



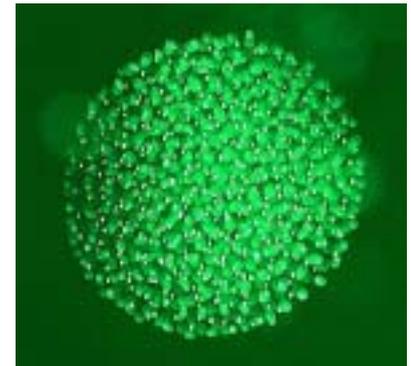
Komplexe Plasmen und Soft Matter

André Melzer

Institut für Physik

Ernst-Moritz-Arndt-Universität

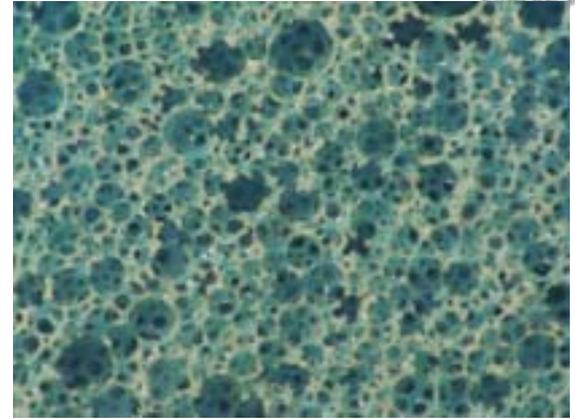
Greifswald



Grundlagenforschung im Weltraum
Wissenschaftliches Symposium, München



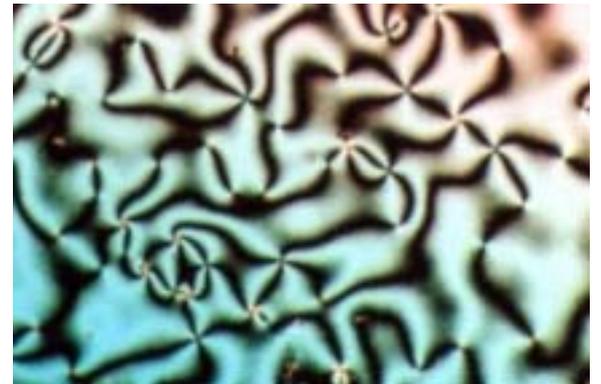
Plastikschaum
wikipedia.org



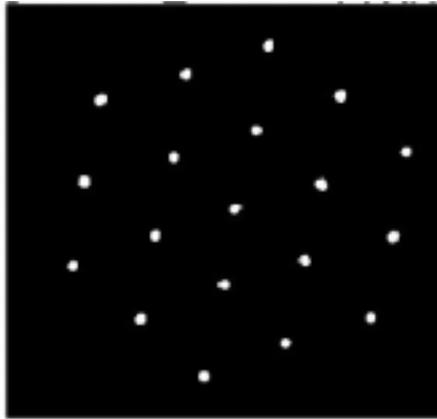
Soft Matter:

- kondensierte Materie
- einfach zu deformieren durch Scherung oder thermische Fluktuationen
- Selbst-Organisation auf mesoskopischer Skala
- Grundlegende physikalische Phänomene, insbesondere aus dem Bereich der Thermodynamik (z. B. **nichtlineare Materialeigenschaften, Phasenübergänge, Glasübergänge, kritische Phänomene**)
- Berührungspunkte zur Biophysik
- Kolloide, Schäume, Gele, granulare Materie
Komplexe Plasmen

