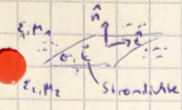
MGen: $\nabla\vec{E} = \rho/\varepsilon_0 \rightarrow \nabla\vec{D} = \rho_f$, $\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \vec{P}$; $\nabla\vec{B} = 0$; $\nabla\times\vec{E} + \partial_t\vec{B} = 0$; $\frac{\nabla\times\vec{B}}{\mu_0} - \varepsilon_0\partial_t\vec{E} = \vec{j} \rightarrow \nabla\times\vec{H} - \partial_t\vec{D} = \vec{j}_f$, $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$

kovariant: $\underbrace{\partial_\mu F^{\mu\nu} = \mu_0 j^\nu}_{\text{inhom.}}$ & $\underbrace{\partial_\mu \tilde{F}^{\mu\nu} = 0}_{\text{hom.}}$; $F^{\mu\nu} = \partial^\mu A^\nu - \partial^\nu A^\mu = -F^{\nu\mu}$, $\tilde{F}^{\mu\nu} = \frac{1}{2}\varepsilon^{\mu\nu\alpha\beta}F_{\alpha\beta}$, $\partial^\mu = \begin{pmatrix}\frac{1}{c}\partial_t \\ \nabla\end{pmatrix}$, $j^\mu = \begin{pmatrix} c\rho \\ \vec{j}\end{pmatrix}$

$A^\mu = \begin{pmatrix}\phi/c \\ \vec{A}\end{pmatrix}$; $a_\mu = \eta_{\mu\nu}a^\nu$, $\eta = \begin{pmatrix}1 & & 0 \\ & -1 & \\ 0 & & -1\end{pmatrix}$



Stetigkeiten: $\nabla\vec{D} = \rho \rightarrow (\vec{D}_2 - \vec{D}_1)\hat{n} = \sigma$; $\nabla\vec{B} = 0 \rightarrow (\vec{B}_2 - \vec{B}_1)\hat{n} = 0$; $\nabla\times\vec{E} + \partial_t\vec{B} = 0 \rightarrow (\vec{E}_2 - \vec{E}_1)\times\hat{n} = 0$; $\nabla\times\vec{H} - \partial_t\vec{D} = \vec{j} \rightarrow (\vec{H}_2 - \vec{H}_1)\hat{t} = (\vec{k}\times\hat{n})\hat{t}$

Potentiale (hom. MGen erfüllt): $\vec{E} = -\nabla\phi - \partial_t\vec{A}$, $\vec{B} = \nabla\times\vec{A}$; $\phi' = \phi - \partial_t\chi$, $\vec{A}' = \vec{A} + \nabla\chi$; Lorentz: $\frac{1}{c^2}\partial_t\phi + \nabla\vec{A} = 0$, Coulomb: $\nabla\vec{A} = 0$

kovariant: $\Rightarrow \vec{E}^i/c = F^{i0}$, $-\varepsilon^{ijk}\vec{B}_k = F^{ij}$; $A'^\mu = A^\mu - \partial^\mu\chi$; Lorentz: $\partial_\mu A^\mu = 0 \rightsquigarrow \partial_\mu\partial^\mu A^\nu = \mu_0 j^\nu$, $\partial_\mu\partial^\mu = \frac{1}{c^2}\partial_t^2 - \Delta = \Box$

Impulssatz: $f_{L,i} = -\partial_t \pi_{em,i} + \partial_j T_{ij}$; $\vec{\pi}_{em} = \frac{\vec{S}}{c^2}$, $T_{ij} = \varepsilon_0(E_iE_j - \delta_{ij}\frac{\vec{E}^2}{2}) + \frac{1}{\mu_0}(B_iB_j - \delta_{ij}\frac{\vec{B}^2}{2})$

Kontinuitätsgl.: $\partial_t\rho + \nabla\vec{j} = 0$; Poynting-Theorem: $\partial_t u_{em} + \nabla S = \vec{j}\vec{E}$; $u_{em} = \frac{1}{2\mu_0}\left(\frac{1}{c^2}\mathrm{Re}(\vec{E})^2 + \mathrm{Re}(\vec{B})^2\right) \rightarrow u_{em} = \frac{\vec{E}\vec{D} + \vec{B}\vec{H}}{2}$

