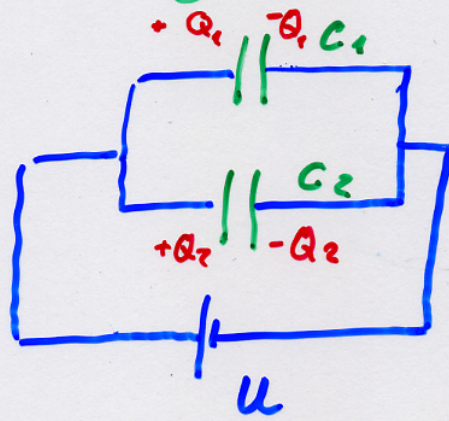


## 2.2.3 Schaltungen von Kondensatoren

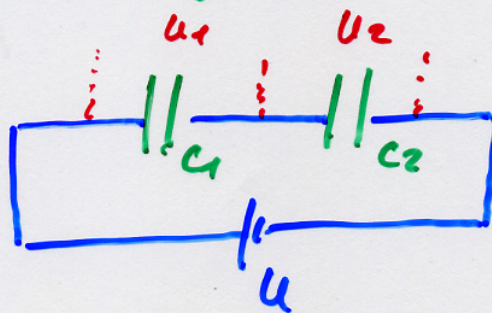
### a) Parallelschaltung



Mit  $Q = Q_1 + Q_2$  :

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{Q_1 + Q_2}{U} = C_1 + C_2$$

### b) Serienschaltung



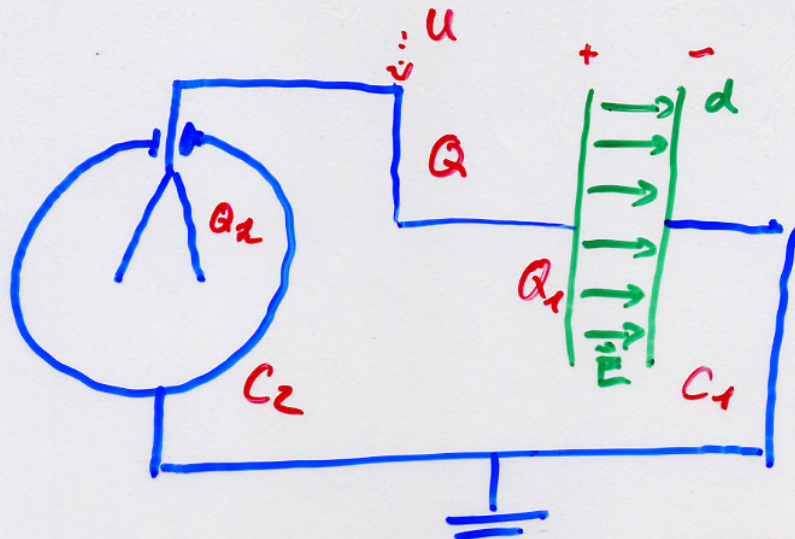
Mit  $U = U_1 + U_2$  ;

$$Q = Q_1 = Q_2$$

$$\Rightarrow C = \frac{Q}{U} \quad ; \quad C_1 = \frac{Q_1}{U_1} \quad , \quad C_2 = \frac{Q_2}{U_2}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{U_1 + U_2}{Q} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

# c) Kondensator + Elektroskop



$C_1, C_2$  sind parallel geschaltet:

$$Q = \underbrace{U \cdot C_1}_{Q_1} + \underbrace{U \cdot C_2}_{Q_2}$$

Plattenabstand vergrößert:  $d \rightarrow d' > d$

$$C_1 \rightarrow C_1' < C_1$$

$$U \rightarrow U' > U$$

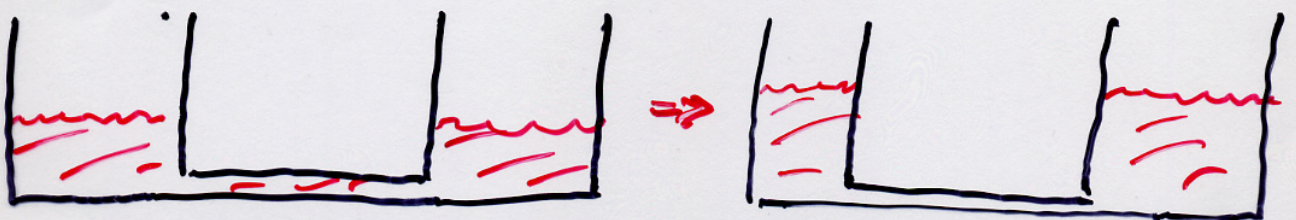
$Q$  bleibt konst.