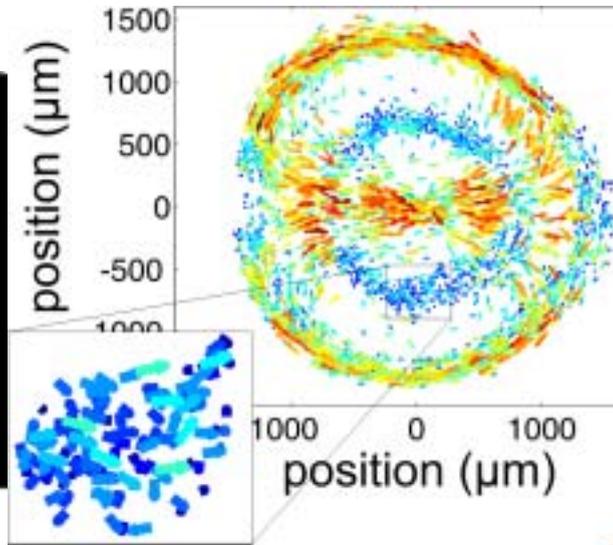
Flüssigkristall
wikipedia.org



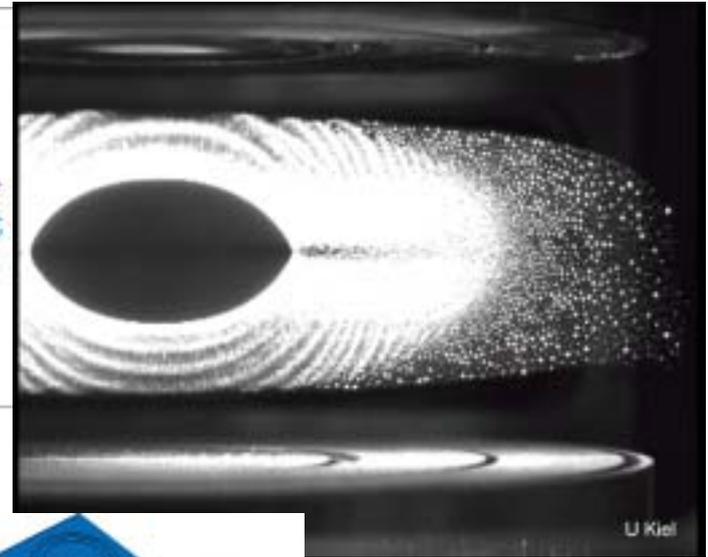
Begrenzte Systeme
geladener Partikel



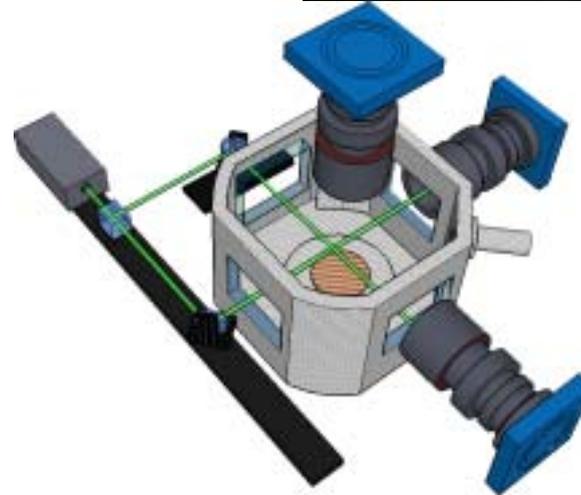
Feste/flüssige Zustände



Dynamik, Transport und Wellen



(Laser-) Manipulation
einzelner Partikel

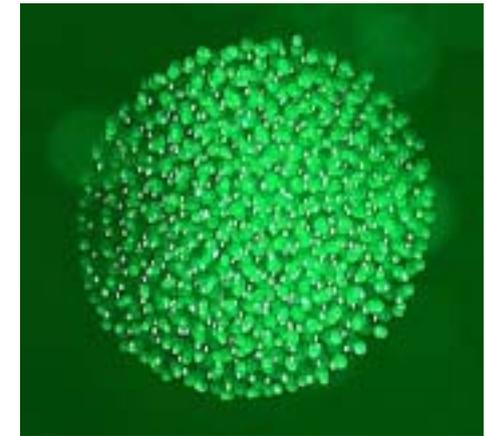
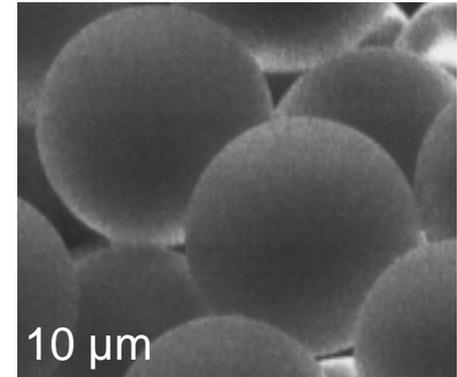


Diagnostik auf
der kinetischen
Ebene mit
3D-Video-
mikroskopie

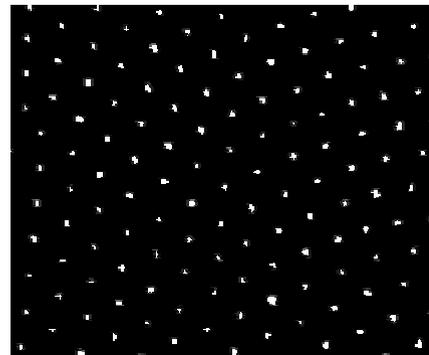
Komplexe (staubige, kolloidale) Plasmen



- ▶ Feste Partikel von Mikrometergröße
- ▶ Ladungen auf den Partikeln:
 - ▶ 10 μm : $10^4 e$
- ▶ Teilchenabstand:
 - ▶ 500 μm
- ▶ Q/m extrem klein
 - ▶ langsame Zeitskalen ($f=10\text{-}100$ Hz)
- ▶ Geringe Dämpfung
- ▶ Stark gekoppelte Systeme



