

# Grundlagen der Elektrotechnik



Kondensator

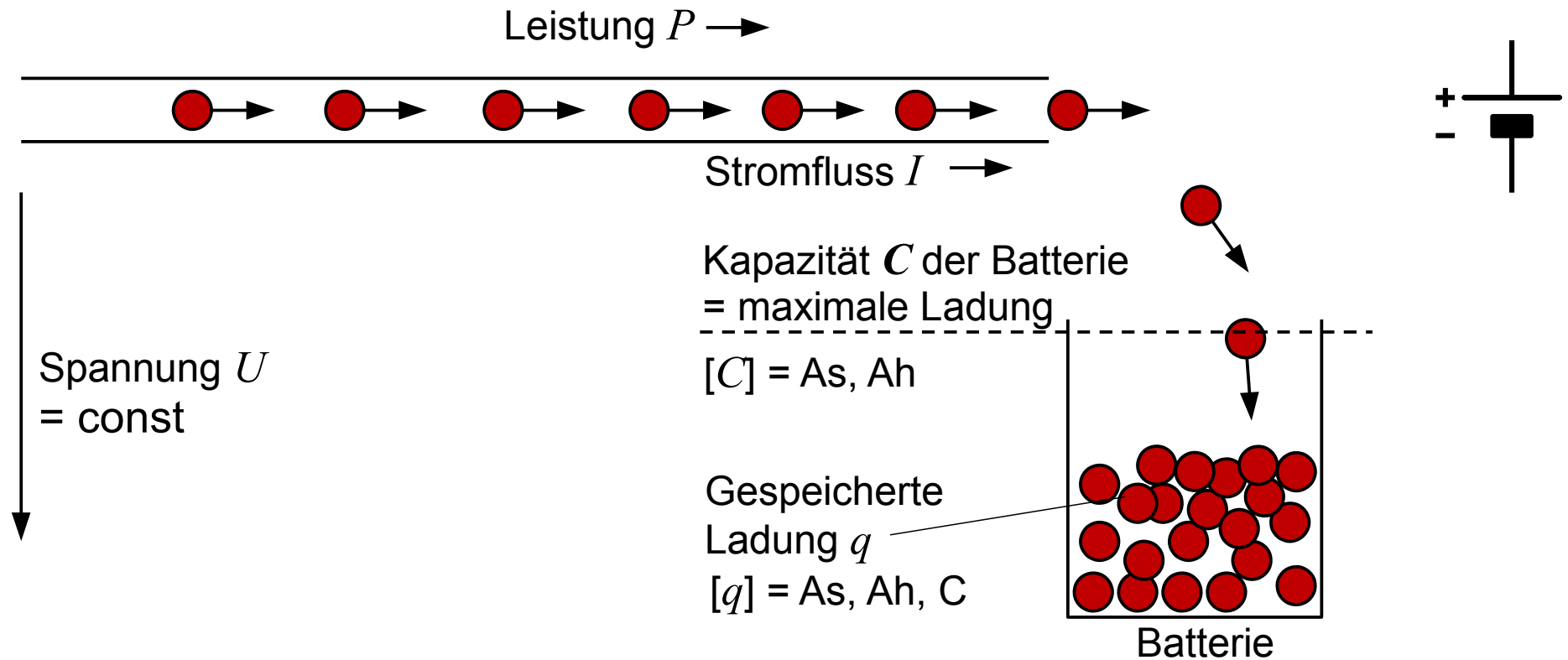
TH-Köln 2020

Prof. Dr. Eberhard Waffenschmidt

# Kondensator

- Batterie und Ladung
- Kondensator und Ladung
- Plattenkondensator
- Kombination von Kondensatoren
- Strom und Spannung am Kondensator
- Auf- und Entladen

# Batterie und Ladung



Gespeicherte Energie  $E$

$$E = \int P(t) dt = U \cdot \int I(t) dt = U \cdot q$$

$$E = U \cdot q$$

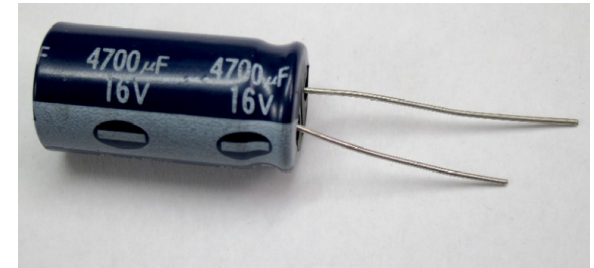
Maximale gespeicherte Energie  $E_{max}$

$$E_{max} = U_{batt} \cdot C$$

Kapazität einer Batterie

# Kondensator

- Ladungen kann man speichern.
- Ein Ding, das Ladung speichert, heißt "Kondensator".
- Je mehr Ladung er speichern kann, desto größer ist seine „Kapazität“  $C$



