

Die Redaktion behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

## ■ Invers diskutiert

**Zu: „Optische Komplementarität“ von M. Rang, O. Passon und J. Grebe-Ellis, März 2017, S. 43**

Der Artikel über „Optische Komplementarität“ fasziniert aufgrund der Bilder, irritiert aber angesichts des Textes. Eine zentrale Falsch-aussage ist die Behauptung, das „inverse“ Spektrum unterscheidet sich vom „normalen“ Spektrum nur durch ein Vorzeichen. Vielmehr sind Intensitäten stets positiv. Der behauptete Faktor zwei als Gewinn an spektraler Sensitivität bei simultaner Messung beider Spektren, ohnehin erkaufte durch verdoppelten apparativen Aufwand, ist nicht glaubwürdig. So erschwert der Hintergrund im „inversen Spektrum“ (Abb. 5c mit hinzugedachter Achsenbeschriftung) die quantitative Analyse. Lehrer werden im Übrigen erstaunt sein, dass Wissenschaftler aus der Physikdidaktik offenbar auf eine adäquate Beschriftung von Graphen verzichten können. Weiterhin führen neue, nutzlose Begriffe wie „Spektraloperator“ oder „Inversion des optischen Gesamtraums“ zu keinen neuen Einsichten.

Besonders verwunderlich ist die Aussage, in der Optik fehle bisher eine Definition der Komplementarität. Tatsächlich kennt die Optik bereits seit 1837 das Babinetsche Prinzip zur Beugung an komplementären Blenden, welches viele der im Artikel beschriebenen Phänomene zwanglos erklärt, aber keine Erwähnung findet. Außerdem fehlen Hinweise auf moderne spektroskopische Methoden, beispielsweise Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie in Transmissions- und Reflexions-Geometrie.

Was ist die Intention des Artikels? Eine fundierte wissenschaftshistorische Darstellung scheint ebenso wenig das Ziel zu sein wie eine Einordnung der beobachteten Phänomene in die moderne Optik und Spektroskopie.

Schließlich erscheint es befremdlich, dass die Institution des Erstautors das Goetheanum ist. Der Letztautor, Leiter des FV Didaktik, sitzt im Beirat der Forschungsstelle des Bundes der Freien Waldorfschulen. Im Physik Journal wünsche ich mir „mehr Licht“ im naturwissenschaftlichen Sinn und weniger „Blick durch den Spalt“ der anthroposophischen Schule.

Stephan Winnerl

## Erwiderung der Autoren

Herr Winnerl bemerkt zurecht, dass Intensitäten stets positiv sind. Unser

Hinweis zum unterschiedlichen Vorzeichen der Intensitäten komplementärer Spektralprofile bezieht sich jedoch auf die Differenz zur Referenzumgebung. Während in Transmission die Spektrallinien über diesem Referenzwert liegen, werden die

Spektrallinien des Reflexionsstrahlengangs als „Einbrüche“ in der Intensitätsverteilung sichtbar. Dass die erhöhte Sensitivität einer spektroskopischen Methode, die diese Information ausnutzt, mit einem größeren apparativen Aufwand verbunden ist, trifft zu, schmälert aber nicht die prinzipielle Bedeutung dieser Beobachtung.

Der Hinweis auf das Theorem von Babinet gibt uns Gelegenheit, ein Missverständnis aufzuklären. Das Theorem bezieht sich auf den Fall, in dem die beugende Struktur als *abbildendes* Element eingesetzt wird. Die Invertierung dieser Struktur führt zu einem *identischen* Beugungsbild. Im Unterschied dazu setzen wir die Spaltblende als *abgebildetes* Element ein. Ihre Invertierung führt nicht zu identischen, sondern zu *inversen* Spektren, unabhängig davon, ob die Blende mithilfe eines Prismas, eines Gitters oder eines invertierten Gitters abgebildet wird. Keines der von

uns diskutierten Phänomene kann folglich mit Hilfe des Theorems von Babinet erklärt werden.

## Langweilige Kontroverse

Der Artikel gehört zur immer wieder auftauchenden Klasse von „Und Goethe hat doch recht“-Aufsätzen, mit denen wohl jede Generation von Physikern in Deutschland leben muss. Typisch für dieses Phänomen ist, dass dabei Newton und Goethe als im Grunde gleichrangige Forscher gegenüber gestellt werden und der große zeitliche Abstand zwischen ihnen unterdrückt wird.