Lorentzkraft: $\vec{F}_L = q(\vec{E} + \vec{v}\times\vec{B}) \rightsquigarrow \vec{v}\times\vec{B} \perp \vec{v} \rightarrow$ B-Feld verrichtet keine Arbeit; zeitl. Änderung Energiedichte; Energiestrom durch Oberfl.; übertrag. an Ladg. strom; $\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}(\mathrm{Re}(\vec{E})\times\mathrm{Re}(\vec{B})) \rightarrow \vec{S} = \vec{E}\times\vec{H}$

kovariant: Kontinuitätsgl.: $\partial_\mu j^\mu = 0$; Lorentzk. Poynting-Th.: $f^\nu = j_\mu F^{\mu\nu} = -\partial_\mu T^{\mu\nu}$; $T^{\mu\nu} = \frac{1}{\mu_0}\left(\frac{1}{4}\eta^{\mu\nu}F_{\alpha\beta}F^{\alpha\beta} - F^{\mu\alpha}\eta_{\alpha\beta}F^{\beta\nu}\right)$

Kraftdichte; 0 – Poynting-Theorem, $f^i\ldots = \vec{F}_L^i$ – Lorentzkraft

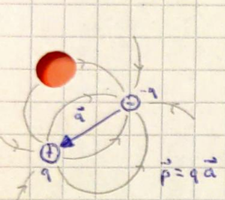
---

Statik: $\boxed{\text{elektrisch}}$

Coulombkraft: $\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^2}\frac{\vec{r}_1 - \vec{r}_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|}$ Ladung 2 → 1 ; $\vec{F} = q\vec{E}(\vec{r}_q)$; $\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int\frac{\rho(\vec{r}')}{|\vec{r}-\vec{r}'|^2}\frac{\vec{r}-\vec{r}'}{|\vec{r}-\vec{r}'|}d^3r' = -\nabla_{\vec{r}}\phi$

Greensfkt (Herleitung: Fluss $\oint\vec{E}d\vec{f}$ + Satz v. Gauß $\int\nabla\vec{E}\,d^3r$): $G(\vec{r},\vec{r}') = -\frac{1}{4\pi}\frac{1}{|\vec{r}-\vec{r}'|} + F(\vec{r},\vec{r}')$; $\Delta_{\vec{r}}F(\vec{r},\vec{r}') = 0$, $F(\vec{r},\vec{r}') = F(\vec{r}',\vec{r})$ $\Rightarrow \phi(\vec{r}) = -\frac{1}{\varepsilon_0}\int\rho(\vec{r}')G(\vec{r},\vec{r}')d^3r'$

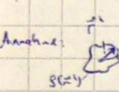
Energie: $U_{es} = \frac{1}{8\pi\varepsilon_0}\iint\frac{\rho(\vec{r})\rho(\vec{r}')}{|\vec{r}-\vec{r}'|}d^3r\,d^3r' = \frac{1}{2}\int\rho(\vec{r})\phi(\vec{r})d^3r \rightsquigarrow u_{es} = \frac{\varepsilon_0}{2}\vec{E}^2 \rightarrow u_{es} = \frac{1}{2}\vec{E}\vec{D}$; Arbeit: $W = qU$, $U = \Delta\phi$; pot. En.: $U_{es} = q(\phi - \phi(\infty))$



Vorgehen an Grenzflächen (Leiter: ϕ = const, kann = 0 gesetzt werden) ⇒ Setze $\phi_{GF} = 0$, nutze Superpos. ⇝ (Spiegelladung)

$\Rightarrow 0 \overset{!}{=} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int\rho(\vec{r}')\left\{\frac{1}{|\vec{r}-\vec{r}'|} - \frac{\rho(\vec{r}_{GF})}{|\vec{r}-\vec{r}_{GF}|}\right\}d^3r'$

