

## 8 Zündung/Motormanagement

### 8.1 Motorische Anforderungen

### 8.2 Hochspannungserzeugung

### 8.3 Spulenzündung/Batteriezündung

#### 8.3.1 Schaltungen und Ersatzschaltbilder

#### 8.3.2 Zündvorgang

### 8.4 weitere Zündanlagen

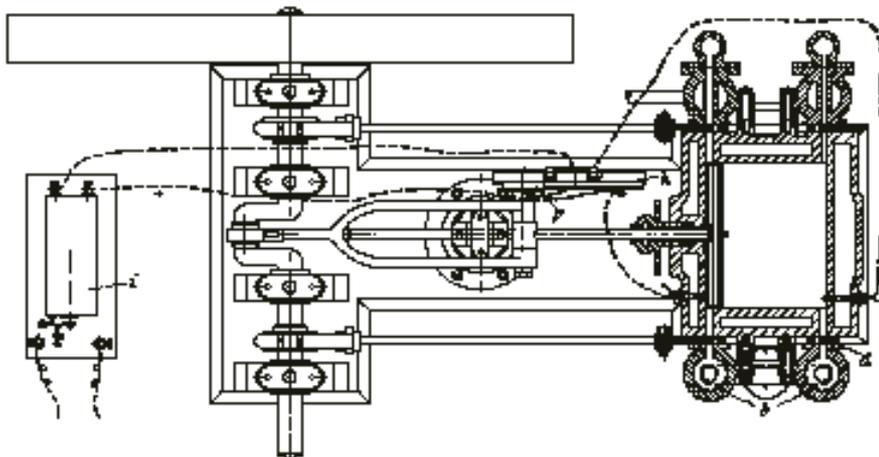
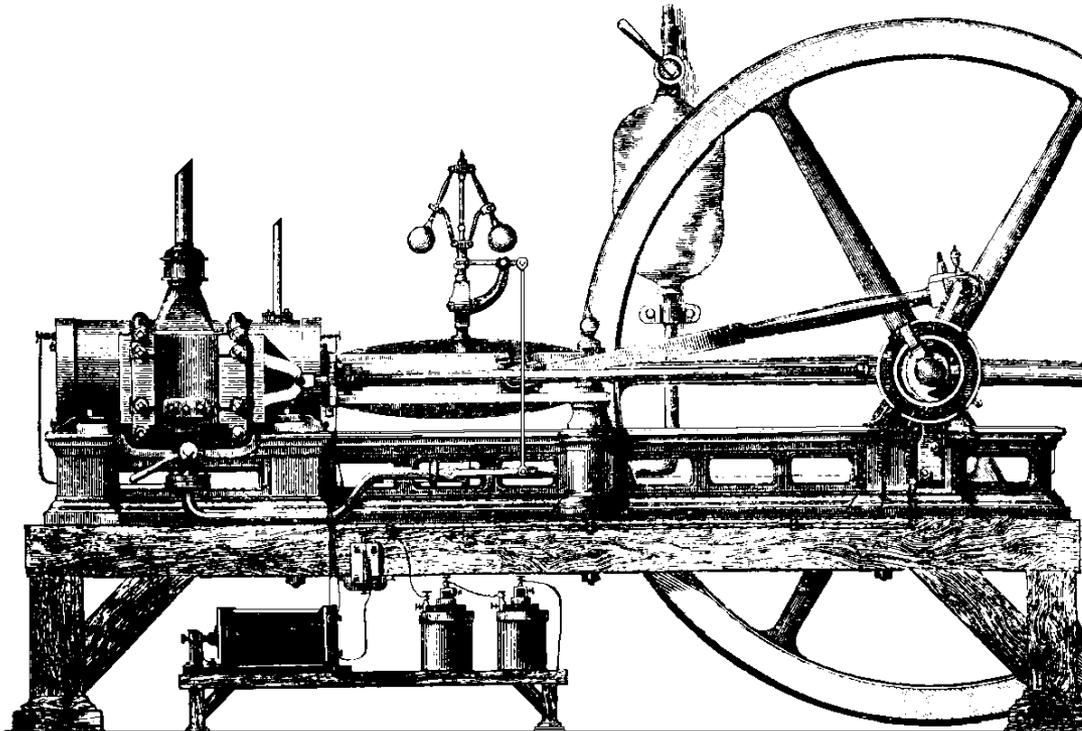
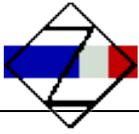
### 8.5 Komponenten

#### 8.5.1 Zündschalter

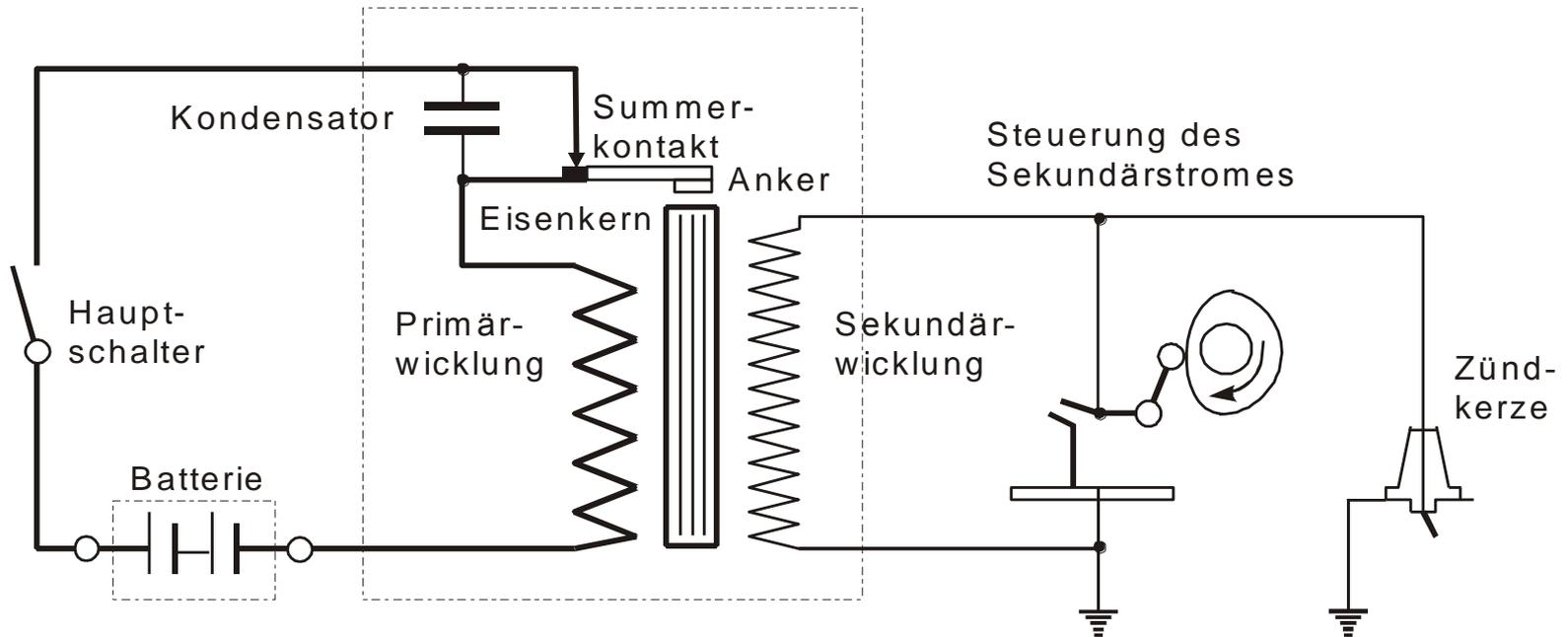
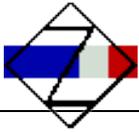
#### 8.5.2 Zündspulen

#### 8.5.3 Zündkerzen

### 8.6 Motormanagement - Zündwinkelgütegrad

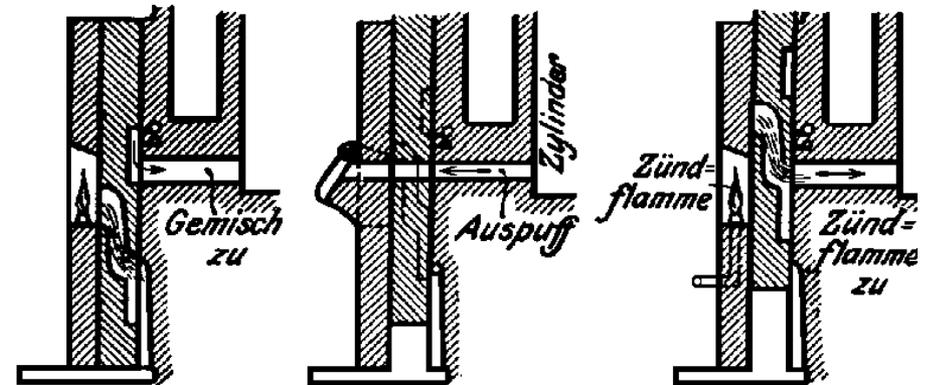
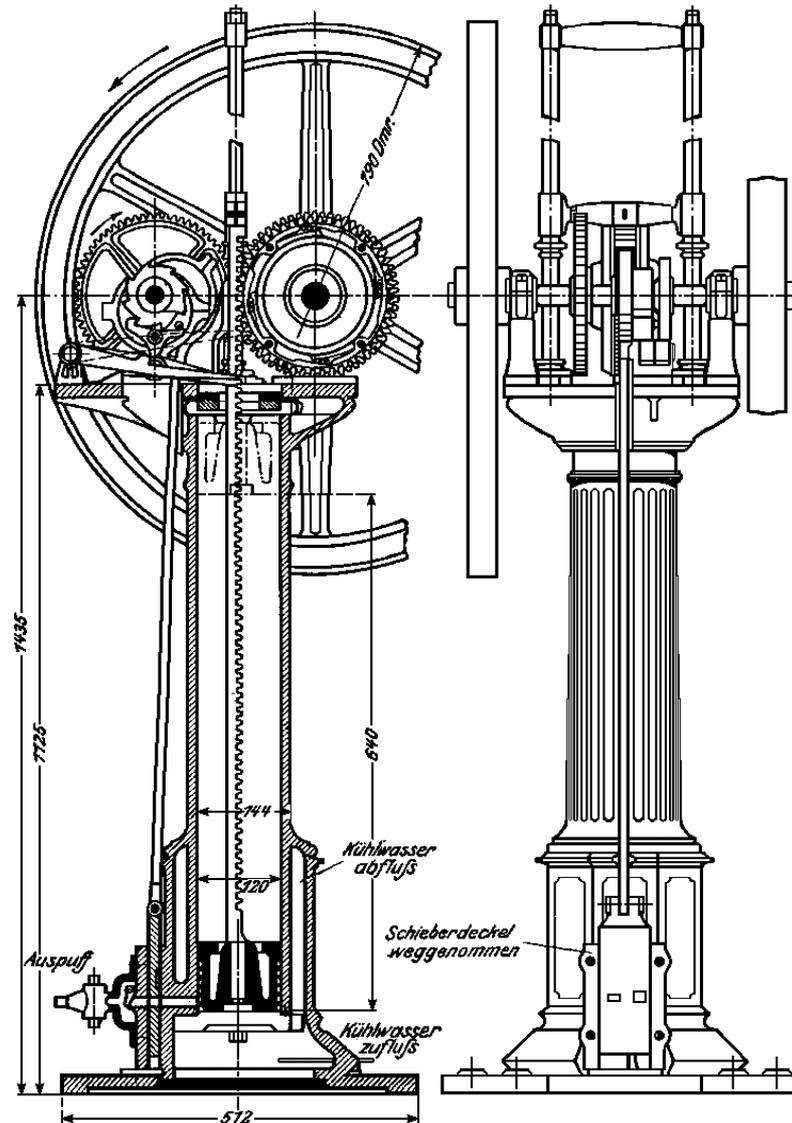
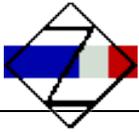


JEAN JOSEPH ETIENNE LENOIR's  
Gasmotor mit Summerzündung  
aus dem Jahr 1865

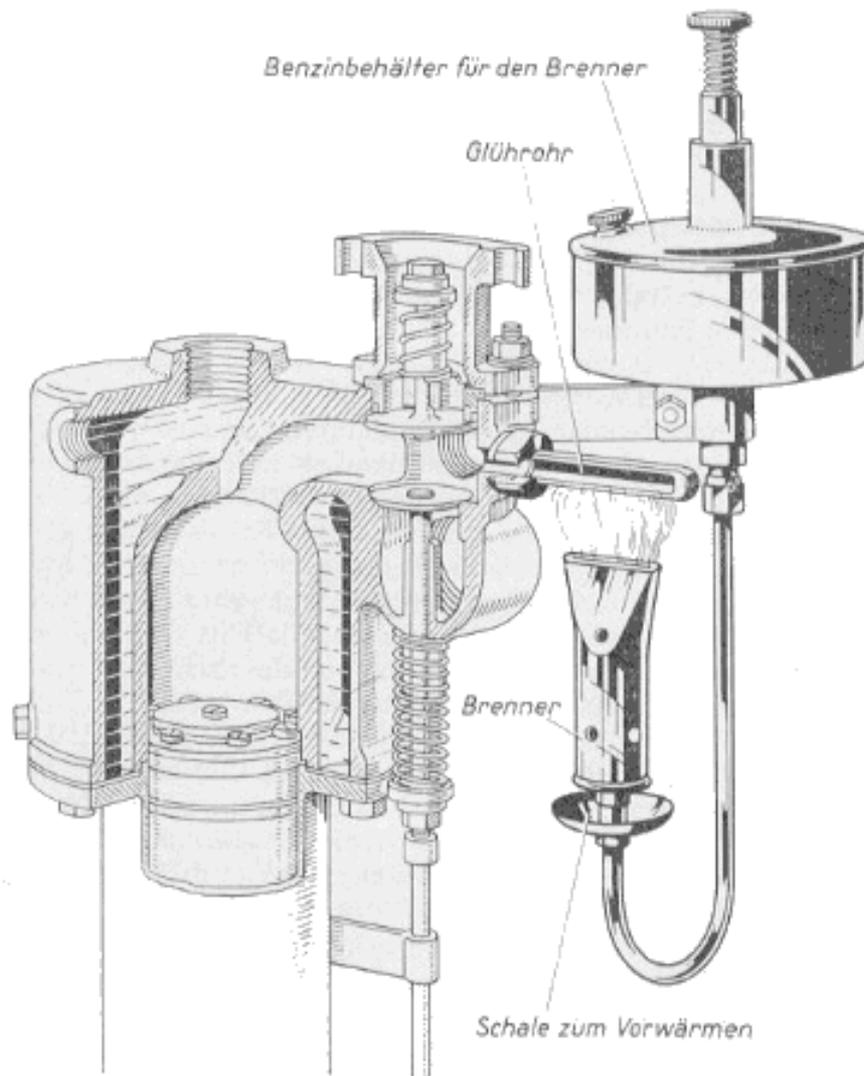
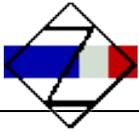


RUHKORFFScher Funkeninduktor (1851)

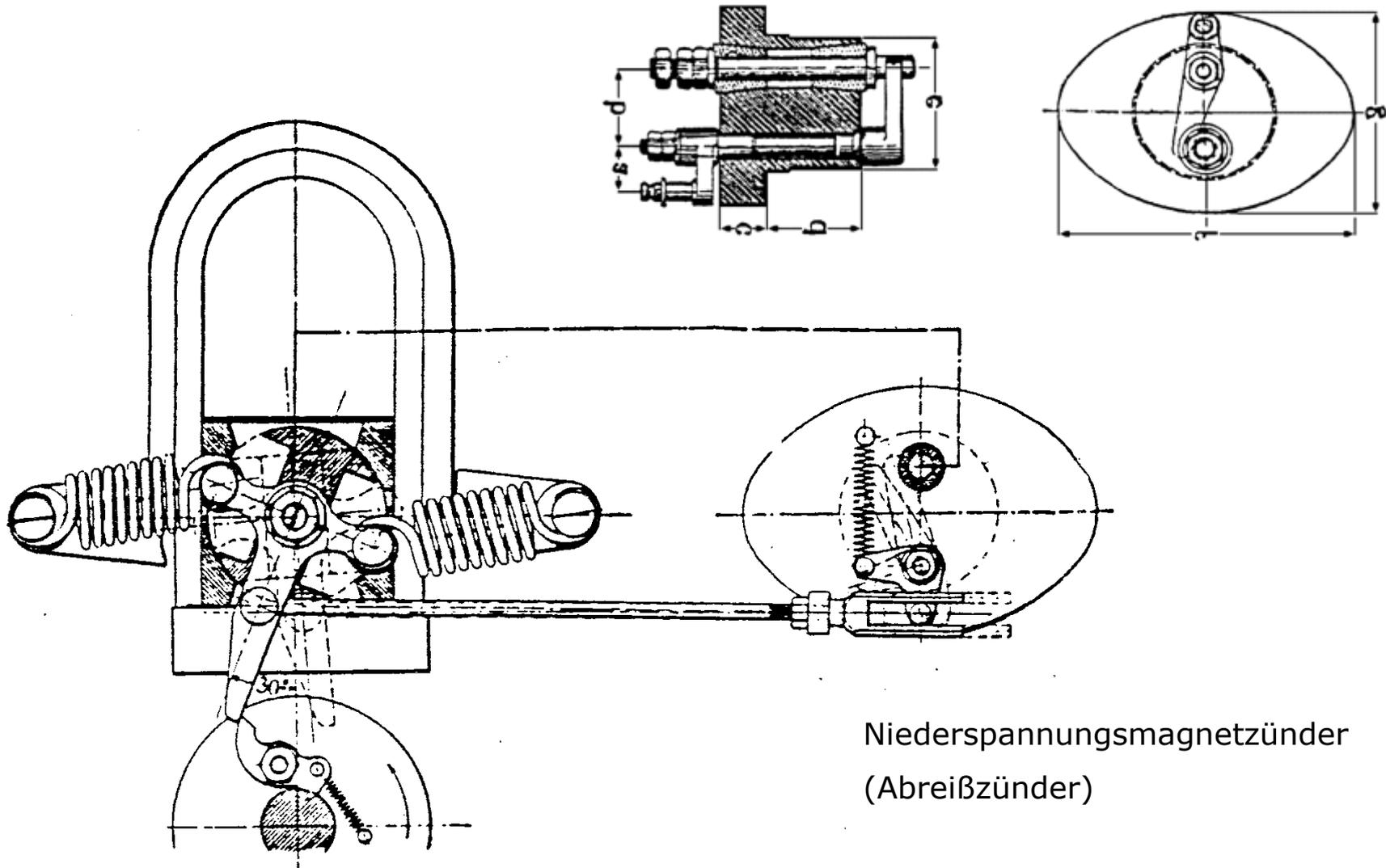
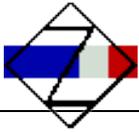
LENOIRs Summerzüngung (um 1860)



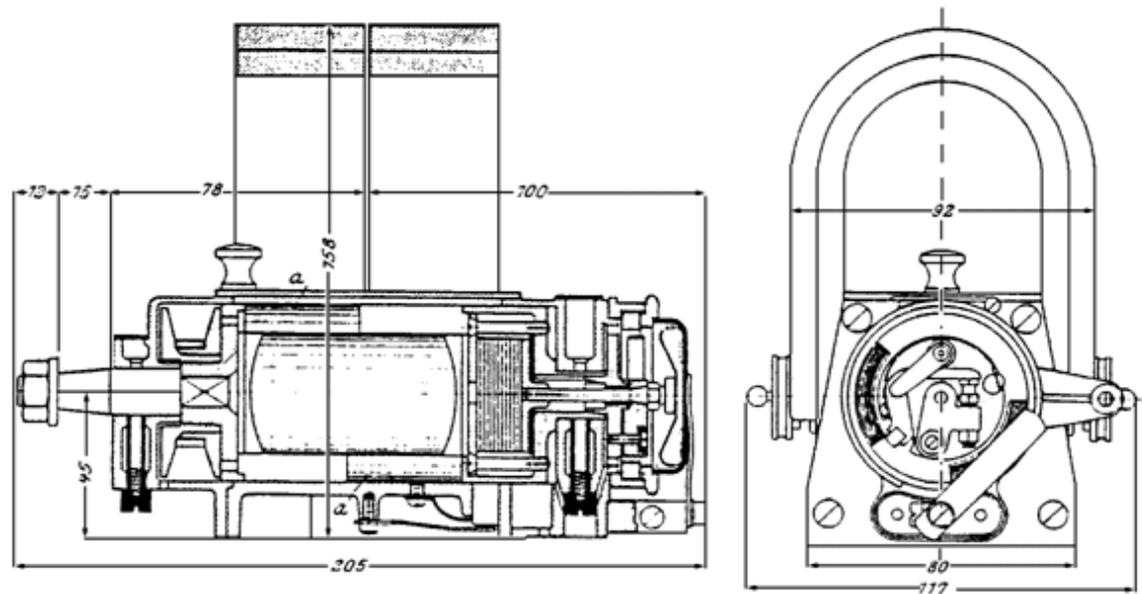
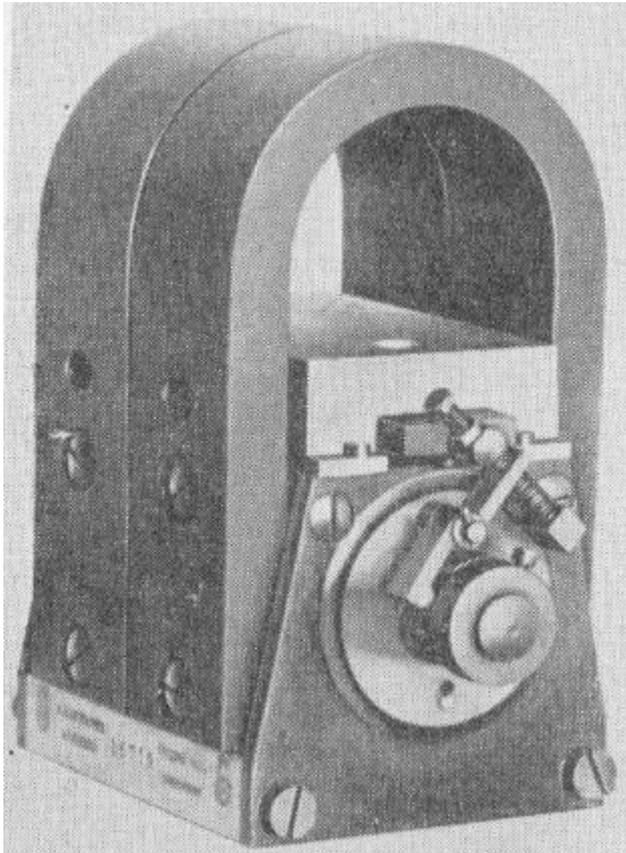
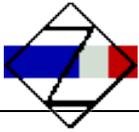
Gasmotor von  
NICOLAUS AUGUST OTTO,  
ausgestellt auf der Weltausstellung  
1867 in Paris