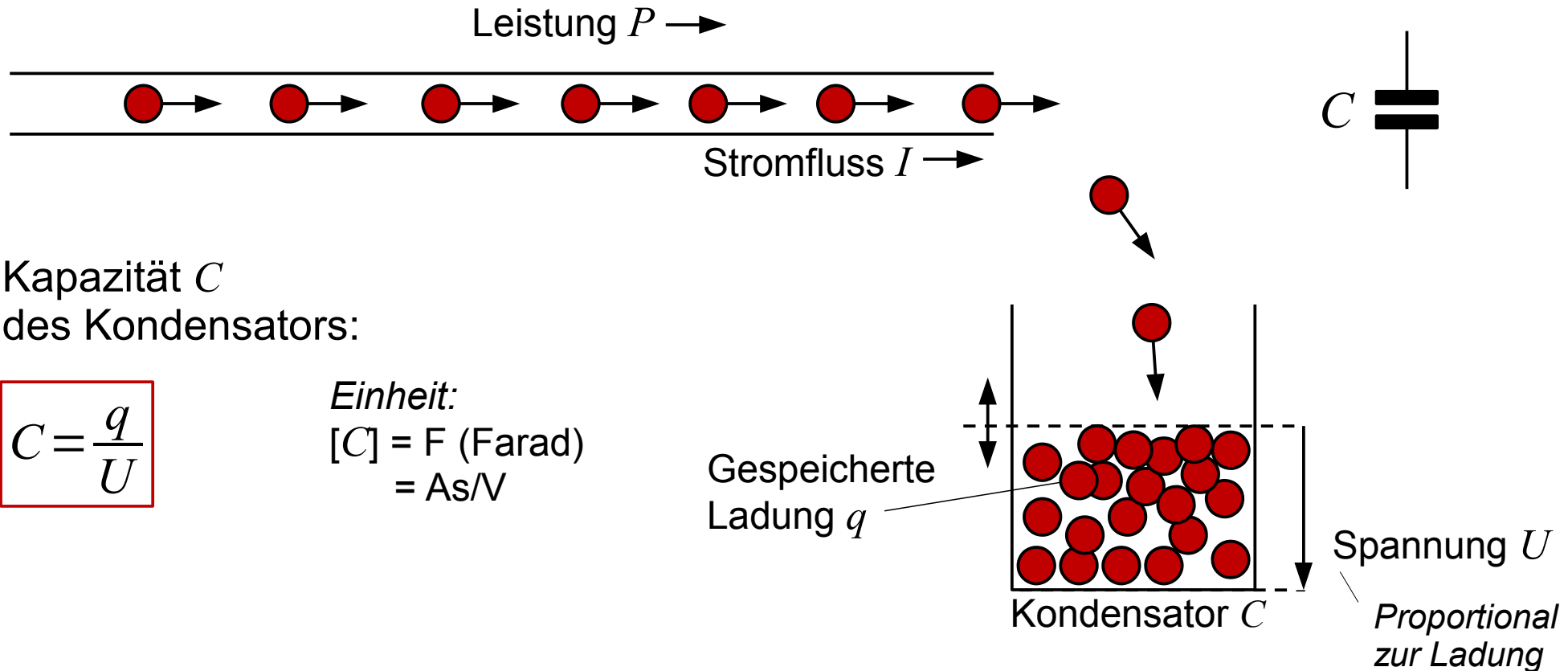
*Einheit der Kapazität:*  $[C] = F$  (= Farad, nach M. Faraday) =  $As/V$

*Schaltssymbol:*  $C_1$    $C_1$  

- Zum Aufladen muss man eine Spannung  $U$  anlegen.
- Die Ladung  $q$  nimmt mit der angelegten Spannung  $U$  zu:

$$q = C \cdot U$$

# Kondensator und Ladung

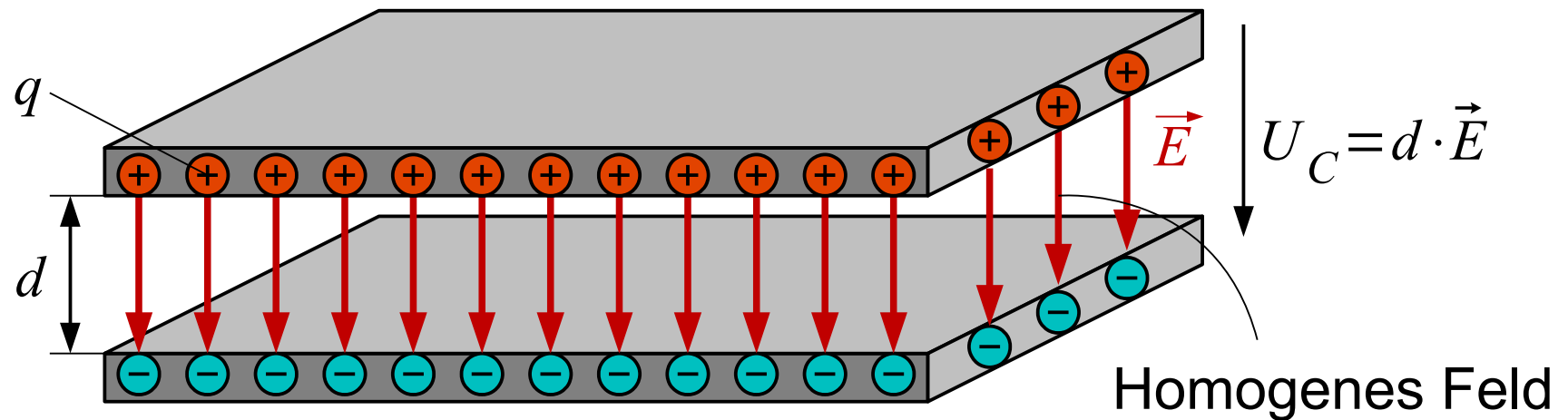


Gespeicherte Energie  $E$

$$E = \frac{1}{2} \cdot U^2 \cdot C$$

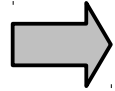
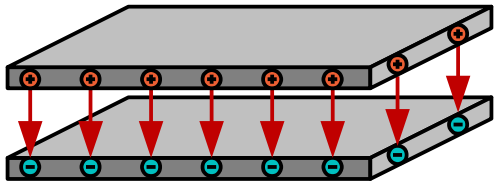
# Plattenkondensator