$$\text{Mit } Q = U' C_1' + U' C_2 = Q_1' + Q_2'$$

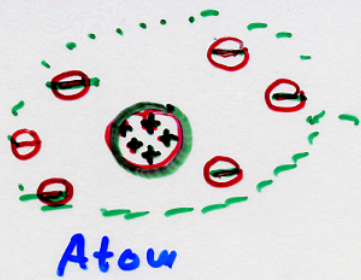
↓

↓

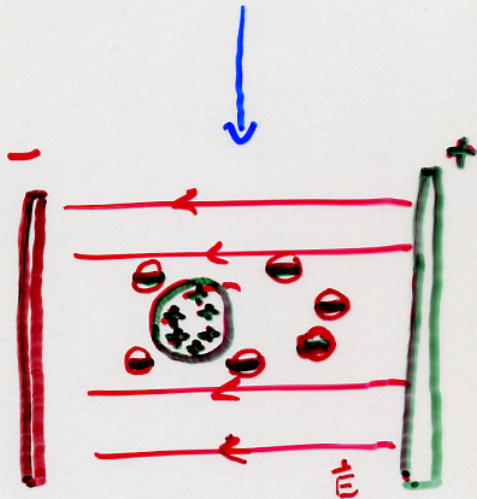
$\Rightarrow$  Folien stoßen sich stärker ab.  $< Q_1$   $> Q_2$



## 2.2.4 Polarisierung der Materie



Kern  $+Q$  ;  $r \approx 10^{-14}$  m  
 Hülle  $-Q$  ;  $r \approx 10^{-10}$  m



Atom bildet elektrisches  
 Dipol im E - Feld

$$p = Q d ;$$

$$d \sim \frac{1}{10} r_{\text{Atom}}$$

$$p = \alpha E$$

↑  
 Polarisierbarkeit

	H	He	Li	C
$\alpha =$	0,66	0,21	12	$1,5 \cdot 10^{-24} / \text{cm}^3$

klein bei Atomen mit abgeschlossenen  
 Schalen

Gesamt dipol moment (Polarisation):

