

## Wiederholung vom 18.04.2019

- Elektrostatisches **Potential**:  $\phi(P) = \int_P^{\infty} \vec{E} d\vec{s}$
- **Spannung** (Potentialdifferenz):  $U = \phi(P_1) - \phi(P_2) = \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} d\vec{s}$
- Äquipotentiallinien/-flächen
- Poisson-Gleichung:  $\Delta\phi = -\frac{1}{\epsilon_0}\rho(\vec{r})$
- Leiter im elektrischen Feld
  - **Influenz**/Influenzladung
  - im Inneren des Leiters:  $\vec{E} = 0$

# Themen heute

**Elektrische Leiter** im elektrischen Feld:

Elektrische Felder im Außenraum

Kondensatoren

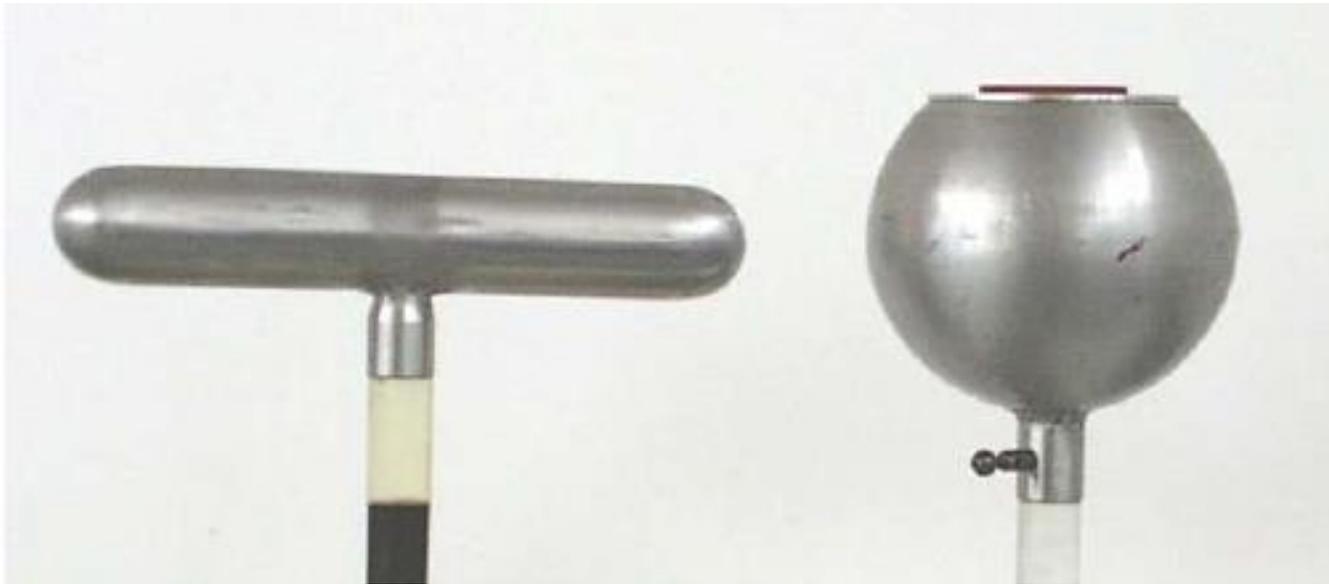
Begriff der **Kapazität**

**Parallel-** und **Serienschaltung** von Kondensatoren

Energiedichte des elektrischen Feldes

# 1. Elektrostatik

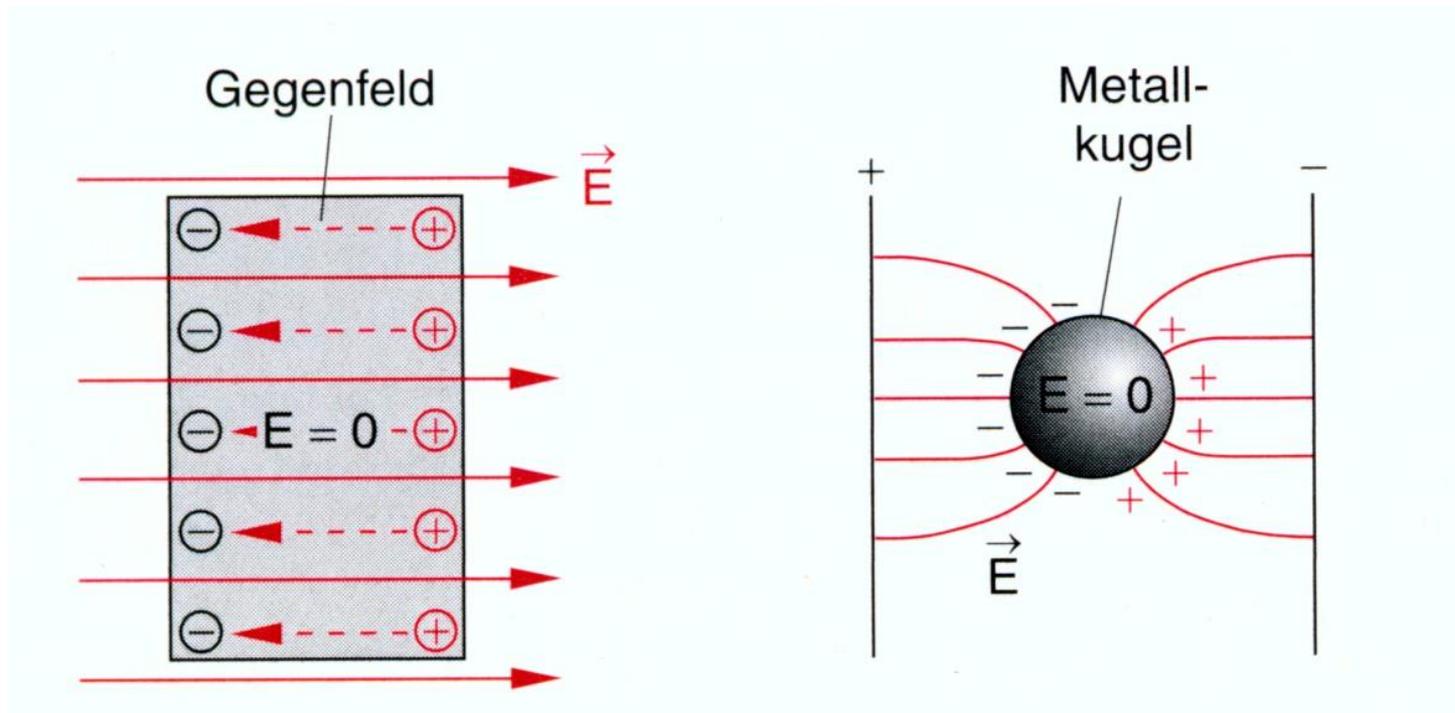
## Demonstrationen zum Begriff der **Influenz**



*Ladungsverteilung auf und in elektrischem Leiter*

# 1. Elektrostatik

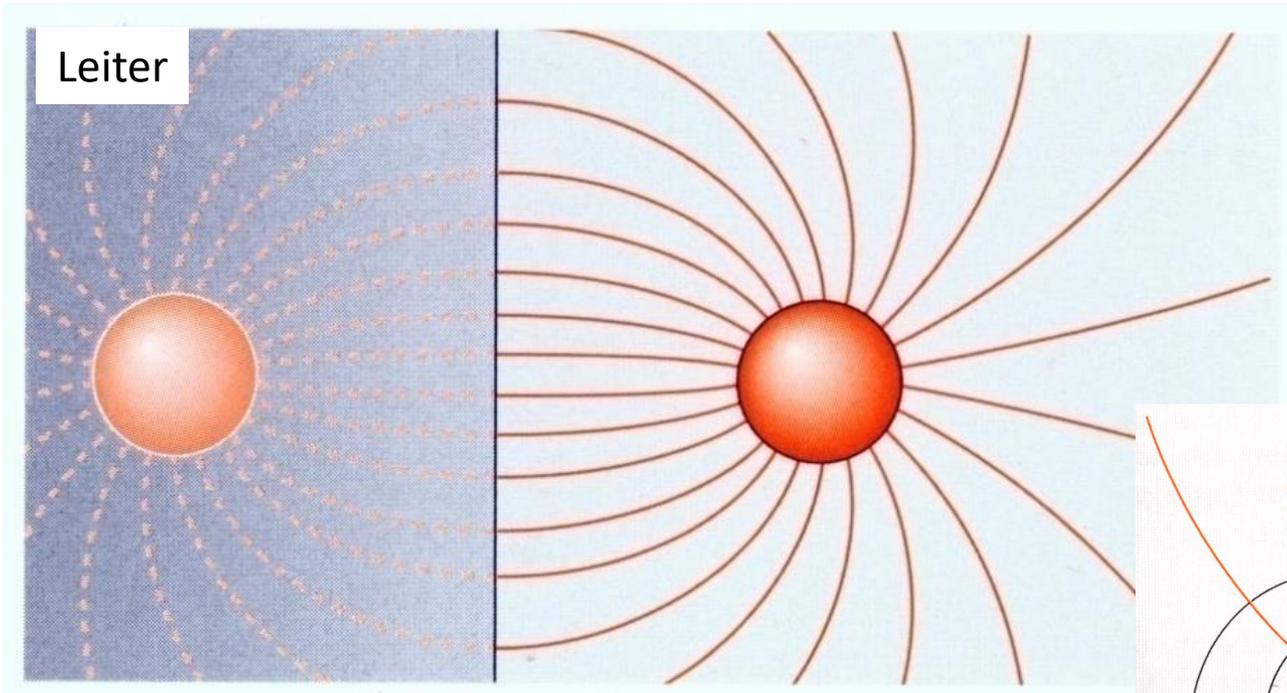
## elektrisches Feld im Außenraum des Leiters