Bekannteste Kondensator-Bauform:  
Zwei leitende Platten gegenüber

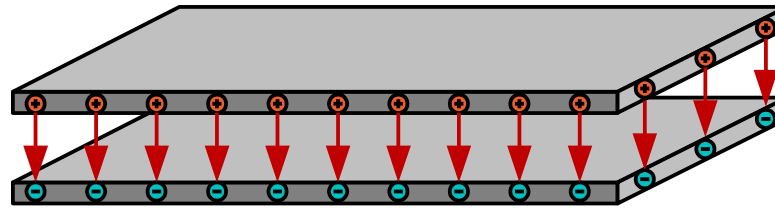


# Plattenkondensator

Größere Fläche  $A$ :

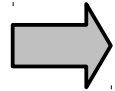
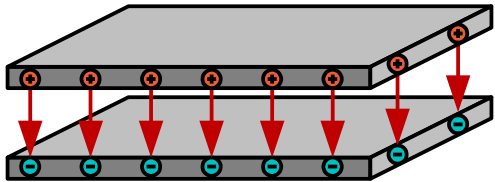


Mehr Ladungen  $q$  bei gleicher Spannung  $U$

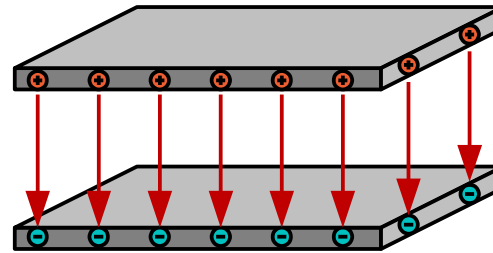


$$C \sim A$$

Größerer Abstand  $d$ :

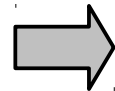
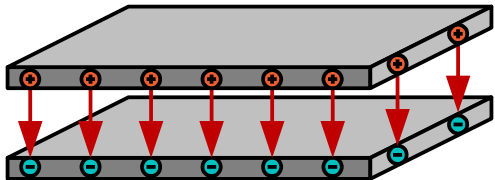


Höhere Spannung  $U$  bei gleichen Ladungen  $q$

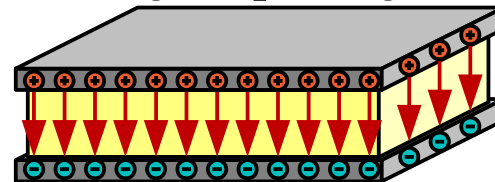


$$C \sim \frac{1}{d}$$

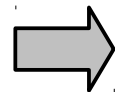
Dielektrikum  $\epsilon_r$ :