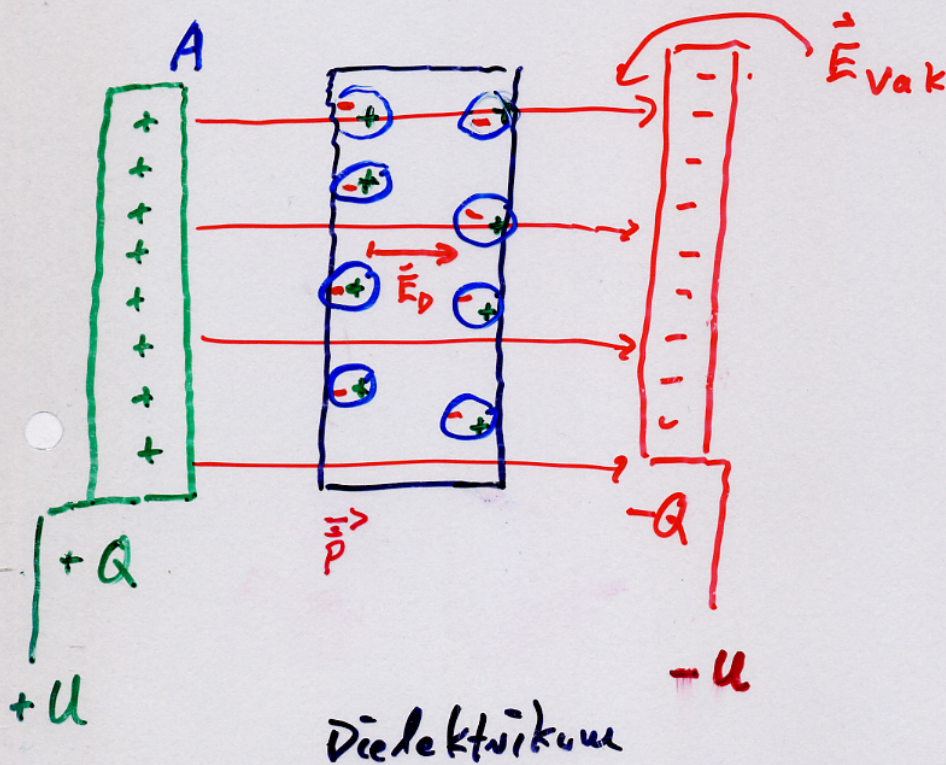
$$P = N \cdot q \cdot d$$

$$\hookrightarrow \frac{\text{Atome}}{\text{cm}^3}$$

$$= N \cdot \alpha \cdot E_D$$

$$= \chi \cdot E_D \cdot \epsilon_0$$

↑  
Dielektrische Suszeptibilität



$$\begin{aligned} \vec{E}_D &= \vec{E}_{\text{vak}} - \vec{E}_P \\ &= \vec{E}_{\text{vak}} - \frac{P}{\epsilon_0} \end{aligned}$$

Feld im Dielektrikum

zum El. Feld:

$$\phi_{\text{vak.}} = \int_{\sigma} \vec{E}_{\text{vak}} d\vec{A}$$

$$= A \cdot E_{\text{vak}} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$\Rightarrow E_{\text{vak}} = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot A}$$

$$= \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Analog:  $\vec{E}_P = \frac{Q_{\text{pol}}}{A \cdot \epsilon_0} = P / \epsilon_0$

Resultierendes Feld:

$$\begin{aligned} \vec{E}_D &= \vec{E}_{\text{vak}} - \frac{\vec{P}}{\epsilon_0} \\ &= \vec{E}_{\text{vak}} - \chi \cdot \vec{E}_D \end{aligned}$$

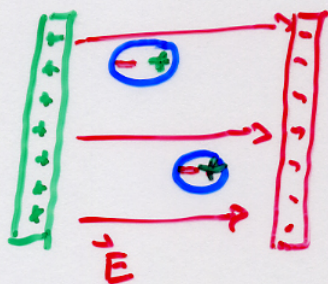
$$\Rightarrow \vec{E}_D = \frac{\vec{E}_{\text{vak}}}{1 + \chi} = \frac{1}{\epsilon} \vec{E}_{\text{vak}}$$

$1 + \chi = \epsilon (= \epsilon_r)$  Relative Dielektrizitätskonstante

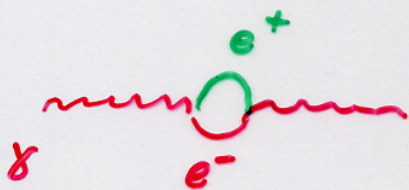
## Beispiele:

$\epsilon_R =$	1,000...	Vakuum
	1,00054	Luft
	3,5	Papier
	4	Plexiglas
	81	Wasser (18°)

Speziell Vakuum:  $\epsilon_R > 1$  (E<sub>in</sub> bel. binden)



Virtuelle  $e^+e^-$ -  
Paare,  $b\bar{b}$ -Paare  
werden polarisiert  
Vakuumpolarisation



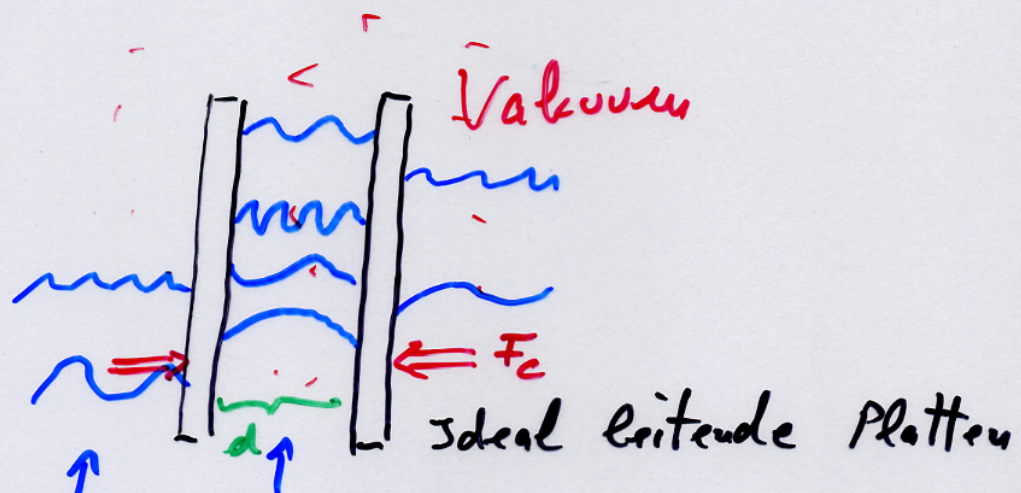
$$\Gamma_{00} \Delta t \cdot \Delta E \sim \hbar/2$$