Alternativ: Separationsansatz: $\Delta\phi = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$ (meist 0) durch $\phi = \phi(x)\phi(y)\phi(z)$ mit Randbed. lösen



Multipolentw. (Reihenentw. von $|\vec{r}-\vec{r}'|^{-1}$): sphärisch: $\phi(r,\vartheta,\varphi) = \sum_{l=0}^{\infty}\sum_{m=-l}^{l}\frac{4\pi}{2l+1}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_{lm}}{r^{l+1}}Y_{lm}(\vartheta,\varphi)$; $q_{lm} = \int\rho(\vec{r}')r'^l Y^*_{lm}(\vartheta',\varphi')d^3r'$

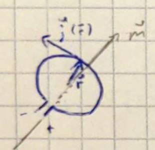
kartesisch: $\phi(x,y,z) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q}{r} + \frac{\vec{p}\cdot\vec{r}}{r^3} + \frac{1}{2}\sum_{i,j=1}^{3}Q_{ij}\frac{r_ir_j}{r^5} + \ldots\right)$; $q = \int\rho(\vec{r}')d^3r'$, $\vec{p} = \int\vec{r}'\rho(\vec{r}')d^3r'$

$Q_{ij} = \int(3r_i'r_j' - \delta_{ij}r'^2)\rho(\vec{r}')d^3r'$

$\boxed{\text{magnetisch}}$

Lorentzkraft: $\vec{F}(\vec{r}) = \vec{j}\times\vec{B}$; B-Feld lange Spule $\vec{B} = \mu_0 n I\hat{e}_z\,\Theta(R-\rho)$, n – Windungsdichte, $n = \frac{N}{L}$

Biot-Savart: $\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi}\int\frac{\vec{j}(\vec{r}')\times(\vec{r}-\vec{r}')}{|\vec{r}-\vec{r}'|^3}d^3r'$, in Coulomb-Eichung: $-\Delta\vec{A} = \mu_0\vec{j} \rightsquigarrow \vec{A} = -\mu_0\int\vec{j}(\vec{r}')G(\vec{r}-\vec{r}')d^3r' = \frac{\mu_0}{4\pi}\int\frac{\vec{j}(\vec{r}')}{|\vec{r}-\vec{r}'|}d^3r'$



Energie: $U_{ms} = -\vec{m}\vec{B}$; $\vec{m} = \frac{1}{2}\int\vec{r}'\times\vec{j}(\vec{r}')d^3r' \rightsquigarrow u_{ms} = \frac{1}{2}\frac{1}{\mu_0}\vec{B}^2 \rightarrow \frac{1}{2}\vec{B}\vec{H} = u_{ms}$

⟺ Ausrichtung so, dass $\vec{m} \parallel \vec{B}$ → bewirkt Drehmoment $\vec{M} = \vec{m}\times\vec{B}$

Coulomb-Eichung: $\vec{A} = -\frac{1}{2}\vec{r}\times\vec{B}$ für konstantes B-Feld

Orthogonalität: $\int_0^{L_x}\sin\frac{n\pi x}{L_x}\sin\frac{m\pi x}{L_x}dx = \frac{L_x}{2}\delta_{nm}$; cos analog ; $\int_{-1}^{1}P_l(x)P_{l'}(x)dx = \frac{2}{2l+1}\delta_{ll'}$; Kugelfl. Fktn

Immer die Multipolentw. nutzen!

Legendrepol.: DGL $(1-x^2)P'' - 2xP' + \lambda P = 0$, $\lambda = l(l+1)$, $l\in\mathbb{N}$; Eigensch. 1) $P_l(-x) = (-1)^l P_l(x)$; 2) $P_l(1) = 1$; 3) Orthogonal

