

## Physik-Grundkurs im MATLAB Live Editor



## Motivation

- Physik-Grundkurse im Überblick
- Hervorhebung der Zusammenhänge
- Ausbildung im symbolischen und numerischen Rechnen
- Motivation durch Spieltrieb

# Beispiel: Elektrodynamik

Live Editor - X:\Physik\_Grundkurs\Wechselwirkung.mlx  
Wechselwirkung.mlx

## Wechselwirkung

Beobachtung: Impulsgradienten haben endliche Werte

$$\frac{\partial}{\partial q_\mu} p_\nu \neq 0$$

Kontinuitäts-Gleichung

$$\text{Quelle} = \dot{\rho} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{v}) = \left( \vec{\nabla}, \frac{\partial}{\partial ct} \right) (\rho \vec{v}, \rho ct) = \frac{\partial}{\partial q_\mu} J^\mu$$

Kontinuität des Impulsgradienten

$$\frac{\partial}{\partial q^\mu} \frac{\partial}{\partial q_\mu} p_\nu = \square p_\nu = j_\nu$$

Minimale Substitution:  $p_\nu \sim A_\nu \rightarrow$  Potenzial-Gleichungen der Elektrodynamik

$$\square A_\nu = j_\nu$$

Stationäre Ströme:

$$\Delta \vec{A} = \vec{j}$$

Allgemeine Lösung:

$$\vec{A}(\vec{R}) = -\frac{1}{4\pi} \int \vec{j}(\vec{r}) \frac{1}{|\vec{R} - \vec{r}|} d^3 \vec{r}$$



# Helmholz-Spule

Vektorpotenzial  $\vec{A}(\vec{R}) = \int_0^{2\pi} \vec{j}(\varphi) \frac{1}{|\vec{R} - \vec{r}(\varphi)|} r d\varphi$

Koordinaten  $\vec{r} = \begin{pmatrix} \cos \varphi \\ \sin \varphi \\ z \end{pmatrix}$ ,  $\vec{R} = \begin{pmatrix} X \\ 0 \\ Z \end{pmatrix}$


```
r_v=[cos(phi);sin(phi);z]
R_v=[X;0;Z]
```

Integrand:  $A_{y,\varphi} = j_y (G_{+1/2} + G_{-1/2})$ ,  $\vec{j}(\varphi) = \frac{\partial \vec{r}}{\partial \varphi}$ ,  $G_z = \frac{1}{|\vec{R} - \vec{r}_z(\varphi)|}$

```
j=diff(r_v,phi)
G(z)=1/norm(r_v-R_v)
Ay_phi=j(2)*(G(1/2)+G(-1/2))
```

Numerische Integration für  $A_y(X, Z) = \int_0^{2\pi} A_{y,\varphi} d\varphi$  und Plot

```
Ay_phim=matlabFunction(Ay_phi)
[Xn,Zn]=meshgrid(linspace(-4,4,100));
Ayn=integral(@(phi)Ay_phim(Xn,Zn,phi),0,2*pi,'ArrayValued',t)
contour(Zn,Xn,Ayn,4*linspace(-1,1,24))
axis equal; axis off
```



$r_v = \begin{pmatrix} \cos(\varphi) \\ \sin(\varphi) \\ z \end{pmatrix}$

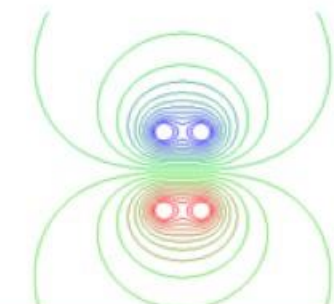
$R_v = \begin{pmatrix} X \\ 0 \\ Z \end{pmatrix}$

