

WAS IST WEICHE MATERIE?

Clemens Jochum

clemens.jochum@tuwien.ac.at

Abstract

Was haben Druckertinte, menschliche Zellen und Bierschaum gemeinsam? Alle diese Substanzen fallen unter den Begriff „weiche Materie“. Typisch für weiche Materie ist, dass deren flexible aber stabile Struktur durch vergleichsweise schwache Kräfte bestimmt wird und diese somit stark von Umgebungsbedingungen wie zum Beispiel der Temperatur abhängt. Außerdem weisen Systeme der weichen Materie bemerkenswerte Fähigkeiten von Selbst-Organisation auf mesoskopischen Längenskalen auf.

Überblick über die weiche Materie

Die Wissenschaft der weichen Materie ist ein Untergebiet der kondensierten Materie – der Wissenschaft über kondensierte (feste und flüssige) Phasen der Materie – und ist als eigenständiges Forschungsgebiet vergleichsweise jung. Als Gründervater dieser Wissenschaft gilt Pierre-Gilles de Gennes, der für seine Arbeit über Flüssigkristalle und Polymere im Jahr 1991 den Nobelpreis für Physik verliehen bekam.¹

Die Festkörperphysik – ein anderes Untergebiet der kondensierten Materie – spezialisiert sich auf die Beschreibung auf der mikroskopischen Ebene und baut wegen dieser kleinen Längen- und Zeitskalen auf der Quantentheorie auf. Die weiche Materie hingegen spielt sich vor allem auf mesoskopischen Skalen – also zwischen mikro- und makroskopischen Skalen – im Bereich von Nano- und Mikrometer ab und kommt zumeist mit klassischer Physik aus.

In Systemen der weichen Materie organisieren sich die mikroskopischen Teilchen oftmals spontan in komplexen mesoskopischen Anordnungen, die dem Material auf makroskopischer Ebene seine Eigenschaften geben aber auf ebendieser Ebene nicht erkennbar sind. Dies erschwert die Vorhersage der makroskopischen Materialeigenschaften aus der Kenntnis der Attribute der mikroskopischen Eigenschaften, wie es in der Festkörperphysik üblicherweise praktiziert wird. Das Merkmal, dass nicht die Beschaffenheit der einzelnen Konstituenten sondern vor allem das Zusammenspiel einer großen Anzahl an Konstituenten die Materialeigenschaften bestimmt, wird „Emergenz“ genannt und ist eine der Faszinationen der weichen Materie.²

Die meisten untersuchten Systeme in der weichen Materie lassen sich nur bedingt einem der Aggregatzustände „fest“ oder „flüssig“ zuordnen. So ist zum Beispiel der sogenannte „Glasübergang“ Ziel besonders intensiver Forschung, unter anderem weil Glas – ein Feststoff – strukturell starke Ähnlichkeiten zu unterkühlten Flüssigkeiten aufweist.^{3,4}

Die Weichheit der weichen Materie ist anderem ein Resultat der vergleichsweise schwachen (Bindungs-)Kräfte, welche von der Größenordnung der thermischen Energien sind. De Gennes schrieb, dass Systeme weicher Materie große Antwortfunktionen haben, was bedeutet, dass sie auf äussere

Einflüsse mit großer interner Veränderung antworten.⁵ „Weich“ bedeutet in diesem Kontext also eher so etwas wie „empfindlich“ oder „sensitiv“ als weich in taktile Hinsicht. Daher reagieren solche Systeme auch empfindlich auf thermische Fluktuationen.

Das Verbindende an diesen unterschiedlichsten untersuchten Systemen, e.g., Gele, kolloidale Suspensionen, Elastomere, ist, dass sie sich als Modellsysteme zur Untersuchung grundlegender Phänomene aus dem Bereich der statistischen Physik und der Thermodynamik eignen. Hierbei sind insbesondere Phänomene der Selbstorganisation, Phasenübergänge und kritische Phänomene zu erwähnen.