GOTTLIEB DAIMLERs  
Glühröhrenzündung (1883)

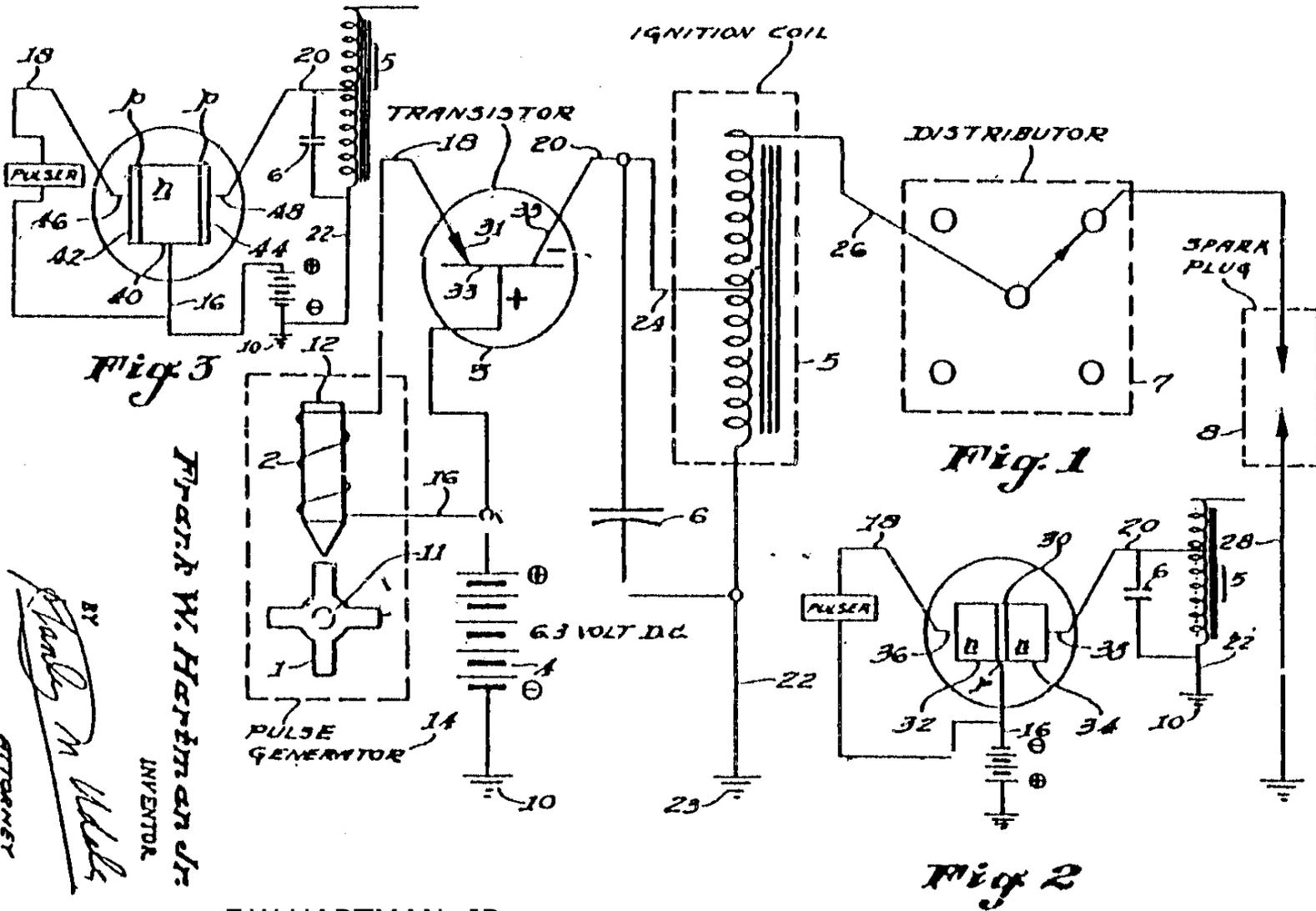
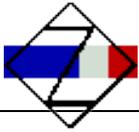


Niederspannungsmagnetzündler  
(Abreibzündler)



Hochspannungsmagnetzünder  
von Gottlob Honold um 1900  
(erster Ingenieur der Firma BOSCH)





Sept. 16, 1958

F. W. HARTMAN, JR

2,852,588

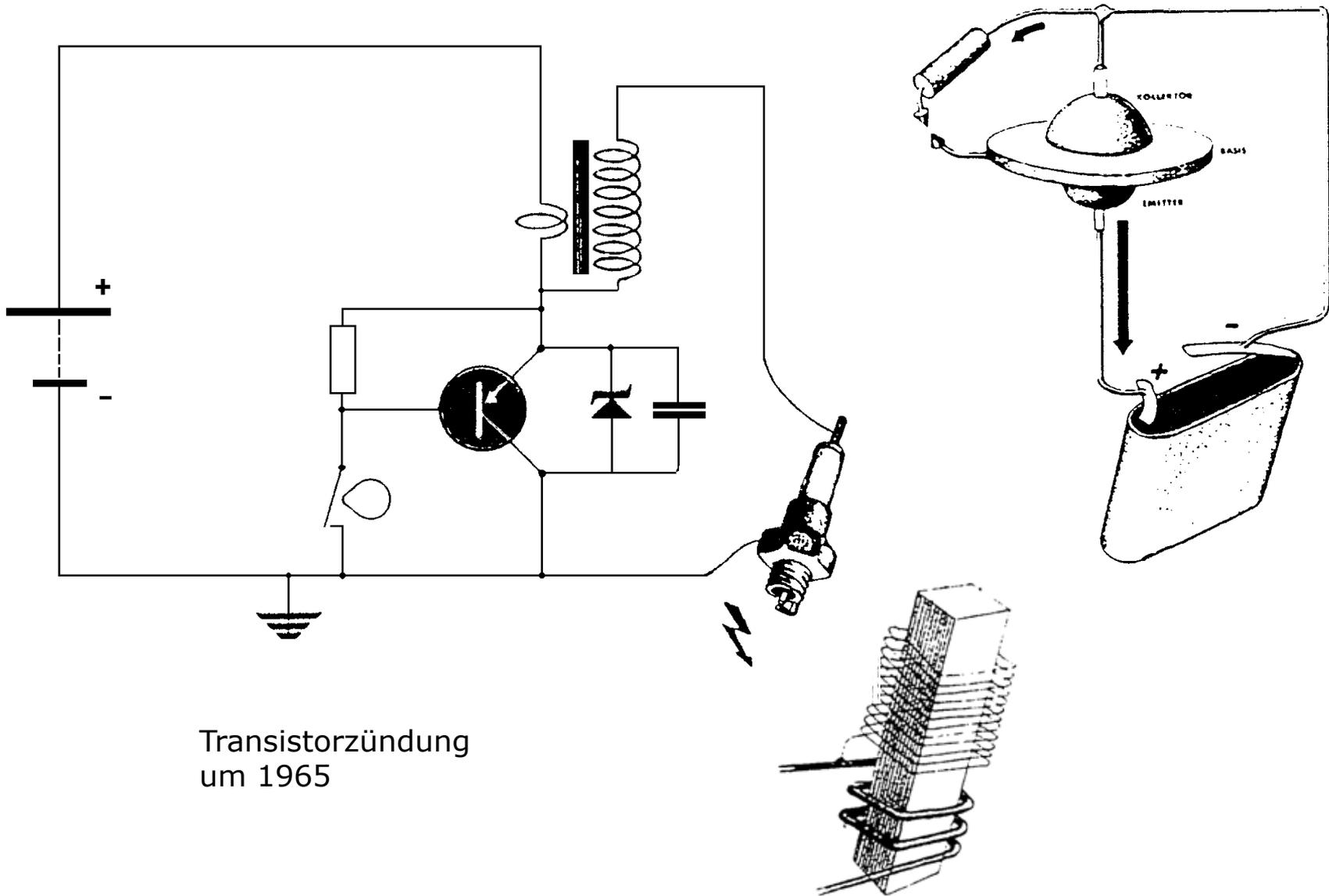
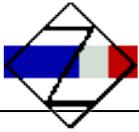
IGNITION SYSTEM FOR AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Filed Jan. 8, 1953

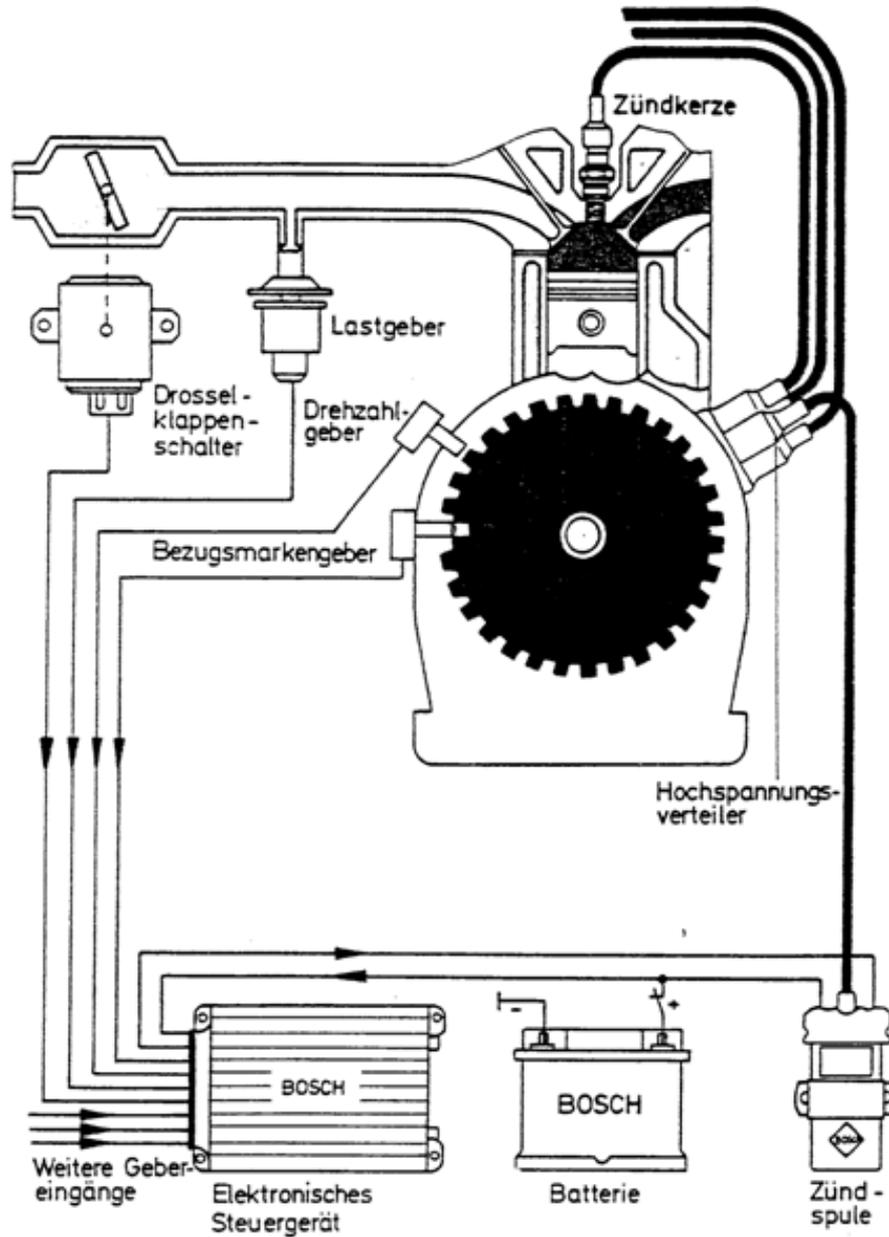
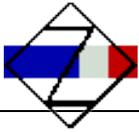
FRED W. HARTMAN, JR.  
INVENTOR

BY  
*Charles M. Wells*  
ATTORNEY

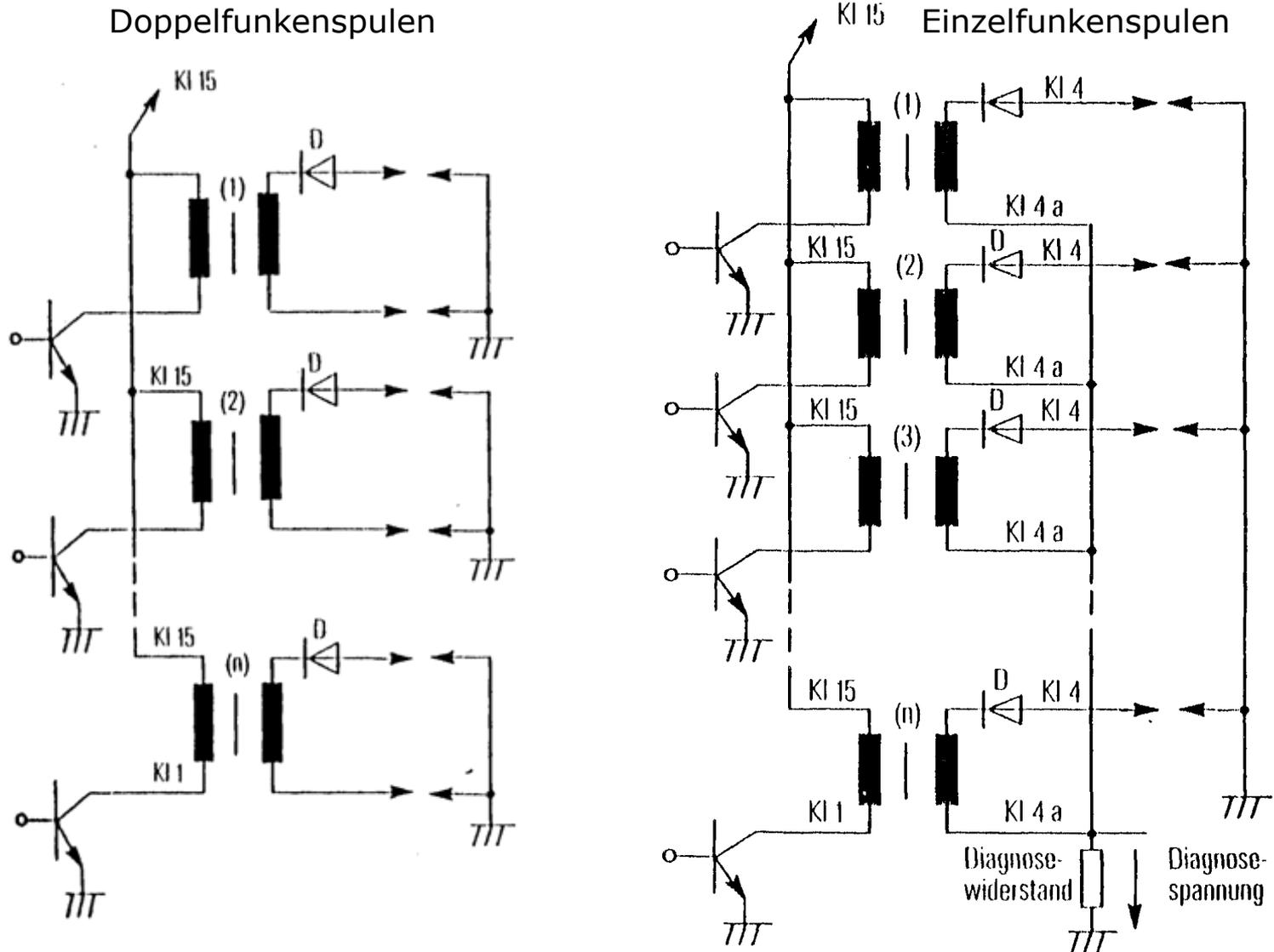
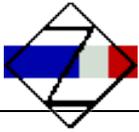
F.W.HARTMAN, JR  
erstes Patent auf eine Transistorzündanlage 1958!



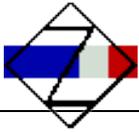
Transistorzündung  
um 1965



BOSCH  
Computerzündung  
um 1980



Ruhende Hochspannungsverteilung (vollelektronische Zündung)



## 8 Zündung/Motormanagement

### 8.1 Motorische Anforderungen

### 8.2 Hochspannungserzeugung

### 8.3 Spulenzündung/Batteriezündung

#### 8.3.1 Schaltungen und Ersatzschaltbilder

#### 8.3.2 Zündvorgang

### 8.4 weitere Zündanlagen

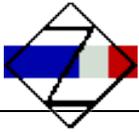
### 8.5 Komponenten

#### 8.5.1 Zündschalter

#### 8.5.2 Zündspulen

#### 8.5.3 Zündkerzen

### 8.6 Motormanagement - Zündwinkelgütegrad



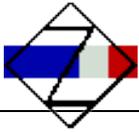
## Aufgaben des Motormanagement:

Steuerung und Überwachung der Vorgänge im Verbrennungsmotor hinsichtlich

- Leistungsentfaltung
- Wirkungsgrad (Kraftstoffverbrauch)
- Komfort (Rundlauf, Geräusch)
- Schadstoffausstoß (gesetzliche Bestimmungen)
- On-Board-Diagnose
- Zusammenspiel mit weiteren Steuer- und Regelsystemen im Kfz (z.B. Getriebesteuerung, Antriebsschlupf- und Anti-Schleudersystemen)

durch Einflussnahme auf

- Ladungswechsel
- Gemischbildung
- Brennverlauf und
- Abgasnachbehandlung



## Vergleich

### Ottomotor

elektrische Funkenzündung  
durch Funkenüberschlag an  
Zündkerze  
(Zündspannung: 5 bis 25 kV,  
Energiebedarf: 0,2 bis 3 mJ)

homogenes Gemisch, zündfähig im  
Bereich  $0,6 < \lambda < 1,3$   
→ Änderung des Drehmomentes/der  
Leistung durch **Quantitätsregelung**  
(zumindest im Bereich des  
Funkenüberschlages)

#### Brennverzug:

Zeitspanne vom Funkenüberschlag bis zum  
Beginn der Verbrennung (Def. Beginn der  
Verbrennung: z.B. 0,2 % Energieumsatz)  
Dauer: ca. 1 bis 2 ms  
→ Vorzündwinkel ca. 40° vor bis 5° nach OT

### Dieselmotor

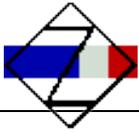
Selbstzündung während der  
Einspritzung in hoch verdichtete  
Luft (3 bis 6 MPa, 300 bis 400 °C)

heterogenes Gemisch, zündwillig im  
Bereich  $1,5 < \lambda < 10$  (Direkteinspritzer)  
→ Änderung des Drehmomentes/der  
Leistung durch **Qualitätsregelung**

#### Zündverzug:

Zeitspanne vom Einspritzbeginn bis  
zum Beginn der Verbrennung

Dauer: ca. 1 bis 2 ms  
→ Einspritzbeginn ca. 20° bis 5° nach OT



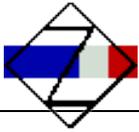
## Vergleich

### Ottomotor

Vorzündwinkel last- und drehzahl-  
abhängig.  
richtiger Zündzeitpunkt: Ausbildung  
und Durchbrennen einer Flammenfront  
so, dass 50% des Energieumsatzes  
zwischen  $8^\circ$  und  $10^\circ$  nach OT erreicht  
wird.

### Dieselmotor

Brennverlauf u.a. durch Einspritzverlauf  
beeinflussbar (z.B. durch Voreinspritzung)  
→ geringerer Druckgradient  
→ reduzierte Triebwerksbelastung und  
verringertes Verbrennungsgeräusch  
weniger Stickoxide  
aber verringerter Wirkungsgrad und  
eventuell Rußbildung



## Ottomotor

Vorzündwinkel last- und drehzahl-  
abhängig.  
richtiger Zündzeitpunkt: Ausbildung  
und Durchbrennen einer Flammenfront  
so, dass 50% des Energieumsatzes  
zwischen  $8^\circ$  und  $10^\circ$  nach OT erreicht  
wird.