$j = \begin{pmatrix} -\sin(\varphi) \\ \cos(\varphi) \\ 0 \end{pmatrix}$

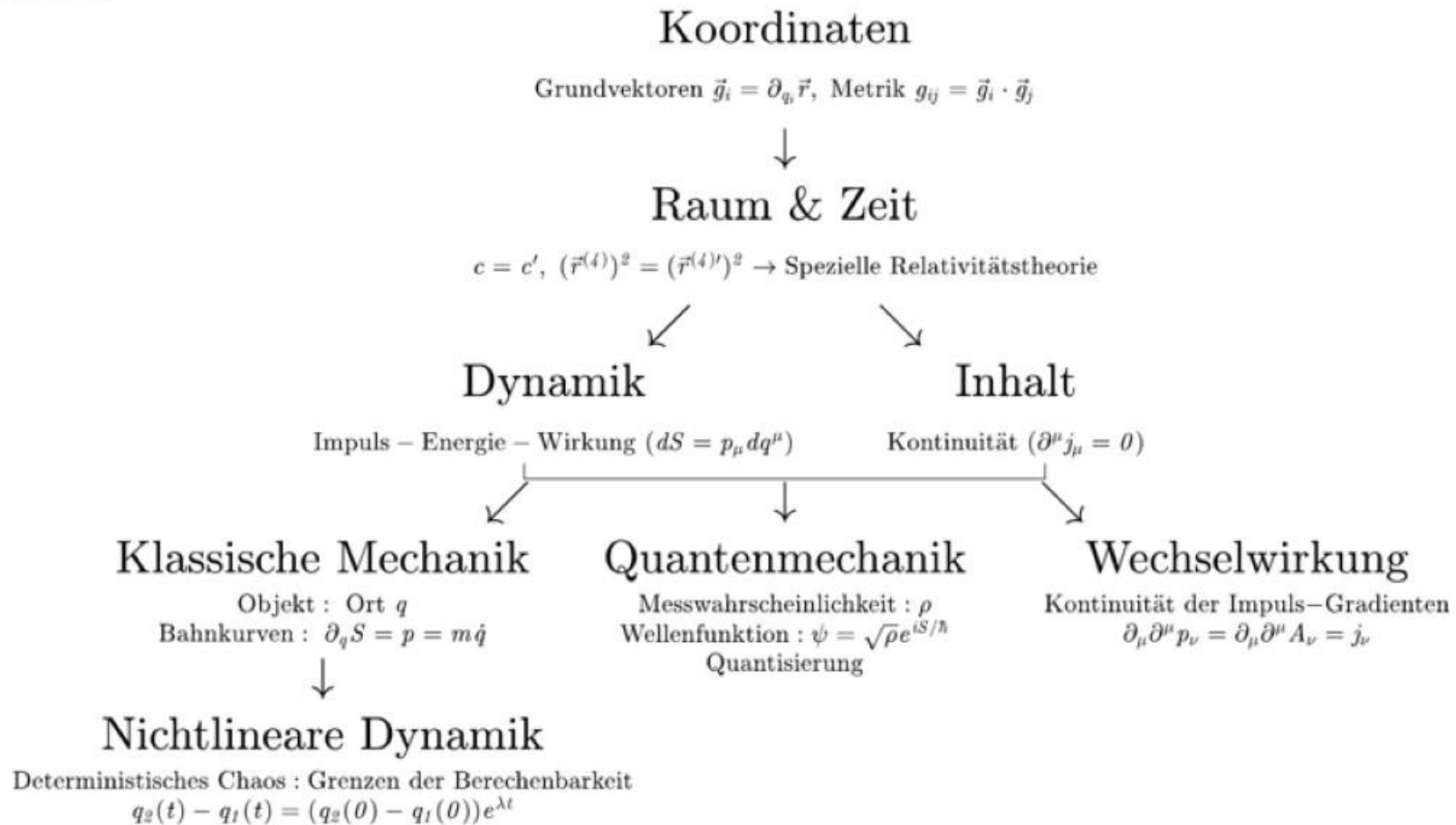
$G(z) = \frac{1}{\sqrt{|\sin(\varphi)|^2 + |\cos(\varphi) - X|^2 + |Z - z|^2}}$