$P_0 = 1$, $P_1 = x$, $P_2 = \frac{1}{2}(3x^2 - 1)$, $P_3 = \frac{1}{2}(5x^3 - 3x)$, $a_{k+2} = \frac{k(k+1)-\lambda}{(k+1)(k+2)}a_k$, daraus kann mit Normierung (2) a_0 bestimmen

assoz. Legendrepol.: DGL $\frac{d}{dx}\left[(1-x^2)\frac{dP}{dx}\right] + \left(\lambda - \frac{m^2}{1-x^2}\right)P = 0$; $m \geq 0$: $P_l^{(m)} = (-1)^m(1-x^2)^{m/2}\frac{d^m}{dx^m}P_l$, $P_l^{(-m)} = (-1)^m\frac{(l-m)!}{(l+m)!}P_l^{(m)}$

→ Formel zur Berechnung: $P_l^{(m)} = \frac{(-1)^m}{2^l\cdot l!}(1-x^2)^{m/2}\cdot\frac{d^{l+m}}{dx^{l+m}}(x^2-1)^l$

→ $P_1^1 = -\sqrt{1-x^2} = -2P_1^{-1}$, $P_2^2 = 3(1-x^2) = 24P_2^{-2}$, $P_2^1 = -3x\sqrt{1-x^2} = -6P_2^{-1}$

$\Delta_{\vartheta\varphi} = \frac{1}{\sin\vartheta}\frac{\partial}{\partial\vartheta}\left(\sin\vartheta\frac{\partial}{\partial\vartheta}\right) + \frac{1}{\sin^2\vartheta}\frac{\partial^2}{\partial\varphi^2}$

Kugelflächenfktn: DGL $\Delta_{\vartheta\varphi}Y_{lm} + l(l+1)Y_{lm} = 0$; $Y_{l,-m} = (-1)^m Y^*_{lm}$, Orthogonalität, Normierung siehe HW.

→ Vollständigkeit: $f(\vartheta,\varphi) = \sum_{l=0}^{\infty}\sum_{m=-l}^{l}c_{lm}Y_{lm}(\vartheta,\varphi)$, $c_{lm} = \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi}f(\vartheta',\varphi')Y^*_{lm}(\vartheta',\varphi')\sin\vartheta'\,d\vartheta'\,d\varphi'$

$Y_{00} = \frac{1}{\sqrt{4\pi}}$, $Y_{10} = \sqrt{\frac{3}{4\pi}}\cos\vartheta$, $Y_{11} = -\sqrt{\frac{3}{8\pi}}\sin\vartheta\, e^{i\varphi}$, $Y_{20} = \sqrt{\frac{5}{4\pi}}(3/2\cos^2\vartheta - 1/2)$, $Y_{21} = -\sqrt{\frac{15}{8\pi}}\sin\vartheta\cos\vartheta\, e^{i\varphi}$, $Y_{22} = \frac{1}{4}\sqrt{\frac{15}{2\pi}}\sin^2\vartheta\, e^{2i\varphi}$

Graßmann Identität: $\vec{A}\times(\vec{B}\times\vec{C}) = \vec{B}(\vec{A}\vec{C}) - (\vec{A}\vec{B})\vec{C}$, Residuensatz: $\oint_\Gamma\frac{f(\zeta)}{\zeta - z}d\zeta = 2\pi i f(z)$ („zeta")

Induktion: $U_{ind} = -\int\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}d\vec{f} = -\frac{d}{dt}\Phi_m$

Ebene Welle: $\vec{E}_c(\vec{r},t) = \vec{E}_0 e^{i(\vec{k}\vec{r}-\omega t)}$, $\vec{B}_c(\vec{r},t) = \frac{\vec{k}}{\omega}\times\vec{E}_0 e^{i(\vec{k}\vec{r}-\omega t)}$, $\vec{E}_0 \in \mathbb{C}^3$ → Phasenversatz zw. x,y,z Komp. ⇝ elliptische Pol. mgl.