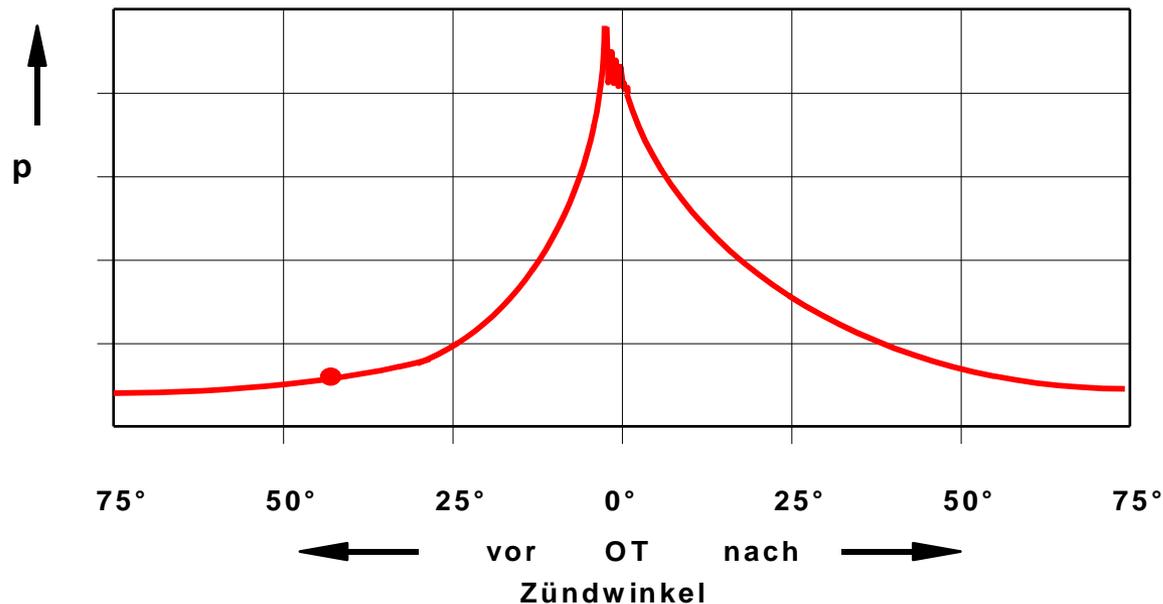
### Frühzündung:

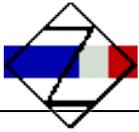
Druckgradient zu groß

→ mehrfach spontane Selbstzündung  
(klopfende Verbrennung)

→ hohe Triebwerksbelastung und  
örtliche Überhitzungen

→ **Triebwerksschäden wahrscheinlich**

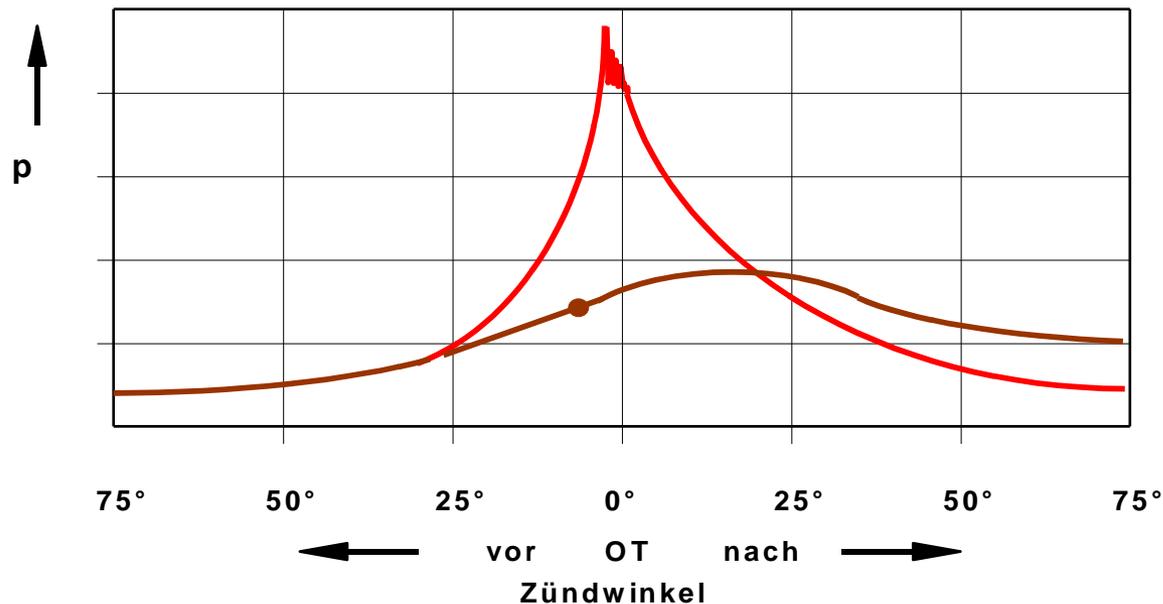


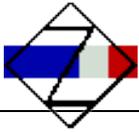


## Ottomotor

Vorzündwinkel last- und drehzahl-  
abhängig.  
richtiger Zündzeitpunkt: Ausbildung  
und Durchbrennen einer Flammenfront  
so, dass 50% des Energieumsatzes  
zwischen  $8^\circ$  und  $10^\circ$  nach OT erreicht  
wird.

**Spätzündung:**  
verschleppte Verbrennung  
→ thermodynamischer Wirkungs-  
grad sinkt  
→ höhere Abgastemperaturen  
→ **Triebwerksschäden möglich**

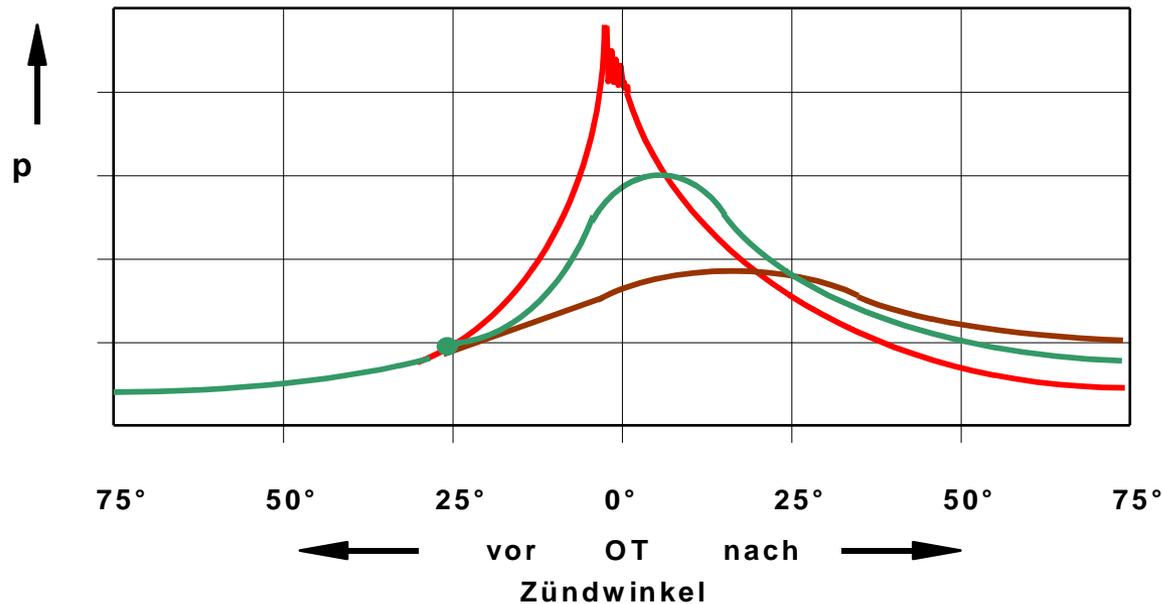


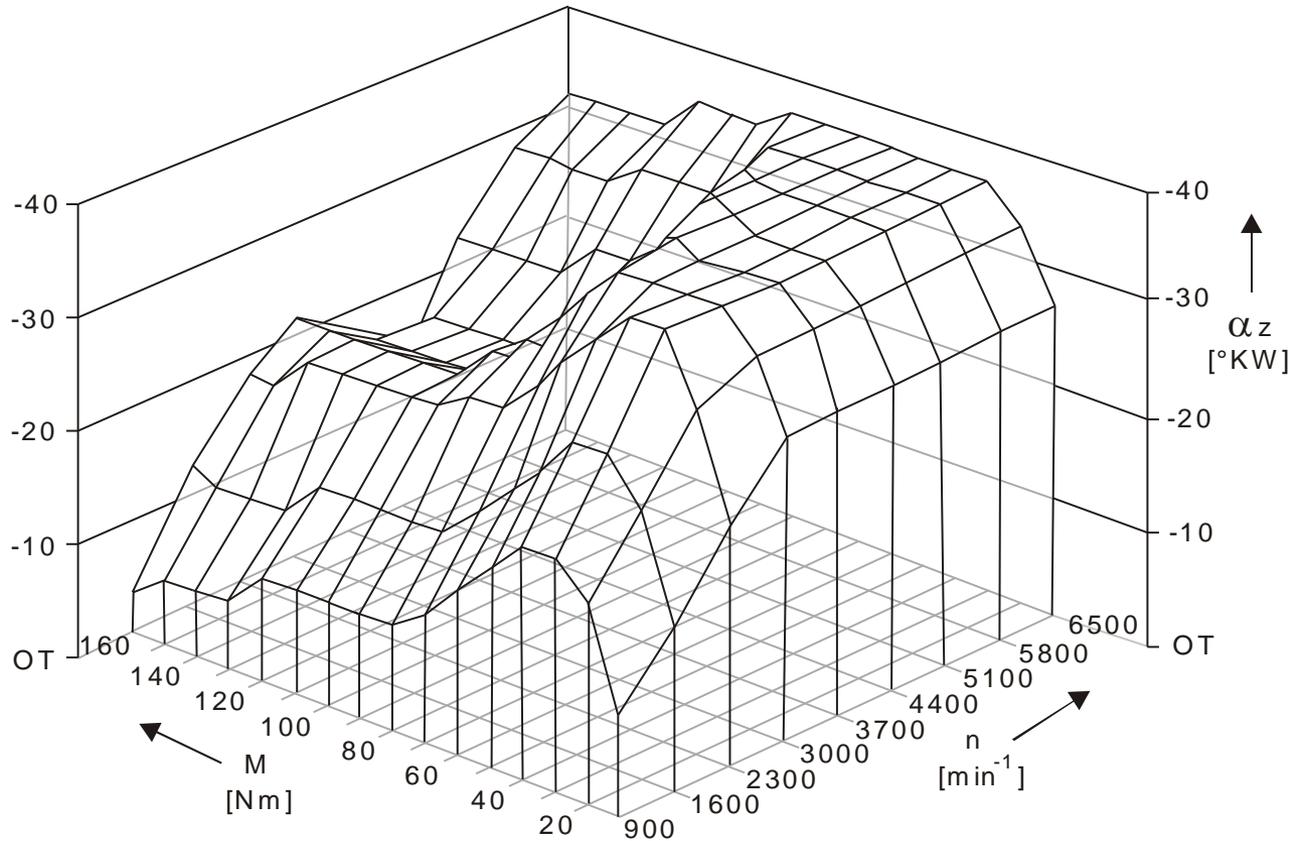
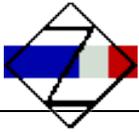


## Ottomotor

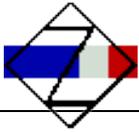
Vorzündwinkel last- und drehzahl-  
abhängig.  
richtiger Zündzeitpunkt: Ausbildung  
und Durchbrennen einer Flammenfront  
so, dass 50% des Energieumsatzes  
zwischen  $8^\circ$  und  $10^\circ$  nach OT erreicht  
wird.

Frühzündung  
Spätzündung  
richtiger Zündzeitpunkt





Zündkennfeld für den Basiszündwinkel eines Viertakt-Vierzylindermotors

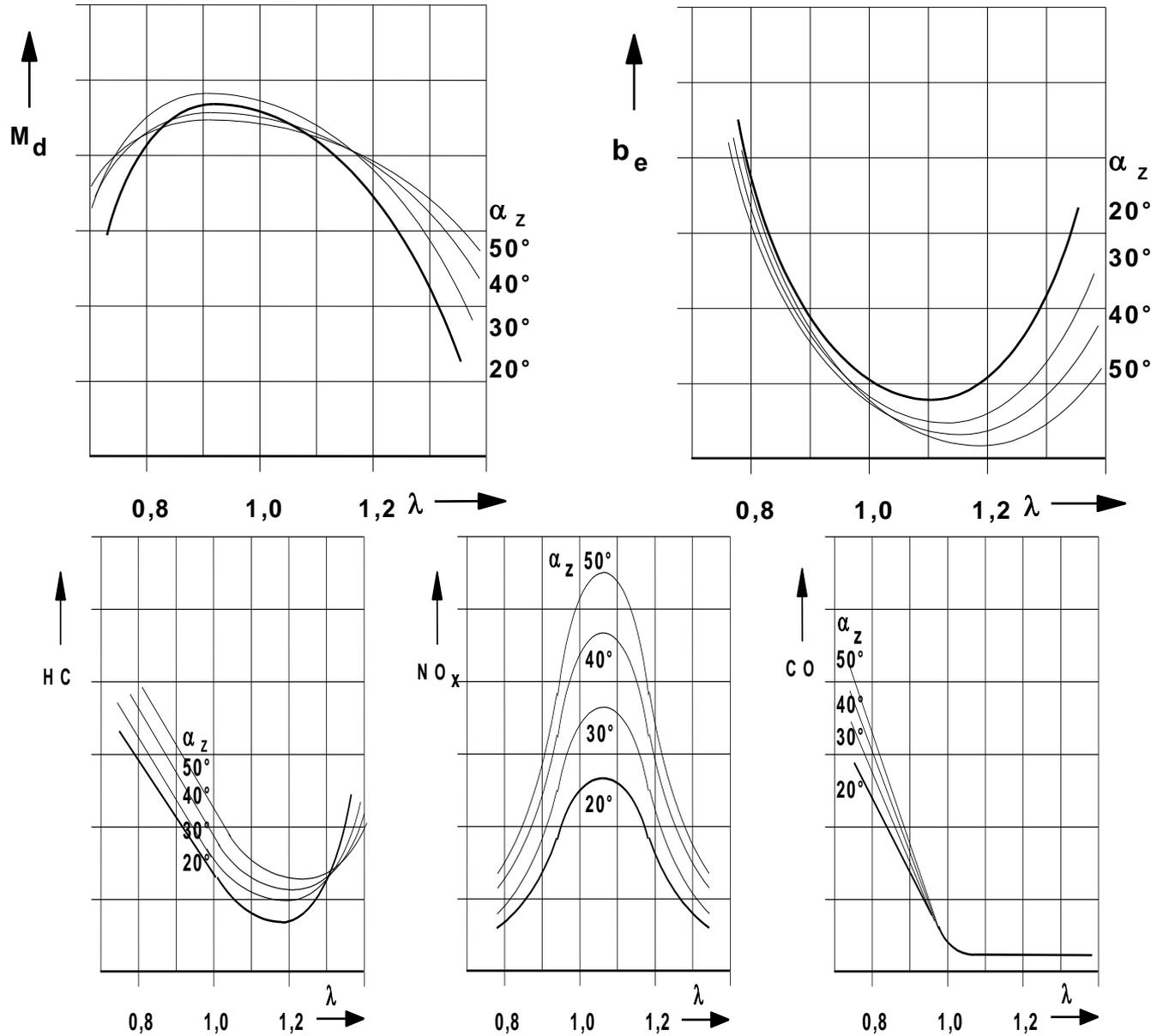
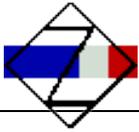


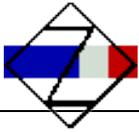
Zündenergiebedarf: 0,2 bis 3 mJ

- sehr hohe elektrische und thermische Verluste in Zündanlagen (also sehr niedriger Wirkungsgrad)
- sicheres Zünden unter allen (auch widrigen) Zündbedingungen

→ bereitgestellte Zündenergie sehr viel größer als Zündenergiebedarf:

- 30 bis 50 mJ bei Saug- und Turbomotoren
- bis zu 100 mJ bei Motoren mit Direkteinspritzung





## 8 Zündung/Motormanagement

### 8.1 Motorische Anforderungen

### 8.2 Hochspannungserzeugung

### 8.3 Spulenzündung/Batteriezündung

#### 8.3.1 Schaltungen und Ersatzschaltbilder

#### 8.3.2 Zündvorgang

### 8.4 weitere Zündanlagen

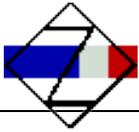
### 8.5 Komponenten

#### 8.5.1 Zündschalter

#### 8.5.2 Zündspulen

#### 8.5.3 Zündkerzen

### 8.6 Motormanagement - Zündwinkelgütegrad



Zündenergiebedarf: nur 0,2 bis 3 mJ  
aber Zündspannungen im Kilovolt-Bereich.

→ Zwischenspeichern von Energie erforderlich.

In elektrischen Systemen zwei Möglichkeiten:

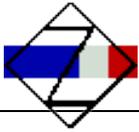
- Speicherung elektrische Energie in Kondensatoren

$$w_{\text{el}} = \frac{C}{2} u^2$$

- Speicherung magnetischer Energie in Spulen

$$w_{\text{mag}} = \frac{L}{2} i^2$$

Vorteile für Spulenzündung, da nur ein Energiewandler benötigt wird.



## 8 Zündung/Motormanagement

### 8.1 Motorische Anforderungen

### 8.2 Hochspannungserzeugung

### 8.3 Spulenzündung/Batteriezündung

#### 8.3.1 Schaltungen und Ersatzschaltbilder

##### 8.3.2 Zündvorgang

### 8.4 weitere Zündanlagen

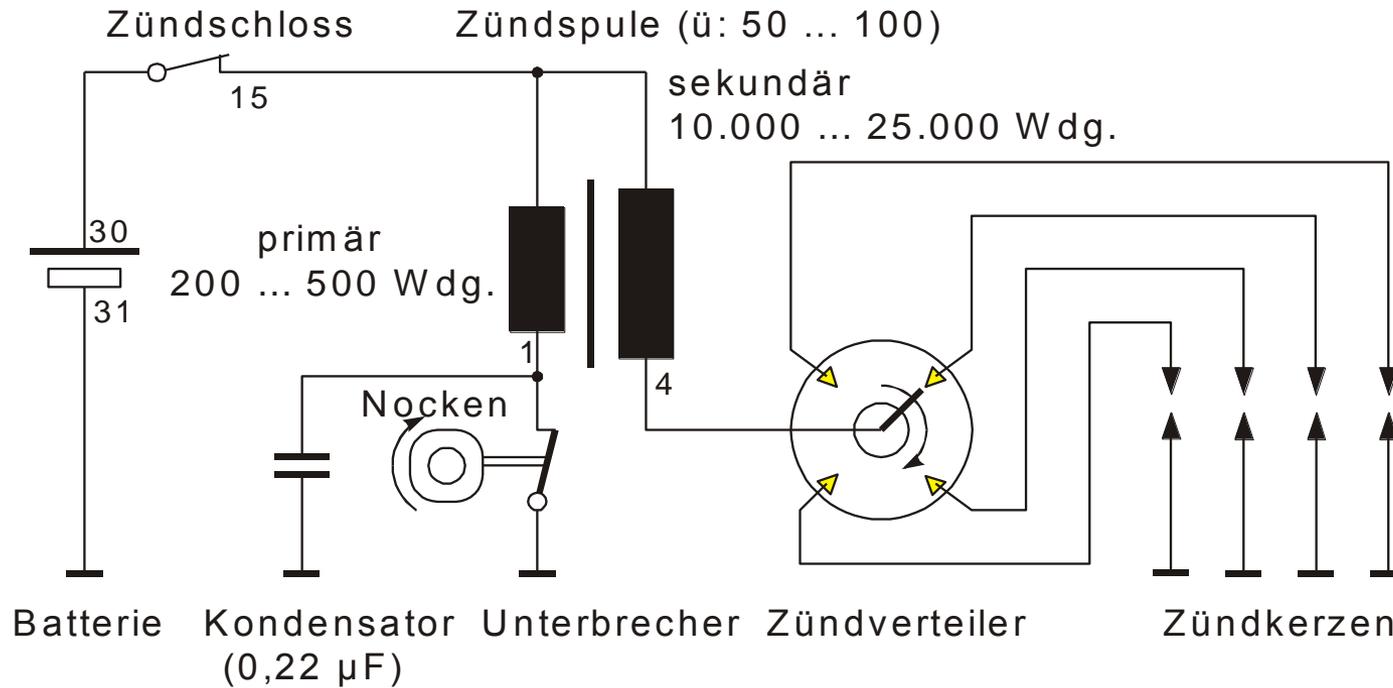
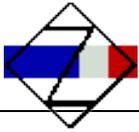
### 8.5 Komponenten

#### 8.5.1 Zündschalter

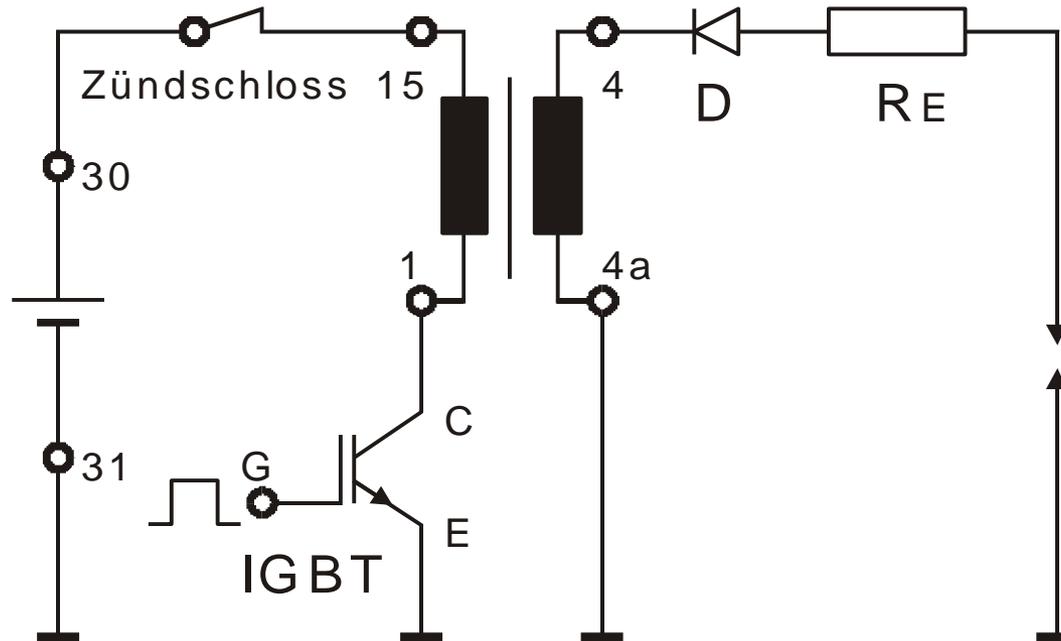
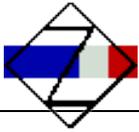
#### 8.5.2 Zündspulen

#### 8.5.3 Zündkerzen

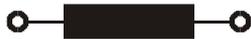
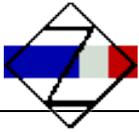
### 8.6 Motormanagement - Zündwinkelgütegrad



