



vorhersagen (er verfügte seinerzeit über 500 Flop/s Rechenleistung!). Die „Gitterphysiker“ vernachlässigten jedenfalls erst einmal die Seequarks und fanden nach mehreren Computergenerationen (darunter auch Eigenbauten), dass diese Valenzquark-Näherung die Natur nur auf 10 bis 20 Prozent genau beschreiben kann.

Die Odyssee bedurfte weiterer 15 Jahre Anstrengungen in der Community, geprägt durch eine Vielzahl methodischer Einsichten und Verbesserungen der Algorithmen (last but not least auch die Supercomputer JUBL und JUGENE), bis es der Gruppe um Fodor gelang, die Dynamik leichter Seequarks zu simulieren.

Um verlässliche Resultate auf (stets endlichen!) Computern zu gewinnen, waren immense technische Schwierigkeiten zu überwinden:

- 1. Die simulierten Systeme müssen hinreichend groß und die gewählten Gitterabstände genügend klein gewählt sein.
- 2. Die Vakuumfluktuationen müssen alle drei leichten Quarks (u, d, s) umfassen.
- 3. Der Monte-Carlo-Prozess muss das QCD-Vakuum hinreichend lange verfolgen.
- 4. Die verwendeten Quarkmassen müssen hinreichend auf die physikalischen Werte hin abgesenkt werden, ohne dass der Monte-Carlo-Prozess ineffizient wird.

Allentscheidend ist, ob es gelingt, die systematischen Fehler trotz endlicher Simulationszeit und der unvermeidlichen Extrapolationen (in Volumengröße, Gitterabstand und Quarkmassen) in Schach zu halten. Schlüssel zum Erfolg sind dabei Verbesserungen in Wilsons Diskretisierung, die die Konvergenz beschleunigen.

Fodors Kollaboration ist es gelungen, die Passage zwischen all jenen Klippen zu finden und die berechnete Masse des Pions bis auf 50 MeV an seinen experimentellen Wert heranzuführen. Dadurch erzielten die Physiker eine bis dato unerreichte Genauigkeit der extrapolierten Endresultate (Abb.). Die Rechnung liefert die Massen von neun Hadronen in sehr guter Über-

einstimmung mit der Natur und bildet damit den Schlussstein in der Validierung der QCD. Die Kosten für die Heimkehr nach Ithaka: mehrere  $10^{20}$  Flop, die bei exklusiver Nutzung etlichen Wochen Rechenzeit von JUGENE entsprechen.<sup>#)</sup>

Bedenkt man, dass die sichtbare Materie im Weltall nahezu vollständig aus Hadronen besteht, so wird diese Pioniertat zu Recht als Meilenstein der Grundlagenforschung gepriesen [6]. Sie zeigt aber auch das Potenzial computergestützter Wissenschaft als Erkenntnismethode; selbst wenn wir beim Nukleon offensichtlich auf eine Grenze des Reduktionismus stoßen, können wir per Simulation den Blick hinüberwerfen in die hadronische „Höhle“, d. h. auf die Konstituenten, derer wir im Labor nicht einzeln habhaft werden, weil sie per *confinement* zur Virtualität verdammt sind.

Der Weg ist damit eröffnet für die genauere Bestimmung schwacher Quarkübergänge aus schwachen Hadronzerfällen – ein wichtiger Schritt, um neue Physik jenseits des Standardmodells der Elementarteilchen zu entdecken.

Vor dieser Perspektive weckt der Erfolg am NIC den Wunsch nach substanzieller Verbesserung der Simulationstechniken. Nobelpreisträger Wilczek mahnte die Teilchenphysiker jüngst zu gegenseitiger Befruchtung mit der Methodenforschung für Vielteilchen-Quantensysteme in kondensierter Materie und Chemie: „The consequences could be enormous“ [6]. Diese Idee stand in der Tat Pate, als das NIC im Jahre 1987 von DESY und FZJ begründet wurde: Gemeinsam schufen sie zwei interagierende Gastforscherguppen, Tür an Tür. Man sollte das Erfolgsmodell beibehalten.

Klaus Schilling

- [1] H. Fritzsch, M. Gell-Mann und H. Leutwyler, Phys. Letters **B47**, 365 (1973)
- [2] S. Dürr et al., Science **322**, 1224 (2008)
- [3] D. J. Gross und F. Wilczek, Phys. Rev. Letters **30**, 1343 (1973); H. D. Politzer ebd., 1346 (1973)
- [4] K. G. Wilson, Phys. Rev. **D10**, 2245 (1974)
- [5] M. Creutz, Phys. Rev. Lett. **45**, 313 (1980)
- [6] F. Wilczek, Nature **456**, 449 (2008); A. Kronfeld, Science **322**, 1198 (2008)

## WIDERSTAND IM WINDSCHATTEN

Bei der Tour de France ist es ein vertrautes Bild: Während die „Wasserträger“ sich mit der Führungsarbeit an der Spitze abwechseln, rollt der Favorit im Windschatten mit und schont sich für den nächsten Passanstieg. Selbst Hummer wissen um die Vorteile des „Windschattens“, wenn sie gemeinsam auf Wanderung gehen. Aber profitieren davon auch Fische, die in sich nicht starr sind, sondern ihre Form je nach Strömungsfeld ändern? Wissenschaftler aus New York untersuchten dazu zwei jeweils zwei Zentimeter lange und hintereinander angeordnete Fäden (rot in Abb.), die an einem Ende befestigt waren und sich in einem strömenden Seifenfilm befanden. Je nach ihrem Abstand reduzierte sich dabei der Strömungswiderstand für den ersten Faden um bis zu 50 Prozent. Das Nachsehen hatte jedoch der „Verfolger“, dessen Widerstand um bis zu 50 Prozent anstieg. Falls dies auch auf Fische oder Vögel zutrifft, sollte sich deren Chef also an die Spitze des Schwarms setzen. L. Ristroph und J. Zhang, Phys. Rev. Lett. **101**, 194502 (2008)