$Ay\_phi = \cos(\varphi) \left( \frac{1}{\sqrt{|Z - \frac{1}{2}|^2 + |\sin(\varphi)|^2 + |\cos(\varphi) - X|^2}} + \dots \right)$

$Ay\_phim = \text{function\_handle with value: } @(X,Z,phi)\cos(phi).*(1.0./\text{sqrt}(\text{abs}(Z-1.0./2.0).^2 + \dots))$

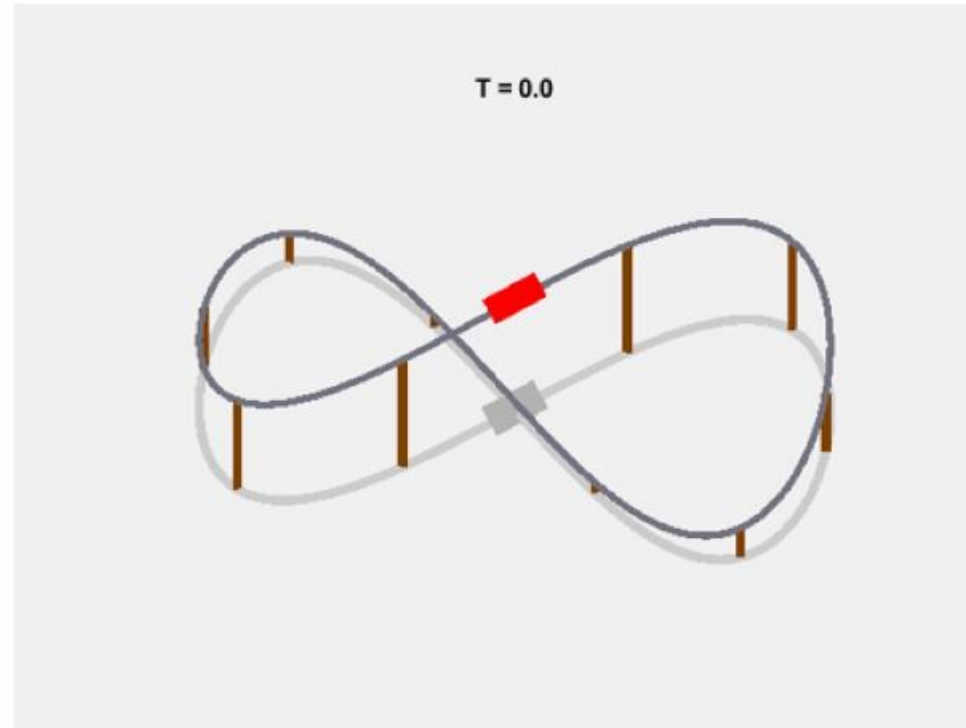


# Kurs-Aufbau



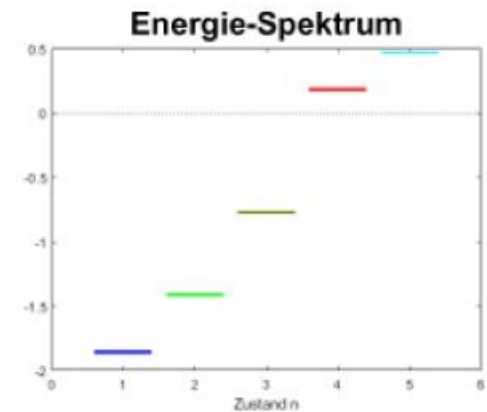
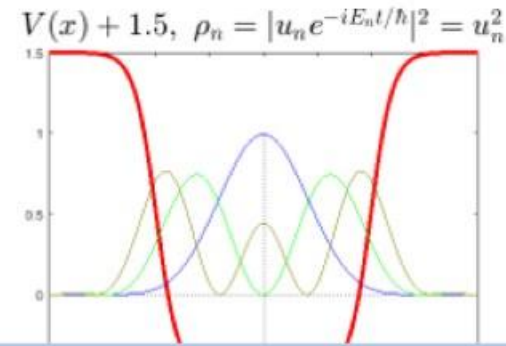