3D



2D

Eine Einführung
in staubige Plasmen:
www5.physik.uni-greifswald.de

Aufladung



$$\sum_q I_q(\Phi_{fl}) = \frac{dQ}{dt} = 0$$

$$\Phi_{fl} = -1.5 \dots -2.5 k_B T_e$$

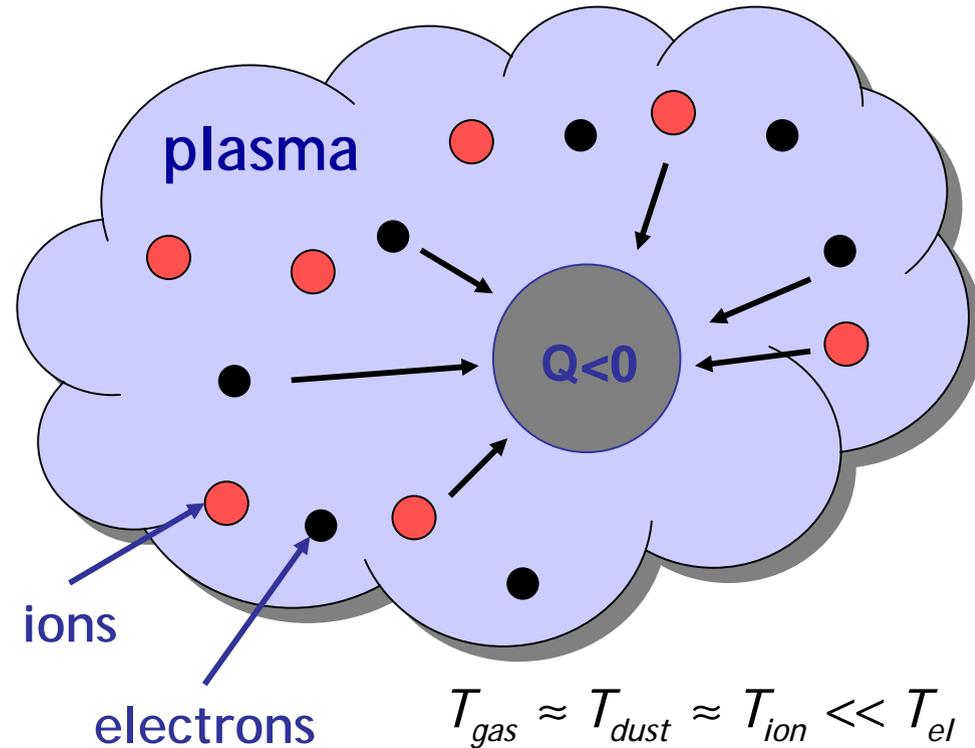
Floatingpotential

$$Q = C\Phi_{fl}$$

$$C = 4\pi\epsilon_0 a$$

Partikel als
Kugelkondensator

$$Q = 10^3 \dots 10^5 e$$



