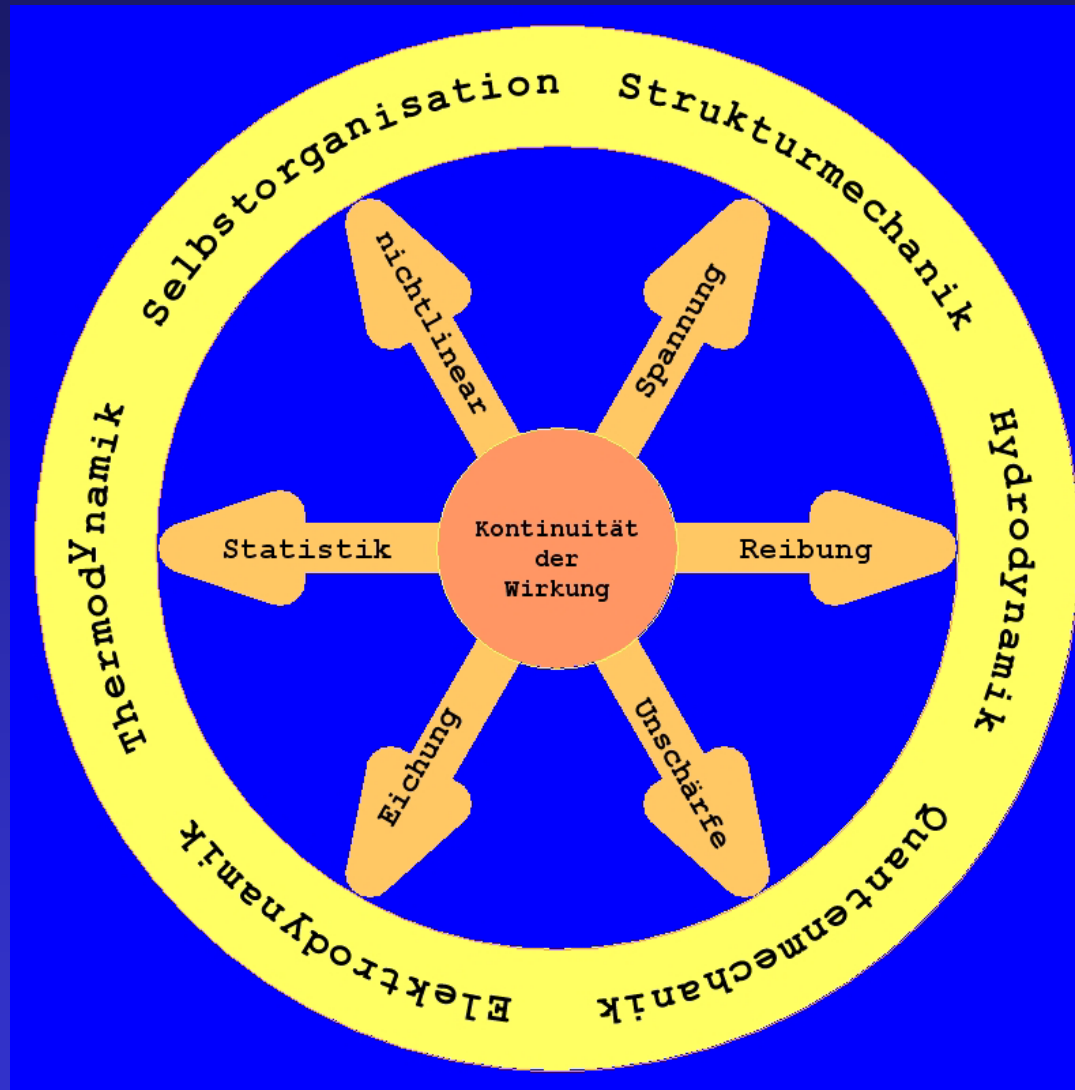


FEMLAB als allgemeines Werkzeug zur Behandlung der physikalischen Grundgesetze

Kurt Bräuer
Institut für Theoretische Physik
Universität Tübingen

Einheitliche Grundlage



Einheitliche Behandlung mit ‚FemLab‘

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \Delta u \quad (\text{Schwingungsgleichung Membran})$$