- elektrisches Feld steht **immer** senkrecht zur Oberfläche des Leiters
- Oberfläche eines Leiters ist Äquipotentialfläche

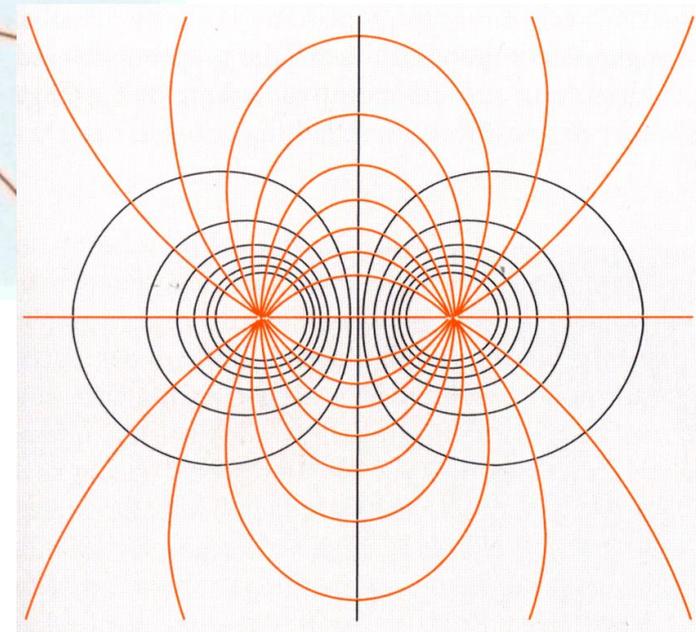
# 1. Elektrostatik

Beispiel: Punktladung vor leitender Oberfläche - Konzept der Spiegelladung



„Spiegelladung“

Ladung



elektrischer Dipol

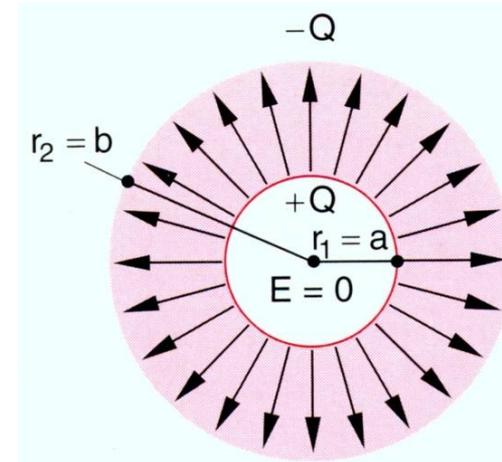
Abb.: Gerthsen, Physik, Springer (2010)

## Kondensatoren

**Kapazität**  $C$  eines Kondensators:  $Q = C \cdot U$

Bsp. Plattenkondensator  $C = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$