→ Energie im zeitl. Mittel: $\langle u_{em}\rangle = \frac{1}{2}\vec{E}_0\vec{E}_0^*$, $\langle\vec{S}\rangle = \frac{1}{2\mu_0}\frac{\vec{k}}{\omega}\vec{E}_0\vec{E}_0^*$ (Da $\vec{B}_0 = \frac{\vec{k}}{\omega}\times\vec{E}_0$ muss nicht extra berücksichtigt werden, bzw. steckt da schon drin)

EM-Strahlung: retard. Potentiale $\Phi_{ret}(\vec{r},t) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int \frac{\rho(\vec{r}\,',\tau(\vec{r}\,'))}{|\vec{r}-\vec{r}\,'|} d^3r'$, $\vec{A}_{ret} = \frac{\mu_0}{4\pi}\int \frac{\vec{j}(\vec{r}\,',\tau(\vec{r}\,'))}{|\vec{r}-\vec{r}\,'|} d^3r'$, $\tau = t - \frac{1}{c}|\vec{r}-\vec{r}\,'(\tau)|$ Eigenzeit

$\Rightarrow$ Allgemeinste Lsg. MGln $\Phi = \Phi_{ret} + \Phi_h$, $\vec{A} = \vec{A}_{ret} + \vec{A}_h$, $\Box\Phi_h = 0$, $\Box\vec{A}_h = 0$

Bewegte Punktladung: $\vec{E}(\vec{r},t) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{(\hat{e}_q - \vec{\beta})(1-\beta^2)}{|\vec{r}-\vec{r}_q|^2(1-\hat{e}_q\vec{\beta})^3} + \frac{\hat{e}_q \times [(\hat{e}_q - \vec{\beta})\times\dot{\vec{\beta}}]}{c|\vec{r}-\vec{r}_q|(1-\hat{e}_q\vec{\beta})^3}\right]$; $\hat{e}_q = \frac{\vec{r}-\vec{r}_q}{|\vec{r}-\vec{r}_q|}$, $\vec{r}_q = \vec{r}_q(\tau)$

$\rightarrow$ Energieverlust: $\frac{dP'}{d\Omega} = \frac{q^2}{(4\pi)^2\varepsilon_0 c}\frac{|\hat{e}_r \times [(\hat{e}_r - \vec{\beta})\times\dot{\vec{\beta}}]|^2}{(1-\vec{\beta}\hat{e}_r)^5}$ $\Rightarrow P' = \int\frac{dP'}{d\Omega}d\Omega = \frac{q^2}{6\pi\varepsilon_0 c}\dot{\vec{\beta}}^2$ Larmor-Formel

Zeitabh. Ladungsvert.: $\Phi(\vec{r},t) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q}{r} + \frac{\hat{e}_r\vec{p}(\tau)}{r^2} + \frac{\hat{e}_r\dot{\vec{p}}(\tau)}{rc} + \dots\right]$; $\vec{A}(\vec{r},t) = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\dot{\vec{p}}(\tau)}{r} + \dots$ $\Rightarrow \vec{E}(\vec{r},t) = \frac{\mu_0}{4\pi r}(\hat{e}_r \times (\hat{e}_r \times \ddot{\vec{p}}(\tau)))$

$Q=0$, $\frac{1}{r}\to 0$

$\Rightarrow \vec{S} = \frac{\mu_0}{(4\pi r)^2 c}|\ddot{\vec{p}}|^2 \sin^2\vartheta\,\hat{e}_r$, $\frac{dP}{d\Omega} = r^2(\vec{S})\hat{e}_r$, ϑ - Winkel zw. $\ddot{\vec{p}}, \hat{e}_r$ $\quad \vec{B}(\vec{r},t) = \frac{\mu_0}{4\pi r}\nabla\times\dot{\vec{p}}(\tau) = \frac{1}{c}\hat{e}_r \times \vec{E}$

SRT: Äquivalenz ISe, Konstanz c

Lorentztrafo: $\Lambda^\mu{}_\rho\,\eta_{\mu\nu}\,\Lambda^\nu{}_\sigma = \eta_{\rho\sigma}$ $\Rightarrow (\Lambda^{-1})^\mu{}_\rho = \eta_{\mu\nu}\Lambda^\nu{}_\sigma(\eta^{-1})_{\sigma\rho}$, $= \eta_{\sigma\rho}$ Bspw. x: $ct' = \gamma(ct - \beta x)$; $x' = \gamma(x - \beta ct)$ $\Lambda = \begin{pmatrix}\gamma & -\beta\gamma & \\ -\beta\gamma & \gamma & \\ & & 1 & \\ & & & 1\end{pmatrix}$