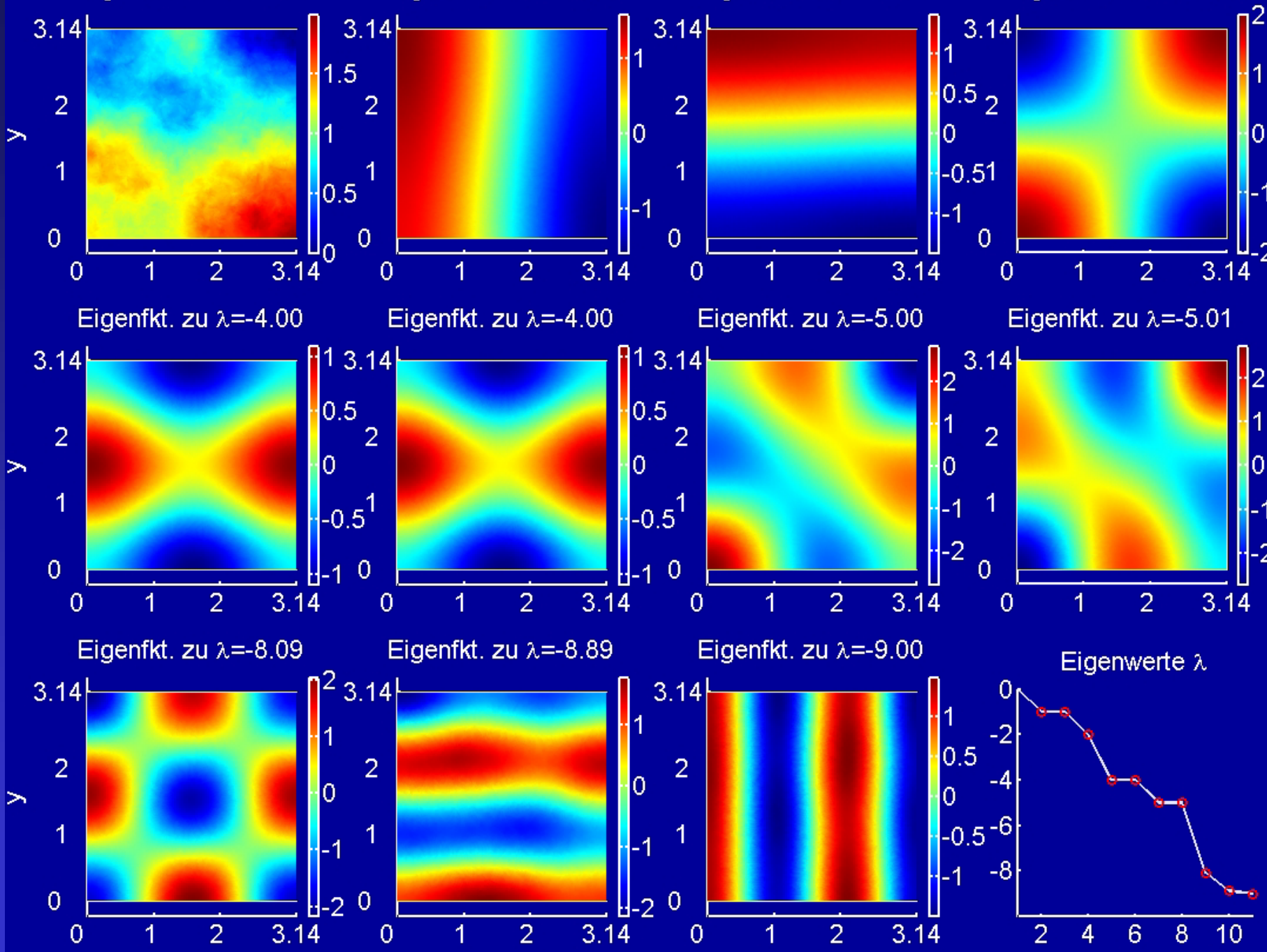
Bewegungsgleichungen:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = v \\ \frac{\partial v}{\partial t} = \Delta u \end{cases}$$

