



Der Nobelpreis wird die Blauweiße Metallmünze des Nobel-Stiftung

# Die rätselhafte Landschaft topologischer Materie

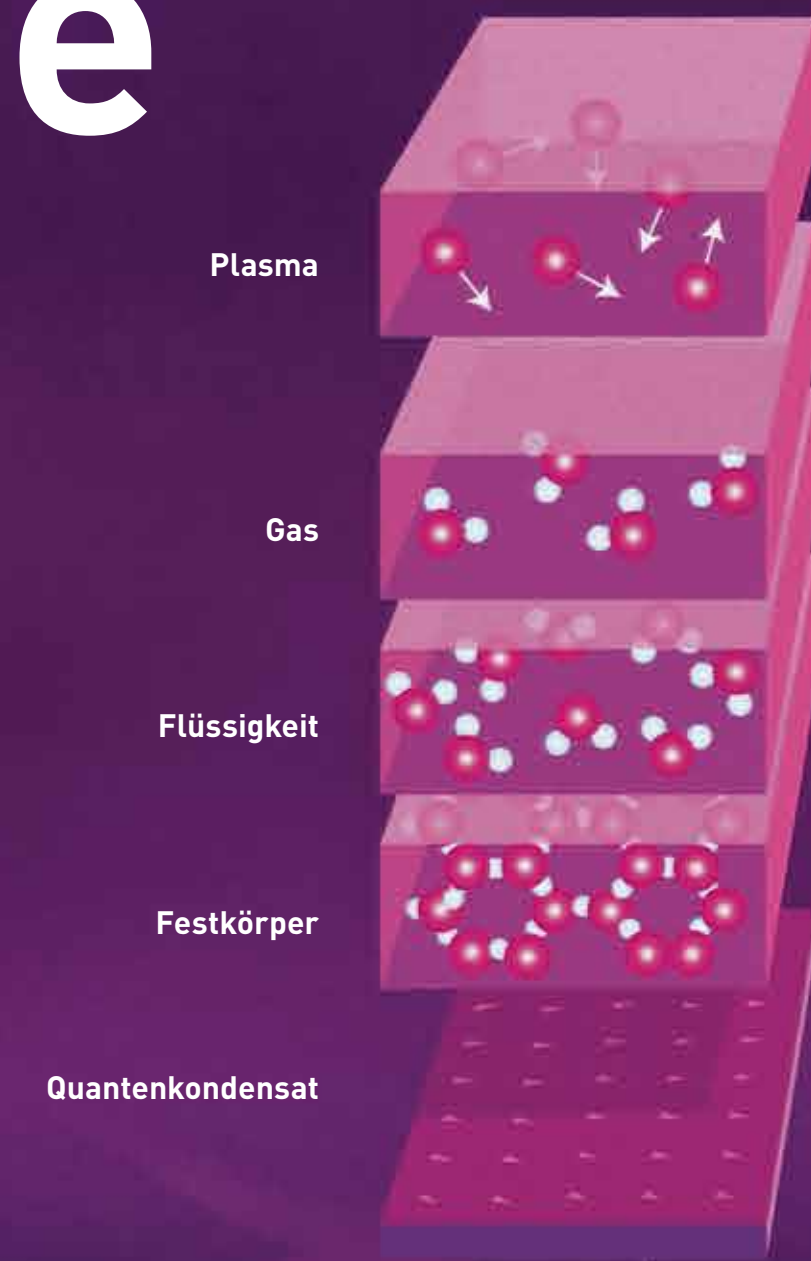
Die diesjährigen Nobelpreisträger haben die Tür zu einer unbekanntenen Welt mit seltsamen Materiezuständen geöffnet. Ihre Pionierarbeit führte zu der derzeitigen Suche nach neuen und exotischen Materialien. Viele Physiker hoffen auf Anwendungen in der Materialforschung und der Elektronik.

