

INHALT

GRUNDLEGENDE KONZEPTE

Viele Vorgänge auf kleinster Ebene laufen der alltäglichen Erfahrung zuwider. Immerhin fußen die Phänomene auf klaren mathematischen Grundlagen und sind somit berechenbar. Oder doch nicht?

QUANTENFELDER

6 **Das Fundament der Physik**

Von Kevin Hartnett

FELDTHEORIEN

16 **Die Grundkräfte der Welt**

Von Manon Bischoff

GRUNDBAUSTEINE

24 **Was ist ein Teilchen?**

Von Natalie Wolchover

KONKURRIERENDE DEUTUNGEN

Mit verschiedenen Interpretationen ringt die Fachwelt um ein tieferes Verständnis davon, was eigentlich genau passiert, wenn sich Objekte durch Raum und Zeit bewegen, miteinander verschränken und überlagern.

DE-BROGLIE-BOHM-THEORIE

32 **Eine klassische Quantenwelt**

Von Ward Struyve

ZEITMESSUNG

42 **Stoppuhr für Teilchenwellen**

Von Anil Ananthaswamy

TUNNELEFFEKT

48 **Mit Überlichtgeschwindigkeit durch die Wand**

Von Natalie Wolchover

SELTSAME AUSWIRKUNGEN

Auch nach einem Jahrhundert bietet die Quantenmechanik immer wieder Überraschungen. Verbindet man Objekte auf unkonventionelle Weise oder dringt zu größeren Skalen vor, stößt man auf besonders exotische Effekte.

QUANTENSYSTEME

54 **Zeitkristalle**

Von Frank Wilczek

WÄRMELEHRE

62 **Die Quanten-Dampfmaschine**

Von Nicole Yunger Halpern

SCHWERKRAFT

68 **Eine Waage für das Vakuum**

Von Manon Bischoff

WEGWEISENDE ANWENDUNGEN

Bereits entscheidende technologische Neuerungen des 20. Jahrhunderts, vom Mikrochip bis zum Laser, brauchen tiefe Einsichten in die Quantenmechanik. Mit der zunehmend besseren Kontrolle einzelner Systeme bahnt sich eine weitere Revolution an.

QUBITS

80 **Gegen den Quantenfehlerteufel**

Von Zaira Nazario

KRYPTOGRAPHIE

90 **Schutz vor Quantenhackern**

Von Manon Bischoff

FERNWIRKUNGEN

100 **Erste Schritte zum Quanteninternet**

Von Marc-Olivier Renou, Nicolas Brunner und Nicolas Gisin

FESTKÖRPER

110 **Magie im Flachland**

Von Charles Wood

MATERIALWISSENSCHAFT

122 **Tarnkappen für Licht und Schall**

Von Andrea Alù

RUBRIKEN

3 EDITORIAL

89 IMPRESSUM

Titelbild: agsandrew / Getty Images / iStock;
Bearbeitung: Spektrum der Wissenschaft

