

## Verkehrte Welt

Mikrowellen können sich anders verhalten,  
als die Schulphysik lehrt / Grundlagen für eine neue Optik

Theoretische Physiker verlassen sich mitunter lieber auf Berechnungen als auf ihre anschauliche Vorstellung. Sie postulieren physikalische Phänomene, die mit dem gesunden Menschenverstand unvereinbar scheinen – bis sie eines Tages im Experiment nachgewiesen werden. So erschien auch die Idee eines Materials mit negativem Brechungsindex (NIM), in den 60er Jahren vom russischen Physiker Victor Veselago veröffentlicht, lange unglaublich. Zu fantastisch klangen die optischen Eigenschaften solch eines Mediums: Licht würde in die verkehrte Richtung gebrochen – so dass sich die in alle Richtungen auseinander strebenden Strahlen einer Lichtquelle nach dem Eintritt in eine NIM-Scheibe wieder aufeinander zu bewegten. Strahlenbündelung wäre also ohne Linsen möglich. Überdies würden in einem NIM die einzelnen Frequenzen der Welle dem ganzen Wellenpaket, also dem Lichtpuls, entgegen laufen.

Nun ist erwiesen, dass solche Effekte tatsächlich auftreten – zumindest für Mikrowellen einer Wellenlänge von zwei Zentimetern. Das zugehörige NIM ist keine Substanz im chemischen Sinne, sondern eine Struktur aus geraden und ringförmigen Leiterbahnen. Diese können auf zentimetergroße Kunststoffplättchen aufgebracht werden; viele solcher Plättchen zu einem regelmäßigen Muster kombiniert ergeben das „Material“ mit negativem Brechungsindex. Zwei Jahre nachdem US-Forscher erstmals über NIMs berichteten (1) und so einen heftigen Streit in der Fachwelt auslösten, haben neue Messungen und Berechnungen die Einwände der Kritiker entkräftet; der Weg zur Entwicklung neuer Filter und Antennen etwa für den Mobilfunk ist so frei.

Wie in den *Physical Review Letters* (2) berichtet, haben nun weitere Forscherteams Brechung mit negativem Index beobachtet. Eine griechische Gruppe konnte in einer Computersimulation ein wichtiges Argument der Zweifler widerlegen, das besagt: Würde die Strahlung bei der Brechung den vorhergesagten, scharfen Knick machen, hätten die Strahlen auf der Außenbahn einen deutlich längeren Weg. Den müssten sie schneller als mit Lichtgeschwindigkeit zurücklegen – ein Verstoß gegen fundamentale Prinzipien. Die Simulation zeigt (3): Trifft eine Wellenfront auf ein NIM, gerät sie an der Oberfläche ins Stocken. Erst nachdem sie sich mehrere Schwingungsperioden lang neu organisiert hat, breitet sie sich im Medium in der neuen Richtung aus. Überlichtgeschwindigkeit ist so unnötig.

Schließlich verdichten sich die Hinweise, dass auch die vielleicht revolutionärste Eigenschaft der NIMs messbar ist (4): Indem sie das so genannte Nahfeld, einen Strahlungsanteil mit normalerweise sehr kurzer Reichweite, verstärken, sollen sie die sonst für elektromagnetische Wellen gültige Auflösungsgrenze überwinden und nahezu perfekte Abbildungen möglich machen. Für praktische Anwendungen interessant wäre das, wenn sich die negative Brechung auch bei sichtbarem Licht erzielen ließe. Das ist aber noch Theorie. ULRICH PONTES

(1) *Science*, Bd. 292, S. 77, 2001

(2) *Physical Review Letters*, Bd. 90, Nr. 107401, 2003

(3) *Physical Review Letters*, Bd. 90, Nr. 107402, 2003

(4) *Applied Physics Letters*, Bd. 82, S. 1815, 2003