$ct = \gamma(ct' + \beta x')$; $x = \gamma(x' + \beta ct')$ $\Lambda^{-1} = \begin{pmatrix}\gamma & \beta\gamma & \\ \beta\gamma & \gamma & \\ & & 1 & \\ & & & 1\end{pmatrix}$

$\rightarrow$ kovariant: 4-Vektor ist Vektor, für den gilt: $a'^\mu = \Lambda^\mu{}_\nu a^\nu$ Bspw. $x^\mu = \begin{pmatrix}ct \\ \vec{x}\end{pmatrix}$, $u^\mu = \frac{\partial x^\mu}{\partial\tau} = \gamma\cdot\frac{\partial x^\mu}{\partial t} = \gamma\begin{pmatrix}c \\ \vec{v}\end{pmatrix}$, $p^\mu = m u^\mu$, $j^\mu = \frac{\rho}{\gamma}u^\mu$, $k^\mu = \begin{pmatrix}\omega/c \\ \vec{k}\end{pmatrix}$

Lorentztensor: $T'^{\mu\nu} = \Lambda^\mu{}_\rho T^{\rho\sigma}\Lambda^\nu{}_\sigma$ Ruhemasse Ruheladungsdichte

$\Rightarrow$ Invariante Größen: Faktoren vor 4-Vektoren, bzw. Skalarprodukte von 4-Vektoren, wichtig: $s^2 = \Delta x_\mu \Delta x^\mu = c^2\Delta t^2 - \Delta x^2$, $s^2 > 0$ zeitartig, $s^2 = 0$ lichtartig, $s^2 < 0$ raumartig $\rightarrow$ keine Kausalität

Eigenzeit: Zeit im Ruhesyst. eines Teilchens , $d\tau = \frac{1}{\gamma}dt = \frac{1}{c}ds$

4-Impuls: p^μ , $cp^0 \,\hat{=}\,$ Gesamtenergie $\Rightarrow E^2 = m^2c^4 + \vec{p}^2c^2$ $\rightarrow$ für masselose Teilchen $p^\mu p_\mu = 0$, $E = |\vec{p}|c$ (Energie-Impuls-Rel.)

Lorentzboost $\vec{E}/\vec{B}$-Felder: $\vec{E}'_\parallel = \vec{E}_\parallel$, $\vec{E}'_\perp = \gamma(\vec{E}_\perp + \vec{v}\times\vec{B})$; $\vec{B}'_\parallel = \vec{B}_\parallel$, $\vec{B}'_\perp = \gamma(\vec{B}_\perp - \frac{\vec{v}\times\vec{E}}{c^2})$, $\vec{v} = c\vec{\beta}$; $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\vec{\beta}^2}}$

Ergänzung zu Lorentzkraft: $\frac{\partial p^\mu}{\partial\tau} = q F^{\mu\nu}u_\nu$, diskreter Fall, ansonsten noch über Volumen integriert werden, 0-Komp $\hat{=}$ Leistung

Relativ. Dopplereff.: Phase $\varphi = k^\mu x_\mu = \omega t - \vec{k}\vec{r}$ $\rightarrow$ Lorentzinvariant ; Koordinatensyst: $\vec{v} = v\hat{e}_x$, $\vec{k} = k\,\hat{e}_\varrho(\vartheta)$; Longitud. $\vartheta = 0 \rightarrow \vartheta' = 0$, $\vartheta = \pi \rightarrow \vartheta' = \pi$