Die mathematisch-physikalische Beschreibung solcher Phänomene auf mesoskopischer Ebene ist oftmals auf makroskopische Systeme übertragbar. So ist beispielsweise das Schwarmverhalten mikroskopischer aktiver Materie ähnlich zu beschreiben wie das von Vogelschwärmen. Aufgrund der Breite dieses wissenschaftlichen Gebietes existieren etliche Berührungspunkte mit verwandten Gebieten wie Medizin, Biophysik, und Chemie, aber auch mit entfernteren Gebieten wie Komplexitätstheorie und Nanotechnologie.

Beispiele für weiche Materie

- Komplexe Fluide: Komplexe Fluide sind binäre Stoffgemische, in denen zwei Phasen koexistieren und die zumeist auf makroskopischen Skalen homogen erscheinen. Blut, beispielsweise, besteht aus flüssigen Blutplasma, das wiederum primär aus Wasser besteht, und aus den festen Erythrozyten, weshalb es gelegentlich auch als „flüssiges Gewebe“ bezeichnet wird. In großen Blutgefäßen wie der Aorta fließen die Erythrozyten im Zentrum während an den Gefäßwänden nur Plasma fließt. Währenddessen sind die Blutkapillaren so eng, dass sich Erythrozyten verformen müssen und im Gänsemarsch fließen. Diese und andere besondere Eigenschaften des Blutes ergeben das komplexe Verhalten dieser Flüssigkeit. Andere Beispiele für komplexe Fluide beinhalten unter anderem Schleim und diverse Kosmetikprodukte.
- Aktive Materie: Aktive Materie besteht aus sogenannten „Agenten“, die Energie konsumieren um sich zu bewegen oder um mechanische Kraft auszuüben. Aufgrund dieses Energiekonsums muss ein System aktiver Materie mit „Nahrung“ versorgt werden um einen Zustand aufrechtzuerhalten. Folglich sind solche Systeme nicht im thermischen Gleichgewicht und müssen mittels Methoden der statistischen Physik von Nichtgleichgewichts-Systemen beschrieben werden.⁶ Die meisten Beispiele stammen aus der Biologie, zum Beispiel Bakterienkolonien und zelluläres Gewebe, aber es werden auch immer mehr synthetische Systeme, wie zum Beispiel selbst-katalytische Kolloide, hergestellt.⁶ Aber auch makroskopische Lebewesen (Vögel) und deren Schwarmverhalten kann mittels den Methoden der aktiven Materie beschrieben werden.⁷
- Kolloidale Suspensionen: Milch ist eine Suspension von emulgierten Kolloiden aus Milchfett. Auf den ersten Blick scheint Milch eine ruhige und geschmeidige Flüssigkeit zu sein. Aber ein Blick ins Mikroskop bringt die Fett-Kügelchen und Proteine, die aufgrund der

Brownschen Molekularbewegung auf zufälligen Pfaden herumschwirren, zum Vorschein. Dieser wilde Tanz entsteht durch die bereits erwähnten thermischen Fluktuationen im System. Andere Beispiele für kolloidale Suspensionen beinhalten unter anderem Mayonnaise und Latexfarbe.

Literatur

- ¹P.-G. de Gennes, „Soft matter (nobel lecture)“, *Angewandte Chemie International Edition in English* 31, 842–845 (1992).
- ²P. W. Anderson, „More is different“, *Science* 177, 393–396 (1972).
- ³L. Berthier und G. Biroli, „Theoretical perspective on the glass transition and amorphous materials“, *Rev. Mod. Phys.* 83, 587–645 (2011).
- ⁴J. Jackle, „Models of the glass transition“, *Reports on Progress in Physics* 49, 171 (1986).
- ⁵P.-G. de Gennes, „Soft matter: more than words“, *Soft Matter* 1, 16–16 (2005).
- ⁶É. Fodor und M. C. Marchetti, „The statistical physics of active matter: from self-catalytic colloids to living cells“, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* (2017) 10.1016/j.physa.2017.12.137.
- ⁷M. Ballerini, N. Cabibbo, R. Candelier, A. Cavagna, E. Cisbani, I. Giardina, V. Lecomte, A. Orlandi, G. Parisi, A. Procaccini, M. Viale und V. Zdravkovic, „Interaction ruling animal collective behavior depends on topological rather than metric distance: evidence from a field study“, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, 1232–1237 (2008).