Aber:
Q/m extrem klein

Stark gekoppelte Yukawa-Systeme



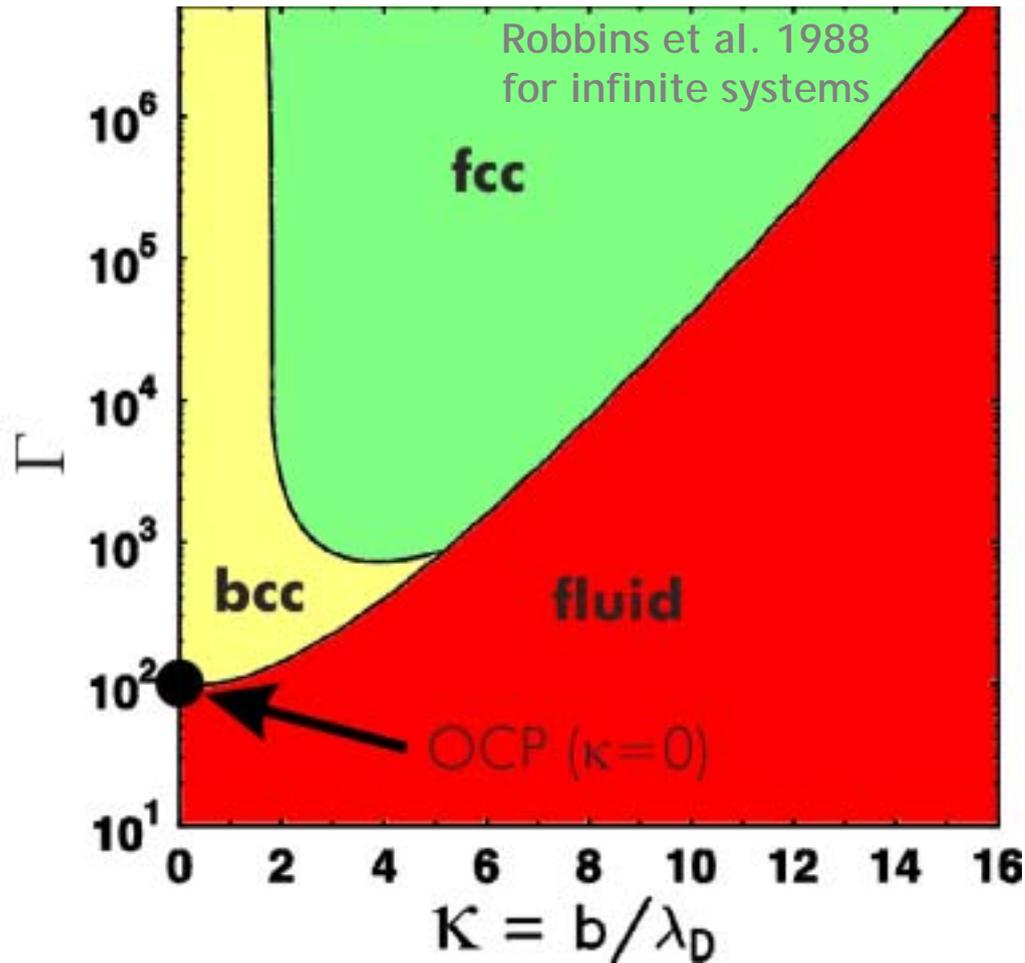
$$\phi(r) = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 r} \exp\left(-\frac{r}{\lambda_D}\right)$$

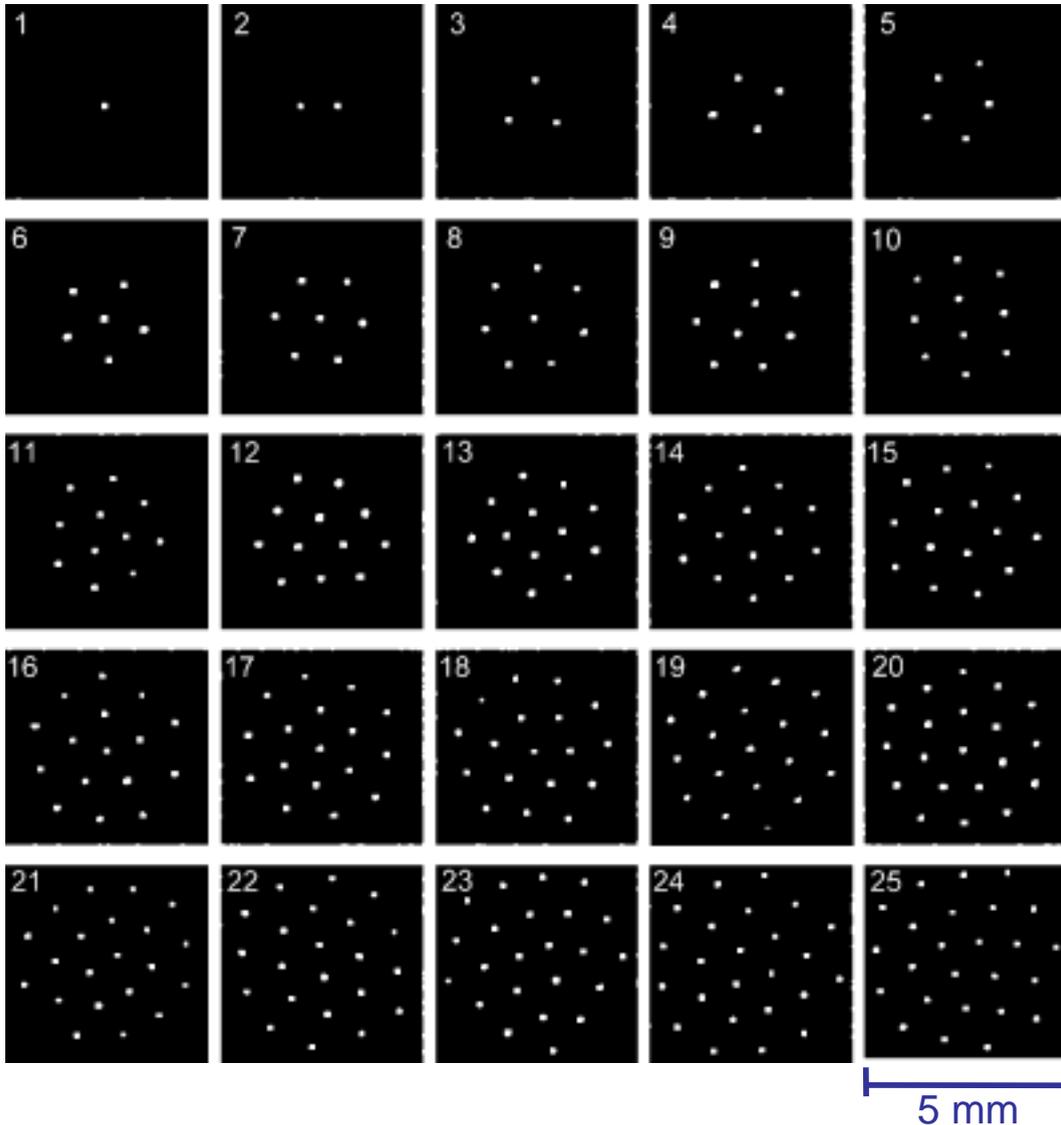
$$\Gamma = \frac{Z^2 e^2}{4\pi\epsilon_0 b kT} \frac{1}{\lambda_D}$$