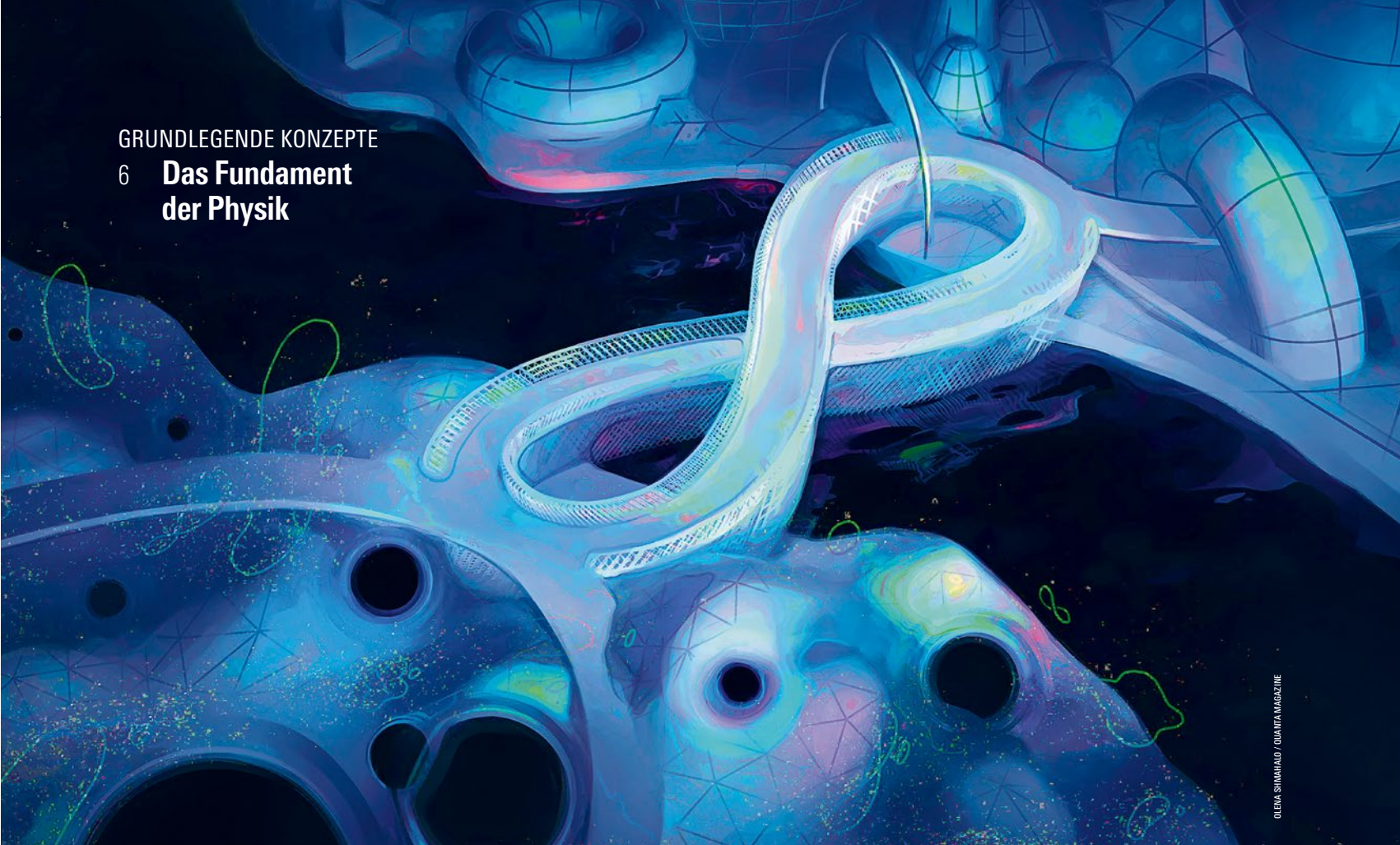


Alle Artikel auch digital
auf **Spektrum.de**

Auf Spektrum.de berichtet unsere Redaktion täglich aus der Wissenschaft: fundiert, aktuell, exklusiv.