→

‚FemLab‘ Kommandos

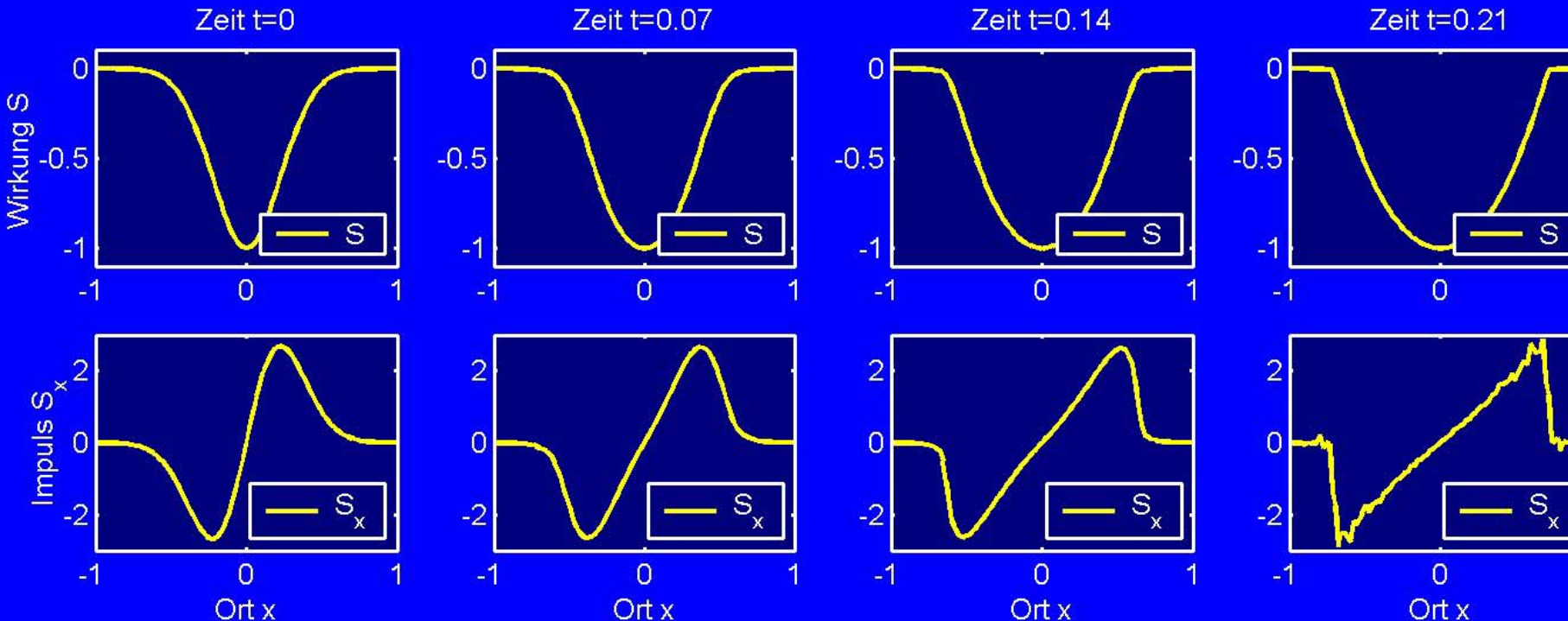
```
fem.geom = rect2(0, pi, 0, pi),
fem.equ.a = {'1'},
fem.equ.f = {'v' 'uxx + uyy'},
fem.bnd.r = {'0' '0'},
fem.sol = femeig('eigs', {'8' '0'}),
postplot(fem, 'tridata', 'u'),
```