Coulomb-
Kopplungsparameter

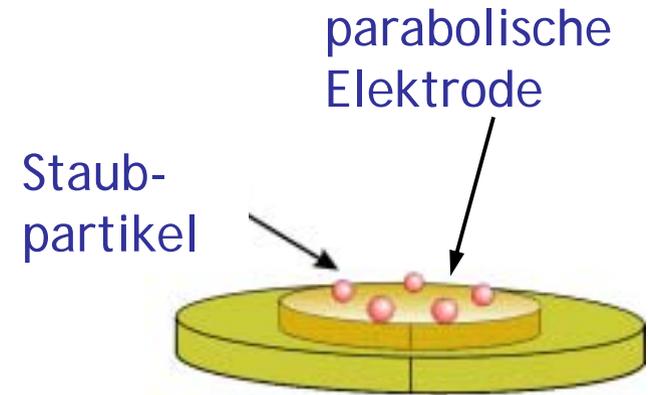
$$\kappa = \frac{b}{\lambda_D} \approx 1$$

Abschirmstärke





„Periodensystem“
der 2D-Cluster



2D: Cluster (N=3)



Direkte Beobachtung der
thermischen
Brownschen Bewegung
der Partikel

Videsequenz
1500-2000 Bilder

$$\Rightarrow \vec{r}_i(t), \vec{v}_i(t) \quad i = 1 \dots N$$

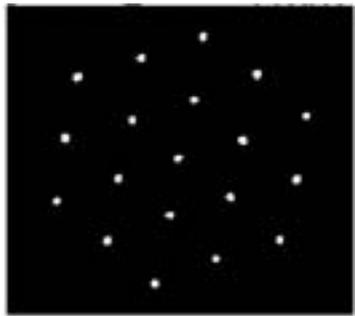
$$f_\ell(t) = \sum_{i=1}^N \vec{v}_i(t) \cdot \vec{e}_{i,\ell} \rightarrow S_\ell(\omega) \propto \left| \int f_\ell(t) e^{i\omega t} dt \right|^2$$

Spektrale
Leistungsdichte

2D: Modenspektrum N=19 (1,6,12)

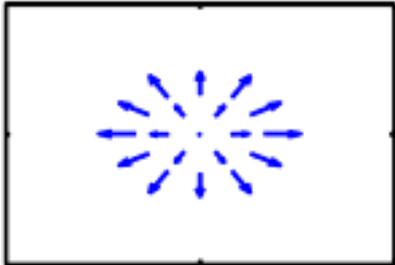


Vollständige Information über die dynamischen Eigenschaften

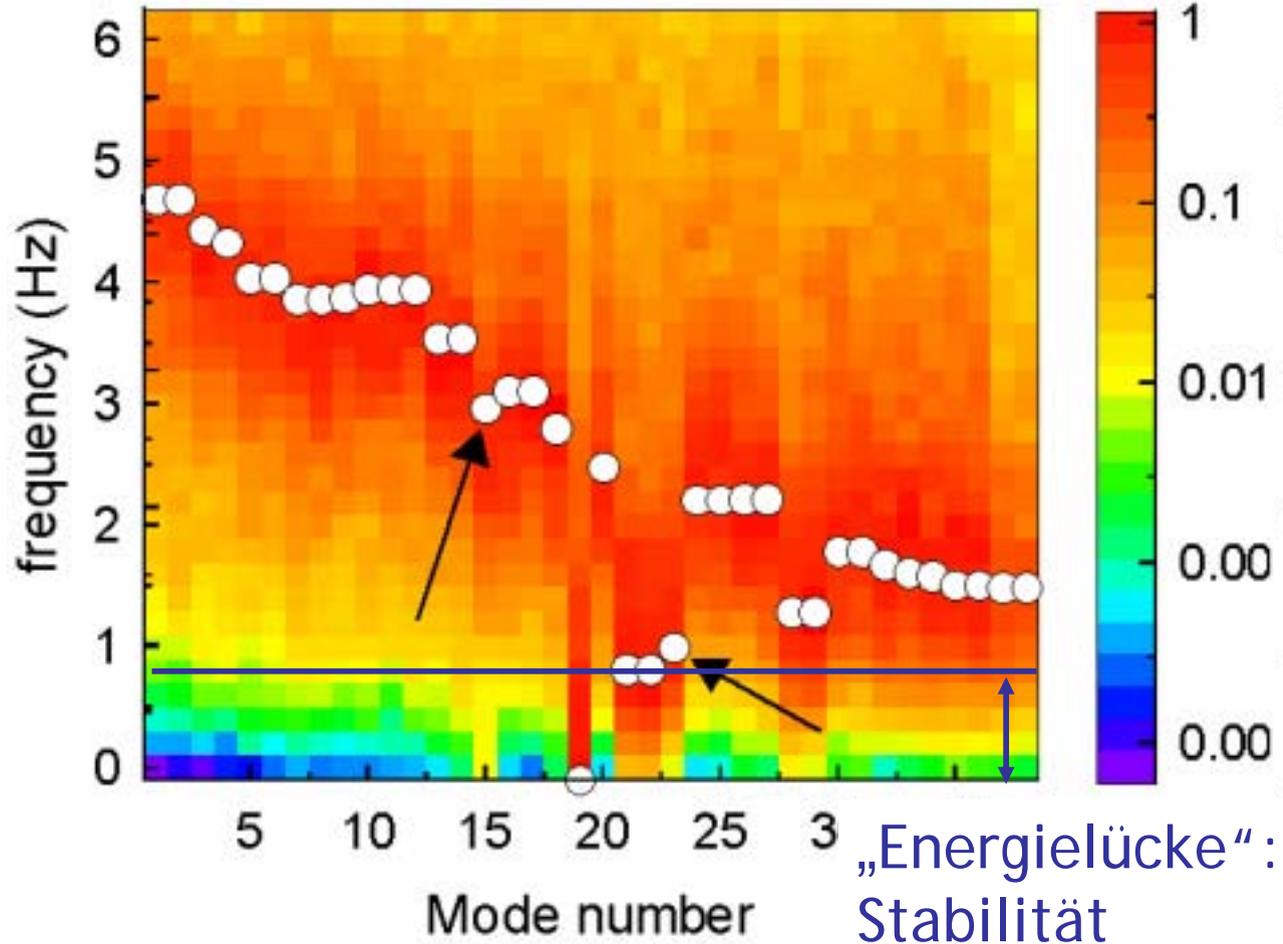
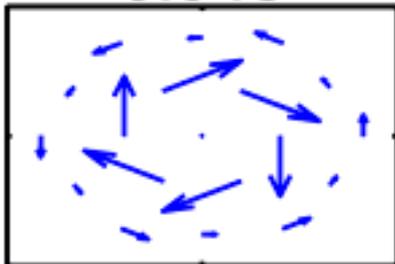