## Mechanik





# Quanten-Mechanik



Live Editor - X:\Physik\_Grundkurs\QM\_gemischt.mlx \*

Untitled.mlx QM\_gemischt.mlx \* +

Messwahrscheinlichkeit  $\rho = |\psi|^2$

```
rho(psi)=psi*conj(psi)
```

Reiner Zustand  $\rho_1 = |\psi_n|^2$

```
psi_1=u_n*exp(-1i*E_n*t/hbar)
disp(rho_1==rho(psi_1));
```

Gemischter Zustand  $\rho_{mn} = |\psi_n + \psi_m|^2$

```
psi_mn=u_n*exp(-1i*E_n*t/hbar)+u_m*exp(-1i*E_m*t/hbar)
rho_mn=rho(psi_mn);
Delta_E==E_n-E_m
rho_mn=rewrite(sube(expand(rho_mn),isolate(ans,E_m)), 'cos');
disp('rho_mn'==simplify(rho_mn))
```

$$\rho(\psi) = \psi \bar{\psi}$$

$$\psi_1 =$$

$$u_n e^{\frac{-E_n t i}{\hbar}}$$

$$\rho_1 = u_n^2$$

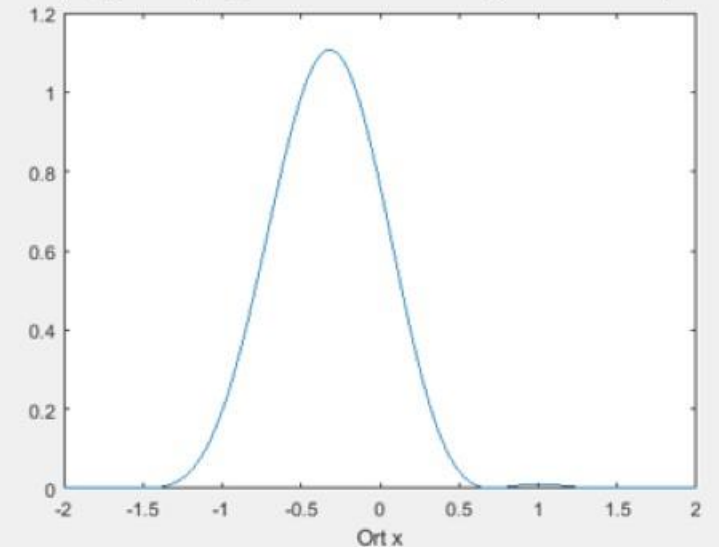
$$\psi_{mn} =$$

$$u_m e^{\frac{E_m t i}{\hbar}} + u_n e^{\frac{E_n t i}{\hbar}}$$

$$\text{ans} = \Delta_E = E_n - E_m$$

$$\rho_{mn} = u_m^2 + 2 \cos\left(\frac{\Delta_E t}{\hbar}\right) u_m u_n + u_n^2$$

