

Auch eine Tour entlang der **Monde des Jupiter** wäre so möglich: Sie wäre wissenschaftlich besonders interessant, weil auf manchen der Monde Bedingungen herrschen, die Leben ermöglichen könnten – in Ozeanen unter den Eispanzern. Martin Lo brütet bereits über einer NASA-Mission mit dem Namen „Jupiter Icy Moons Orbiter“.

Selbst bei einer Reise zum Mond ließe sich auf Verbindungsbahnen Treibstoff sparen. „Allerdings wäre ein Raumschiff dann länger unterwegs“, betont Dellnitz. Denn die Bahnen winden sich in vielen Kurven durch den Weltraum. Kürzeste Strecken bieten sie nicht. Doch ist eine Raumsonde erst mal ins All geschossen, braucht sie auf ihnen kaum Antriebsenergie, um durch unser Sonnensystem zu fliegen. Konkret benötigt sie nur einen Bruchteil derjenigen, die auf klassischen Bahnen nötig wäre, bei denen neben der Sonde nur ein Himmelskörper bei der Bahnrechnung berücksichtigt wird.

Eine Schlüsselstellung in den Berechnungen von Dellnitz und Lo nehmen die Orte ein, an denen sich sämtliche Kräfte gegenseitig ausgleichen. Dort würde ein Raumschiff seine Position relativ zu Sonne und Erde nicht verändern. Der italienische Mathematiker Joseph Louis Lagrange erkannte bereits vor rund 200 Jahren, dass es genau fünf solcher Orte gibt. Ihm zu Ehren werden sie **Lagrange-Punkte** genannt.

Die Genesis-Sonde kreist derzeit um einen dieser Punkte, der 1,5 Millionen Kilometer von der Erde entfernt zwischen Sonne und Erde liegt. Zu einem anderen Lagrange-Punkt könnte in einigen Jahren eine ehrgeizige Mission der europäischen Weltraumagentur ESA namens Darwin starten. **Darwin** soll aus sechs Raumsonden mit Teleskopen an Bord bestehen, die sich gemeinsam auf die Suche nach erdähnlichen Pla-

neten in anderen Sonnensystemen begeben. Einen Planeten neben dem gleißenden Licht einer Sonne auszumachen, ist in etwa damit vergleichbar, aus 1000 Kilometer Entfernung eine Kerze neben einem Leuchtturm erkennen zu wollen. Am besten geeignet für diese Aufgabe sind Infrarot-Aufnahmen von mehreren miteinander gekoppelten Teleskopen im All. Dazu müssen die Abstände zwischen den Teleskopen aber millimetergenau bestimmt sein. Dellnitz' Arbeitsgruppe hat bereits eine Flugbahn kalkuliert, auf der die Teleskope mit geringem Aufwand beieinander gehalten werden können. Lo arbeitet an der Route für ein ähnliches Unternehmen namens **Terrestrial Planet Finder**, das die NASA plant.

Beim Drei-Körper-Problem tritt das auf, was Mathematiker unter Chaos verstehen: Die kleinste Veränderung an der Flugbahn kann sich zu riesigen Abweichungen aufschaukeln. „Wenn man das Raumschiff nur anpustet, kann das dazu führen, dass es davonfliegt und nie mehr zurückkehrt“, erklärt Lo. Doch allmählich gelingt es den Forschern, das Chaos in den Griff zu bekommen. Lo und Dellnitz reden von einem Para-

**Monde des Jupiter:** Weitere Informationen, insbesondere über Europa, in *bild der wissenschaft* 5/1998, „Expedition zum Wassermond“.

**Lagrange-Punkte:** An dem zweiten der Punkte befindet sich zur Zeit die Raumsonde WMAP, die mit ihren spektakulären Messungen des Restlichts vom Urknall für Furore sorgt – siehe *bild der wissenschaft* 8/2002, „Das erste Licht“.

**Darwin:** [sci.esa.int/home/darwin](http://sci.esa.int/home/darwin)

**Terrestrial Planet Finder:** [tpf.jpl.nasa.gov](http://tpf.jpl.nasa.gov)

**Killer-Meteorit:** Ausführlich beschrieben in „Der Tod kam aus dem All“ von Rüdiger Vaas, Franckh-Kosmos 1995.

digmenwechsel, der bevorsteht. Neue mathematische Theorien und ausreichend Computerpower werden die Raumfahrtindustrie revolutionieren – und nicht nur sie.

Bisher arbeiten die Forscher in der Regel mit Gleichungen, die ein stark vereinfachtes Abbild der Wirklichkeit darstellen, dafür aber relativ leicht handzuhaben sind. Nun versuchen sie sich zunehmend an Ansätzen, die die Realität viel genauer widerspiegeln, bei denen sich indes kleine Fehler zu fatalen Auswirkungen aufschaukeln können. Beispiele sind Meeresströmungen, Erdbeben oder Anwendungen der Automechanik. Zumindest bei den Flugbahnberechnungen habe die neu entwickelte Mathematik das Chaos beherrschbar gemacht, meint Lo: „Genesis ist der Führer in diese schöne neue Welt.“

Nicht nur Genesis und künftige Raumsonden fliegen auf Verbindungsbahnen. Kometen und Planetoiden sausen ebenfalls auf ihnen entlang. Für Martin Lo ist unser Sonnensystem von einem Netz sich windender Tunnel durchzogen, die den Kuiper-Gürtel jenseits des Pluto mit allen Planeten und der Sonne verbinden.

Nikolaus Kopernikus und Johannes Kepler haben Planeten beschrieben, die isoliert voneinander um die Sonne kreisen. Doch in Wirklichkeit schwirren Kometen und Planetoiden kreuz und quer durch das Sonnensystem. Lo spricht von „interplanetaren Superhighways“: „Einige Planetoiden dürften eine ähnliche Flugbahn nehmen wie Genesis.“ So könnte etwa der **Killer-Meteorit**, der das Aussterben der Dinosaurier verursacht hat, auf diesem Weg gekommen sein. Das Wissen über solche Flugbahnen ließe sich nutzen, um künftige Meteoriten auf Erdkurs gezielt abzulenken. Los kühne Vision: „Noch fantastischer: Man könnte sie dauerhaft einfangen und ihre Bodenschätze abbauen.“

Wolfgang Blum ■