Mehr Ladungen  $q$  bei gleicher Spannung  $U$



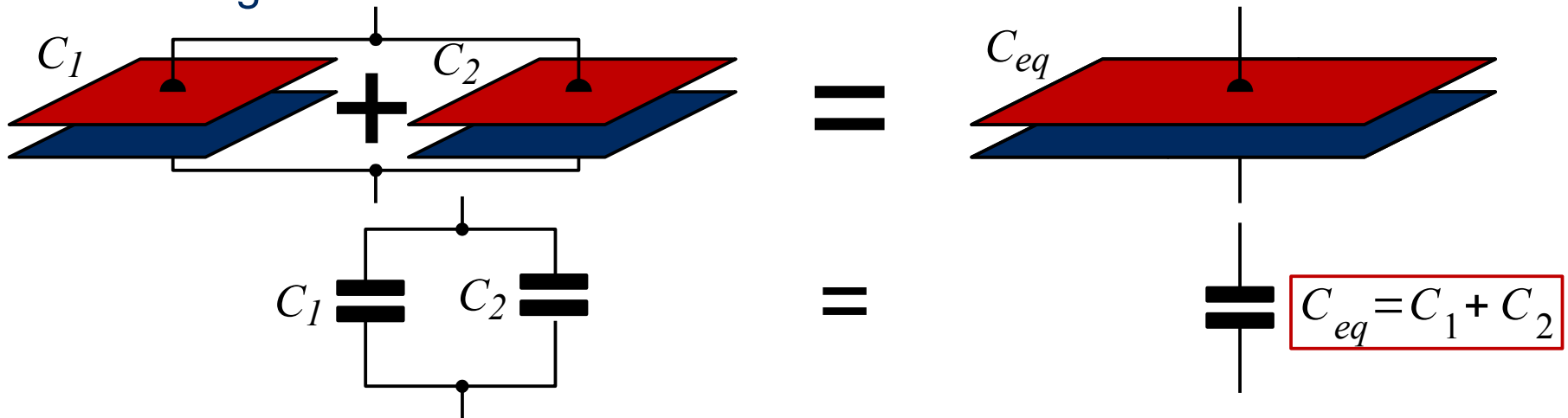
$$C \sim \epsilon_r$$



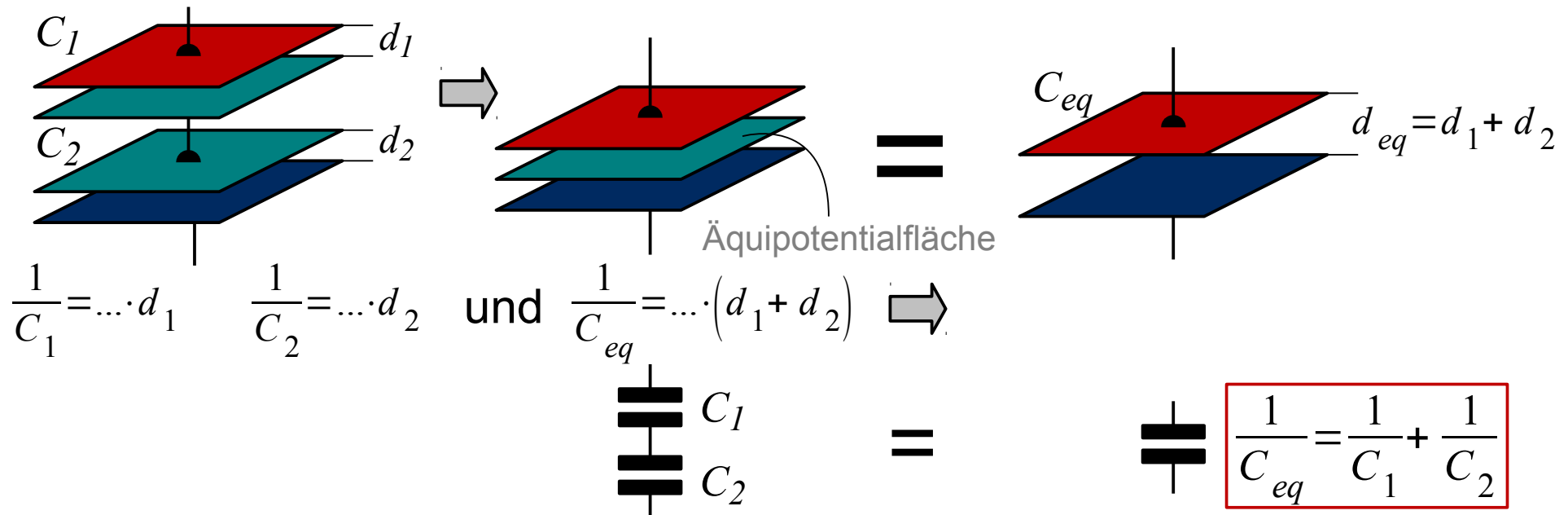
$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

# Kombination von Kondensatoren

## Parallelschaltung



## Serienschaltung





# Kondensator

## Abhängigkeit von Strom und Spannung

*Aufladen:*

Spannung  $U$  steigt mit der Ladung  $q$  im Kondensator:

$$U = \frac{1}{C} \cdot q \quad \text{mit} \quad q = \int I(t) dt$$

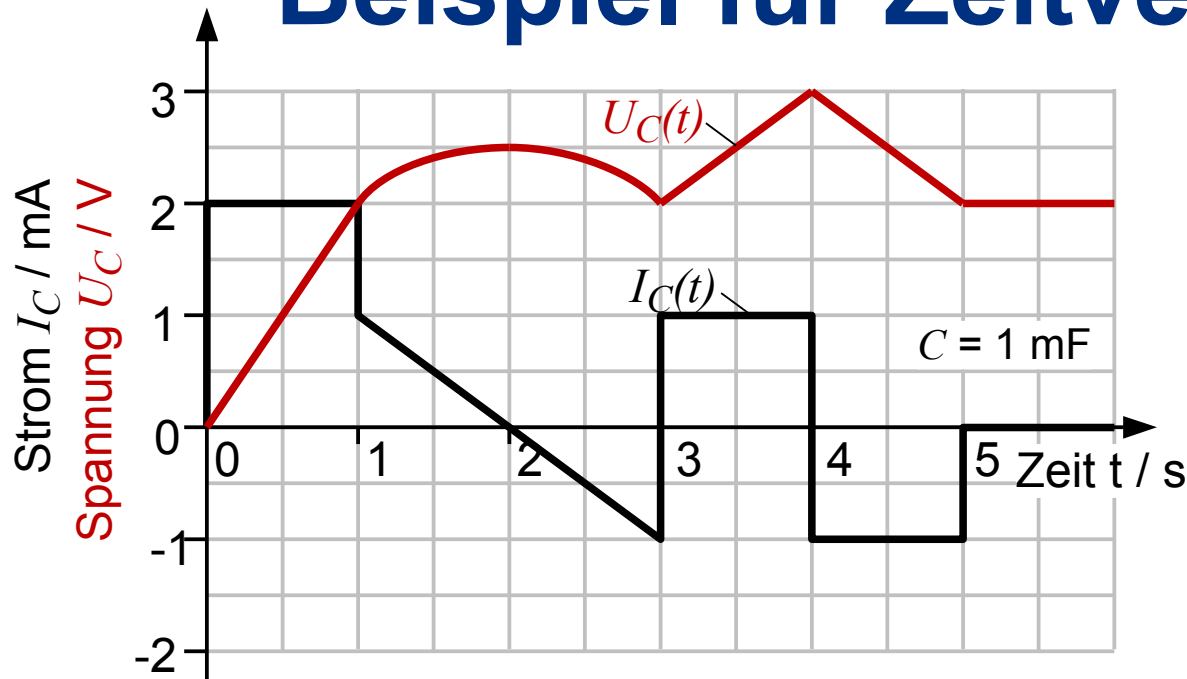

$$U(t_0) = \frac{1}{C} \cdot \int_0^{t_0} I(t) dt$$

Entsprechend gilt:

$$I(t) = C \cdot \frac{dU(t)}{dt}$$

Der zeitliche Verlauf des Stroms entspricht immer der Steigung des Spannungsverlaufs.

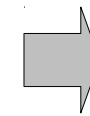
# Beispiel für Zeitverlauf



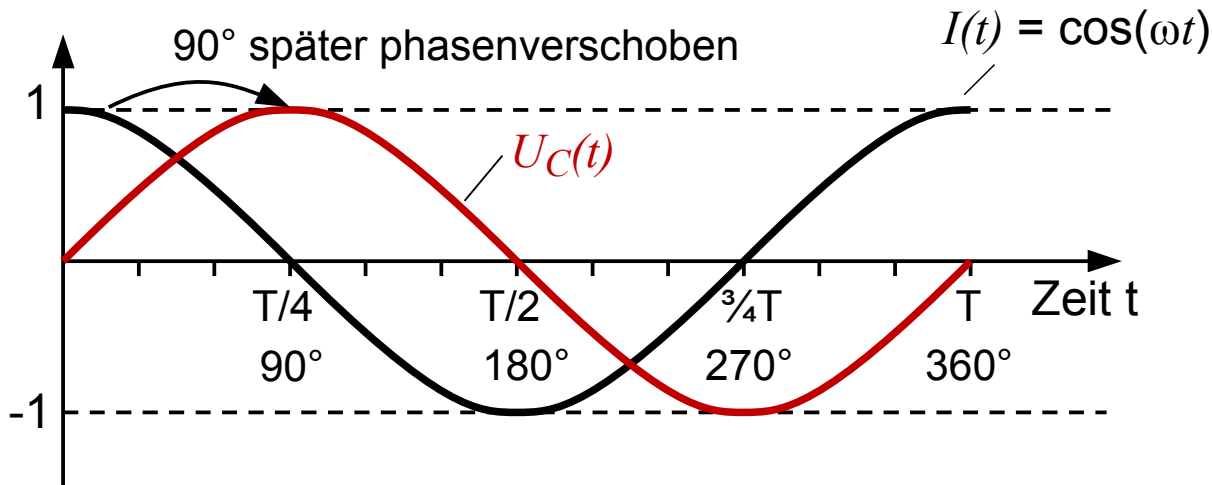
$$U(t_0) = \frac{1}{C} \cdot \int_0^{t_0} I(t) dt$$

Entsprechend gilt:

$$I(t) = C \cdot \frac{dU(t)}{dt}$$



Stromverlauf entspricht der Steigung des Spannungsverlaufs.

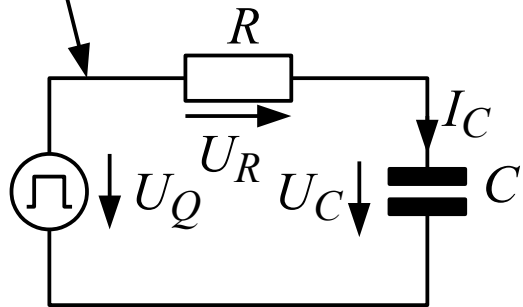
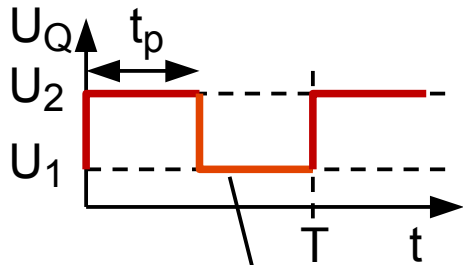


Erst mit Strom aufladen, dann liegt eine Spannung an.