N=19 (1,6,12)

7.43



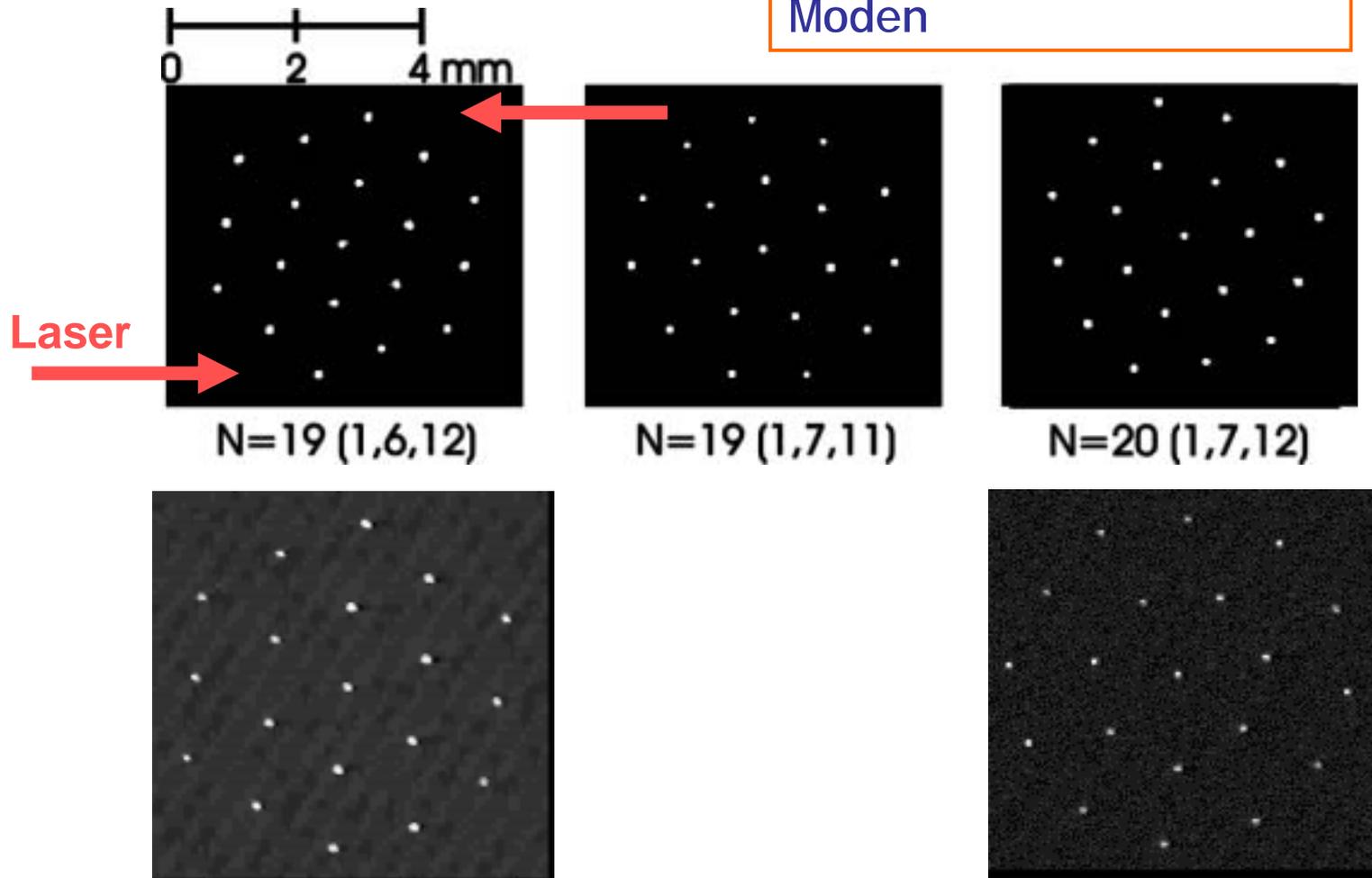
0.948



2D: Intershell-Rotation



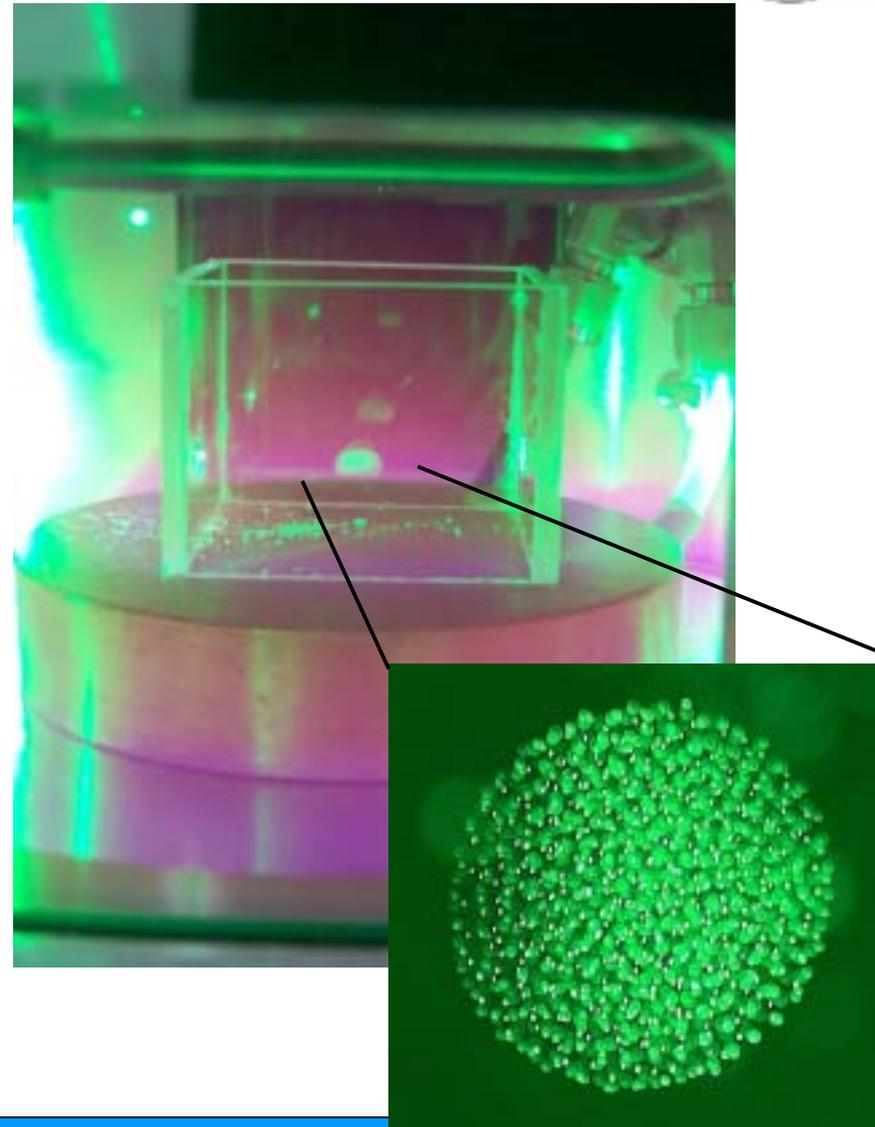
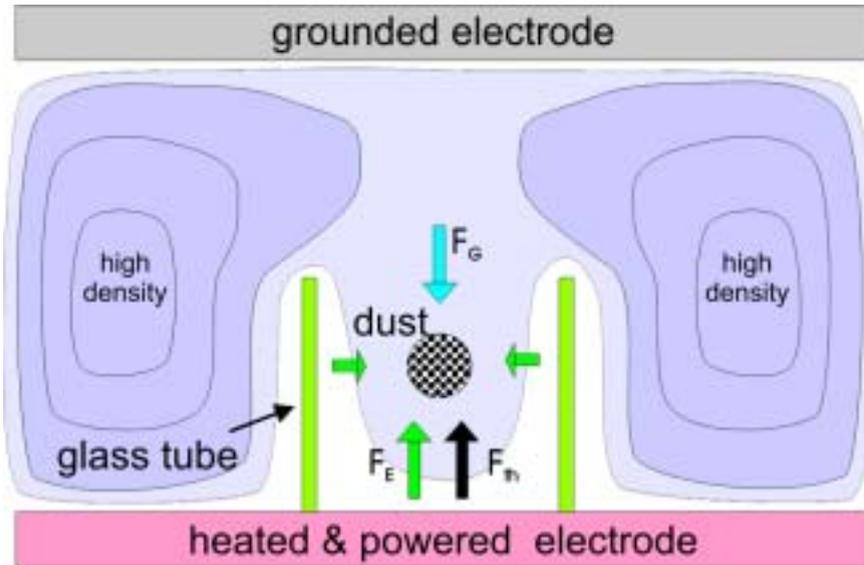
Laseranregung einzelner Moden