GRUNDLEGENDE KONZEPTE

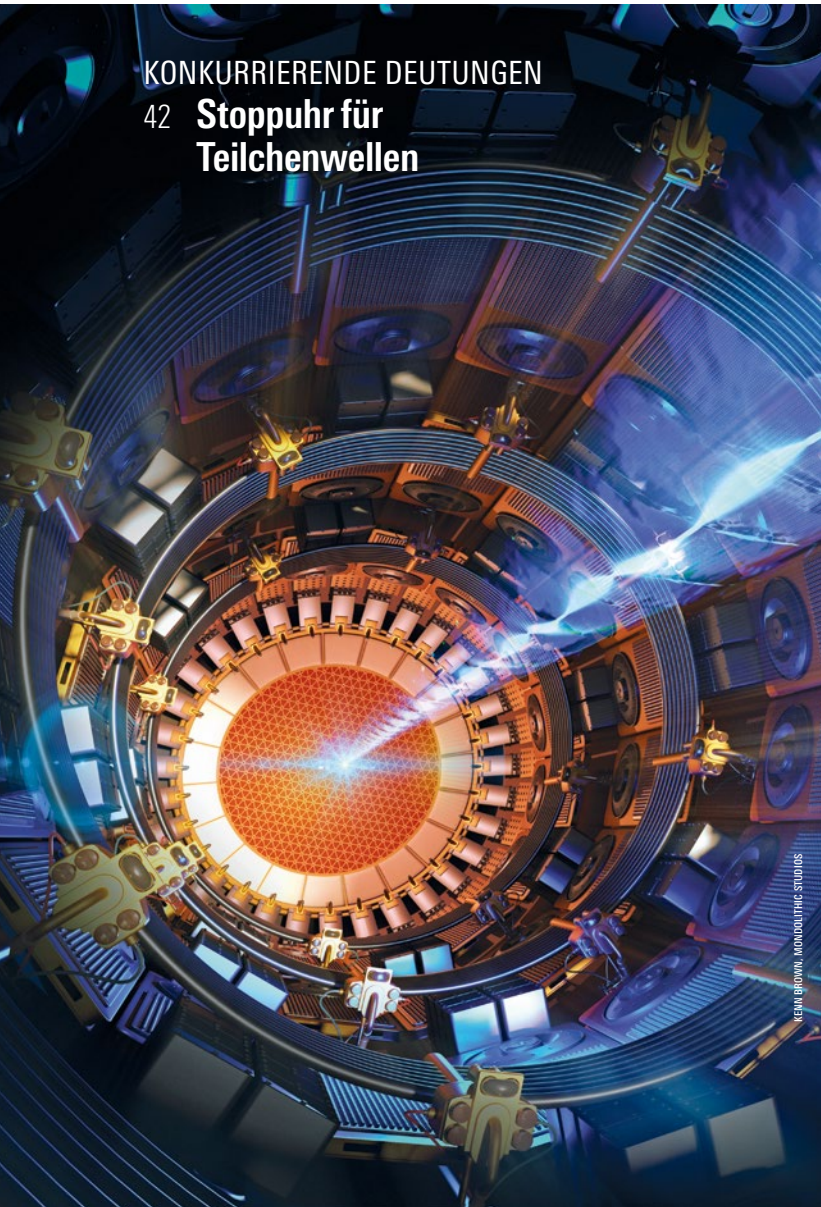
6 **Das Fundament
der Physik**



OLEVA SHWAHID / QUANTA MAGAZINE

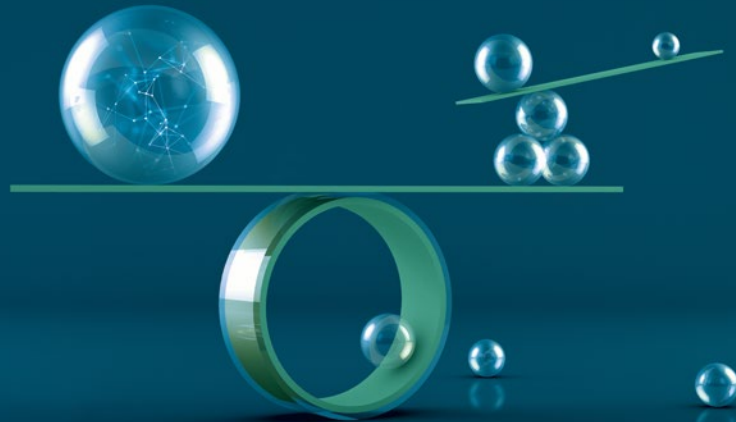
KONKURRIERENDE DEUTUNGEN

42 **Stoppuhr für
Teilchenwellen**



KEVIN BROWN / MONDOGRAPHIC STUDIOS

AMIRBUSTANI / GETTY IMAGES / STOCK IMAGES / ISTOCK / BEARBEITUNG SPECTRUM DER WISSENSCHAFT



SELTSAME AUSWIRKUNGEN

68 **Eine Waage
für das Vakuum**



ISTOCK / GETTY IMAGES / ISTOCK

WEGWEISENDE ANWENDUNGEN
110 **Magie im Flachland**