**Kondensator:  
Strom eilt vor!**

# Auf- und Entladen

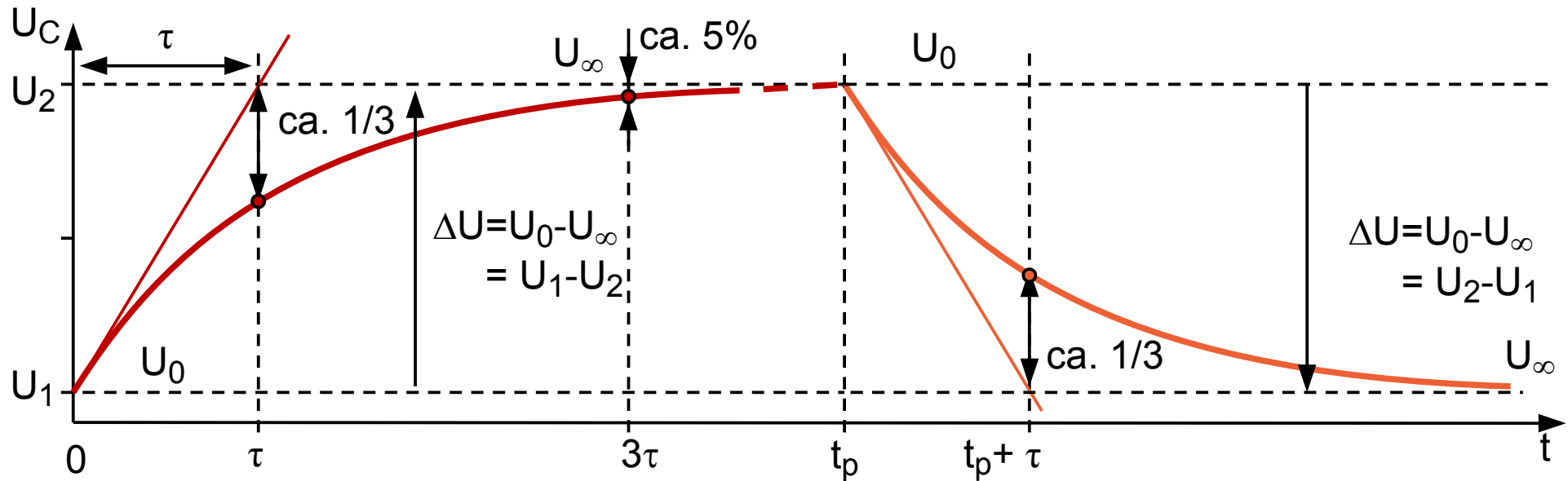
Wichtig: Mit Vorwiderstand



Universelle Formel:

$$U_C(t) = U_\infty + \Delta U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = R \cdot C$$



# Kontakt

## **Prof. Dr. Eberhard Waffenschmidt**

Professur Elektrische Netze

Institut für Elektrische Energietechnik,  
Fakultät für Informations-, Medien- und  
Elektrotechnik (F07)

Technische Hochschule Köln

Betzdorferstraße 2, Raum ZO 9-19

50679 Köln, Deutschland

Tel. +49 221 8275 2020

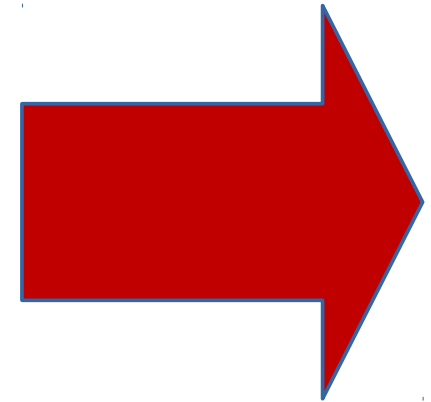
**[eberhard.waffenschmidt@th-koeln.de](mailto:eberhard.waffenschmidt@th-koeln.de)**

<https://www.th-koeln.de/>

[personen/eberhard.waffenschmidt/](https://www.th-koeln.de/personen/eberhard.waffenschmidt/)