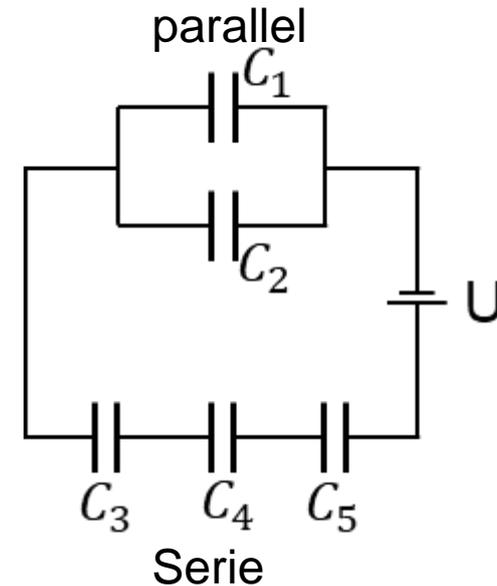
Kugelkondensator  $C = 4\pi\varepsilon_0 \cdot \frac{ab}{b-a}$



Schaltungen von  $N$  Kondensatoren

**Parallelschaltung:**  $C_{ges} = \sum_{i=1}^N C_i$

**Serienschaltung:**  $\frac{1}{C_{ges}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$



### Energiedichte des elektrischen Feldes

gespeicherte potentielle Energie  $E_{pot}$  in einem Kondensator mit der Kapazität  $C$

$$E_{pot} = \frac{1}{2} C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

### Energiedichte $w$ des elektrischen Feldes

im Vakuum  $w = \frac{1}{2} \varepsilon_0 |\vec{E}|^2$

(im Dielektrikum  $w = \frac{1}{2} \vec{E} \vec{D}$  )

## Wiederholung vom 23.04.2019

– Elektrisches Feld im Außenraum eines Leiters:  $\vec{E} \parallel \vec{A}$  an der Oberfläche

– Kondensatoren

**Kapazität**  $C$ :  $Q = C \cdot U$

Plattenkondensator und Kugelkondensator

Parallelschaltung:  $C_{ges} = \sum_{i=1}^N C_i$       Serienschaltung:  $\frac{1}{C_{ges}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$

– Energie und Energiedichte des elektrischen Feldes

gespeicherte Energie eines Kondensator:  $E_{pot} = \frac{1}{2} C \cdot U^2$

Energiedichte des elektrischen Feldes:  $w = \frac{1}{2} \varepsilon_0 |\vec{E}|^2$

# Themen heute

**Dielektrika** im elektrischen Feld:

Dielektrikum im Kondensator

**Polarisation** und Polarisationsladungen

Elektrostatische Gleichungen in Materie:

elektrische **Verschiebungsdichte**  $\vec{D}$

## 1.5 Dielektrika im elektrischen Feld

### Dielektrikum im Plattenkondensator

$$C_{Diel} = \epsilon_r \cdot C_{Vakuum} = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

$\epsilon_r$ ....Permittivitätszahl des Isolators

⇒ Dielektrikum erhöht die Kapazität eines Kondensators (Ladungen zu speichern)

**Tabelle 1.1.** Relative statische Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  einiger Stoffe bei 20 °C

Stoff	$\epsilon_r$
Quarzglas	3,75
Pyrexglas	4,3
Porzellan	6–7
Kupferoxyd CuO <sub>2</sub>	18
<i>Keramiken</i>	
TiO <sub>2</sub>	≈ 80
CaTiO <sub>3</sub>	≈ 160
(SrBi)TiO <sub>3</sub>	≈1000
<i>Flüssigkeiten</i>	
Wasser	81
Ethylalkohol	25,8
Benzol	2,3
Nitrobenzol	37
<i>Gase</i>	
Luft	1,000576
H <sub>2</sub>	1,000264
SO <sub>2</sub>	1,0099