David Thouless, Duncan Haldane und Michael Kosterlitz haben mit Hilfe höherer mathematischer Methoden seltsame Phänomene in ungewöhnlichen Zuständen (oder Phasen) der Materie, wie Supraleitern, Supraflüssigkeiten oder dünnen Magnetfilmen erklärt. Kosterlitz und Thouless haben Phänomene in einer flächigen Welt studiert – auf Oberflächen oder innerhalb extrem dünner Schichten, die als zwei-dimensional angesehen werden können, verglichen mit den drei Dimensionen (Länge, Breite und Höhe), die gewöhnlich unsere physikalische Welt beschreiben. Haldane hat auch Materie in Form von Fäden untersucht, die so dünn sind, dass sie als ein-dimensional betrachtet werden können.

Die Physik, die sich in diesen niedrig-dimensionalen Materialien abspielt, unterscheidet sich sehr von der vertrauten Welt um uns herum. Dünne Materialien bestehen aus Milliarden von Atomen, und wenn auch das Verhalten der einzelnen Atome bis ins kleinste Detail bekannt ist, können völlig unerwartete kollektive Phänomene auftreten, wenn die Atome miteinander in

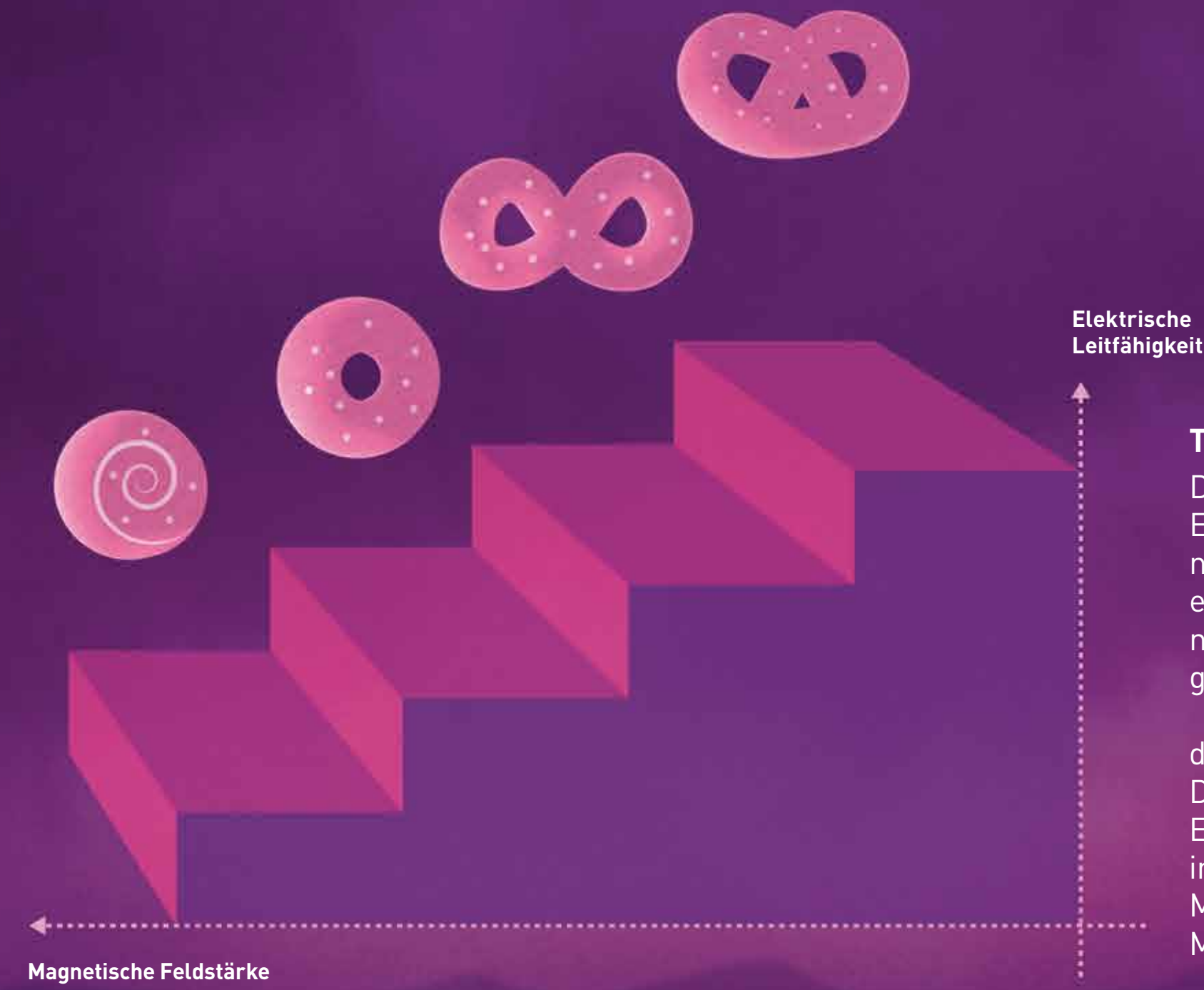
Wechselwirkung treten. Die entscheidende Erkenntnis der Entdeckungen der drei Laureaten bestand darin, dass topologische Konzepte zur Beschreibung des neuen kollektiven Verhaltens der Materialien benötigt werden – neue topologische Phasen der Materie und topologische Phasenübergänge zwischen ihnen. Die Topologie ist der Zweig der Mathematik, mit dem sie die kollektiven Eigenschaften der Materie beschrieben haben, Eigenschaften, die sich bei einem Phasenübergang nur stufenweise ändern. Mit Hilfe der Werkzeuge der modernen Topologie waren die Laureaten in der Lage, überraschende Ergebnisse zu liefern.