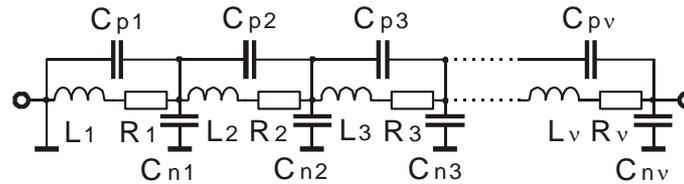
Spulenzündung mit mechanischem Unterbrecher und Zündverteiler



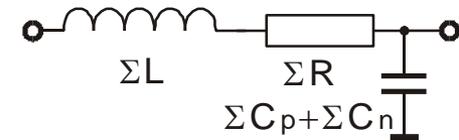
Spulenzündung mit Einzelzündspulen und elektronischem Zündschalter



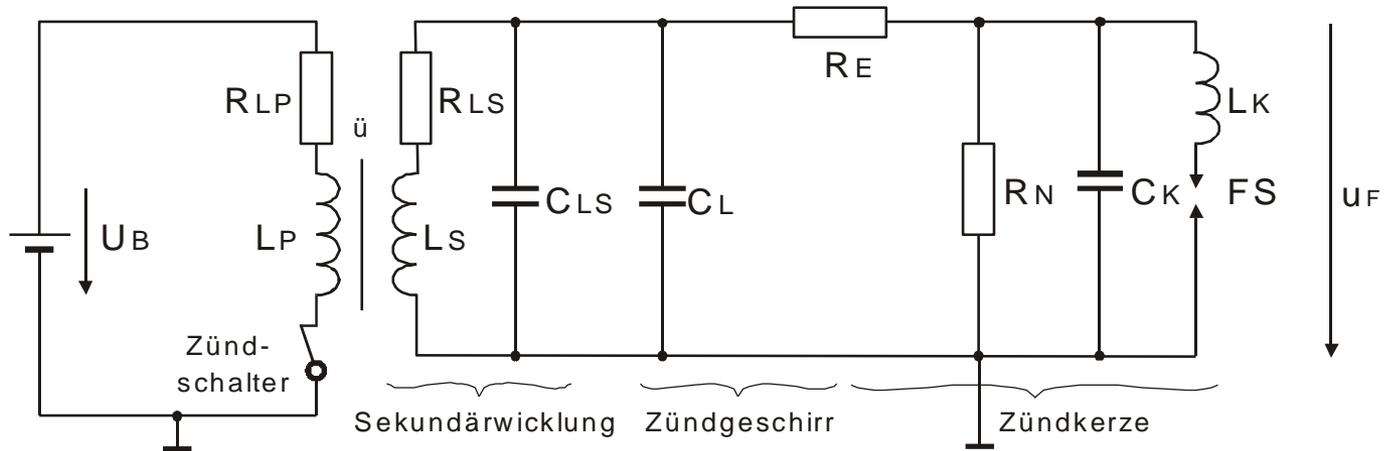
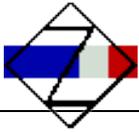
reale Spule



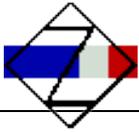
differenzielles Ersatzschaltbild  
(mit  $v$  bis zu 10.000 Windungen)



Gesamtersatzschaltbild



Ersatzschaltbild einer Spulenzündung



## 8 Zündung/Motormanagement

### 8.1 Motorische Anforderungen

### 8.2 Hochspannungserzeugung

### 8.3 Spulenzündung/Batteriezündung

#### 8.3.1 Schaltungen und Ersatzschaltbilder

#### 8.3.2 Zündvorgang

### 8.4 weitere Zündanlagen

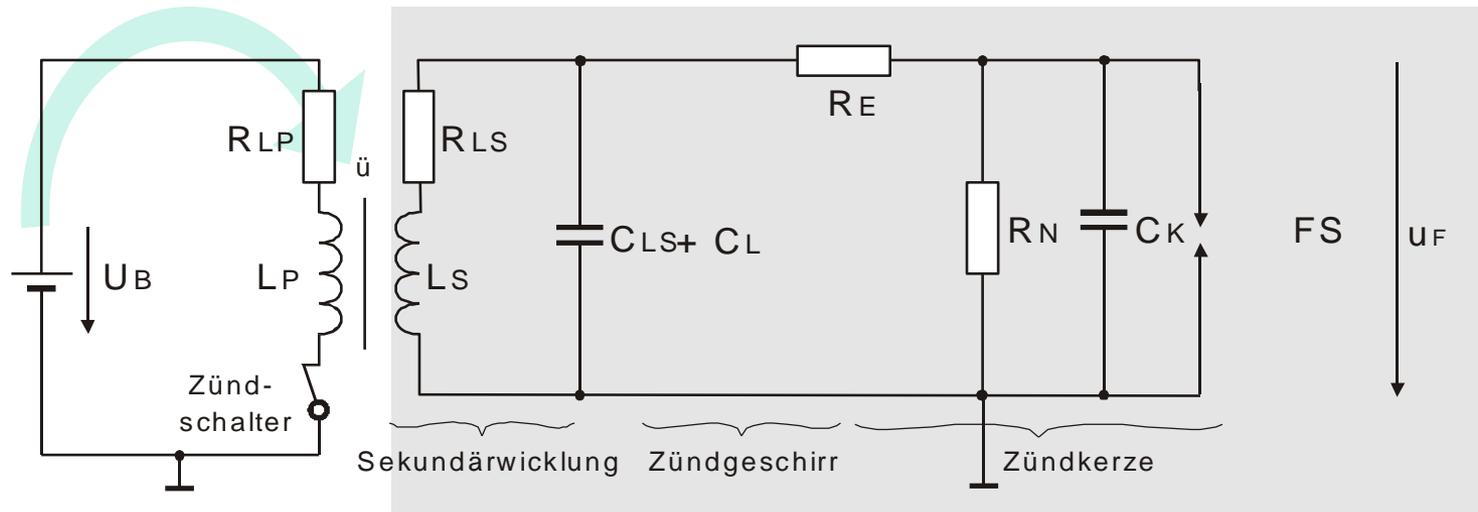
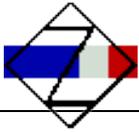
### 8.5 Komponenten

#### 8.5.1 Zündschalter

#### 8.5.2 Zündspulen

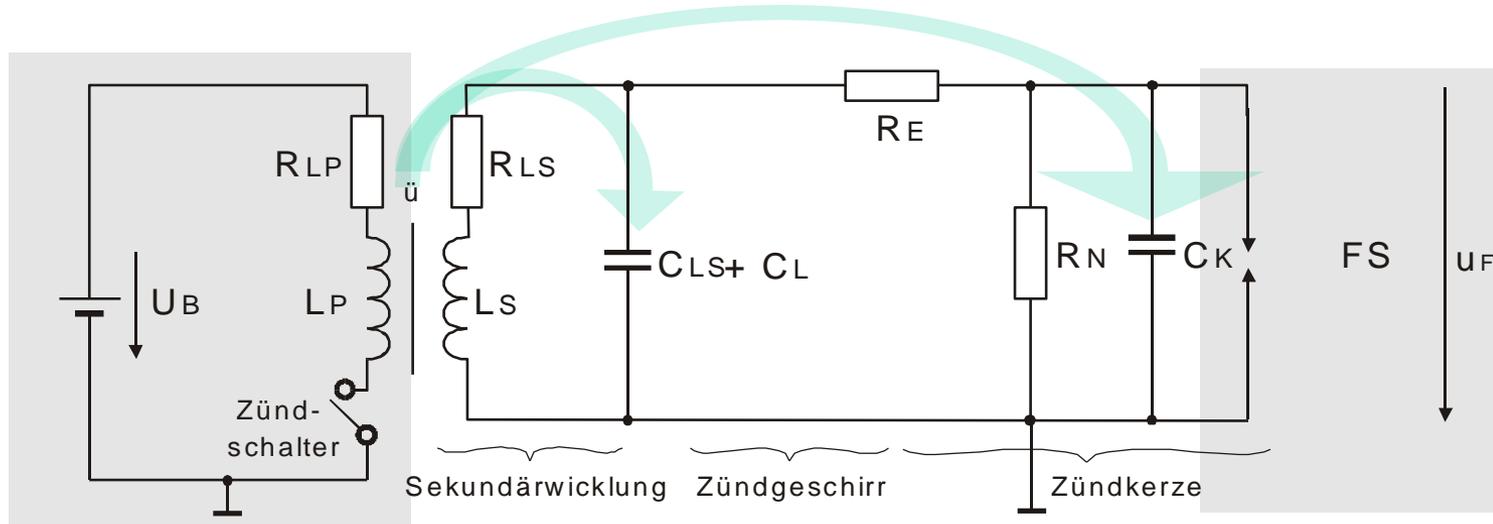
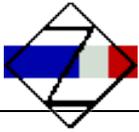
#### 8.5.3 Zündkerzen

### 8.6 Motormanagement - Zündwinkelgütegrad



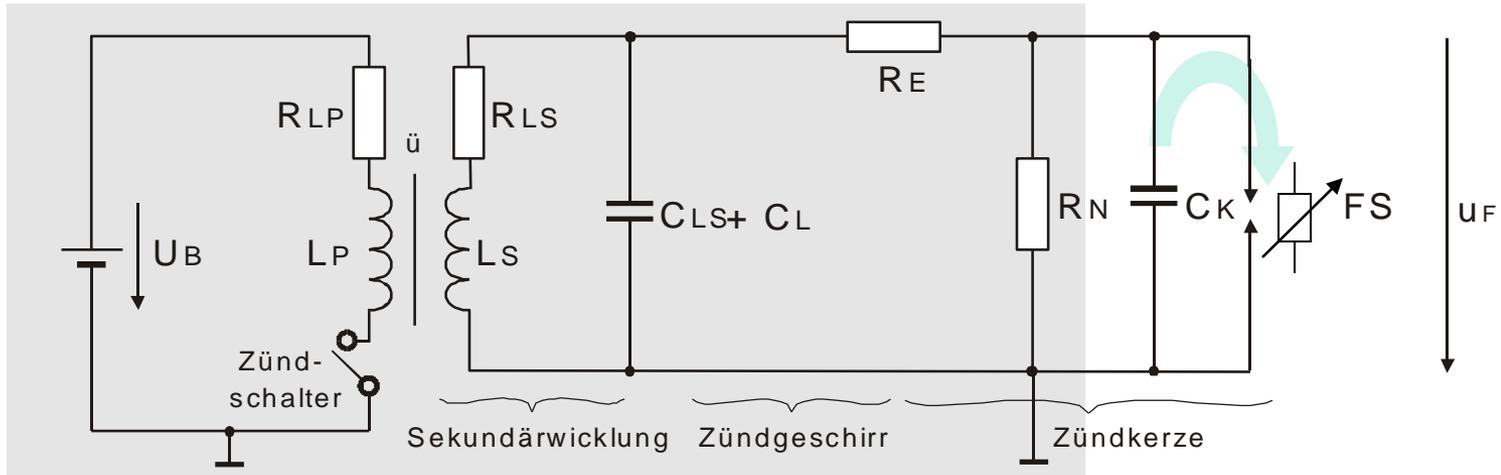
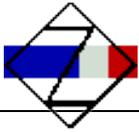
Vier Phasen eines Zündvorganges:

1. Aufladen des Energiezwischenspeichers (Magnetkreis der Zündspule)



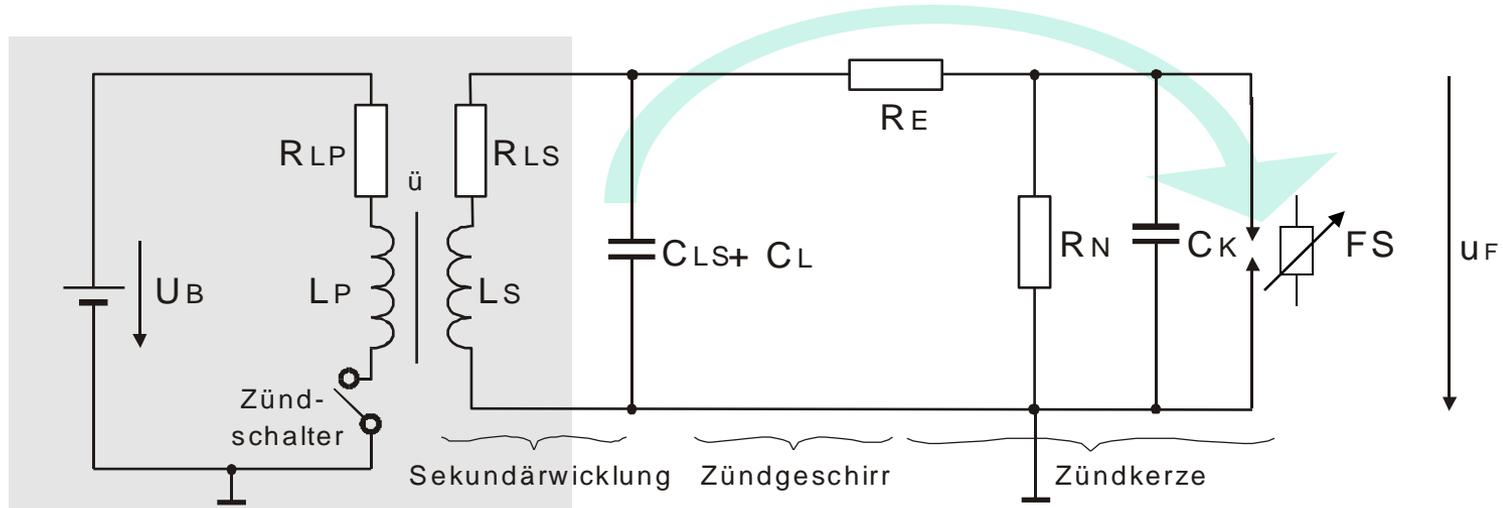
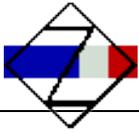
Vier Phasen eines Zündvorganges:

1. Aufladen des Energiezwischenspeichers (Magnetkreis der Zündspule)
2. Umladevorgang (Aufladen der parasit. Kapazitäten des Sekundärkreises)



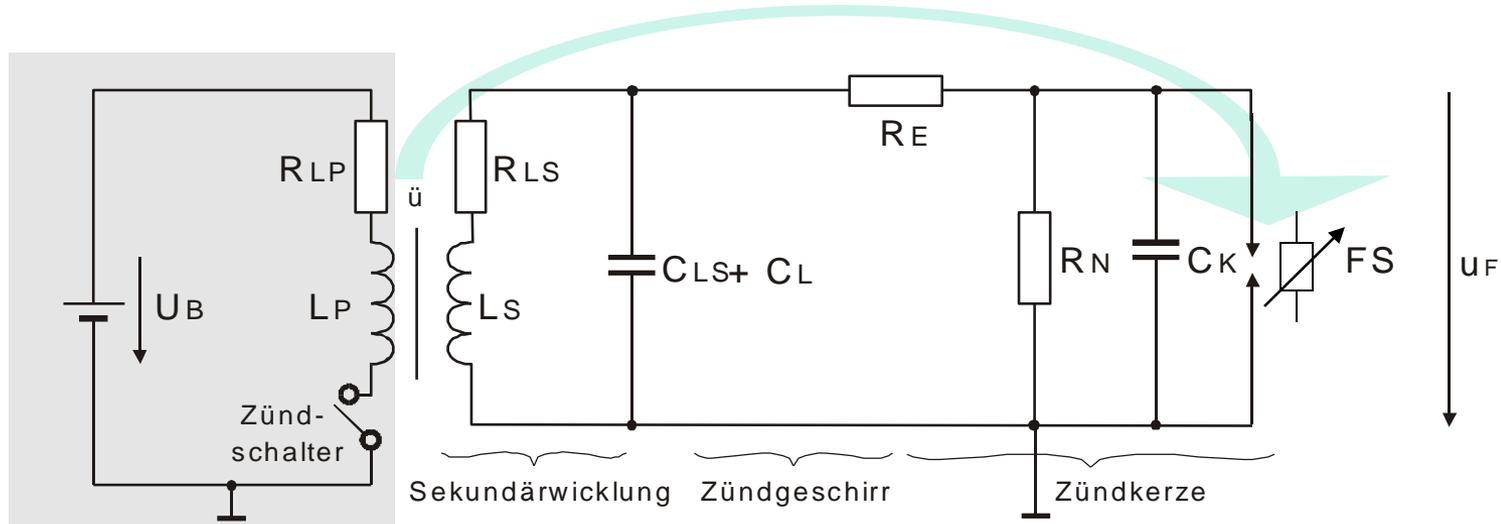
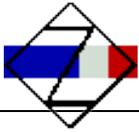
Vier Phasen eines Zündvorganges:

1. Aufladen des Energiezwischenspeichers (Magnetkreis der Zündspule)
2. Umladevorgang (Aufladen der parasit. Kapazitäten des Sekundärkreises)
3. Funkenentladung mit den Teilphasen:
  - 3.1 Entladen der kerzennahen parasitären Kapazitäten (Funkendurchbruch)



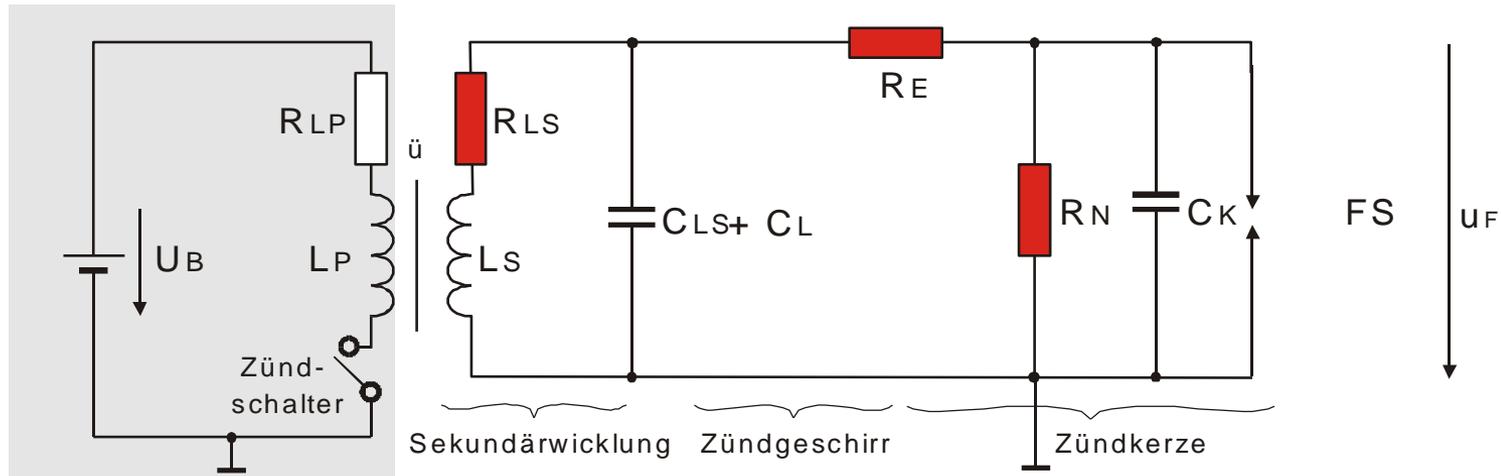
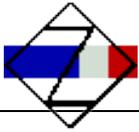
Vier Phasen eines Zündvorganges:

1. Aufladen des Energiezwischenspeichers (Magnetkreis der Zündspule)
2. Umladevorgang (Aufladen der parasit. Kapazitäten des Sekundärkreises)
3. Funkenentladung mit den Teilphasen:
  - 3.1 Entladen der kerzennahen parasitären Kapazitäten (Funkendurchbruch)
  - 3.2 Entladen der restlichen parasitären Kapazitäten der Sekundärseite (Bogentladung)



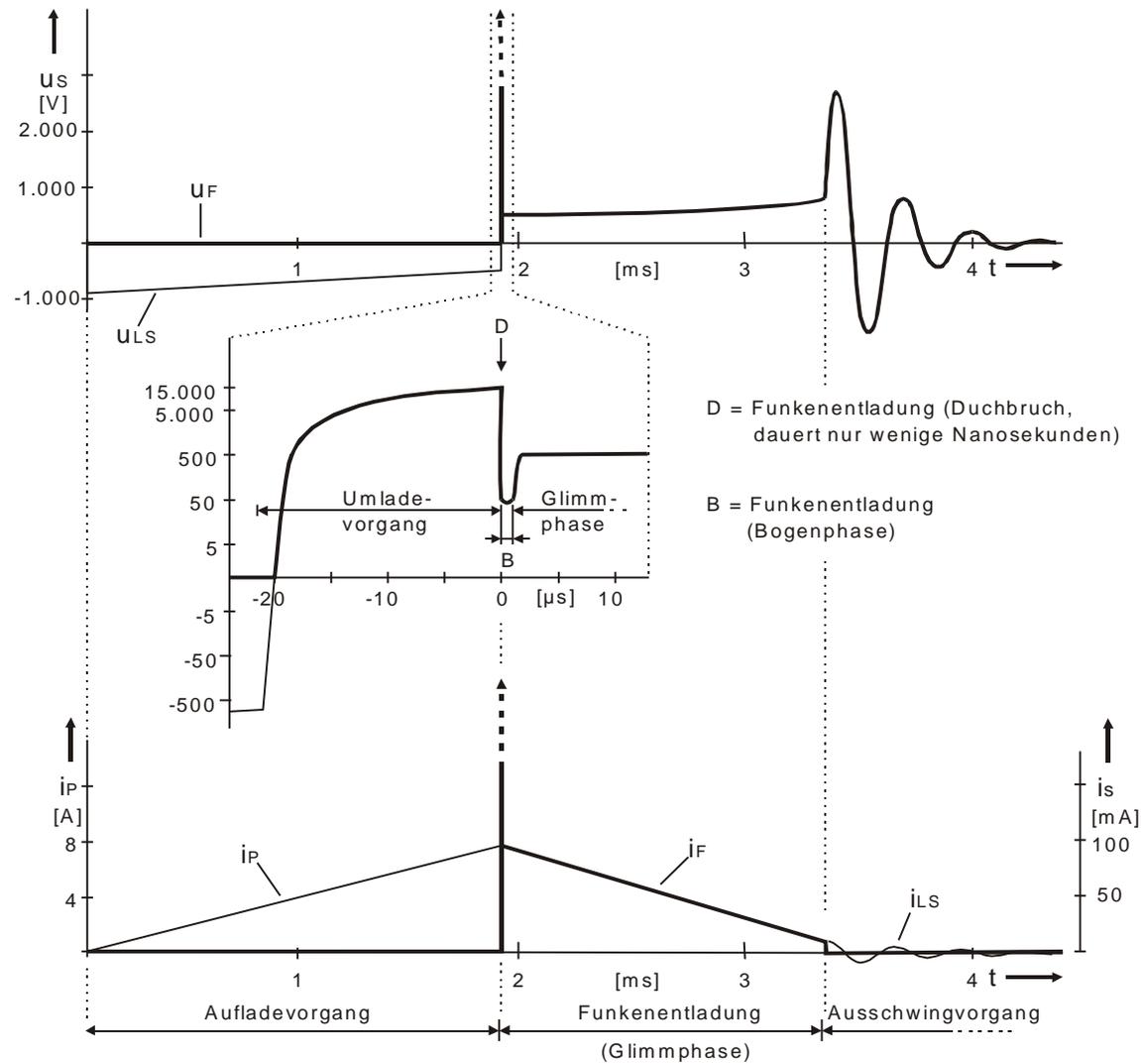
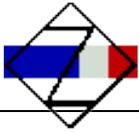
### Vier Phasen eines Zündvorganges:

1. Aufladen des Energiezwischenspeichers (Magnetkreis der Zündspule)
2. Umladevorgang (Aufladen der parasit. Kapazitäten des Sekundärkreises)
3. Funkenentladung mit den Teilphasen:
  - 3.1 Entladen der kerzennahen parasitären Kapazitäten (Funkendurchbruch)
  - 3.2 Entladen der restlichen parasitären Kapazitäten der Sekundärseite (Bogentladung)
  - 3.3 Entladen der im Zwischenspeicher (Magnetkreis) verbliebenen Energie (Glimmentladung)

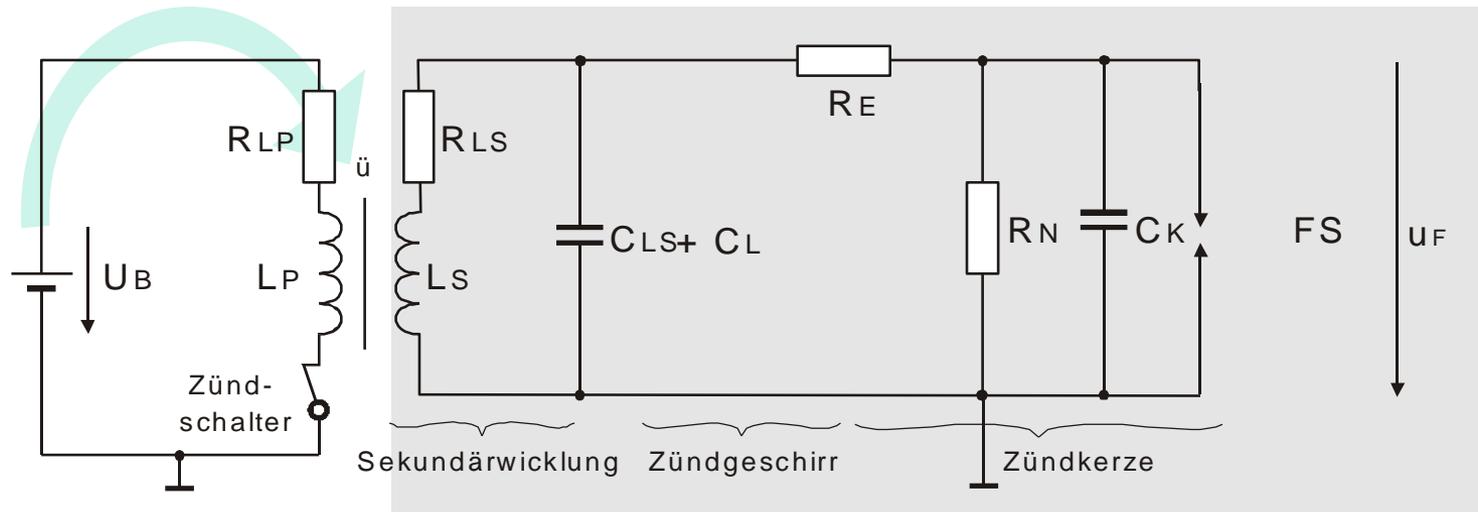
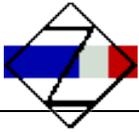


### Vier Phasen eines Zündvorganges:

1. Aufladen des Energiezwischenspeichers (Magnetkreis der Zündspule)
2. Umladevorgang (Aufladen der parasit. Kapazitäten des Sekundärkreises)
3. Funkenentladung mit den Teilphasen:
  - 3.1 Entladen der kerzennahen parasitären Kapazitäten (Funkendurchbruch)
  - 3.2 Entladen der restlichen parasitären Kapazitäten der Sekundärseite (Bogentladung)
  - 3.3 Entladen der im Zwischenspeicher (Magnetkreis) verbliebenen Energie (Glimmentladung)
4. Abbau von Restenergie durch einen Ausschwingvorgang

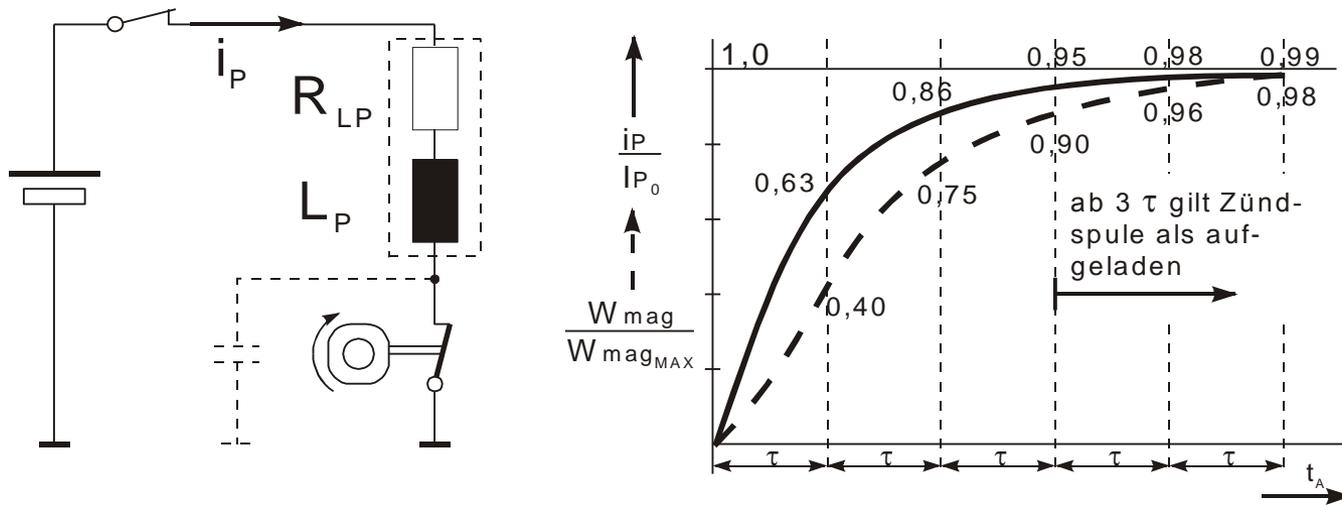
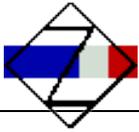


Spannungs- und Stromverlauf während des Zündvorganges



Vier Phasen eines Zündvorganges:

1. Aufladen des Energiezwischenspeichers (Magnetkreis der Zündspule)



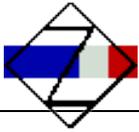
Aufladevorgang (Ersatzschaltbild und Aufladekennlinien)

max. Primärstrom:  $I_{p0} = \frac{U_B}{R_{Lp}}$

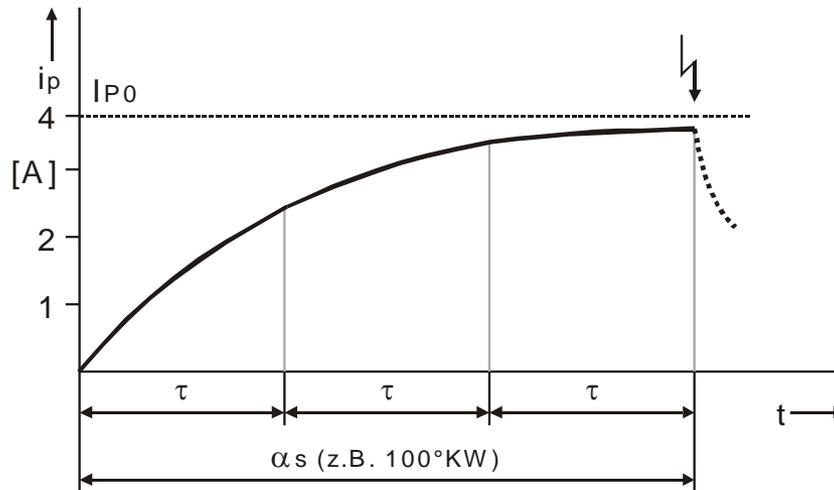
Zeitkonstante:  $\tau = \frac{L_p}{R_{Lp}}$

Primärstrom:  $i_p = I_{p0} \left(1 - e^{-\frac{t_A}{\tau}}\right)$

Primärenergie:  $w_{mag} = \frac{L_p}{2} i_p^2$   
 $\left( W_{mag\ max} = \frac{L_p}{2} I_{p0}^2 \right)$



Aufladevorgang bei Zündspulen für Unterbrecherzündung (sog. Normalzündspulen)



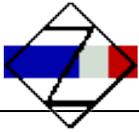
Beispiel: Viertakt-Vierzylindermotor  
üblicherweise  $\alpha_s = 100^\circ\text{KW}$  und  $\alpha_{\ddot{o}} = 80^\circ\text{KW}$   
→ Ein kompletter Zündvorgang (Unterbrecher-  
zyklus) benötigt  $180^\circ\text{KW}$  bzw.  $90^\circ\text{NW}$

$$\tau = 3 \text{ ms} \rightarrow 3 \tau = 9 \text{ ms}$$

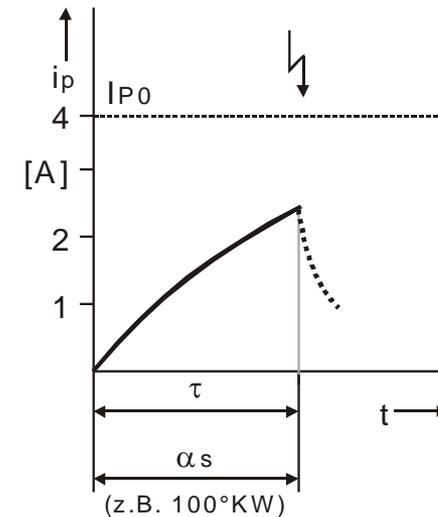
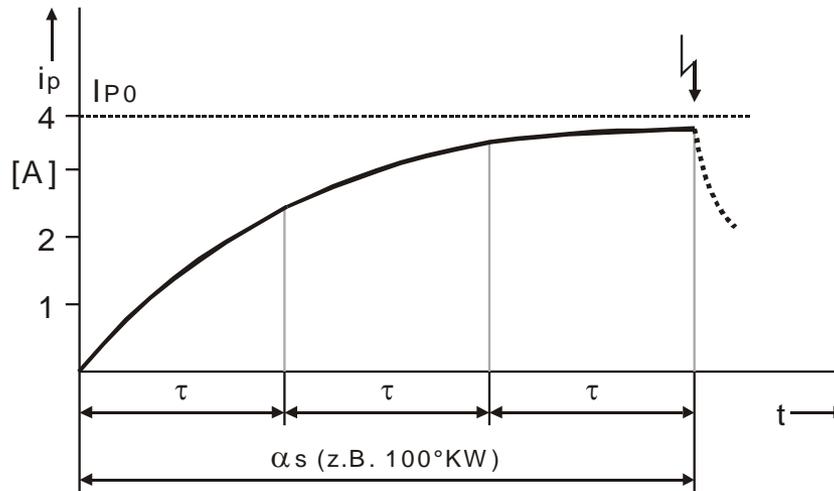
Grenzdrehzahl, wenn  $3 \tau \hat{=} 100^\circ\text{KW}$

→  $360^\circ\text{KW}$  in 32,4 ms

→  $n_{\text{Grenz}} = 30,86 \text{ s}^{-1}$  bzw.  $1852 \text{ min}^{-1}$



Aufladevorgang bei Zündspulen für Unterbrecherzündung (sog. Normalzündspulen)



Beispiel: Viertakt-Vierzylindermotor  
üblicherweise  $\alpha_s = 100^\circ\text{KW}$  und  $\alpha_{\ddot{o}} = 80^\circ\text{KW}$   
→ Ein kompletter Zündvorgang (Unterbrecher-  
zyklus) benötigt  $180^\circ\text{KW}$  bzw.  $90^\circ\text{NW}$

$$\tau = 3 \text{ ms} \rightarrow 3 \tau = 9 \text{ ms}$$

Grenzdrehzahl, wenn  $3 \tau \hat{=} 100^\circ\text{KW}$

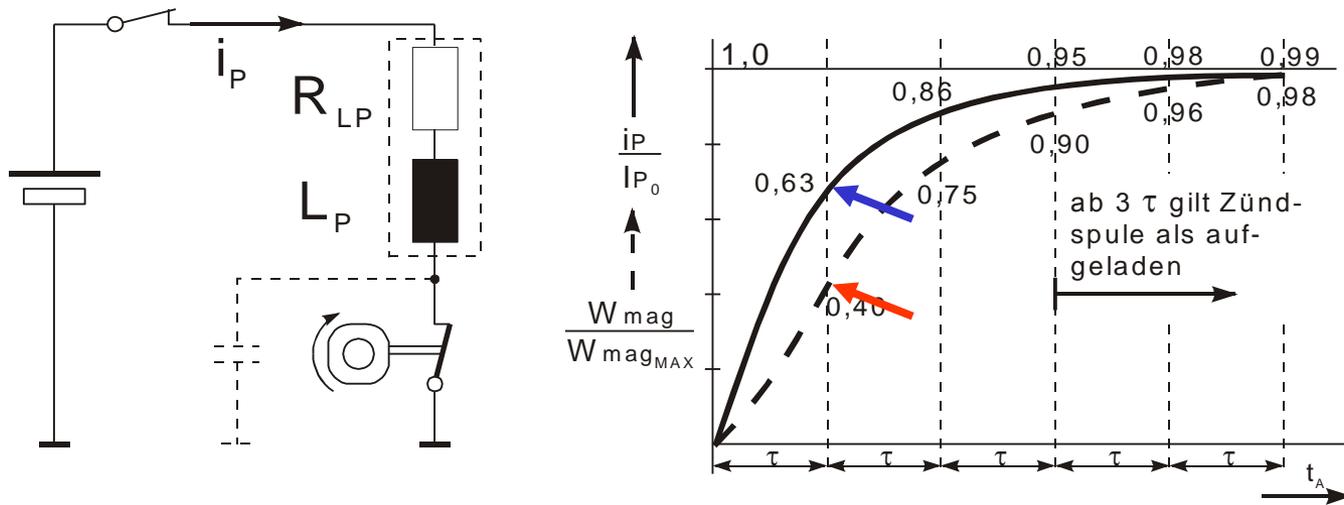
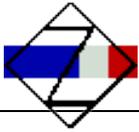
→  $360^\circ\text{KW}$  in 32,4 ms

→  $n_{\text{Grenz}} = 30,86 \text{ s}^{-1}$  bzw.  $1852 \text{ min}^{-1}$

Max.drehzahl, wenn  $1 \tau \hat{=} 100^\circ\text{KW}$

→  $360^\circ\text{KW}$  in 10,8 ms

→  $n_{\text{max}} = 92,6 \text{ s}^{-1}$  bzw.  $5556 \text{ min}^{-1}$



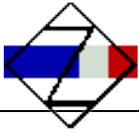
Aufladevorgang (Ersatzschaltbild und Aufladekennlinien)

max. Primärstrom:  $I_{p0} = \frac{U_B}{R_{Lp}}$

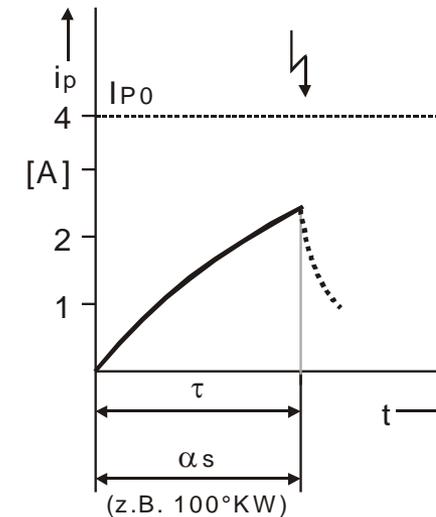
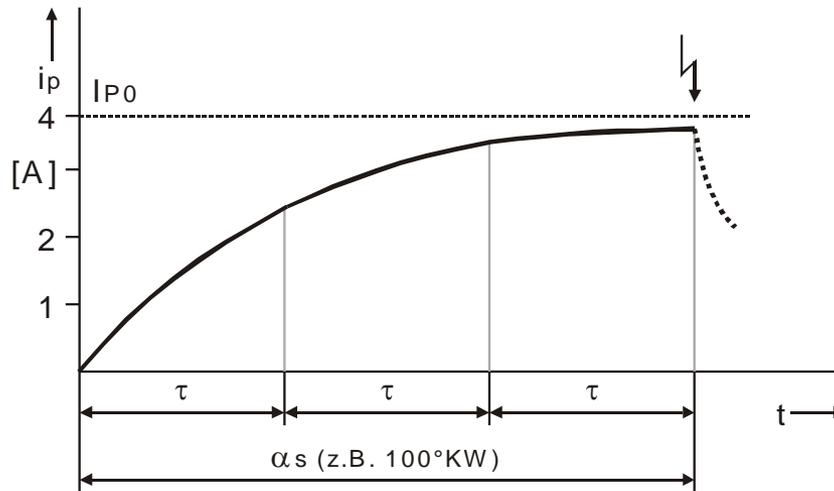
Zeitkonstante:  $\tau = \frac{L_p}{R_{Lp}}$

Primärstrom:  $i_p = I_{p0} \left(1 - e^{-\frac{t_A}{\tau}}\right)$

Primärenergie:  $w_{mag} = \frac{L_p}{2} i_p^2$   
 $\left(W_{mag\ max} = \frac{L_p}{2} I_{p0}^2\right)$



### Aufladevorgang bei Zündspulen für Unterbrecherzündung (sog. Normalzündspulen)



Beispiel: Viertakt-Vierzylindermotor  
üblicherweise  $\alpha_s = 100^\circ\text{KW}$  und  $\alpha_{\ddot{o}} = 80^\circ\text{KW}$   
→ Ein kompletter Zündvorgang (Unterbrecher-  
zyklus) benötigt  $180^\circ\text{KW}$  bzw.  $90^\circ\text{NW}$

$$\tau = 3 \text{ ms} \rightarrow 3 \tau = 9 \text{ ms}$$

Grenzdrehzahl, wenn  $3 \tau \hat{=} 100^\circ\text{KW}$

→  $360^\circ\text{KW}$  in 32,4 ms

→  $n_{\text{Grenz}} = 30,86 \text{ s}^{-1}$  bzw.  $1852 \text{ min}^{-1}$

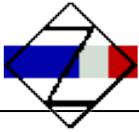
Nur noch 40% magn. Energie!

→ Zündaussetzer wahrscheinlich.