Zerfließen einer reinen Wirkung

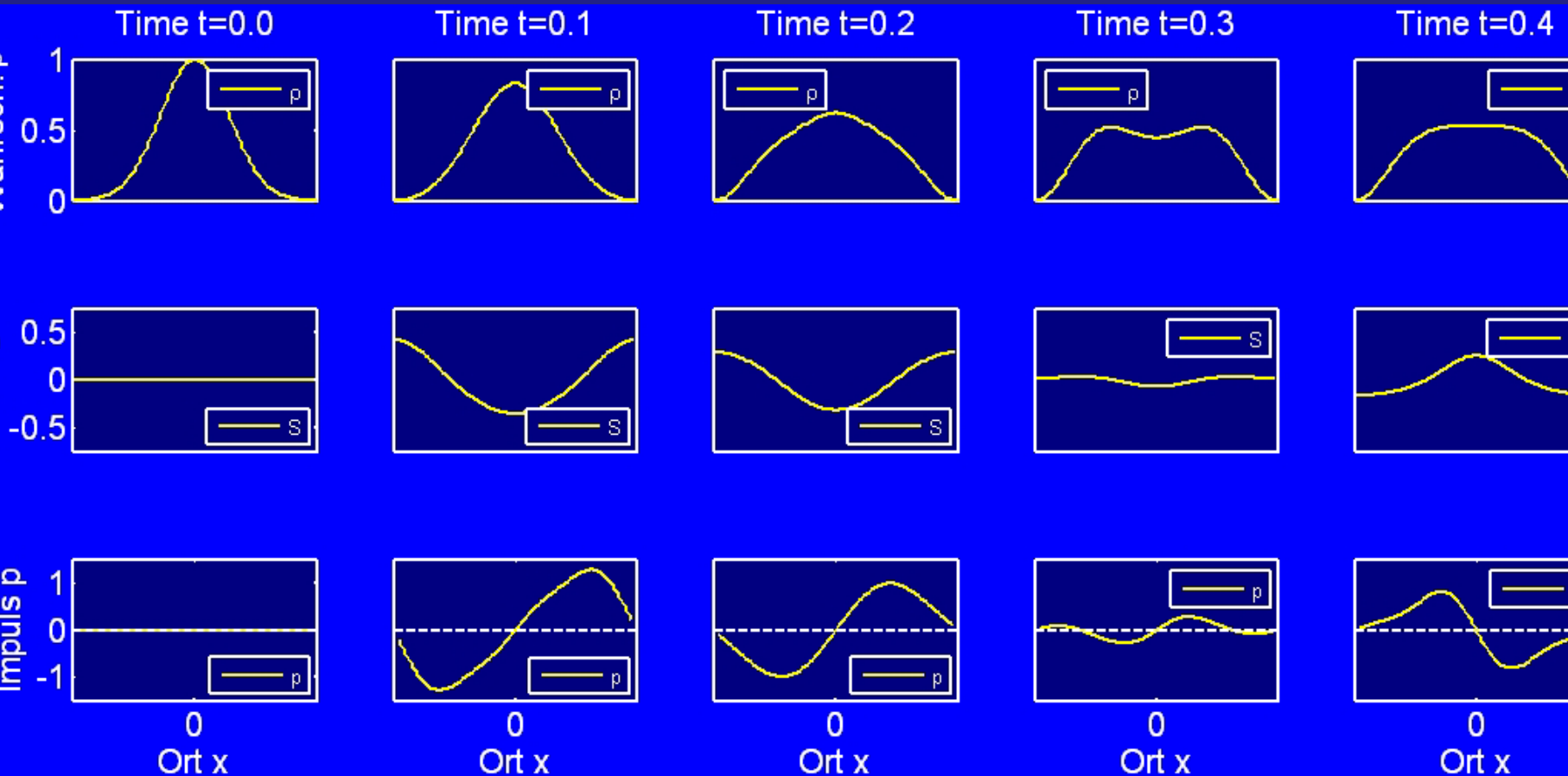
$$\underbrace{\frac{\partial S}{\partial t}}_{\text{zeitl. \u00c4nderung der Wirkung}} + \nabla \cdot \underbrace{\left(\frac{1}{2} S \mathbf{v}\right)}_{\text{Wirkungsstrom}} = \underbrace{\frac{1}{2m} S \Delta S}_{\text{Quellen}} - \underbrace{V}_{=0}$$

(Kontinuit\u00e4t der Wirkung, Kausalit\u00e4t
 \triangleq Hamilton-Jacobi-Gleichung)

