBN 3-613-01363-0.

[TOR-88] *Torges, G.*: Elektrotechnische Ausrüstung des Kraftfahrzeugs. 3. Auflage, Berlin: VEB Verlag Technik, 1988. – ISBN 3-341-00466-1.

[VarLaSchi-05] *Varchmin, J.-U.; Lange, S.; Schimanski, M.*:
Energiemanagement – Herausforderungen für künftige Kraftfahrzeuge. Vortrag zur Euroforum Fachtagung, München 2005

[VARTA-92] *VARTA Batterie AG (Hrsg.)*:
Technischer Lehrgang Starterbatterien.
Wiesbaden: Vieweg&Sohn Verlagsgesellschaft, 1992. – ISBN 3-528-04825-5