$$\approx 10^{-21} \text{ s} \approx 1 \text{ KeV}$$

Der Casimir-EffektHeinrich Casimir  
1948

Vakuum angefüllt mit virtuellen  
Teilchen / Antiteilchen und Feldquanten

de Broglie :  $p = \hbar k$



virt. Teilchen mit  
diskontinuierlichen Impulsen

virt. Teilchen, alle Impulse sind  
möglich

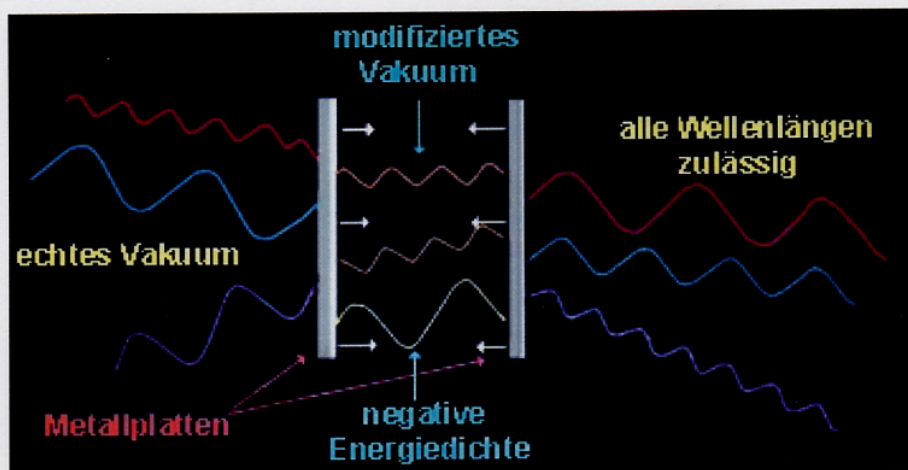
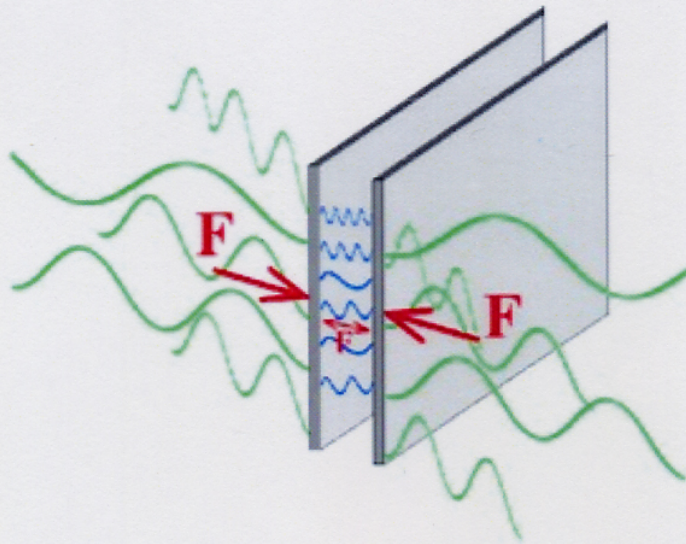
=> Dichte innerhalb der Platten kleiner  
als außen => Druckunterschied

