

# Strings und Filamente: Von Vortizes zu Biopolymeren

Populärwissenschaftlicher Abstract  
zur Habilitationsschrift von Dr. Jan Kierfeld

## 1 Deutsch

Auf verschiedensten Gebieten der modernen Physik spielen Materialien eine große Rolle, die sich nicht aus einzelnen punktförmigen Atomen sondern aus linienartigen Objekten zusammensetzen. Beispiele sind Polymermaterialien aber auch magnetische Flusslinien, die in bestimmte (so genannte Typ-II) Supraleiter eindringen können, wo sie ein geordnetes Vortexliniengitter ausbilden. Solche linienartigen Objekte können ganz allgemein als „Strings“ oder „Filamente“ klassifiziert werden, wobei die Fluktuationen von Strings durch ihre Spannungsenergie und die Fluktuationen von Filamenten durch ihre Biegeenergie bestimmt werden. Das Vortextgitter in einem Supraleiter stellt ein Ensemble von Strings dar, dessen Verständnis für technologische Anwendungen von Hochtemperatur-Supraleitern wesentlich ist. Biopolymere im Zellskelett sind dagegen ein Ensemble von Filamenten, das die mechanischen Eigenschaften biologischer Zellen bestimmt. Beide Systeme sind Beispiele „weicher“ Materie, in der starke Fluktuationen auftreten, die in beiden Linienensembles zu einem komplexen Materialverhalten führen. Die theoretische Beschreibung dieser Materialeigenschaften stellt eine Herausforderung an die statistische Physik dar und wird in der vorliegenden Habilitationsschrift untersucht.

In der Arbeit werden die Vortexphasen in Typ-II Supraleitern zunächst durch phänomenologische, so genannte Lindemann-Schmelzkriterien beschrieben. Darüber hinaus wird eine vollständige theoretische Beschreibung im Rahmen einer Dislokationstheorie präsentiert. Für Supraleiter, die kolumnare Defekte enthalten, wird ein neuartiger Schmelzmechanismus vorgestellt.

Für Adsorptions- und Bündelungsübergänge von Filamenten des Zytoskeletts wird eine vollständige theoretische Beschreibung gegeben. Darüber hinaus werden verschiedene Manipulationsexperimente mit Filamenten, z.B. in Mikrofluidik-Kanälen, bei kraftinduzierter Desorption oder auf strukturierten Substraten, theoretisch und quantitativ modelliert. Schließlich wird eine Theorie für Ordnungsphänomene in „Motility Assays“ entwickelt, die durch aktive Fluktuationen in Wechselwirkung mit Motorproteinen herrühren.

## 2 English

In various fields of modern physics materials that are not built from point-like atoms but from line-like objects play a central role. Examples are provided by polymeric materials but also by magnetic flux lines, which penetrate certain (so-called type-II) superconductors, where they form an ordered vortex lattice. In general, such line-like objects can be classified as "strings" or "filaments", where fluctuations of strings are dominated by tension whereas fluctuations of filaments are dominated by bending energy. The vortex lattice in a superconductor is an ensemble of strings that is essential for technological applications of high- $T_c$  superconductors. Biopolymers in the cytoskeleton are an ensemble of filaments, which governs the mechanical properties of biological cells. Both systems are "soft" matter and exhibit strong fluctuations giving rise to complex material properties. The theoretical description of these material properties represents a challenge to statistical physics and is studied in the present thesis.

Vortex phases in type-II superconductors are first analyzed using phenomenological, so-called "Lindemann" melting criteria. Then a complete theoretical description is given within the framework of a dislocation theory. A novel melting mechanism is presented, which is effective in superconductors containing columnar defects.

A complete theoretical description of adsorption and bundling transitions of Cytoskeletal filaments is given. Furthermore, various different single filament manipulation experiments, e.g., filaments in microfluidic channels, in force-induced desorption or on structured substrates, are theoretically modelled and quantitatively analyzed. Finally, a theory for ordering phenomena in "motility assays" is developed, which are governed by active fluctuations from interactions with motor proteins.