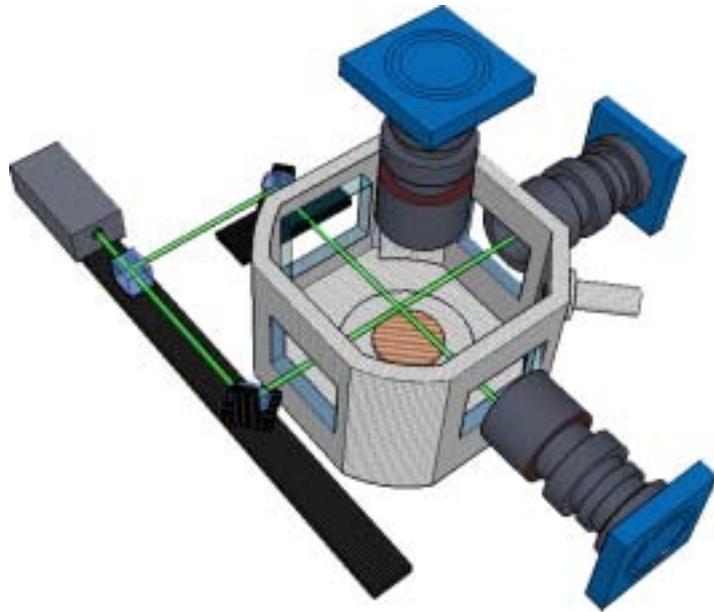


3D: Prinzip des Einfangs



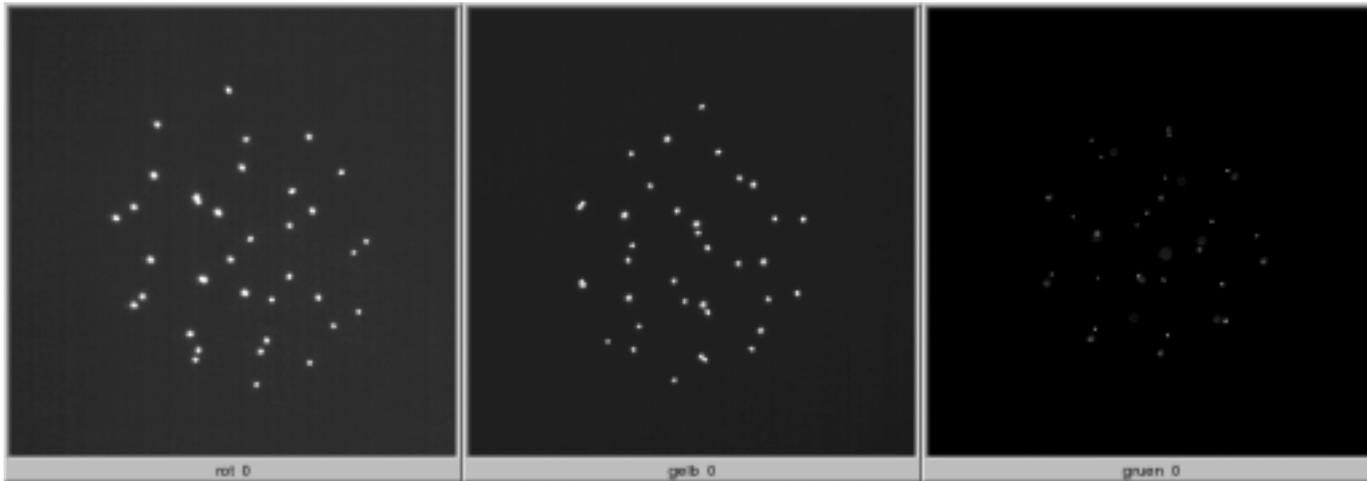
Arp et al. 2004



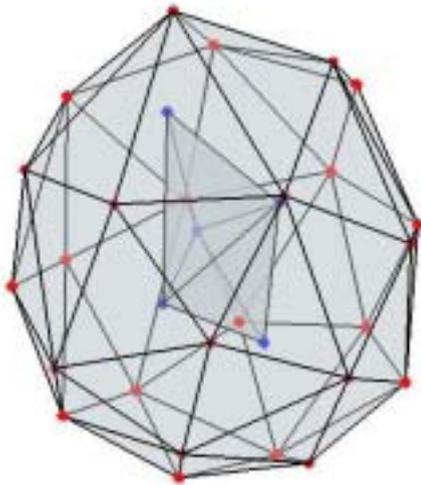


Diagnostiken mit
hoher räumlicher und
zeitlicher Auflösung

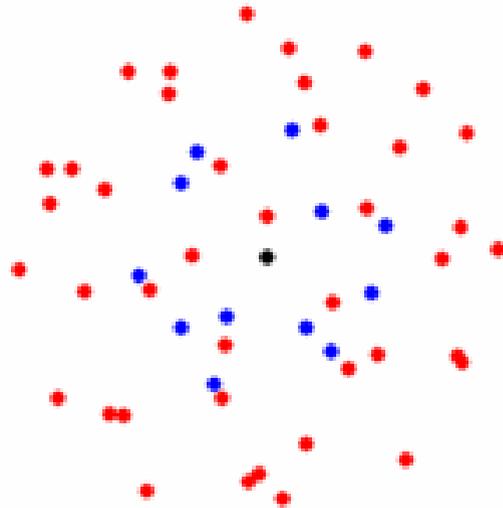
Alternativer Zugang:
Digitale Holographie
D. Block, Uni Kiel



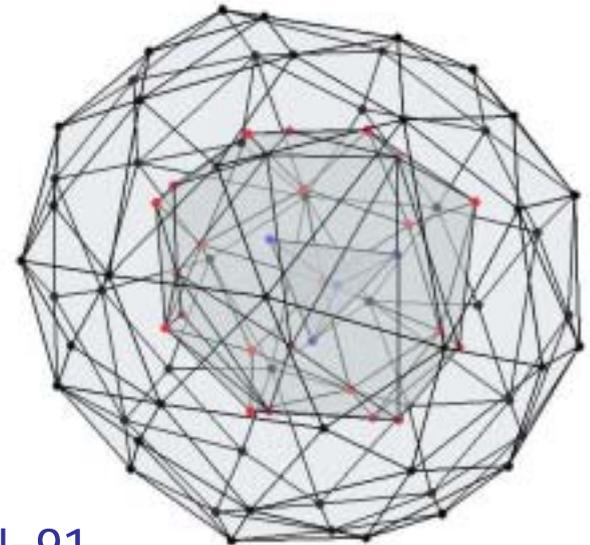
Detaillierte Struktur-Untersuchungen



N=31
(5,26)



N=54
(1,12,41)



N=91
(4,25,62)

Experimente auf Parabelflügen

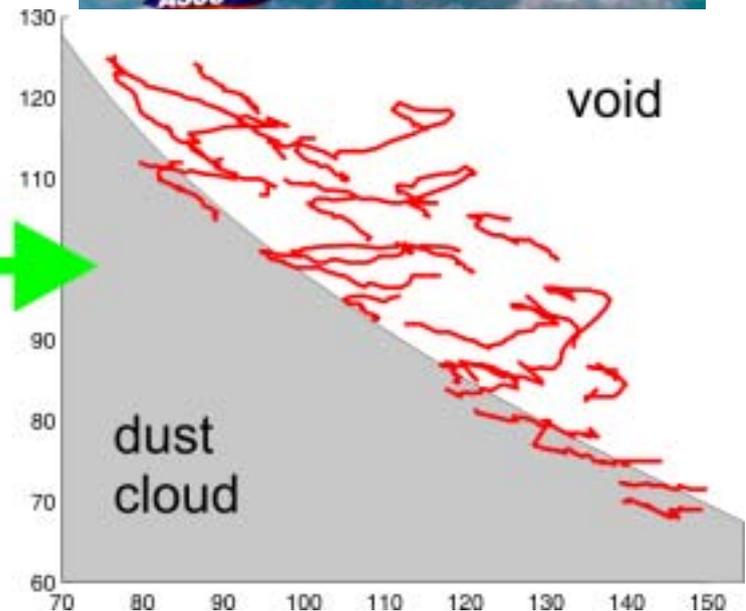
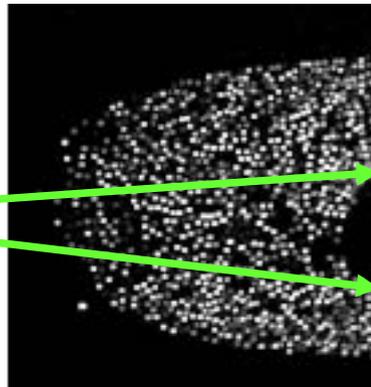