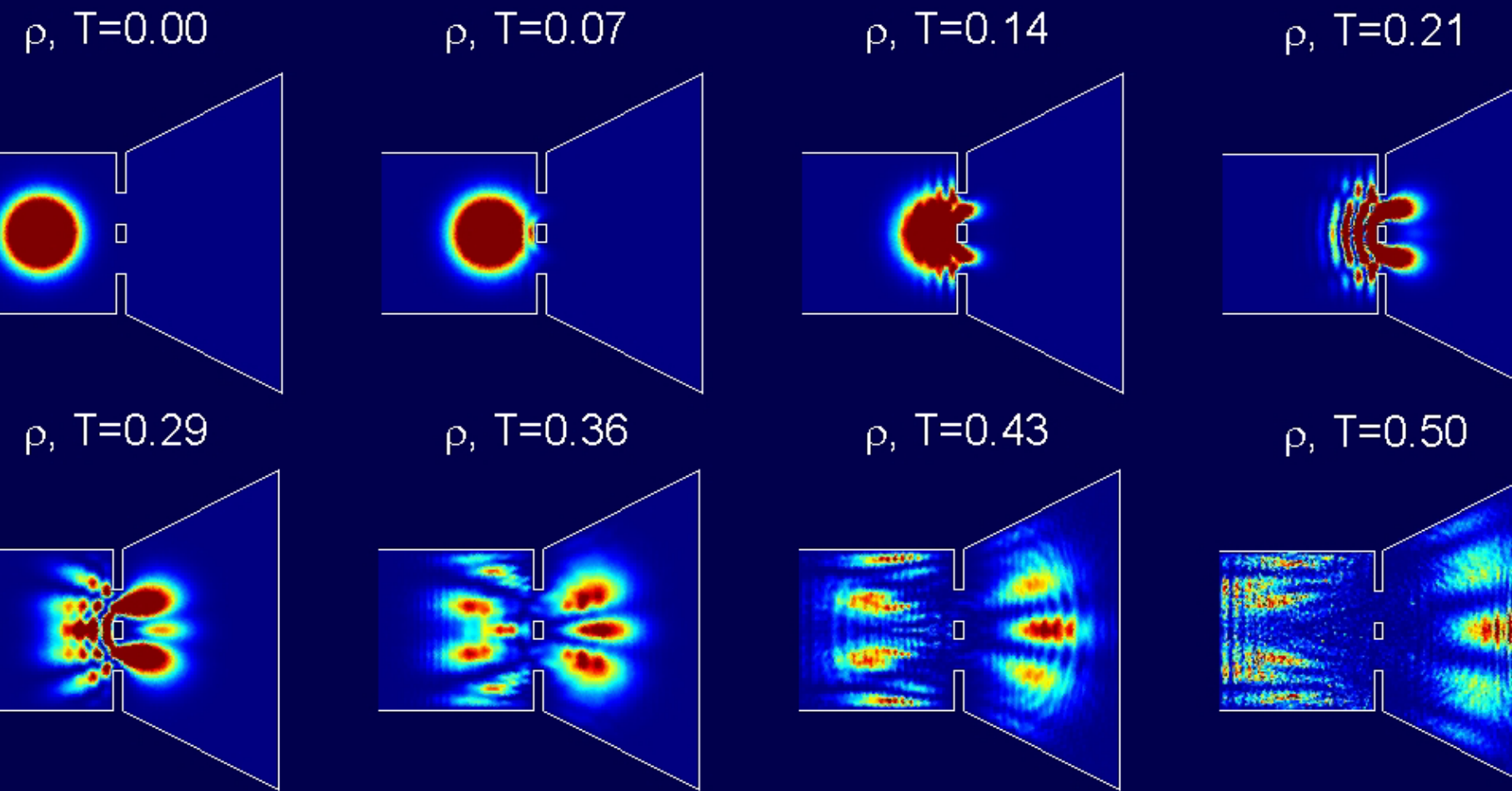


Zerfließen einer unscharfen Wirkung

$$V = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\Delta\sqrt{\rho}}{\rho} \left(\rightarrow \langle E \rangle = \frac{\langle p \rangle^2}{2m} + \frac{\langle (p - \langle p \rangle)^2 \rangle}{2m} \rightarrow \text{Quantenmechanik} \right)$$