Topologische Isolatoren, topologische Supraleiter und topologische Halbleiter werden derzeit breit untersucht. Im vergangenen Jahrzehnt hat dieses Gebiet eine führende Rolle der aktuellen Forschung definiert, getrieben von der Hoffnung, dass topologische Materialien einmal nützlich sein werden für zukünftige Elektronikgenerationen oder zur Realisierung des Traums von Quantencomputern.



## Phasen von Materie und Phasenübergänge

Die bekanntesten Phasen der uns umgebenden Materie sind fest, flüssig und gasförmig. Wenn sich die Temperatur ändert, kann ein Übergang von einer Phase zu einer anderen eintreten. Ein Phasenübergang erfolgt, wenn Eis, das aus wohlgeordneten festen Kristallen besteht, erwärmt wird und zu Wasser, einem weniger geordneten, flüssigen Zustand der Materie schmilzt. Bei extrem niedrigen Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt (-273 Grad Celsius) nimmt Materie mysteriöse Quantenphasen ein, die sich ganz unerwartet verhalten. Wenn wir die flache Welt der zwei-dimensionalen Quantenmaterie betrachten, zeigen sich sogar noch weitere exotische Phasen, die jetzt näher untersucht werden.



## Topologie

Dieser Zweig der Mathematik untersucht die Eigenschaften eines gesamten Systems, das sich nur in ganzzahligen Schritten verändert, so wie es in Backwaren wie Brezeln oder Bageln immer nur ganze, also ein, zwei oder drei usw. Löcher gibt, aber nie so etwas wie ein halbes Loch.

Die Topologie war der Schlüssel zu den Entdeckungen der Nobelpreisträger. David Thouless nutzte die Topologie zur Erklärung warum die elektrische Leitfähigkeit innerhalb dünner Schichten in starken Magnetfeldern stufenweise zunimmt, wenn die Magnetfeldstärke abnimmt.

### David J. Thouless

Geboren 1934 in Bearsden, Großbritannien. Emeritus Professor an der University of Washington, Seattle, Washington, USA.

### F. Duncan M. Haldane

Geboren 1951 in London, Großbritannien. Eugene Higgins Professor of Physics an der Princeton University, New Jersey, USA.

### J. Michael Kosterlitz

Geboren 1943 in Aberdeen, Großbritannien. Harrison E. Farnsworth Professor of Physics an der Brown University, Providence, Rhode Island, USA.