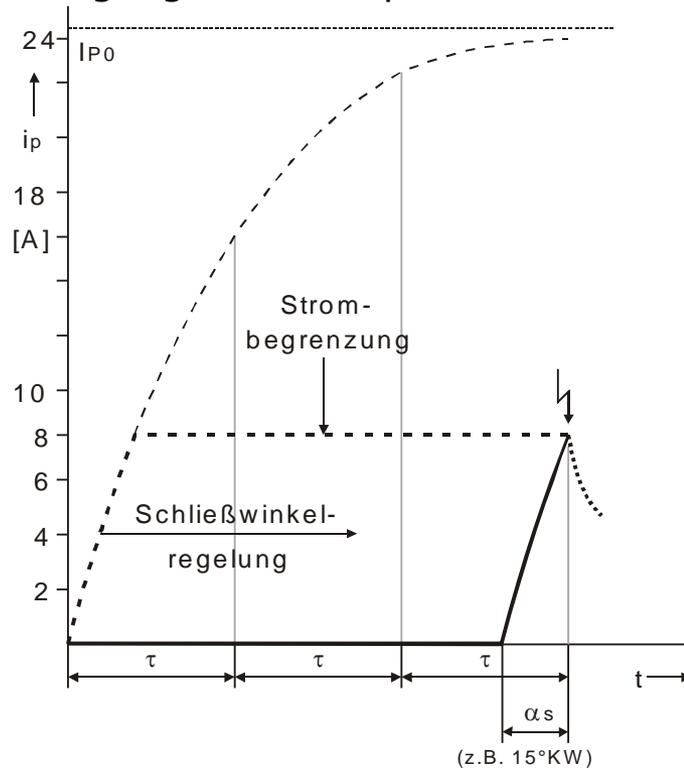
Max.drehzahl, wenn  $1 \tau \hat{=} 100^\circ\text{KW}$

→  $360^\circ\text{KW}$  in 10,8 ms

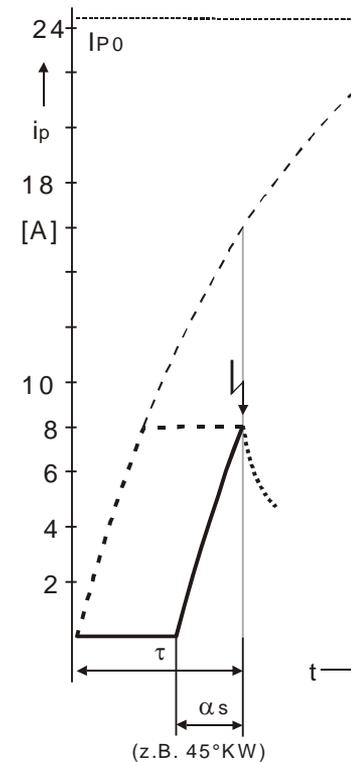
→  $n_{\text{max}} = 92,6 \text{ s}^{-1}$  bzw.  $5556 \text{ min}^{-1}$



### Aufladevorgang bei Zündspulen für Transistorzündung (sog. Hochleistungszündspulen)



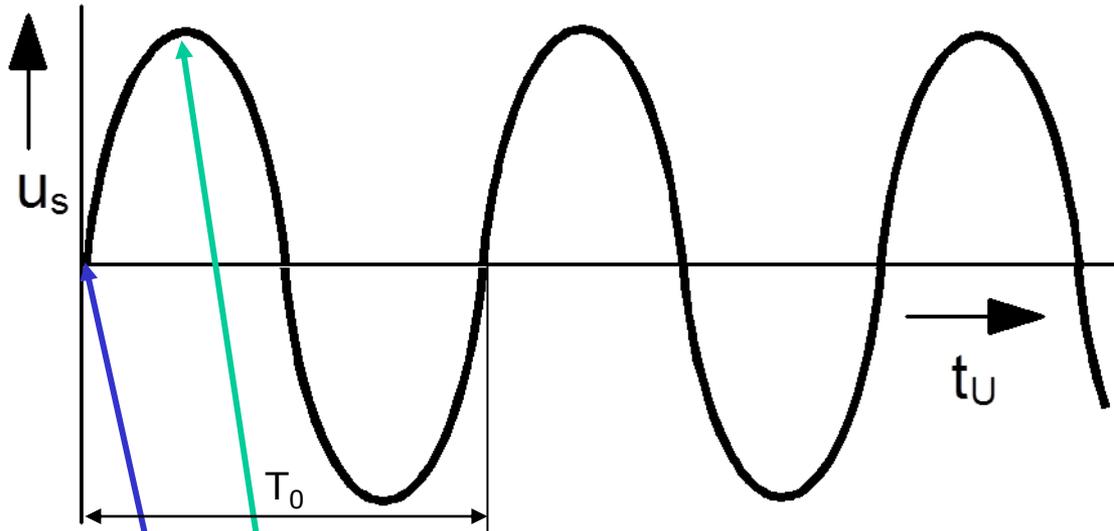
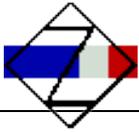
$n = 1852 \text{ min}^{-1}$



$n = 5556 \text{ min}^{-1}$

Erforderliche Zündenergiemenge wird bei  $0,45 \tau$  ( $= 1,35 \text{ ms}$ ) erreicht.  
Wenn für Umladevorgang, Funkenentladung und Ausschwingvorgang ca.  $3 \text{ ms}$  benötigt werden, dann dauert ein kompletter Zündvorgang  $4,35 \text{ ms}$ .

→ Grenzdrehzahl bei  $13.793 \text{ min}^{-1}$ !



bei  $t_{A\ Ende}$  bzw.  $t_U = 0$   
sind  $w_{mag} = max$  und  $w_{el} = 0$

bei  $t_U = \frac{T_0}{4}$   
sind  $w_{mag} = 0$  und  $w_{el} = max$

$$w_{mag} \Big|_{\substack{t_{A\ Ende} \\ t_U = 0}} = w_{el} \Big|_{t_U = \frac{T_0}{4}}$$

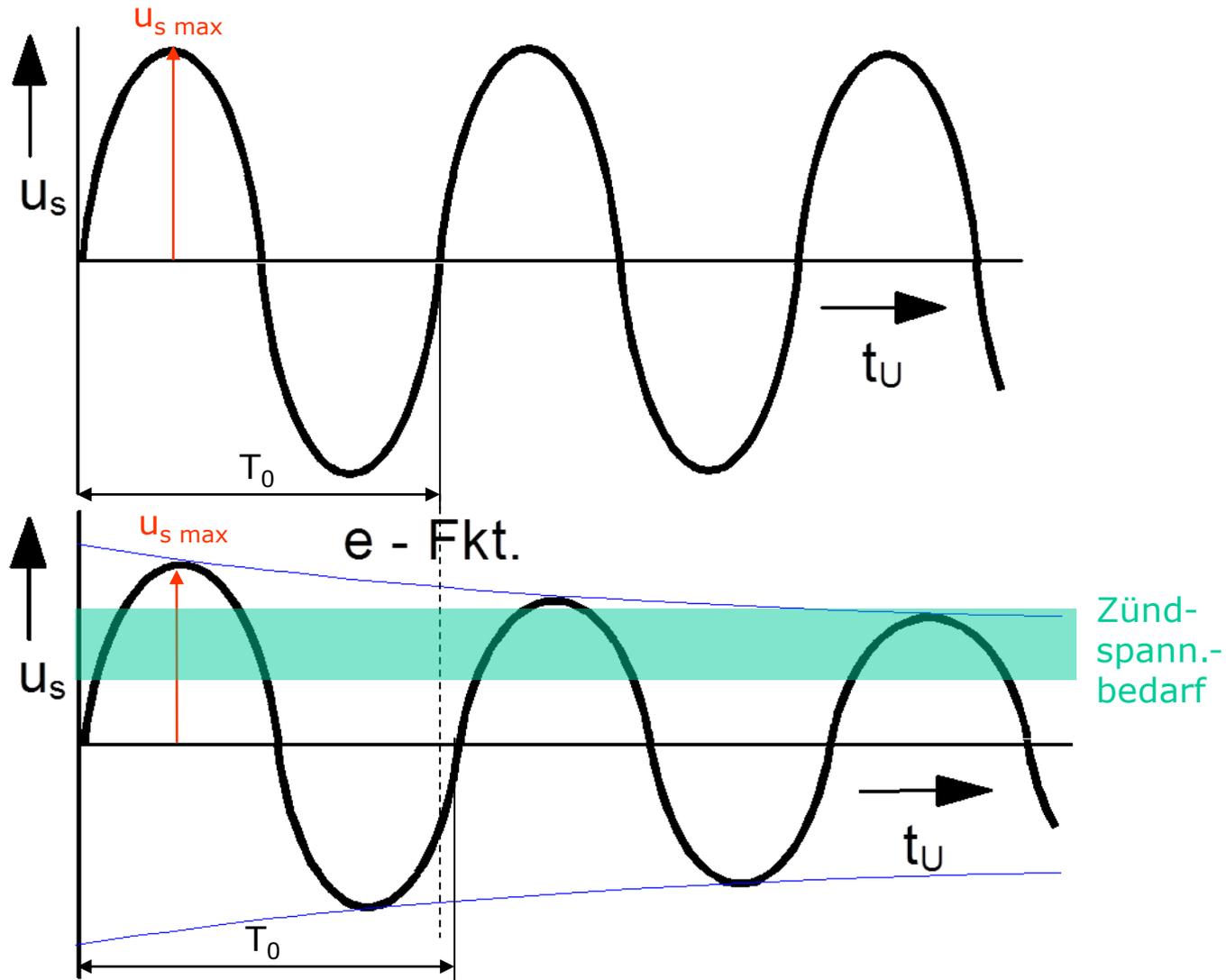
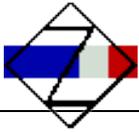
$$\frac{L_p}{2} i_p^2 = \frac{C_s}{2} u_s^2$$

$$u_s = i_p \sqrt{\frac{L_p}{C_s}}$$

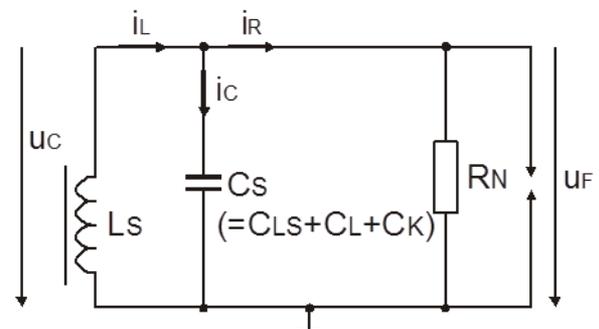
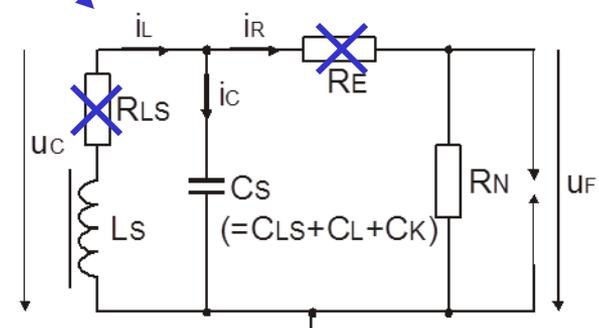
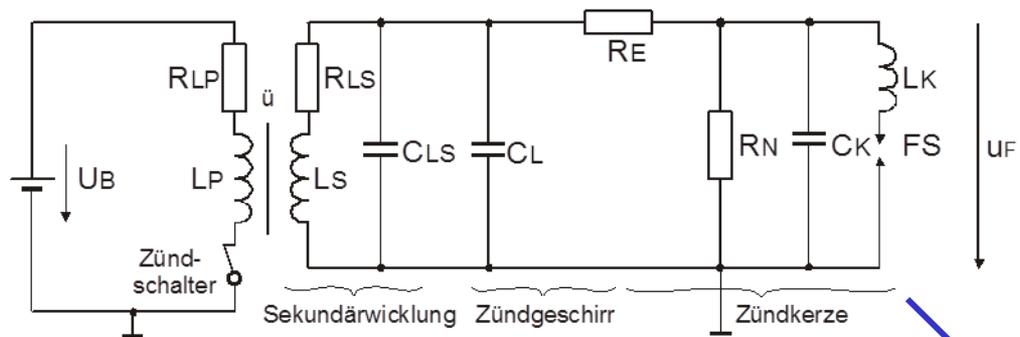
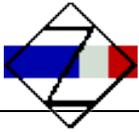
Übersetzungsverhältnis  
spielt für die Höhe der  
Sekundärspannung  
bei der ungedämpften  
Schwingung keine Rolle!

$$\text{aber: } u_p = \frac{u_s}{\ddot{u}}$$

Umladevorgang (ohne Berücksichtigung der Dämpfung)

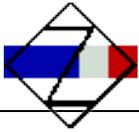


Umladevorgang (mit Berücksichtigung der Dämpfung)

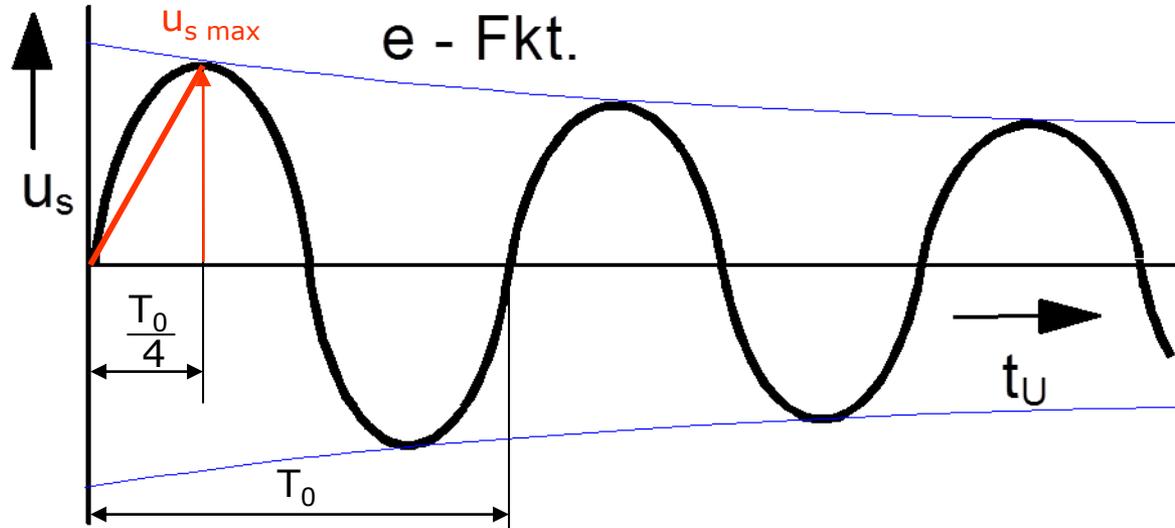


(Diff.-Gl. zweiter Ordnung)

Umladevorgang – Vereinfachung des Ersatzschaltbildes



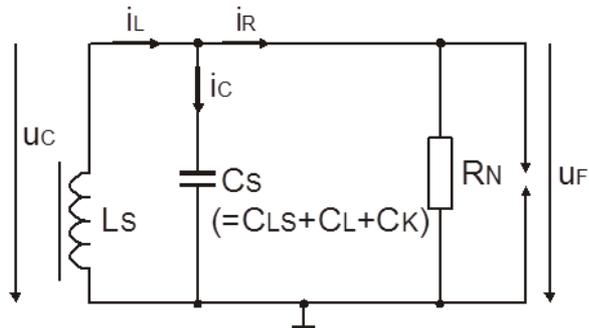
Maximum der gedämpften Schwingung:



$$u_s = \underbrace{i_p \sqrt{\frac{L_p}{C_s}} \cdot e}_{\text{Maximum ohne Dämpfung}} \cdot \underbrace{\frac{\arctan \sqrt{\frac{4R_N^2 C_s}{\ddot{u}^2 L_p} - 1}}{\sqrt{\frac{4R_N^2 C_s}{\ddot{u}^2 L_p} - 1}}}_{\text{Einfluss der Dämpfung}}$$

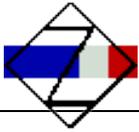
Eigenfrequenz der gedämpften Schwingung:

$$f_e = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\underbrace{\frac{1}{L_s C_s}}_{\text{Resonanzfrequenz}} - \underbrace{\frac{1}{4R_N^2 C_s^2}}_{\text{Einfluss der Dämpfung}}}$$



Spannungsanstiegsgeschwindigkeit:  $\bar{v}_u \approx \frac{u_{s \max}}{\frac{T_0}{4}} = u_{s \max} \cdot f_e \cdot 4 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{V}{\mu s} \right]$

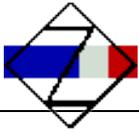
Umladevorgang (mit Berücksichtigung der Dämpfung)



### Energiebilanz Spulenzündung (Einzelfunke)

$u_F$ Zünd [kV]	$R_N$ [k $\Omega$ ]	$W_{F DBr.}$ ( $\eta_{th} \approx 1$ ) [mJ]	$W_{F Bogen}$ ( $\eta_{th} \approx 0,5$ ) [mJ]	$W_{F Glimm}$ ( $\eta_{th} \approx 0,3$ ) [mJ]	$W_{RLS}$ [mJ]	$W_{RE}$ [mJ]	$W_{RN}$ [mJ]	$t_U$ Zünd [ $\mu$ s]
5	1000	0,13 (0,13)	0,03 (0,015)	37,4 (11,2)	34,3	11,4	1,1	5,9
	500			37,0 (11,1)				
15	1000	1,12 (1,12)	0,09 (0,045)	32,2 (9,7)	28,0	20,4	2,6	18,9
	500			31,0 (9,3)				
25	1000	3,13 (3,13)	0,15 (0,075)	18,7 (5,6)	13,6	38,1	10,7	37,9
	700			14,7 (4,4)				

Daten:  $L_P = 3$  mH,  $R_{LP} = 0,5$   $\Omega$ ,  $\ddot{u} = 70$ ,  $L_S = 14,4$  H,  $R_{LS} = 6,8$  k $\Omega$ ,  $R_E = 2$  k $\Omega$ ,  $C_{LS} = 80$  pF,  $C_L = 30$  pF,  $C_K = 10$  pF,  $U_B = 14$  V,  $i_{P Ende} = 7,5$  A,  $W_{ges} = 84,4$  mJ,  $u_{C max} (R_N = 1$  M $\Omega) = 28,8$  kV,  $u_{C max} (R_N = 500$  k $\Omega) = 23,5$  kV,  $u_{F Bogen} = 50$  V,  $u_{F Glimm} = 500$  V  
 Klammerwerte gelten für die in das Gemisch eingebrachte Energie



## 8 Zündung/Motormanagement

### 8.1 Motorische Anforderungen

### 8.2 Hochspannungserzeugung

### 8.3 Spulenzündung/Batteriezündung

#### 8.3.1 Schaltungen und Ersatzschaltbilder

#### 8.3.2 Zündvorgang

## 8.4 weitere Zündanlagen

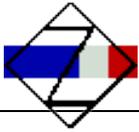
### 8.5 Komponenten

#### 8.5.1 Zündschalter

#### 8.5.2 Zündspulen

#### 8.5.3 Zündkerzen

### 8.6 Motormanagement - Zündwinkelgütegrad



weitere Zündanlagen (im praktischen Einsatz):

- mit Funkenzündung:
  - Kondensatorzündung
  - Wechselstromzündung

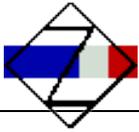
experimentelle Zündanlagen:

- Plasmazündung
- Mikrowellenzündung
- Laserzündung
- Schockwellenzündung (akustische Zündung)
- Coronazündung (Raumzündung)

Zündanlagen aus den Anfängen des Motorenbaus:

- Flammzündung
- Glühkörperzündung

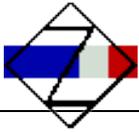
weitere Informationen siehe Lehrbuch „Kraftfahrzeugmotoren“, 5. Auflage, Vogel-Verlag 2014  
Kapitel Gemischbildung und Verbrennung, Abschnitt 4.5.6 Zündung und Zündanlage



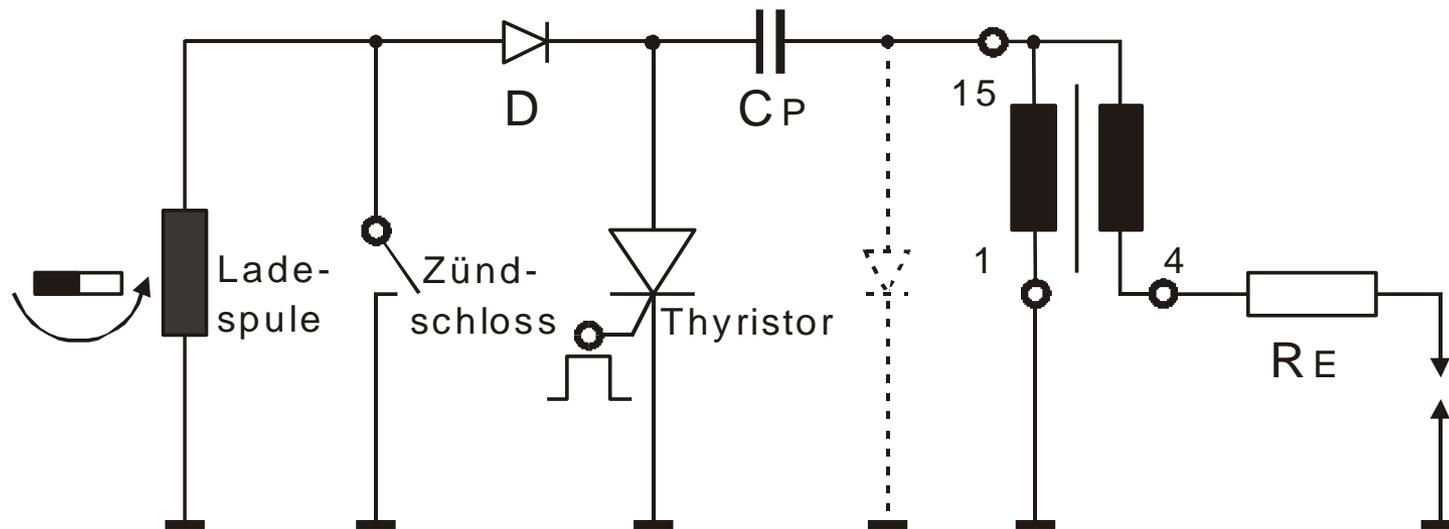
## Kondensatorzündung

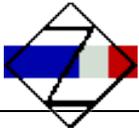
- Arbeitsweise nach dem Durchflusswandlerprinzip (Spulenzündung – Sperrwandlerprinzip).
- Zündung durch Einschalten des Primärstromes und transformieren der Sekundärspannung im Zündübertrager auf Zündspannungsniveau.
- Bei Bordspannung (14 V) wären Übersetzungsverhältnisse von mehr als 1 : 1.000 notwendig!
  - Hochsetzen der Primärspannung auf mehrere hundert Volt.
  - Kondensator zum Zwischenspeichern der notwendigen Energie.
- Im Vergleich zur Spulenzündung deutlich erhöhter Aufwand, da zusätzlicher Sperr- oder Durchflusswandler zum Erzeugen der Primärspannung erforderlich.

Aber: Einfache Lösung für Verbrennungsmotoren, die ohne 14 V – Bordnetz auskommen müssen  
(z.B. Mopeds, Außenbord-Bootsmotoren, Notstromaggregate, Motoren für Rasenmäher, Kettensägen usw.).