$$\rho_{12} = |u_1 e^{-iE_1 t/\hbar} + u_2 e^{-iE_2 t/\hbar}|^2$$

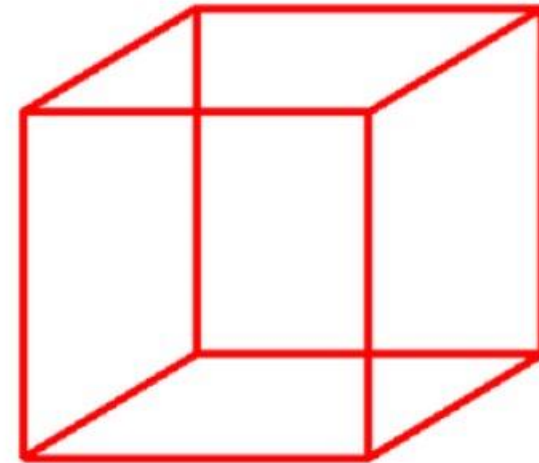




## Veranschaulichung

```

Live Editor - X:\Physik_Grundkurs\Wuerfel.mlx *
Wuerfel.mlx * x +
Flg=0;
X1=[0.0 0.0 1.0 1.0 0.0 0.5 1.5 1.0 1.0 1.5 1.5;...
    1.0 0.0 0.0 1.0 1.0 1.3 1.3 1.0 0.0 0.3 1.3];
X2=[0.0 0.5 1.5 0.5 0.5;...
    0.0 0.3 0.3 0.3 1.3];
dX=[.5 0;0 .3]; d=[0.04 0.04];
hold on
if Flg
    LW1=4;LW2=2;
    Vector([0 0]-d,[1.5 0]-d,0.2,2);
    Vector([0 0]-d,[0 1.5]-d,0.2,2);
    Vector([0 0]-d,1.5*diag(dX)'-d,0.1);
else
    LW1=3;LW2=3;
end
plot(X1(1,:),X1(2,:), 'r', 'LineWidth', LW1)
plot(X2(1,:),X2(2,:), 'r', 'LineWidth', LW2)
axis equal
axis([-0.2 1.8 -0.2 1.8])
axis off
hold off
    
```







## Fazit

- Computer-Algebra verbessert Physikverständnis
- Keine Ablenkung vom Wesentlichen durch lange Zwischenrechnungen
- Spielerischer Umgang mit Physik
- Spielerischer Umgang mit umfassendem Werkzeug (MATLAB)



# MATLAB

- Symbolic Math Toolbox: neue Generation für Computer-Algebra
- Live Editor: moderne Art für Computer-Berechnungen
- Besonders: nahtloser Übergang von symbolischen Berechnungen zu numerischen



## Kurs wird als MATLAB Courseware öffentlich und frei zugänglich gemacht

### Inhalt

1 Vektoren und Metrik  
1.1 Theorie  
1.2 Kugelkoordinaten (Rechenbeispiel)  
1.3 Metrik des Mexikaner-Hutes (Rechenbeispiel)

2 Die Struktur der physikalischen Raum-Zeit  
2.1 Theorie  
2.2 Lorentz-Transformation (Rechenbeispiel)  
2.3 Zwillingsparadoxon und Lichtuhr (Rechenbeispiel)

3 Dynamik  
3.1 Theorie  
3.2 Wirkungsfeld des Kepler-(Coulomb)-Problems (Rechenbeispiel)

4 Klassische Mechanik  
4.1 Theorie  
4.2 Kepler-Bahnen (Rechenbeispiel)  
4.3 Rollenpendel (Rechenbeispiel)  
4.4 Achterbahn (Rechenbeispiel)

5 Quantenmechanik  
5.1 Theorie  
5.2 Quantisierung und Schrödinger-Gleichung (Rechenbeispiel)  
5.3 Gaussches Wellenpaket als Lösung der freien Schrödinger-Gleichung (Rechenbeispiel)  
5.4 Das QM Bindungsproblem (Rechenbeispiel)  
5.5 Das QM Streuproblem (Rechenbeispiel)

6 Wechsewirkung  
6.1 Theorie  
6.2 Helmholtz-Spule (Rechenbeispiel)  
6.3 Ladung über geerdeter Kugel (Rechenbeispiel)  
6.4 Strahlung des Hertzchen Dipols (Rechenbeispiel)  
6.5 Schwarzschild-Metrik und schwarze Löcher (Rechenbeispiel)

7 Chaos-Theorie  
7.1 Theorie  
7.2 Fraktale (Rechenbeispiel)  
7.3 Duffing-Oszillator (Rechenbeispiel)  
7.4 Billard-Chaos (Rechenbeispiel)



# Danke.

Kontakt:

**Theoretische Physik, Uni Tübingen**

Auf der Morgenstelle 14, 72074 Tübingen

Telefon: +49 7071 29-76377

Telefax: +49 7071 29-5604

[kurt.braeuer@uni-tuebingen.de](mailto:kurt.braeuer@uni-tuebingen.de)