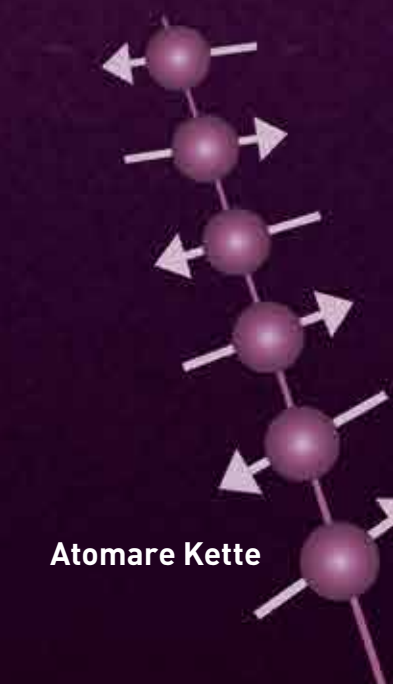
## Supraleiter und Supraflüssigkeiten

In der Kälte passieren merkwürdige Dinge. Zum Beispiel kann der Widerstand, den alle sich bewegende Teilchen erfahren, plötzlich aufhören zu existieren. Das ist der Fall, wenn elektrischer Strom ohne Widerstand in einem Supraleiter fließt oder wenn sich ein Wirbel in einer Supraflüssigkeit ewig dreht, ohne langsamer zu werden.

## Topologischer Phasenübergang

Forscher waren lange davon überzeugt, dass Phasenübergänge in einer flächigen, zweidimensionalen Welt unmöglich sind. Anfang der 1970er-Jahre haben David Thouless und Michael Kosterlitz diese Vorstellung jedoch in Frage gestellt (ersterer aus Neugier und letzterer aus Ignoranz, wie sie selbst behaupten), indem sie das Modell eines topologischen Phasenübergangs entwickelt haben.

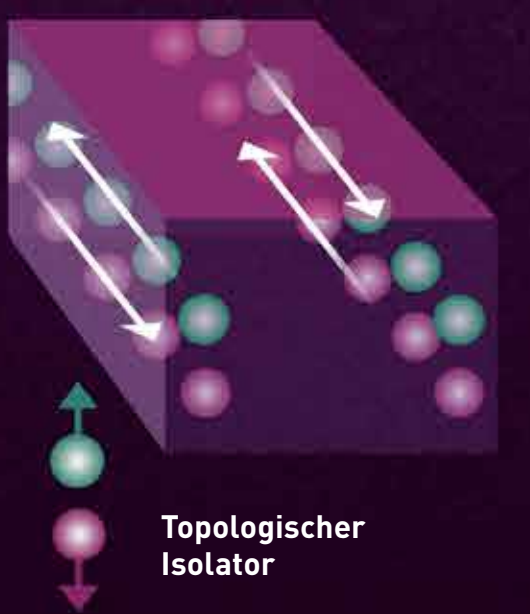
Die führende Rolle in einem topologischen Übergang spielen kleine Wirbel, die bei geringen Temperaturen enge Paare bilden. Wenn die Temperatur ansteigt, erfolgt ein Phasenübergang: Die Wirbel trennen sich plötzlich und bewegen sich allein voneinander weg (Abbildung rechts).



Atomare Kette

## Zukunftsmaterialien

Als Duncan Haldane exotische Phasen von Materialien erkundete, entdeckte er unter anderem, dass Ketten magnetischer Atome, wie sie in einigen Materialien vorkommen, topologische Eigenschaften aufweisen. Anfänglich glaubte niemand den Argumenten Haldanes zu den Atomketten. Aber es stellte sich heraus, dass er das erste Beispiel einer neuen Art von topologischem Material entdeckt hatte, das heute intensiv von Physikern erforscht wird. Bedeutende Beispiele für solche Materialien sind topologische Isolatoren, die zwar innerhalb des Materials keinen elektrischen Strom leiten, während dies auf der Oberfläche der Fall ist.



Topologischer Isolator

Foto: Portrait von David J. Thouless © Norman Howard Photography; Portrait von F. Duncan M. Haldane © J. Koppelman; © Princeton University; Portrait von J. Michael Kosterlitz © Mike Bakajin; © Johns University