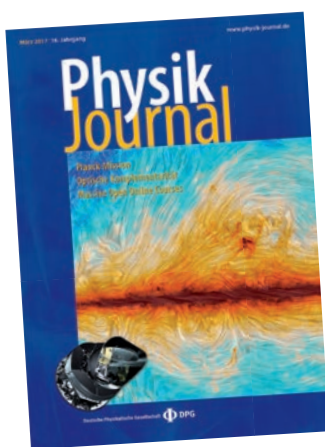
Die in dem Artikel dargestellten schönen Experimente haben den Bezug auf Goethe nicht nötig. Ich bin mir aber ziemlich sicher, dass der Dichter die verwendeten Apparate in heiligem Zorn abgelehnt hätte. Der Bezug auf Goethe wird nur dann wichtig, wenn der Dichter für ein höheres philosophisches Ziel als Zeuge aufgerufen wird, nämlich der angeblichen Unbeweisbarkeit von Theorien. Ich denke, dass hier eine groteske Überschätzung der Wissenschaftsphilosophie in der Physik vorliegt.

Über 200 Jahre nach Erscheinen der Farbenlehre ist die „Goethe gegen Newton“-Kontroverse nur noch langweilig. Dabei gerät völlig aus dem Blick, dass Goethe tatsächlich einen bedeutenden Beitrag zur Physik hätte leisten können. Er war ein ausgezeichnete Experimentator mit einer sehr genauen Beobachtungsgabe. Schon 1790, also mindestens 50 Jahre vor den Fachgelehrten, entdeckte er die Abhängigkeit der Fluoreszenz von der Wellenlänge, indem er das Leuchten des sog. Bologna Steins im Spektrum eines Prismas untersuchte. Gefangen in den Vorstellungen der romantischen Naturphilosophie verdrängte er die naheliegende Interpretation, das ist die eigentliche Tragik des Naturforschers Goethe.

Christoph Berger

## Erwiderung der Autoren

Es ist richtig, dass unsere Experimente die Bezugnahme auf Goethe nicht unbedingt bräuchten.



Dr. Stephan Winnerl, HZDR

Prof. Dr. Christoph Berger (i.R.), RWTH Aachen

Tatsächlich wurden sie aber in Anknüpfung an Goethe entwickelt. Unser Anknüpfungspunkt lag in der Feststellung, dass sich Goethes Beobachtung der optischen Komplementarität als Eigenschaft inverser Anordnungen unter Berücksichtigung der Energieerhaltung an symmetrisierten Varianten der Experimente Newtons physikalisch ausbuchstabieren lässt. Dass dieses Ergebnis aus der von Herrn Berger als langweilig empfundenen „Goethe gegen Newton“-Kontroverse herausführt, scheint ihm entgegen zu sein. Die Symmetrie spektraler Phänomene folgt aus den Eigenschaften der Abbildungsoptik. Dass dies in üblichen Darstellungen der Optik unerwähnt bleibt, ist bedauerlich – unabhängig davon, welchen Anteil man Goethe an der Entdeckung dieser Symmetrie zugestehen mag.

### ■ Wirtschaftlich gehandelt?

Zu „Sonniges Pflaster“ von Kerstin Sonnabend, März 2017, S. 14

Nur weil es „schön“ wäre, Solarenergie auf Straßen zu gewinnen, bedeutet das nicht, dass es aus technologischer Sicht eine gute Idee ist. Eine Solarzelle, die man nicht zur Sonne hin ausrichtet, arbeitet nicht besonders effektiv. Ein so stabil gebautes Solarmodul, welches es erlaubt, im Winter darauf einen 40-Tonnen-LKW mehrfach per Vollbremsung mit Rollsplit unter den Reifen abzubremsen, wird in der Herstellung nicht günstig sein. Da stellt sich schnell die Frage der Wirtschaftlichkeit.

Die Straße in Frankreich kostete fünf Millionen Euro für eine Stromproduktion von 280 000 kWh/a. Eine Straße hat eine übliche Lebensdauer von etwa zehn Jahren. Damit belaufen sich die Produktionskosten auf 1,78 Euro/kWh Solarstrom. Das ist (wenig überraschend) etwa ein Faktor 10 höher als konventionelle Photovoltaik.