QM-Doppelspalt-Experiment



Eichung der Wirkung

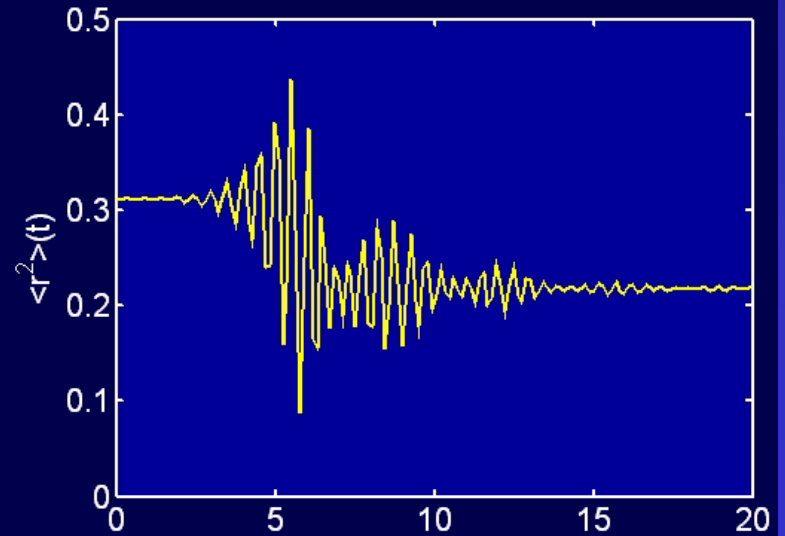
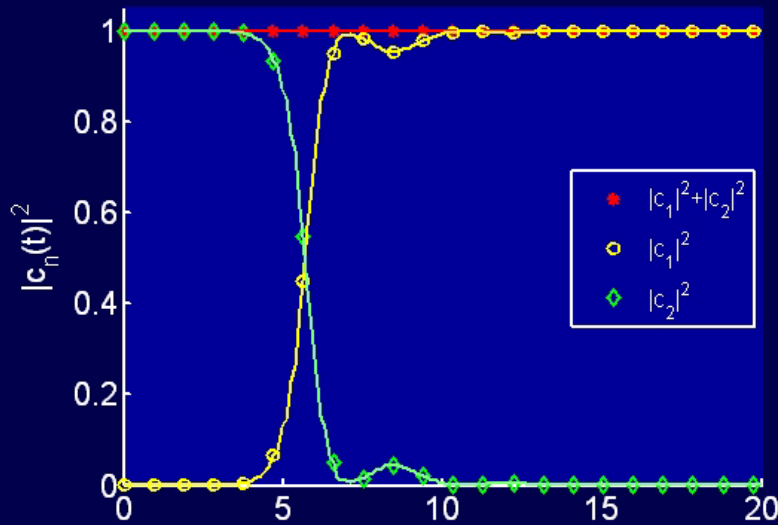
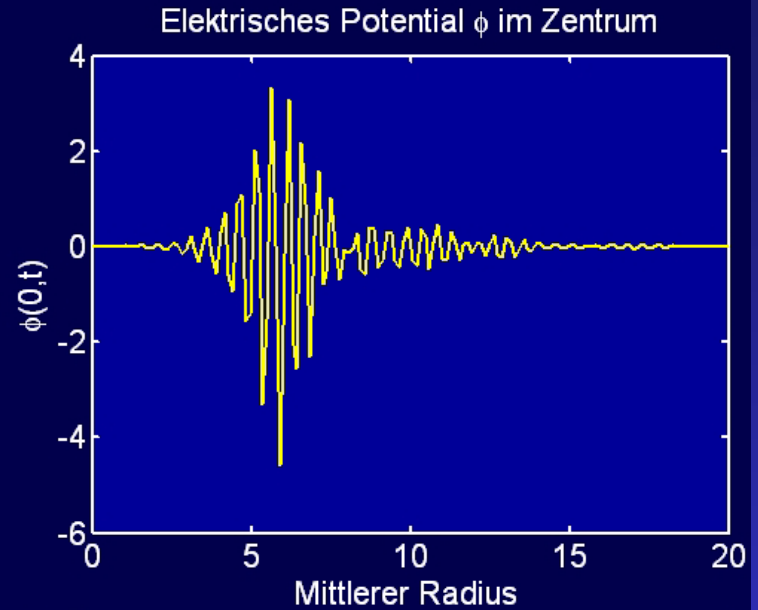
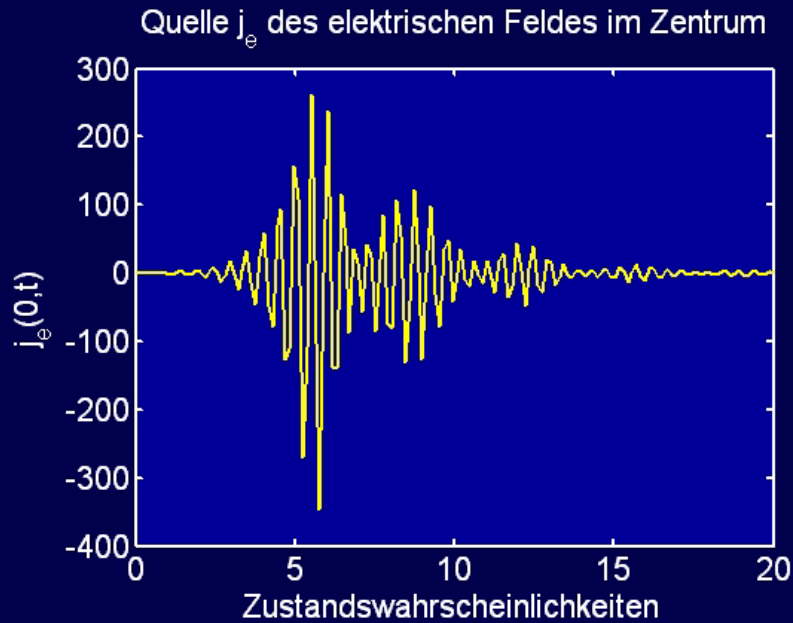
$$S \rightarrow S' = S + S^{(Eich)}$$

$$\text{Relativistische Kontinuität } \partial_\nu \partial^\nu c \underbrace{A_\mu}_{= \partial_\mu S^{(Eich)}} = p_\mu \Rightarrow$$

Maxwell-Gleichungen der Elektrodynamik

- Atomare Strukturen
- Materialkräfte (Spannung, Reibung)

Was ist ein Photon?