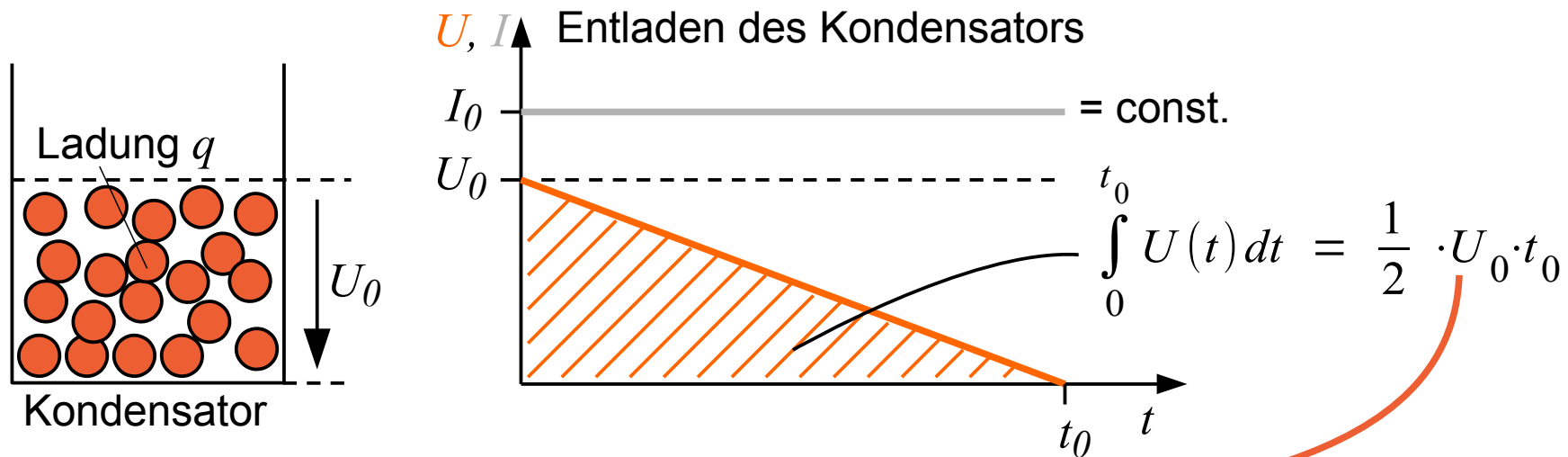
Anhang



# Dielektrizitätskonstanten

Luft, Gase	1
<i>Organische Materialien:</i>	
Bernstein	2,8
Epoxidharz	3,2 ... 5
Polyäthylen	2,3
Polycarbonat	3
Polymethylmethacrylat (Plexiglas®)	3,0 ... 3,5
Polypropylen	2,3
Polystyrol	2,5
PVC	3,1 ... 6,5
Pertinax	5
Hartgummi	2,5 ... 3,5
Fernsprechkabelisolation	1,6 ... 2
Starkstromkabelisolation	3 ... 4,5
<i>Mineralische Materialien:</i>	
Glas	5 ... 10
Glimmer	5 ... 8
Keramik	9,5 ... 100
Aluminiumoxid Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Korund)	8,6
Titankeramik	12 ... 10000
<i>Flüssige Materialien</i>	
Wasser (destilliert)	80,4

# Energiegehalt eines Kondensators



$$E = \int P(t) dt \quad \text{mit} \quad P(t) = U(t) \cdot I(t) = I_0 \cdot U(t)$$

$$E = I_0 \cdot \int U(t) dt$$

$$= I_0 \cdot \frac{1}{2} \cdot U_0 \cdot t_0 \quad \text{mit} \quad t_0 \cdot I_0 = q_0 = C \cdot U_0$$

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_0^2$$

Achtung - Unterschied zu Batterie!

# Kapazitiver Spannungsteiler

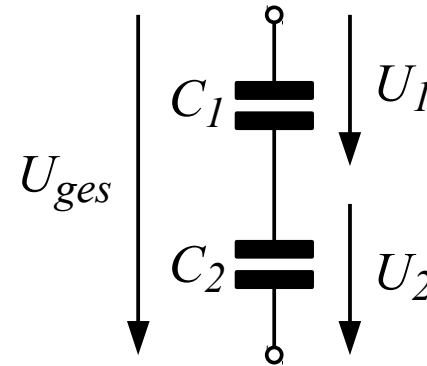
Die Spannungen an Teil-Kapazitäten sind umgekehrt proportional zu den Kapazitäten

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{1/C_1}{1/C_2}$$

$$\frac{U_1}{U_{ges}} = \frac{1/C_1}{1/C_{ges}} = \frac{1/C_1}{1/C_1 + 1/C_2} = \frac{U_1}{U_1 + U_2}$$