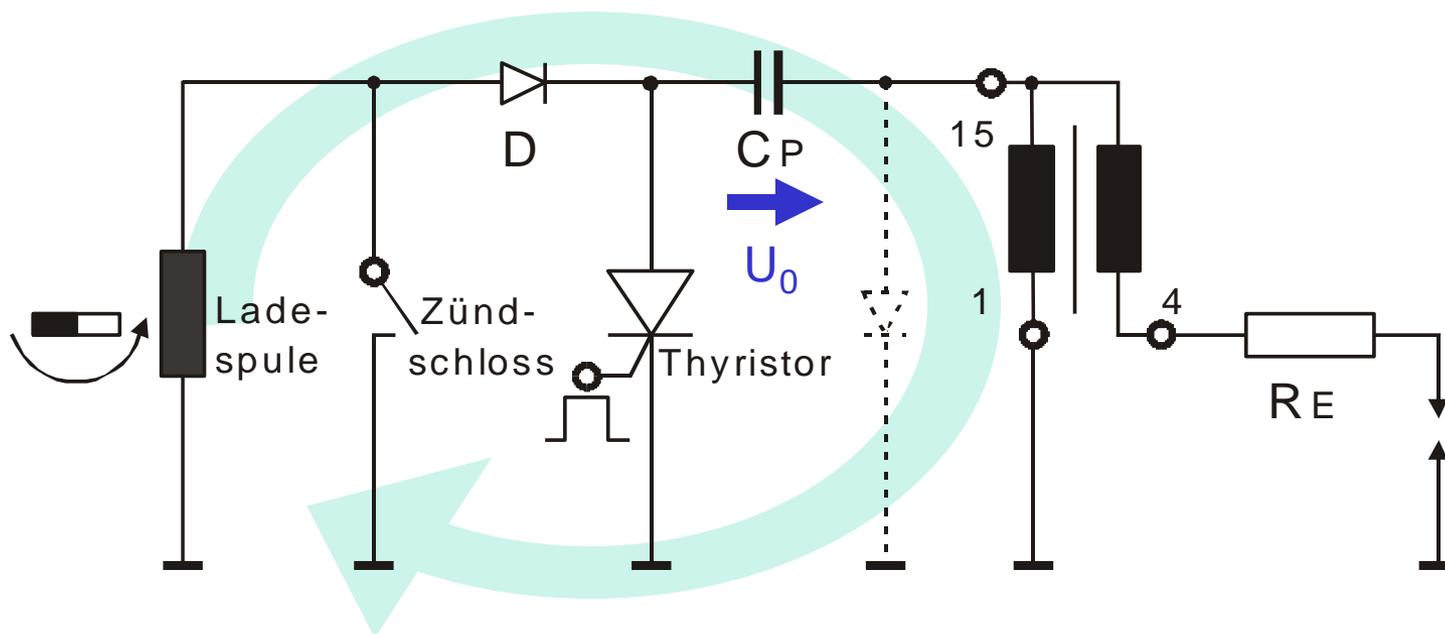


### Kondensatorzündung (Thyristorzündung)



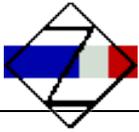


## Kondensatorzündung (Thyristorzündung)

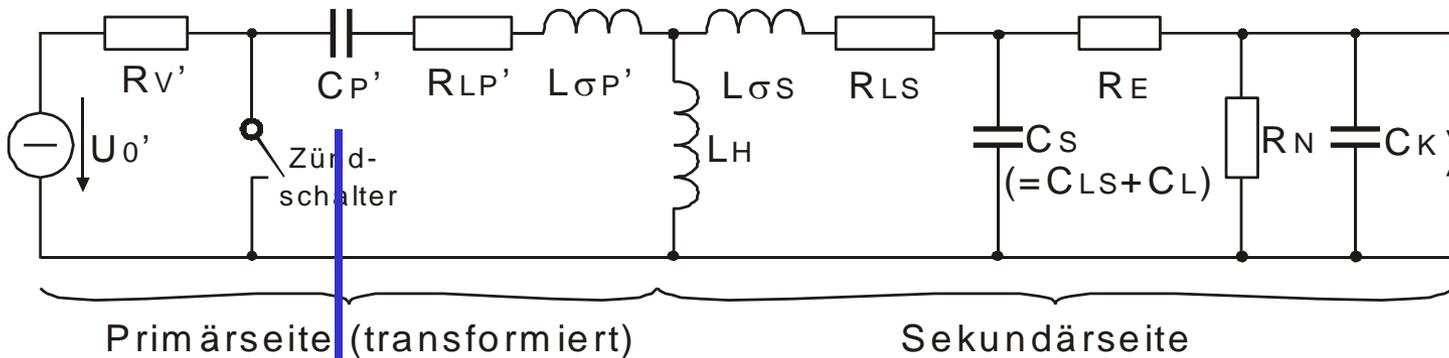


Vier Phasen eines Zündvorganges:

1. Aufladen des Energiezwischenspeichers (Speichercondensator der Primärseite)

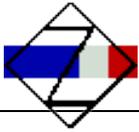


### Kondensatorzündung (Ersatzschaltbild)

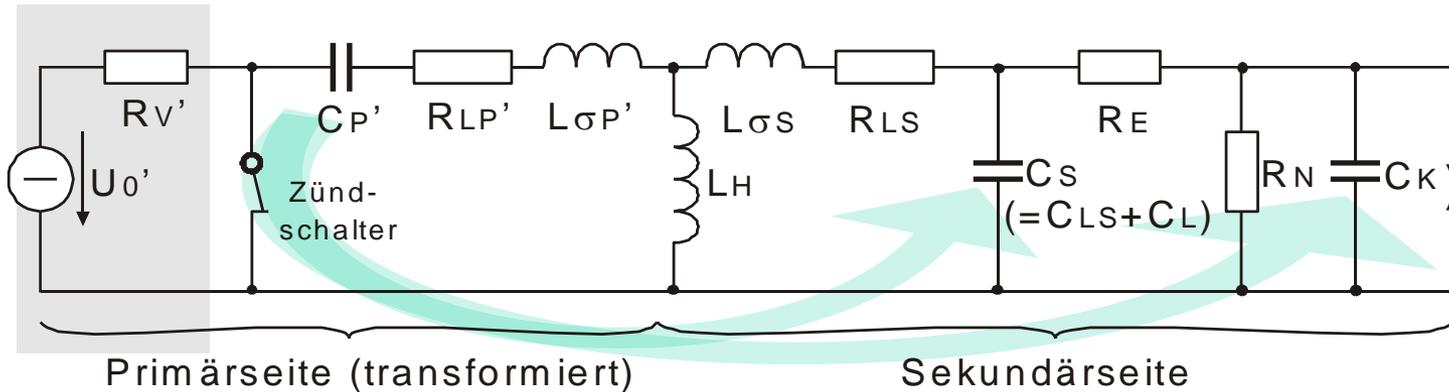


$$W_{el} = \frac{C_p}{2} U_0^2 \quad \text{bzw.} \quad W_{el} = \frac{C_p'}{2} U_0'^2 \quad \text{mit}$$

$$C_p' = \frac{C_p}{\ddot{u}^2} \quad \text{und} \quad U_0' = U_0 \cdot \ddot{u}$$

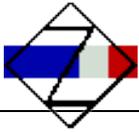


## Kondensatorzündung (Ersatzschaltbild)

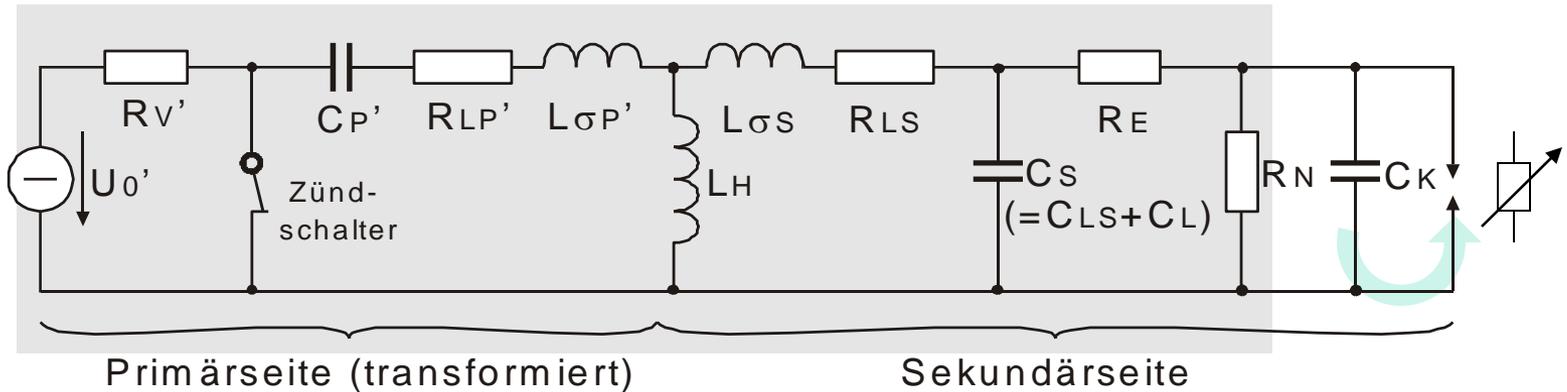


Vier Phasen eines Zündvorganges:

1. Aufladen des Energiezwischenspeichers
2. Umladevorgang (Aufladen der parasit. Kapazitäten des Sekundärkreises)

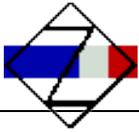


## Kondensatorzündung (Ersatzschaltbild)

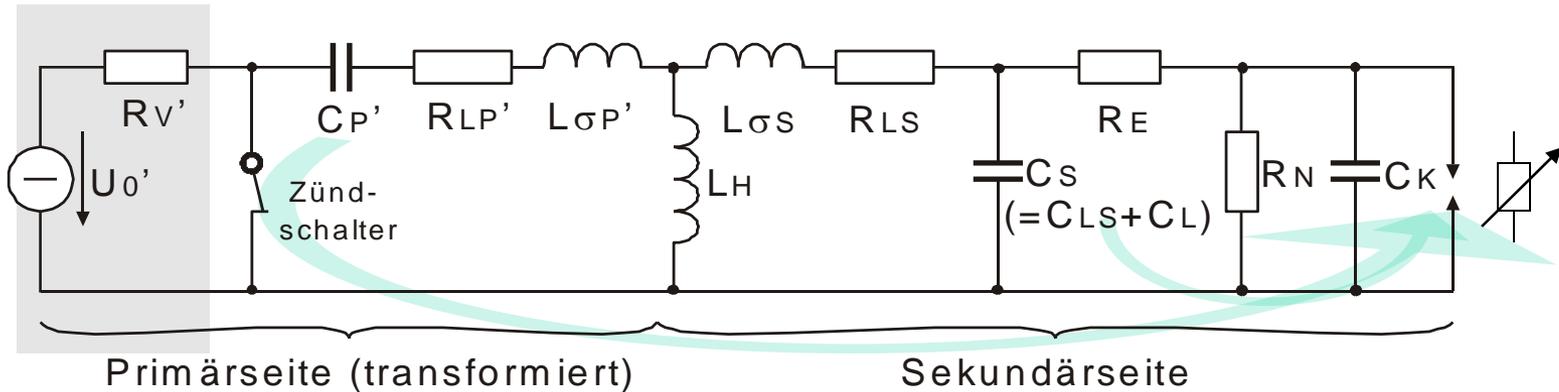


### Vier Phasen eines Zündvorganges:

1. Aufladen des Energiezwischenspeichers
2. Umladevorgang (Aufladen der parasit. Kapazitäten des Sekundärkreises)
3. Funkenentladung mit den Teilphasen:
  - 3.1 Entladen der kerzennahen parasitären Kapazitäten (Funkendurchbruch)

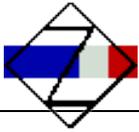


## Kondensatorzündung (Ersatzschaltbild)

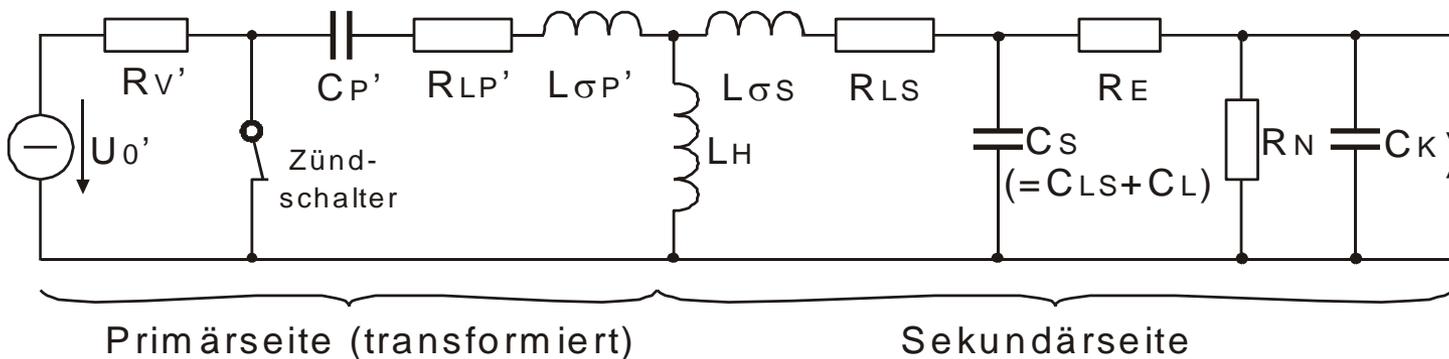


### Vier Phasen eines Zündvorganges:

1. Aufladen des Energiezwischenspeichers
2. Umladevorgang (Aufladen der parasit. Kapazitäten des Sekundärkreises)
3. Funkenentladung mit den Teilphasen:
  - 3.1 Entladen der kernennahen parasitären Kapazitäten (Funkendurchbruch)
  - 3.2 Entladen der restlichen parasitären Kapazitäten der Sekundärseite und Entladung der im Zwischenspeicher (Speichercondensator des Primärkreises) verbliebenen Energie (Bogenentladung)

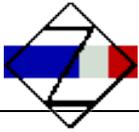


## Kondensatorzündung (Ersatzschaltbild)

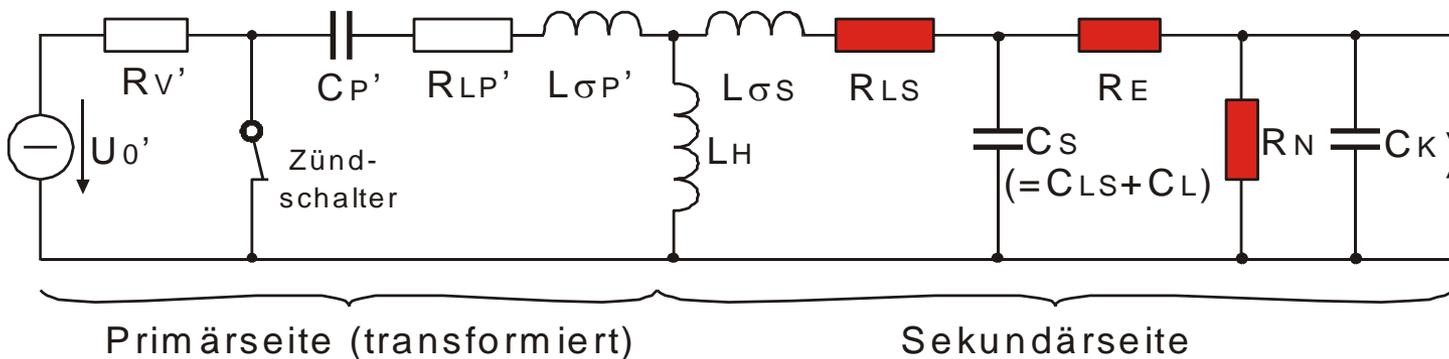


### Vier Phasen eines Zündvorganges:

1. Aufladen des Energiezwischenspeichers
2. Umladevorgang (Aufladen der parasit. Kapazitäten des Sekundärkreises)
3. Funkenentladung mit den Teilphasen:
  - 3.1 Entladen der kerzennahen parasitären Kapazitäten (Funkendurchbruch)
  - 3.2 Entladen der restlichen parasitären Kapazitäten der Sekundärseite und Entladung der im Zwischenspeicher (Speichercondensator des Primärkreises) verbliebenen Energie (Bogenentladung)
  - (3.3 praktisch keine Glimmentladung)

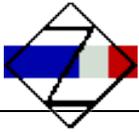


## Kondensatorzündung (Ersatzschaltbild)



### Vier Phasen eines Zündvorganges:

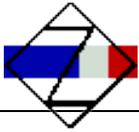
1. Aufladen des Energiezwischenspeichers
2. Umladevorgang (Aufladen der parasit. Kapazitäten des Sekundärkreises)
3. Funkenentladung mit den Teilphasen:
  - 3.1 Entladen der kerzennahen parasitären Kapazitäten (Funkendurchbruch)
  - 3.2 Entladen der restlichen parasitären Kapazitäten der Sekundärseite und Entladung der im Zwischenspeicher (Speichercondensator des Primärkreises) verbliebenen Energie (Bogenentladung)
  - (3.3 praktisch keine Glimmentladung)
4. Abbau von Restenergie durch einen Ausschwingvorgang



### Energiebilanz Kondensatorzündung (Einzelfunke)

$u_F$ Zünd [kV]	$R_N$ [k $\Omega$ ]	$W_{F\text{DBr.}}$ ( $\eta_{th} \approx 1$ ) [mJ]	$W_F$ Bogen ( $\eta_{th} \approx 0,5$ ) [mJ]	$W_{RLP}$ [mJ]	$W_{RLS}$ [mJ]	$W_{RE}$ [mJ]	$W_{RN}$ [mJ]	$t_U$ Zünd [ $\mu$ s]
5	1000	0,13 (0,13)	0,60 (0,30)	6,2 / 11,2	6,7 / 12,4	5,3 / 5,4	0,02 / 26,7	2,4
	500			6,2 / 9,7	6,9 / 11,0	5,4 / 5,5	0,04 / 29,5	2,6
15	1000	1,12 (1,12)	0,56 (0,28)	5,5 / 9,7	5,7 / 10,6	10,7/ 10,8	0,3 / 23,6	5,3
	500			5,5 / 8,4	5,9 / 9,4	10,8 / 10,9	0,6 / 26,0	5,5
25	1000	3,13 (3,13)	0,46 (0,23)	4,1 / 6,8	4,0 / 7,1	21,3 / 21,4	1,4 / 17,5	7,9
	700			4,1 / 5,8	4,0 / 6,1	21,4 / 21,5	2,8 / 19,4	8,1

Daten:  $U_0 = 320$  V,  $C_P = 1,1$   $\mu$ F,  $C_S = 60$  pF (Spulen- und Leitungskapazität),  $C_K = 10$  pF,  $R_E = 2$  k $\Omega$ ,  
 Zündübertrager:  $\ddot{u}=100$ ,  $L_{HS} = 3,5$  H ( $L_{HP} = 350$   $\mu$ H),  $L_{\sigma P} = 17,5$   $\mu$ H,  $L_{\sigma S} = 175$  mH, ( $L_{\sigma} = 0,1$  L<sub>H</sub>),  $R_{LP} = 0,24$   $\Omega$ ,  $R_{LS} = 3$  k $\Omega$   
 $W_{ges} = 56,4$  mJ  $u_{C\text{max}}$  ( $R_N = 1$  M $\Omega$ ) = 30,5 kV,  $u_{C\text{max}}$  ( $R_N = 500$  k $\Omega$ ) = 29,2 kV,  $u_{F\text{Bogen}} = 50$  V,  
 Klammerwerte gelten für die in das Gemisch eingebrachte Energie



## Wechselstromzündung

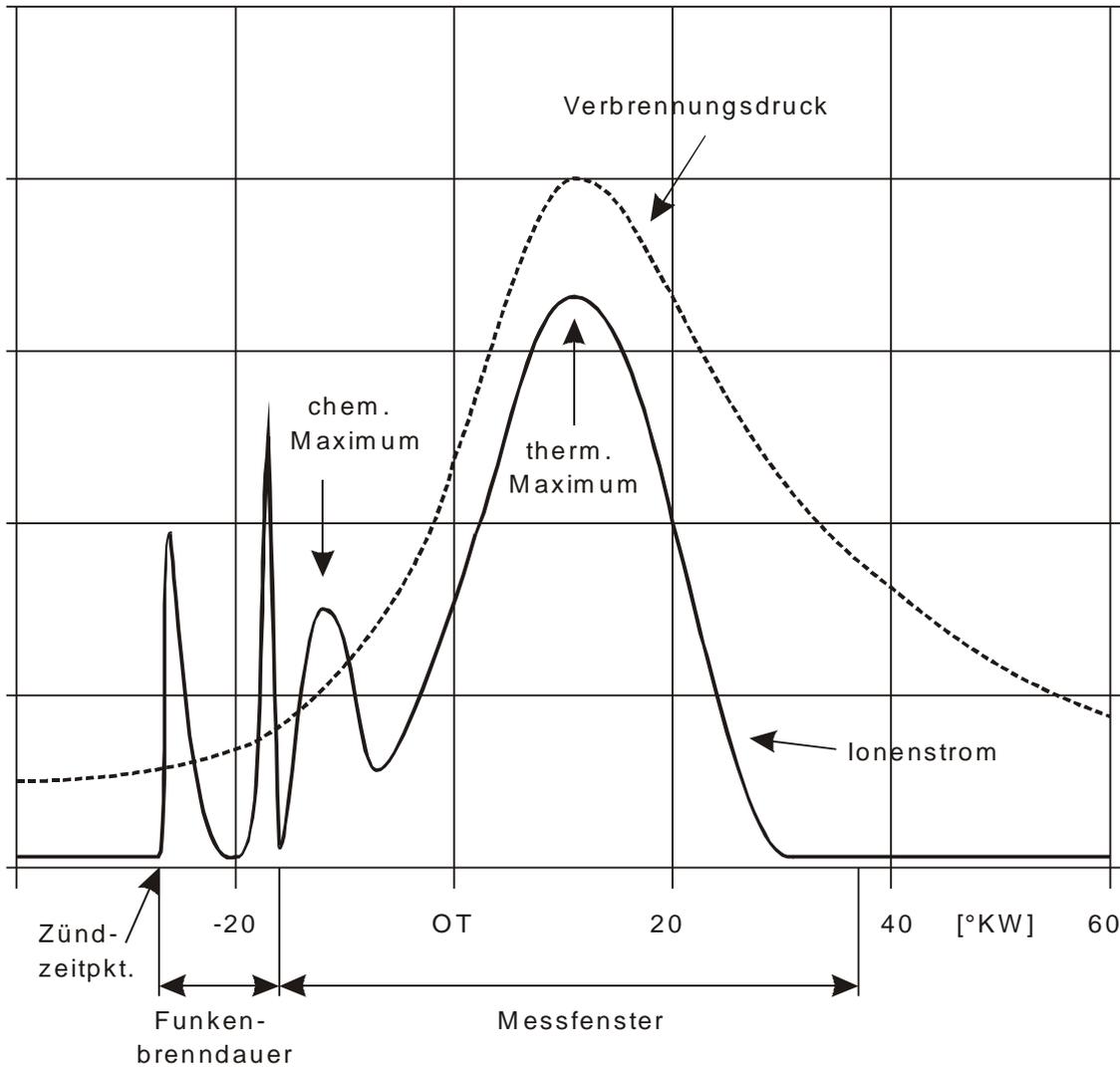
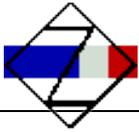
Abwechselndes Nutzen des Sperrwandlerprinzips  
(mit  $u_{s \max}$  bis  $-30.000 \text{ V}$ )

und des Durchflusswandlerprinzips  
(mit  $u_{s \max}$  bis  $+10.000 \text{ V}$ )

durch ständiges Ein-/Ausschalten des Zündschalters

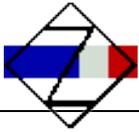
→ steuerbarer quasikontinuierlicher Vorgang.