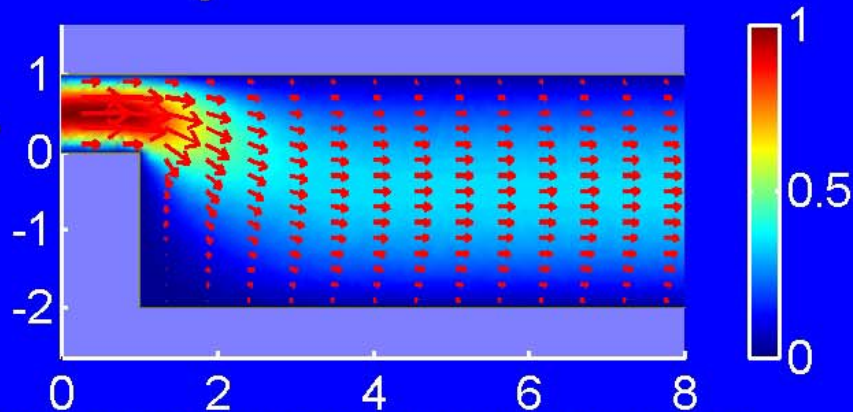


Reibungspotential

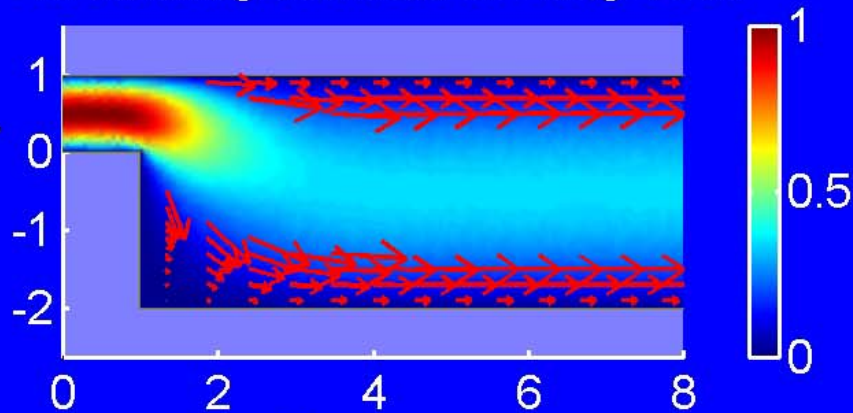
$$V = \frac{\eta}{2} \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right)^2$$