Lasermanipulation von Partikeln unter Microgravity



Galvanometer-
spiegel

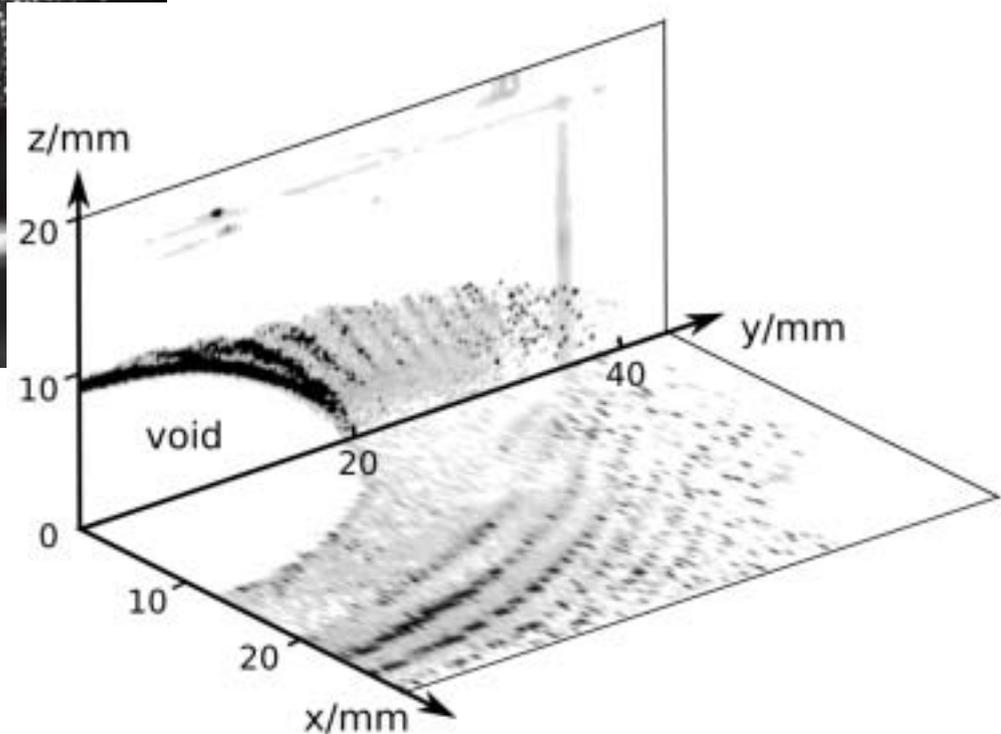
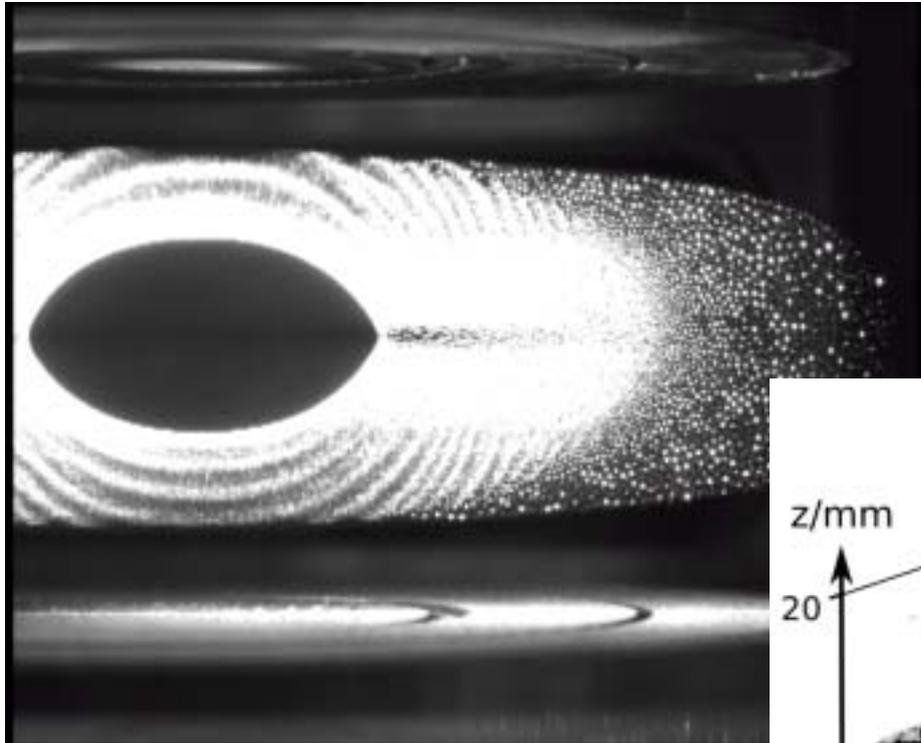
laser
beam



Wellen in staubigen Plasmen unter μg



Wellenfronten in 3D
unter Microgravity
(O. Arp, Uni Kiel)





- ✓ Maßgeschneiderter Einfang:
 - ✓ Finite Systeme in 1D, 2D, 3D
 - ✓ Ausgedehnte Systeme
- ✓ Direkte Manipulation der Partikel
 - ✓ Laser
 - ✓ Elektrische, thermische Kräfte, ...
- ✓ Phänomene beobachtbar auf der kinetischen Ebene einzelner Partikel
 - ✓ Thermische Bewegung
 - ✓ Wellen
 - ✓ Defekte etc.
- ✓ Hochauflösende Diagnostik
 - ✓ räumlich (mikroskopisch-mesoskopisch-makroskopisch)
 - ✓ zeitlich (alle relevanten zeitlichen Skalen)
- ✓ schwache Dämpfung



- Selbstorganisation von mikroskopischer über mesoskopische zu makroskopischer Skala
 - **Strukturbildung: fest-flüssig-gasförmig**
- Grundlegende physikalische Phänomene, insbesondere Thermodynamik:
 - **nichtlineare Materialeigenschaften**
 - **Phasenübergänge**
 - **Glasübergänge**
 - **kritische Phänomene**
 - **(Anomale) Diffusion**
 - **Grenzflächen ...**
- Technologische Anwendungen
 - **Ätzen in reaktiven Gasen**
 - **Dünne Schichten**
 - **Staub in Fusionsanlagen**
- **Astrophysik**
- **Biophysikalische Aspekte**

Weltraum (Schwerelosigkeit):

- **keine Sedimentation in die Randschicht**
- **ausgedehnte Staubwolken (3D-Effekte)**
- **Parabelflüge, PK3+, PK4**
- **Plasmalab**