$$P_c = \frac{F_c}{A} = \frac{\pi^2 \hbar c}{240} \frac{1}{d^4}$$

Bz: Bei  $d = 11 \text{ nm}$  :  $P_c \approx 1 \text{ bar}$

Vergleich : Plattenkondensator : 1,6 V

## Zum Casimir-Effekt

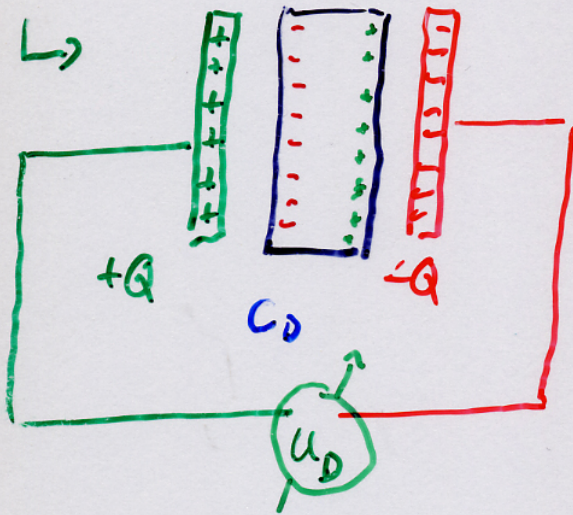
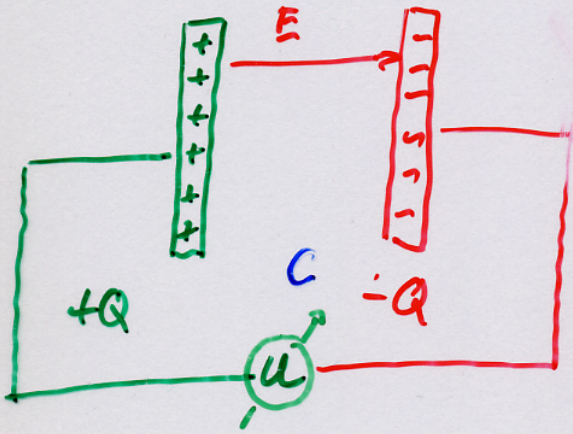




# Anwendung

Kapazität einer Plattenkondensator:

Mit  $U = E \cdot d \Rightarrow U_D = d \cdot E_D$   
 $= \frac{E \cdot d}{\epsilon}$   
 $= \frac{U}{\epsilon}$



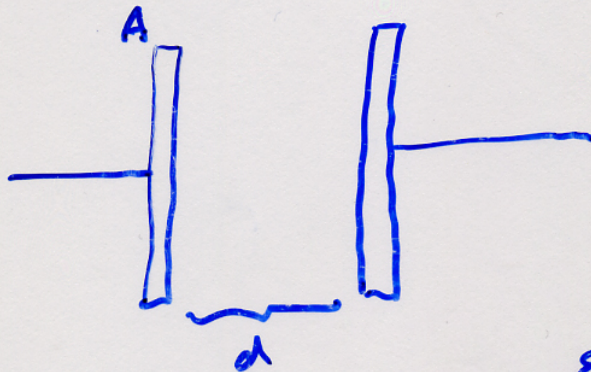
$$\Rightarrow C_D = \epsilon \cdot C$$

Demo 1:

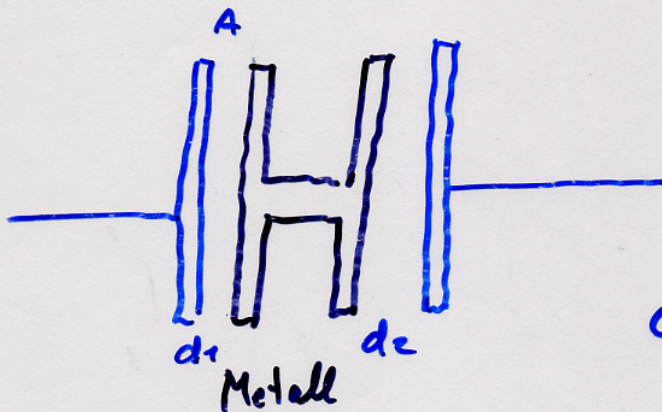
Nach Einschub eines Dielektrikums nimmt Spannung ab  
[  $Q = \text{const}$  ]

Demo 2:

Eindringen von Metallplatte:  
erwartete Abnahme von  $U$



$$C_0 = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$



$$C_1 = \frac{\epsilon_0 A}{d_1}$$

$$C_2 = \frac{\epsilon_0 A}{d_2}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$\Rightarrow C = \frac{\epsilon_0 A}{d_1 + d_2} > C_0$$

Auch hier:  $C$  nimmt zu