$$\frac{U_1}{U_{ges}} = \frac{C_{ges}}{C_1}$$

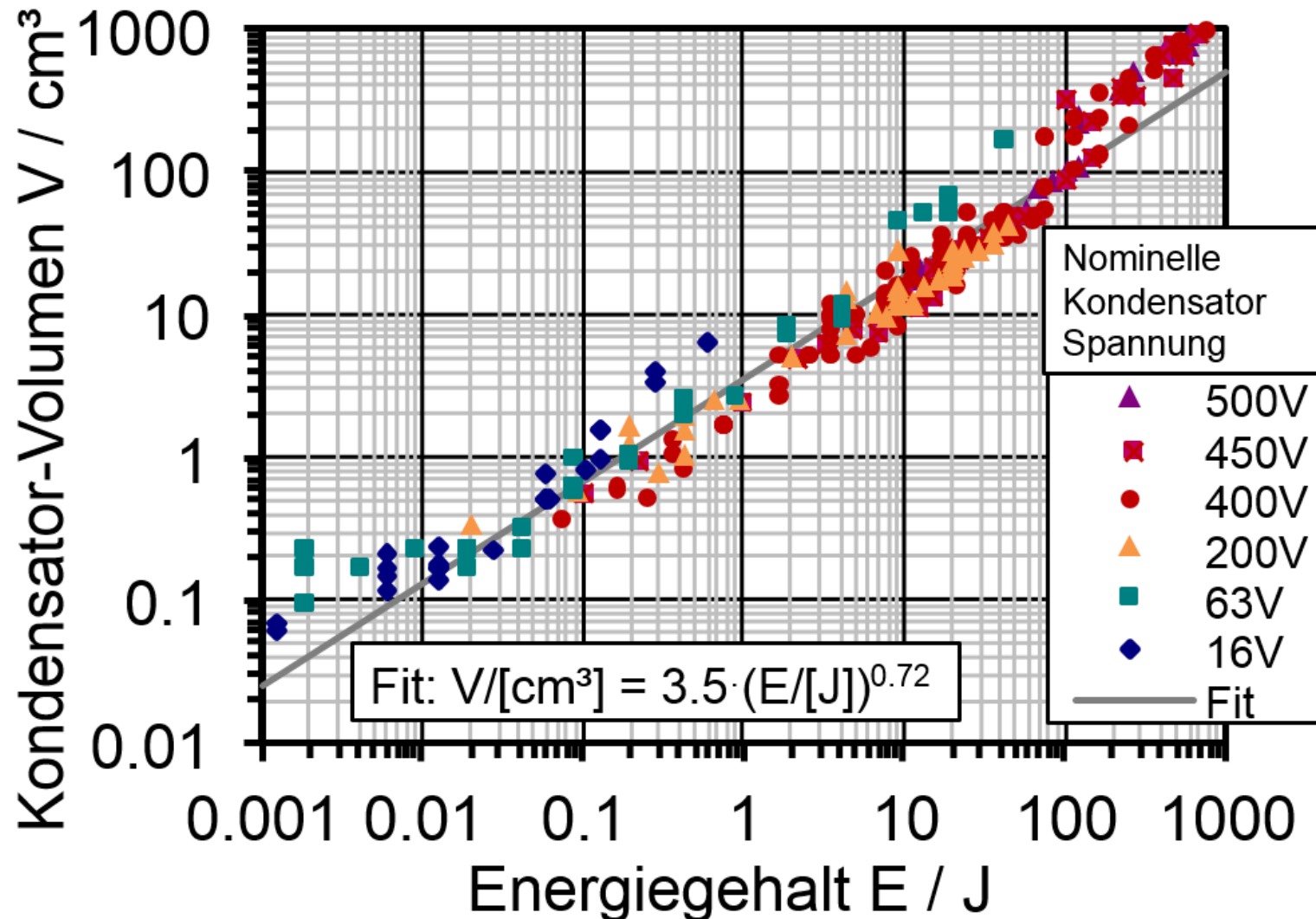




# Baugröße von Elektrolytkondensatoren

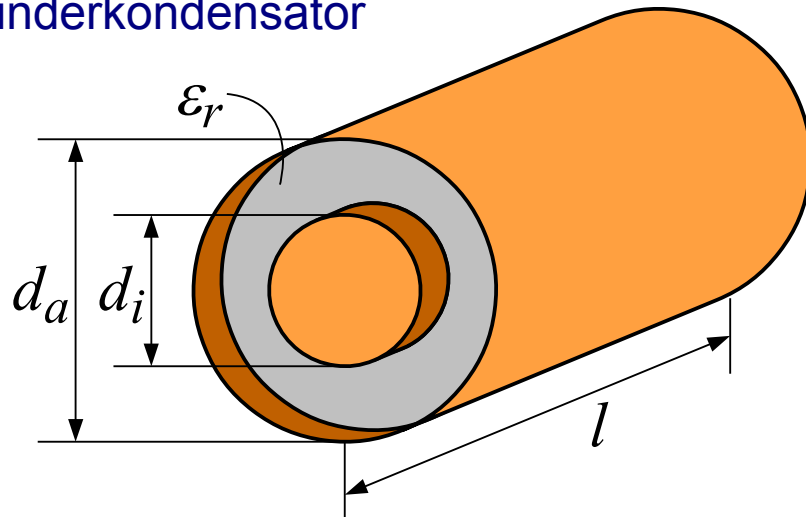
*Theoretisch:* Bauvolumen  $V \sim$  Energiegehalt  $E$

*Praktisch:* Siehe Diagramm (für Elektrolyt-Kondensatoren)



# Weitere Bauformen

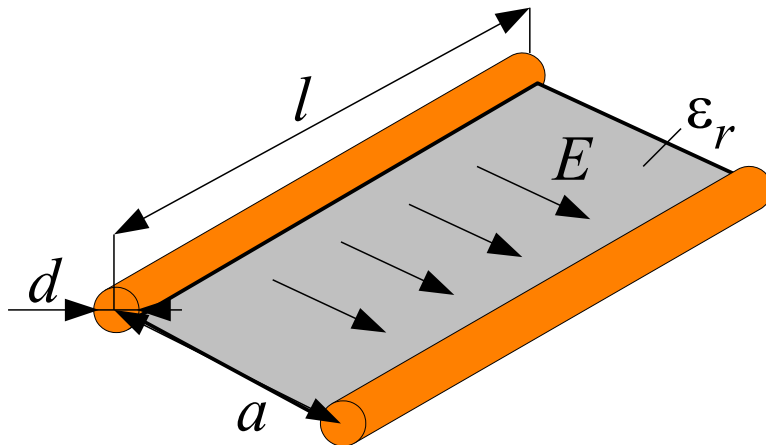
## Zylinderkondensator



$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot l \cdot \frac{2\pi}{\ln\left(\frac{d_a}{d_i}\right)}$$

$$\text{für } r_i \leq r \leq r_a: E(r) = \frac{q}{2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot l \cdot r}$$

## Zweidrahtleitung



$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot l \cdot \frac{\pi}{\ln\left(\frac{a}{d}\right)}$$

Typisch  $\sim 0.1 \dots 1 \text{ nF/m}$  für Kabel

# Anwendungen von Kondensatoren

Wofür werden Kondensatoren verwendet?

- Zum Glätten von Spannungen
- Als Wechselstrom-“Widerstand“
- Zum Abblocken von Gleichstrom (DC-Blocking Capacitor)
- Als Frequenzfilter
- Zur Blindleistungskompensation
- Als Phasenschieber