Kopplung mit Ionenstrommessung zur Überwachung des Zündvorganges



Verbrennungsdruck-  
verlauf und  
Ionenstromsignal  
an der Zündkerze  
(nach  
Continental-TEMIC)

Ionenstrommessung



## Wechselstromzündung

Abwechselndes Nutzen des Sperrwandlerprinzips  
(mit  $u_{s \max}$  bis  $-30.000 \text{ V}$ )

und des Durchflusswandlerprinzips  
(mit  $u_{s \max}$  bis  $+10.000 \text{ V}$ )

durch ständiges Ein-/Ausschalten des Zündschalters

→ steuerbarer quasikontinuierlicher Vorgang.

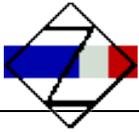
Kopplung mit Ionenstrommessung zur Überwachung des Zündvorganges

→ Verringerung der Zündenergie auf das notwendige Maß und

→ drei- bis vierfache Verlängerung der Lebensdauer der Zündkerzen.

Weiterer Vorteil: integrierte Klopfüberwachung durch Ionenstrommessung,  
d.h. Einsparung der üblichen Klopfsonoren.

Wesentlicher Nachteil: erhöhte Kosten wegen Primärspannung  $> 100 \text{ V}$ .



## 8 Zündung/Motormanagement

### 8.1 Motorische Anforderungen

### 8.2 Hochspannungserzeugung

### 8.3 Spulenzündung/Batteriezündung

#### 8.3.1 Schaltungen und Ersatzschaltbilder

#### 8.3.2 Zündvorgang

### 8.4 weitere Zündanlagen

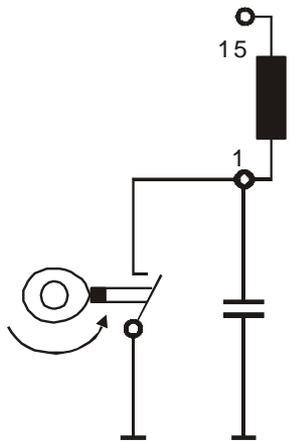
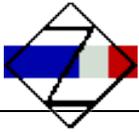
### 8.5 Komponenten

#### 8.5.1 Zündschalter

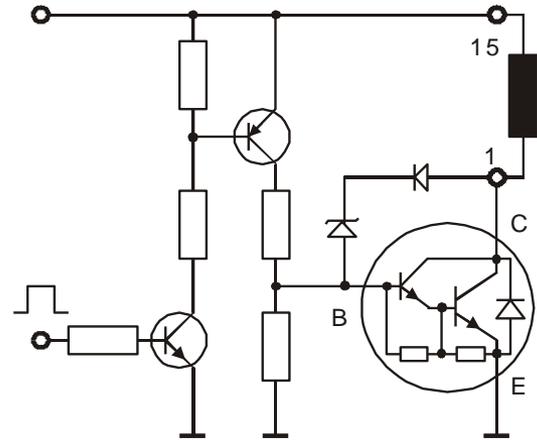
#### 8.5.2 Zündspulen

#### 8.5.3 Zündkerzen

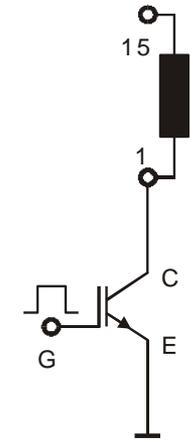
### 8.6 Motormanagement - Zündwinkelgütegrad



nockenbetätigter  
Unterbrecher mit  
Unterbrecherkondensator

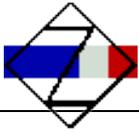


Zünddarlingtontransistor mit  
erforderlicher Ansteuerschaltung



Zünd-  
IGBT

Entwicklung der Zündschalter



## 8 Zündung/Motormanagement

### 8.1 Motorische Anforderungen

### 8.2 Hochspannungserzeugung

### 8.3 Spulenzündung/Batteriezündung

#### 8.3.1 Schaltungen und Ersatzschaltbilder

#### 8.3.2 Zündvorgang

### 8.4 weitere Zündanlagen

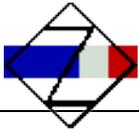
### 8.5 Komponenten

#### 8.5.1 Zündschalter

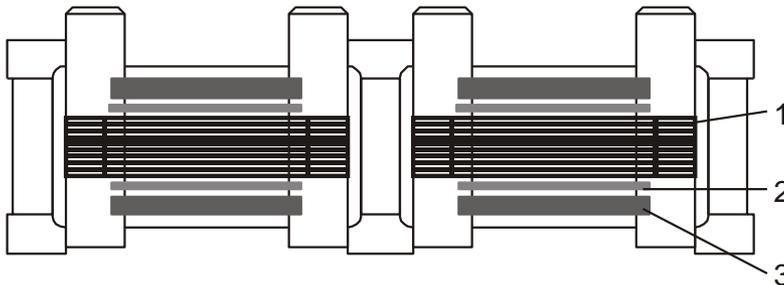
#### 8.5.2 Zündspulen

#### 8.5.3 Zündkerzen

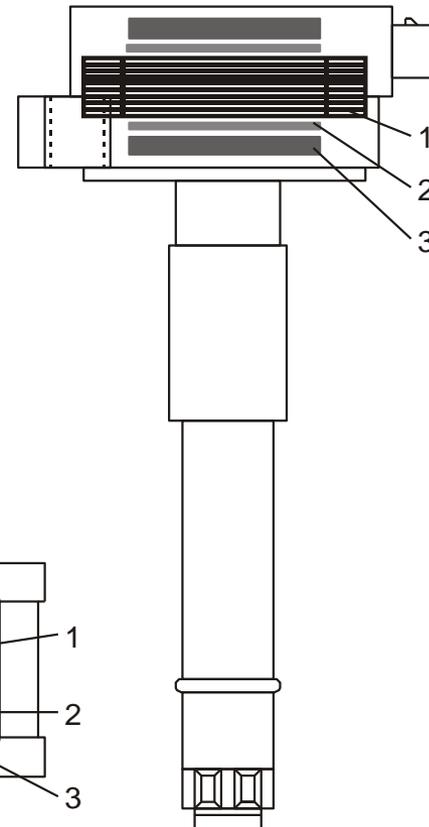
### 8.6 Motormanagement - Zündwinkelgütegrad



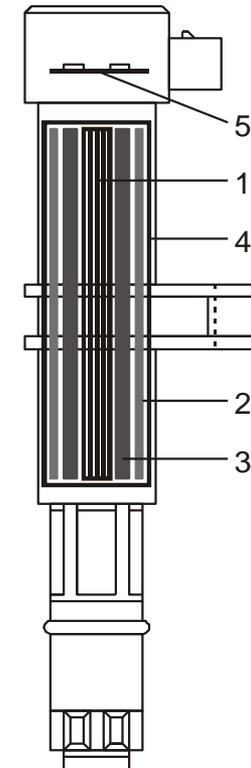
- 1 - geblechter Spulenkern
- 2 - Primärwicklung
- 3 - Sekundärwicklung
- 4 - Rückschlussblech
- 5 - optional Zündendstufe



Zweifunkenzündspulen (Doppelblock)

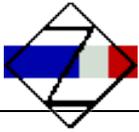


Kompakt-  
zündspule



Stab- bzw.  
Kerzenschacht-  
zündspule

### Bauformen moderner Zündspulen



## 8 Zündung/Motormanagement

### 8.1 Motorische Anforderungen

### 8.2 Hochspannungserzeugung

### 8.3 Spulenzündung/Batteriezündung

#### 8.3.1 Schaltungen und Ersatzschaltbilder

#### 8.3.2 Zündvorgang

### 8.4 weitere Zündanlagen

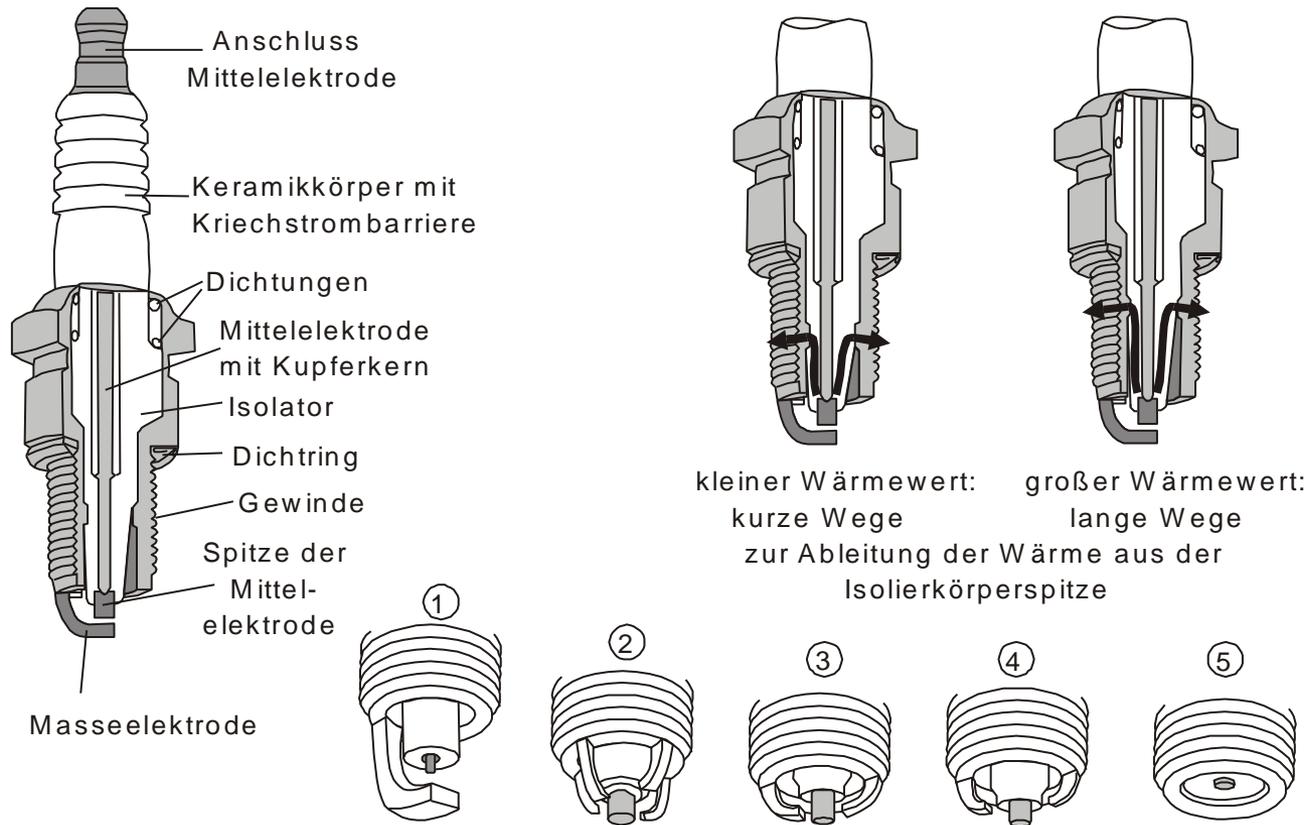
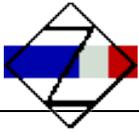
### 8.5 Komponenten

#### 8.5.1 Zündschalter

#### 8.5.2 Zündspulen

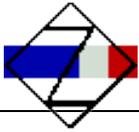
#### 8.5.3 Zündkerzen

### 8.6 Motormanagement - Zündwinkelgütegrad

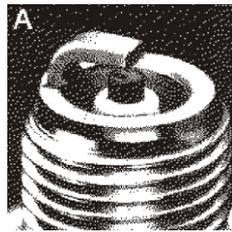


Standard-Mittelelektrode ②③④⑤, Mittelelektrode mit Platin- oder Iridiumspitze ①,  
Masseelektrode als Dach- ①, Seiten- ②③④ oder Ringelektrode ⑤,  
Luftfunkenstrecke ①②③, Halbgleitfunkenstrecke ④, Gleitfunkenstrecke ⑤

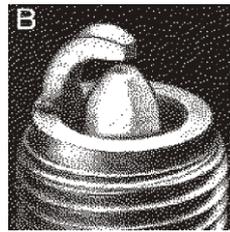
### Aufbau und Bauformen von Zündkerzen



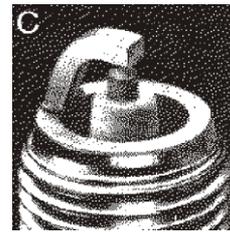
### Werkstoffe der Mittelelektroden



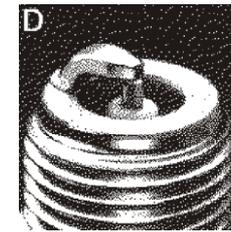
Verbundwerkstoff  
(Nickelbasis)  
Standard



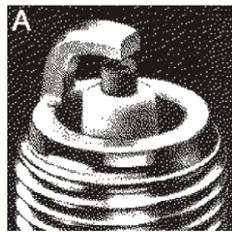
Platin  
beste Korrosionsfestigkeit, großer  
Temperaturbereich



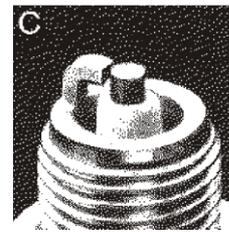
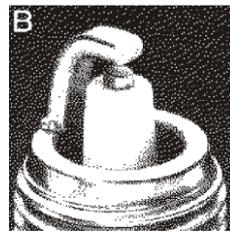
Hartsilber  
bestes Wärmeleitvermögen,  
hohe Korrosionsfestigkeit



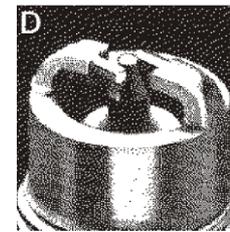
### Anordnung der Masselektroden (Material: Nickel-Chrom-Legierung)



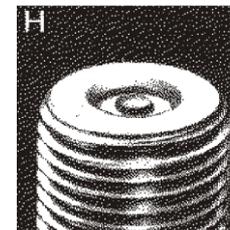
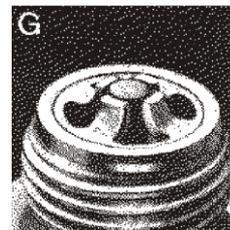
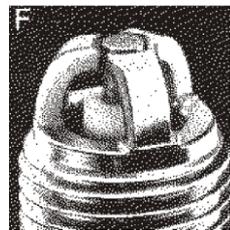
Dachelektroden



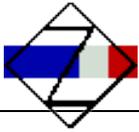
Seitenelektrode(n)



Seitenelektroden



Gleitfunkenkerze  
ohne Masselektrode



## 8 Zündung/Motormanagement

### 8.1 Motorische Anforderungen

### 8.2 Hochspannungserzeugung

### 8.3 Spulenzündung/Batteriezündung

#### 8.3.1 Schaltungen und Ersatzschaltbilder

#### 8.3.2 Zündvorgang

### 8.4 weitere Zündanlagen

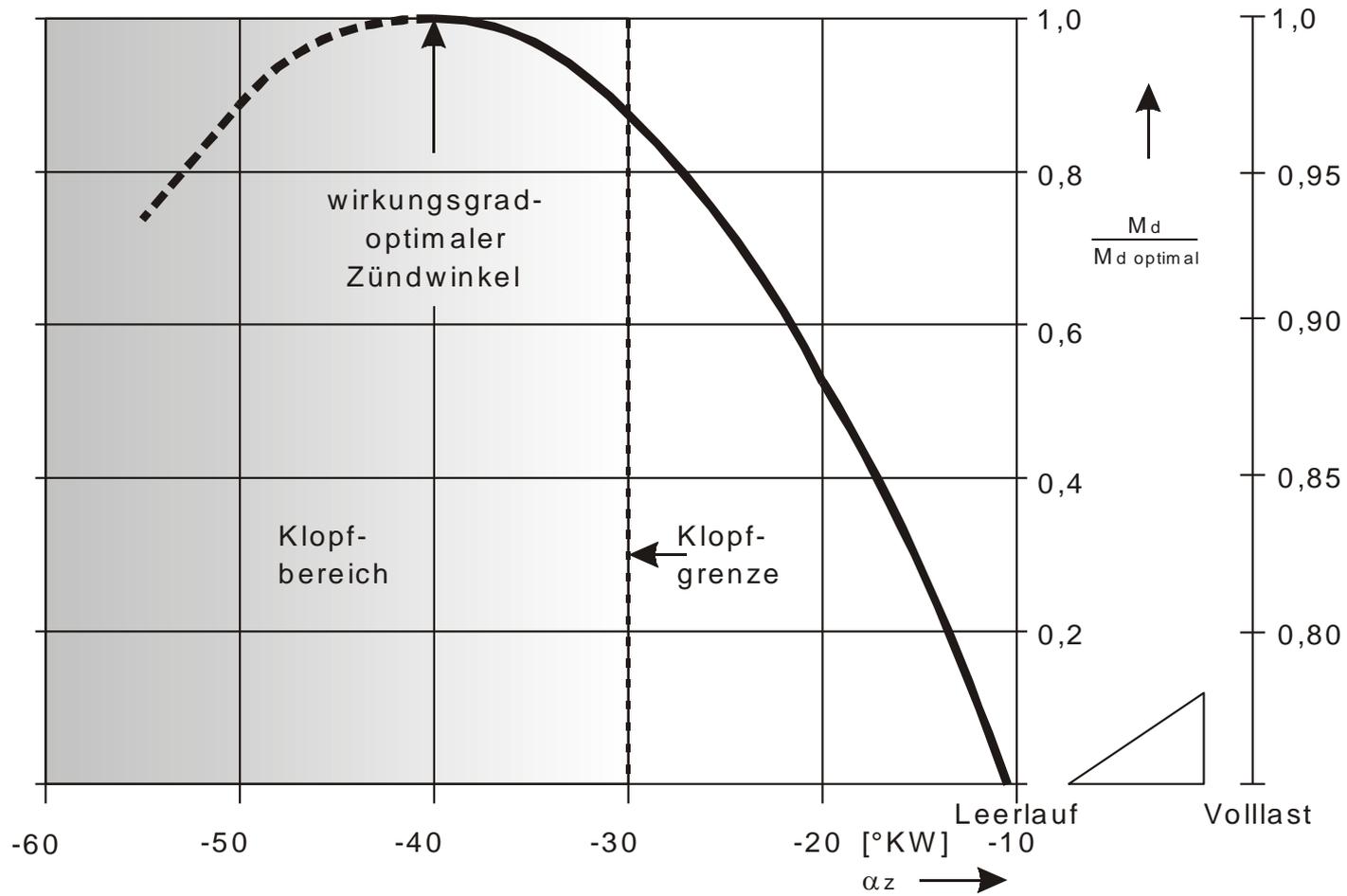
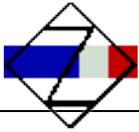
### 8.5 Komponenten

#### 8.5.1 Zündschalter

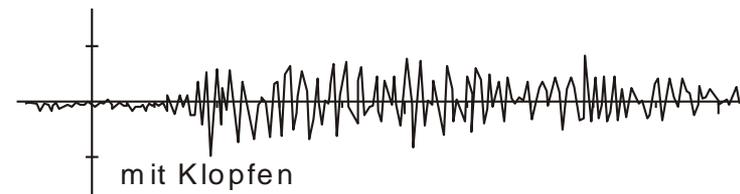
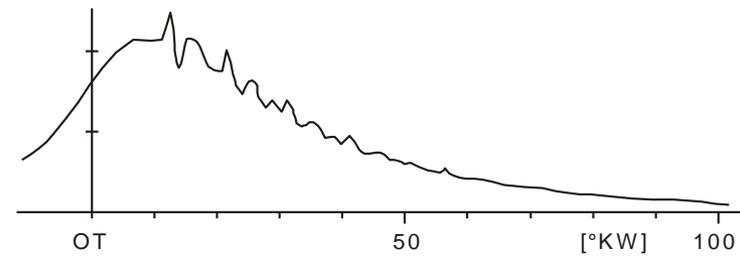
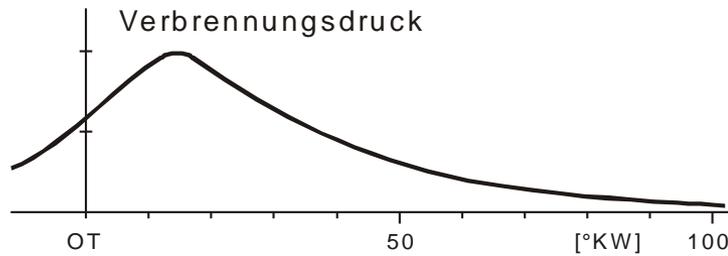
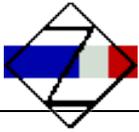
#### 8.5.2 Zündspulen

#### 8.5.3 Zündkerzen

### 8.6 Motormanagement - Zündwinkelgütegrad



Abhängigkeit des Motordrehmomentes vom Zündwinkel (nach Siemens-VDO)



Verbrennungsdruck und Körperschallsignale mit und ohne klopfender Verbrennung (nach Siemens-VDO)