Reynolds-Zahl ~ 1

Geschwindigkeit v und Geschw.Vektoren

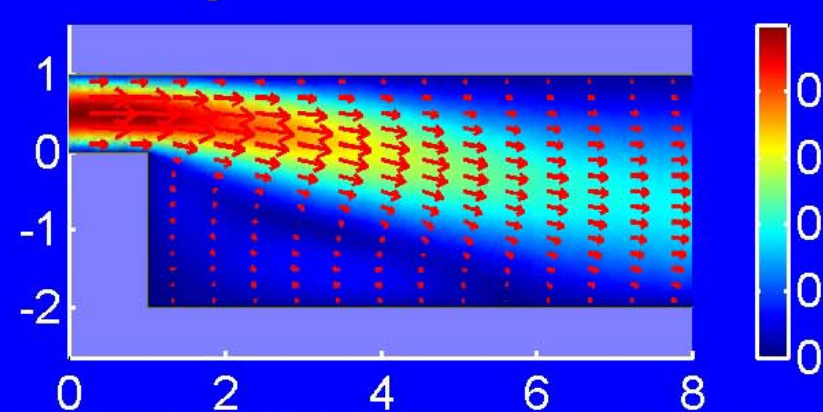


Geschwindigkeitsvektoren vergrößert

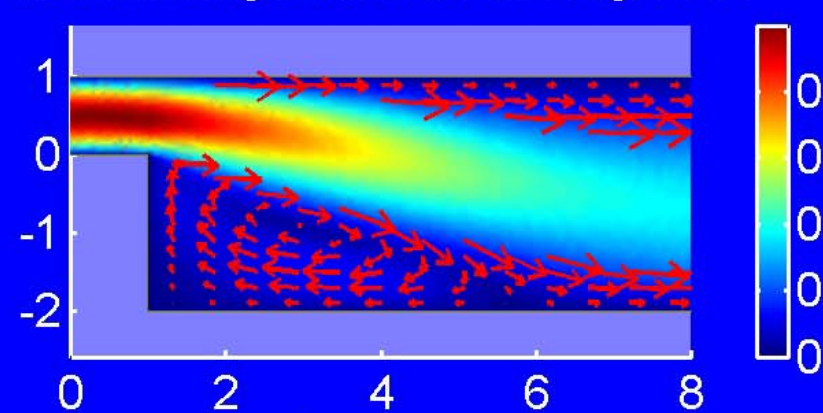


Reynolds-Zahl $\gg 1$

Geschwindigkeit v und Geschw.Vektoren

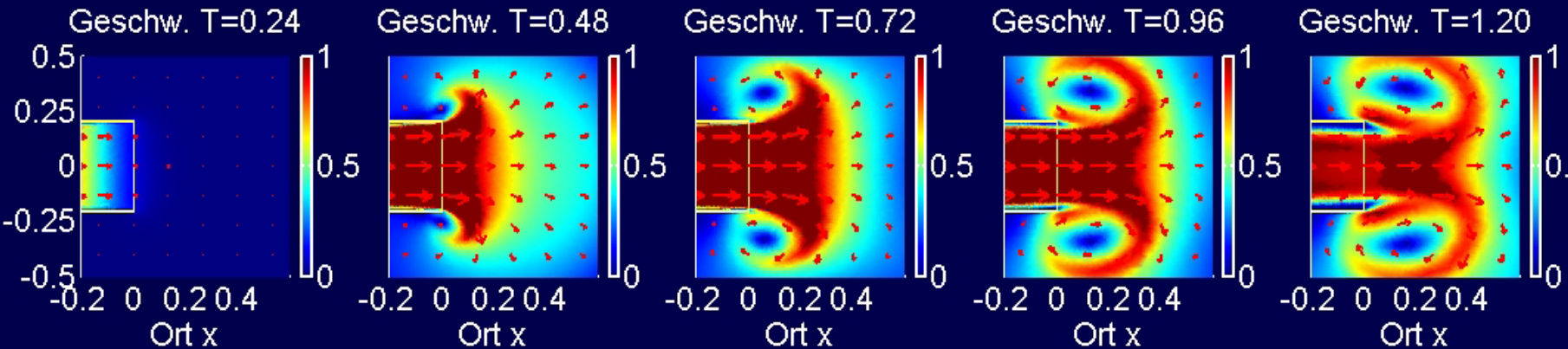


Geschwindigkeitsvektoren vergrößert

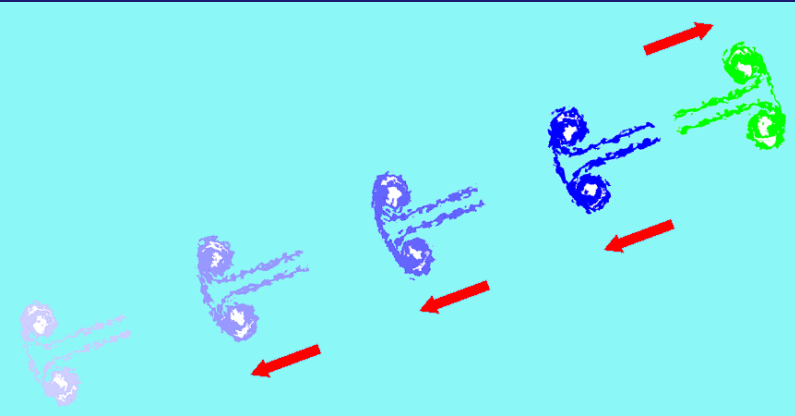


Nichtlinearität, Selbstorganisation

$$\underbrace{\frac{dv(x(t), t)}{dt}}_{\text{Zeitliche Änderung der Geschwindigkeit}} = \underbrace{\frac{\partial v}{\partial t}}_{\text{Zeitliche Änderung des Geschwindigkeitsfeldes}} + \underbrace{\frac{\partial x}{\partial t} \frac{\partial v}{\partial x}}_{\text{Bewegung im Geschwindigkeitsfeld}} = \frac{\partial v}{\partial t} + \underbrace{v \frac{\partial v}{\partial x}}_{\text{Nichtlinearer Term}}$$



Morphogenese der Qualle



Geschwindigkeitsfeld v

