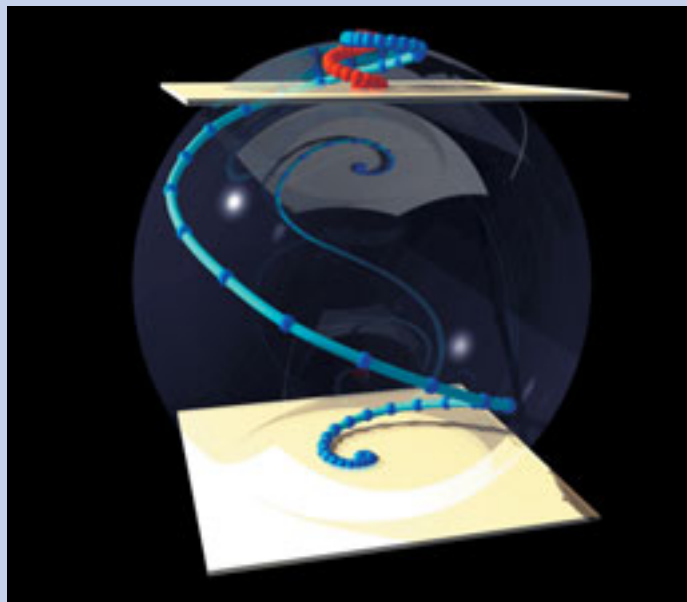


## Vorstoß in physikalisches Grenzland

**Eine Dampfmaschine ist um so besser, je mehr Arbeitsleistung sie aus einer bestimmten Brennstoffmenge herausholen kann. Der maximal mögliche Wirkungsgrad jeder Maschine ist jedoch durch Naturgesetze beschränkt. Das gilt auch für die Effizienz von »Quantenmaschinen«, bei denen bestimmte Quantenzustände gezielt in andere Quantenzustände überführt werden sollen. Bisher war unbekannt, wie groß der höchstmögliche Wirkungsgrad von Quantenmaschinen in der Praxis sein kann. Prof. Steffen Glaser und Dr. Burkhard Luy vom Institut für Organische Chemie und Biochemie II der TUM in Garching entdeckten jetzt gemeinsam mit ihrem Kollegen Prof. Navin Khaneja von der Harvard University, USA, fundamentale Grenzen für die Effizienz solcher Systeme unter realistischen Bedingungen. An einem Modellsystem konnten sie die vorhergesagte maximal mögliche Ausbeute auch experimentell realisieren.**

Die gezielte und möglichst verlustarme Steuerung von Quantenzuständen spielt bereits heute eine entscheidende Rolle bei modernen spektroskopischen Verfahren. So wird etwa bei der Kernresonanz-Spektroskopie zur Strukturbestimmung großer Biomoleküle der Quantenzustand des Spins von Atomkernen durch Einstrahlen von Radiowellen in einem starken Magnetfeld auf andere Atome übertragen. Darüber hinaus sind Manipulationen von Quantenzuständen eine wesentliche Voraussetzung, um Zukunftstechnologien wie die Quanteninformations-Verarbeitung zu verwirklichen. Quantenzustände können jedoch nie ohne Verluste manipuliert werden, da sie nicht vollständig von ihrer Umgebung isolierbar sind. Diesen »Informationsverlust« an die Umgebung - vergleichbar mit Reibungsverlusten bei mechanischen Maschinen - nennt man Relaxation oder Dekohärenz.

Obwohl die Quantenmechanik bereits über 100 Jahre alt ist, war die Frage nach dem höchstmöglichen Wirkungsgrad einer Quantenmaschine in Gegenwart von Relaxation bisher ein ungelöstes Problem. Dies lässt sich vergleichen mit der Zeit vor der Entdeckung der fundamentalen Grenzen für den Wirkungsgrad, mit der eine Dampfmaschine Wärme in mechanische Arbeit überführen kann. Auch das war mehr als 100 Jahre nach Erfindung der Dampfmaschine eine noch ungeklärte Frage: »Trotz mannigfaltiger Arbeiten über die Wärmemaschinen ... ist ihre Theorie doch sehr wenig fortgeschritten, und die Versuche zu ihrer Verbesserung sind fast nur vom Zufall geleitet«, schrieb 1824 der französische Wissenschaftler Nicolas Léonard Sadi Carnot. Heute ist klar, dass die maximal mögliche Effizienz einer Wärmekraftmaschine nicht durch die Findigkeit der Ingenieure,



Beispiel für die optimale Steuerung von Quantenzuständen in Gegenwart von Relaxations-Verlusten. In dieser Darstellung entspricht der Polarisationstransfer zwischen zwei gekoppelten Kernspins dem maximalen Abstand zwischen den als blaue und rote Kugeln dargestellten Quantenzuständen. Der Abstand der gelben Flächen entspricht dem maximal möglichen Wirkungsgrad des Prozesses.

sondern durch die fundamentalen Gesetze der von Carnot mitbegründeten Thermodynamik gegeben ist.

Mit dem kürzlich im renommierten amerikanischen Fachblatt *Proceedings of the National Academy of Science* vorgestellten Verfahren der Forschergruppe aus Harvard und München lassen sich nun erstmals die physikalischen Grenzen für die Manipulation von Quantenzuständen in Gegenwart realistischer Relaxationseffekte theoretisch bestimmen. Zu ihrem Erstaunen fanden die Wissenschaftler, dass die Effizienz bisher üblicher Methoden noch weit unterhalb dieser bisher unbekanntes Grenzen liegt. Sie konnten ihre Erkenntnisse auch praktisch umsetzen und den Wirkungsgrad in einem einfachen Modellsystems bis zum theoretisch vorhergesagten, maximal erreichbaren Wert steigern. In Experimenten am Bayerischen Kernresonanz-

Zentrum in Garching optimierten sie mit ihrem neuartigen Verfahren durch die Einstrahlung von Radiowellen die Übertragung von Kernspinzuständen in einem organischen Molekül, einem Salz der Ameisensäure. Diese Technik verspricht die Kernresonanz-Spektroskopie von Biomolekülen wesentlich schneller und empfindlicher zu machen und somit Strukturen der großen Moleküle leichter zu entschlüsseln.

*Steffen Glaser*

**Prof. Steffen Glaser**  
**Institut für Organische**  
**Chemie und Biochemie II**  
**Tel.: 089/289-13759**  
**glaser@ch.tum.de**