Matthias Braun

### ■ Statistisch betrachtet

Zu „Auf Dauer befristet“ von L. C. Paul, J. Syurik, K. Valerius, Januar 2017, S. 26

Neben der zurecht beklagten geringen Anzahl unbefristeter Stellen im Hochschulbereich wird auch die Anzahl von Frauen auf Physikprofessuren thematisiert. Ein Fazit ist, dass im Jahr 2016 „der Abstand zu den 1268 männlichen Professoren (bei 143 weiblichen, also einem Anteil von 10 %) gewaltig“ sei. Zehn Jahre vorher waren es nur etwa 5 %. Diese Anteile sollen mit Werten verglichen werden, die sich rechnerisch für den Fall ergeben, dass die Auswahl statistisch entsprechend der Häufigkeit der für eine Berufung zur Verfügung stehenden Frauen, d. h. der hauptberuflich an Hochschulen beschäftigten Physikerinnen, erfolgt. Für 2016 sind das „rund 13 Prozent des wissenschaftlichen Personals“.

In einer Gesamtheit von  $N_0 = A + B$  Elementen ( $A$ -Anteil  $\Gamma_0 = A/N_0$ ) werden jährlich  $n$  Elemente ersetzt (Ersetzungsrate  $v = n/N_0$ ), indem  $n = a + b$  Elemente zugeführt ( $A$ -Anteil  $\gamma = a/n$ ) und gleichzeitig  $n = a + b$  Elemente entfernt werden. Damit ergibt sich für ein Jahr  $t = j > 0$  bei statistischem Austausch ein  $A$ -Anteil von

$$\Gamma_j = (A - j \cdot a + j \cdot a) / N_0 = \Gamma_0 + (-\Gamma_0 + \gamma)v \cdot j.$$

Mit dem Jahr 2006 als Bezugszeitpunkt ( $t = 0$ ) ist  $\Gamma_0 = 0,05$ , und es wird zur Abschätzung einer oberen Grenze angenommen, dass der erwähnte Anteil aller 2016 hauptberuflich beschäftigten Physikerinnen bereits in den vorangegangenen Jahren zur Verfügung stand, also  $\gamma = 0,13$ . Weiter wird von einer durchschnittlichen Dienstzeit von 25 Jahren ausgegangen, woraus  $v = 1/25$  folgt. Damit ergibt sich für 2016 als Obergrenze bei statistischer Besetzung  $\Gamma_{2016} = 0,082$ , d. h. ca. 8 %, tatsächlich wurden 10 % erreicht. Bei den Physik-Juniorprofessuren hat sich „der Frauenanteil zwischen 2006 und 2014 von acht auf 25 Prozent erhöht“. Hier ist im

Jahr 2014 bezogen auf 2006 wegen der kurzen Verweildauer von sechs Jahren bereits die gesamte Kohorte ausgetauscht und man kann rein statistisch 13 % erwarten, tatsächlich waren es aber 25 %!

Über die Ursachen, die zur Differenz zwischen tatsächlichen und rechnerischen Werten geführt haben, kann nachgedacht werden – eine Benachteiligung war es sicher nicht.

Gunnar Berg

### Erwiderung der Autorinnen

Aus unserer Sicht steht die Leserzuschrift nicht im Widerspruch zu unserem Artikel. Wir wollten herausstellen, dass es immer noch vergleichsweise wenige Physikerinnen gibt und diese „im Verhältnis seltener entfristet werden als ihre männlichen Kollegen“. Nicht untersucht haben wir dagegen, ob sich die Professorinnenzahl im Verhältnis zum potenziellen „Kandidatinnenpool“ unter- oder überdurchschnittlich entwickelt, da uns hierzu keine genauen Zahlen vorliegen: So stellten Frauen 2014 zwar 13 Prozent des hauptberuflichen akademischen Personals in der Physik. Doch fallen in diese Kategorie auch jene, die nicht ausreichend für eine Professur qualifiziert sind, etwa die Doktoranden sowie bestehende Professoren. Bewerber aus dem Ausland bleiben zudem unberücksichtigt.

Wir sind daher erfreut, aber nicht zwangsläufig überrascht, dass die reale Frauenquote die in der Leserzuschrift errechneten Prognosen übertrifft. Politische Bestrebungen, welche die beobachtete Differenz mit erklären (könnten), haben wir bereits im Artikel genannt. Unabhängig davon bewerten wir es durchaus als positiv, dass sich „die Zahl der Professorinnen seit 2006 von 68 auf 143 mehr als verdoppelt [hat]“. Angesichts der Absolventenzahlen würden wir keine höhere Quote erwarten oder fordern. Dennoch darf aus unserer Sicht auf den immer noch „gewaltigen Abstand“ zu den 1268 männlichen Physikprofessoren hingewiesen werden.

Dr. Matthias Braun,  
Bamberg

Prof. Dr. Dr. Gunnar  
Berg, Halle