## Dielektrikum im Plattenkondensator

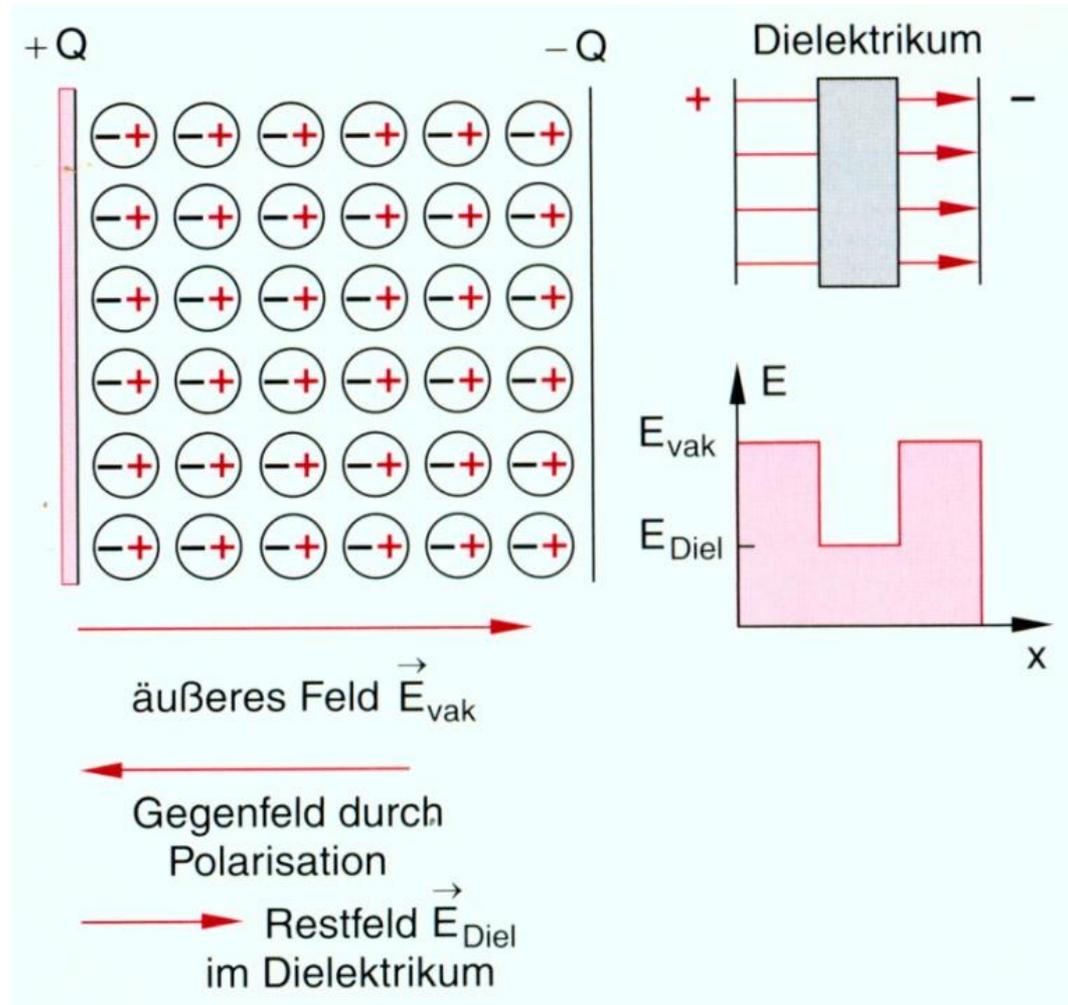
### Polarisation $\vec{P}$

$$\vec{E}_{Diel} = \vec{E}_{Vakuum} - \frac{1}{\epsilon_0} \vec{P}$$

### Suszeptibilität $\chi$

$$\vec{E}_{Diel} = \frac{1}{1+\chi} \cdot \vec{E}_{Vakuum}$$

mit  $\chi = \epsilon_r - 1$



### Vergleich elektrischer Leiter und Dielektrikum

**elektr. Leiter:** Influenz, Influenzladung an der Oberfläche

$$\vec{E} = 0 \text{ im Inneren des Leiters}$$

**Dielektrikum** Polarisierung, Polarisationsladung an der Oberfläche

$$\vec{E}_{Diel} \neq 0, \text{ aber } \vec{E}_{Diel} < \vec{E}_{Vakuum}$$

### elektrostatische Gleichungen in Materie

elektrische Verschiebungsdichte  $\vec{D}$

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}_{Diel} + \vec{P} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \vec{E}_{Diel}$$

$\vec{E} \Leftrightarrow$  freie Ladungen + Polarisationsladungen

$\vec{D} \Leftrightarrow$  freie Ladungen

#### 1. Maxwell-Gleichung in **Materie**

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho_{(frei)} \quad \left( \operatorname{div} \vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0} \rho_{ges} = \frac{1}{\varepsilon_0} (\rho_{frei} + \rho_{Pol}) \right)$$