$\Rightarrow \frac{\omega'}{c} = \gamma\frac{\omega}{c}(1 - \beta\cos\vartheta)$, $k_x' = \gamma k(\cos\vartheta - \beta)$, $k_y' = k\sin\vartheta = k_y$, $\cos\vartheta' = \frac{\cos\vartheta - \beta}{1 - \beta\cos\vartheta}$; Transversal: $\vartheta = \frac{\pi}{2} \rightarrow \vartheta' = \frac{\pi}{2}$, $\vartheta = \frac{3\pi}{2} \rightarrow \vartheta' = \frac{3\pi}{2}$

makr. Polarisation: $\vec{P}(\vec{r}) = \left\langle \sum_\alpha \vec{p}_\alpha(t)\,\delta(\vec{r} - \vec{r}_\alpha)\right\rangle$ (Dipolmom.) mit $\langle\rho_{geb}\rangle(\vec{r},t) = -\nabla\vec{P}(\vec{r},t)$ $\Rightarrow \nabla\vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0}(\rho_{frei} - \nabla\vec{P})$ $\rightarrow \nabla\vec{D} = \rho_{frei}$, $\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \vec{P}$

Magnetisierung: $\vec{M}(\vec{r}) = \left\langle \sum_\alpha \vec{m}_\alpha(t)\,\delta(\vec{r} - \vec{r}_\alpha)\right\rangle$ mit $\langle\vec{j}_{geb}\rangle(\vec{r},t) = \partial_t\vec{P}(\vec{r},t) + \nabla\times\vec{M}(\vec{r},t)$ $\Rightarrow \nabla\times\vec{B} - \frac{\partial_t\vec{E}}{c^2} = \mu_0(\vec{j}_f + \partial_t\vec{P} + \nabla\times\vec{M})$ $\rightarrow \nabla\times\vec{H} - \partial_t\vec{D} = \vec{j}_f$, $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$

Linearer Zusammenhang E-P, H-M $\rightarrow$ Suszeptibilitäten: $\vec{P}(\vec{r},t) = \varepsilon_0\int\chi_e(\vec{r}-\vec{r}\,',t-t')\vec{E}(\vec{r}\,',t')\,d^3r'dt'$ $\Rightarrow \varepsilon(\vec{k},\omega) = \varepsilon_0(1 + \chi_e(\vec{k},\omega))$ Permittivität

$\vec{M} = \int\chi_m(\dots)\vec{H} \dots$ $\Rightarrow \mu(\vec{k},\omega) = \mu_0(1 + \chi_m(\vec{k},\omega))$ Permeabilität

$\Rightarrow \vec{D}(\vec{k},\omega) = \varepsilon(\vec{k},\omega)\vec{E}(\vec{k},\omega)$, $\vec{B}(\vec{k},\omega) = \mu(\vec{k},\omega)\vec{H}(\vec{k},\omega)$

Bsp: Lorentz-Modell: Gebundene Ladung $\hat{=}$ Harm. Oszi $\rightarrow m(\ddot{\vec{R}}(t) + \gamma\dot{\vec{R}}(t) + \omega_0^2\vec{R}(t)) = q\vec{E}(t)$ $\Rightarrow \chi_e(\omega) = \chi_e(0)\frac{\omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2 - i\gamma\omega}$, $\chi_e(0) = \frac{n q^2}{\varepsilon_0 m\omega_0^2}$ (Oszillatordichte)

Plattenkondensator: [illegible] $\varepsilon_1, d_1, \varepsilon_1$; $\varepsilon_2, d_2, \varepsilon_2$; A, Q, σ_{ind} $\rightarrow \sigma_{ind} = \frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon}\sigma_{ext}$, $Q_{ind} = \frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon}Q_{ext}$, Potentialdiff $\Delta\Phi = \frac{Q_{ext}}{A}\left(\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon}\right)$, $C = \frac{Q}{\Delta\Phi} = \frac{A}{d_1/\varepsilon_0 + d_2/\varepsilon}$

Zusammenhänge Tensoren: $F_{\mu\nu}$ = subst. $\vec{E} \rightarrow -\vec{E}$ $F^{\mu\nu}$, $\tilde{F}^{\mu\nu}$ = subst. $\frac{\vec{E}}{c} \rightarrow \vec{B}$ & $\vec{B} \rightarrow -\frac{\vec{E}}{c}$ $F^{\mu\nu}$