

## Neues zur Sonne

*David Auerbach*

### *Einleitung*

Vor allem im Zusammenhang mit den jüngsten Sonnensonden sprechen mehrere Autoren von einem Paradigmenwechsel in unserem Wissen über die Sonne. Es werden neue Strukturen diskutiert, insbesondere die Rolle von magnetischen Linien, die sich nähern, brechen und auf neue Art verbinden (die sog. Rekonnexion). Wie hängen diese mit drei klassischen Sonnenphänomenen zusammen: mit magnetischen Wellen in der Atmosphäre, mit dem koronalen Heizungsparadoxon und mit dem periodischen magnetischen Polsprung?

Ein kürzlich in Nature erschienener Artikel von A. Witze (2023) beginnt folgendermassen:

*«Im August letzten Jahres (im Jahr 2022) präsentierte die Sonne so etwas wie einen Wutanfall. Auf ihrer Oberfläche tauchten Gruppen dunkler Flecken auf, die Regionen markierten, in denen Magnetfelder ihre Oberfläche verknöteten und verdrehten. Anfang September drehten sich einige dieser Sonnenflecken auf die andere Seite der Sonne – und stiessen einen gewaltigen Schwall überhitzten Gases aus. Diese gewaltige Eruption raste nach aussen und verschlang eine 1,5 Milliarden US-Dollar teure Raumsonde, die in der Nähe kreiste. Diese Sonde, die Parker Solar Probe der NASA, blieb bemerkenswert unversehrt und konnte sogar noch nie dagewesene Messungen vornehmen, als die Sonnenexplosion über sie hinwegging. Eine zweite Raumsonde – der Solar Orbiter der Europäischen Weltraumorganisation – beobachtete das ganze Drama aus der Nähe. Noch nie zuvor haben Raumfahrtmissionen so viel Aktivität so nahe an der Sonne beobachtet. Im Zusammenspiel beobachteten die Raumsonden massive Sonneneruptionen, eine sich bewegende magnetische «Schlange» auf der Sonnenoberfläche sowie Hitze und Energie, die sich langsam durch die Sonnenatmosphäre wälzen. Was diese Sonden in diesem und ähnlichen Momenten in den letzten Jahren entdeckt haben, schreibt vieles von dem um, was die Wissenschaftler über die Sonne wissen. Wir leben in einer Zeit, in der ein Paradigmenwechsel in diesem Bereich stattfindet.»*

Der Autor stellt weiter fest, dass es ein günstiger Zeitpunkt ist, diese Raumsonden so nahe an der Sonne zu haben, da der Stern auf den Höhepunkt seines 11-jährigen Aktivitätszyklus zusteuert. Der aktuelle Sonnenzyklus ist bereits stärker als der letzte; im Juni 2023 gab es 163 Sonnenflecken auf der Sonnenoberfläche, so viele wie seit mehr als zwei Jahrzehnten nicht mehr. Im August gab es ausserdem mehrere Flares (Sonneneruptionen) der X-Klasse, der stärksten möglichen Art. «Wir nähern uns definitiv dem Maximum, wenn wir es nicht schon erreicht haben.»

Für Raumfahrtingenieure war die Sonneneruption vom September 2022 – eine der schnellsten und energiereichsten Sonneneruptionen, die jemals aufgezeichnet wurden – sehr aufschlussreich. Sie entstand auf der anderen Seite der Sonne und schleuderte Material mit einer Geschwindigkeit von rund 2'700 Kilometern pro Sekunde aus. Wäre es auf die Erde getroffen, hätte es möglicherweise einen geomagnetischen Sturm ausgelöst, der dem stärksten jemals aufgezeichneten ähnelt, dem Carrington-Ereignis von 1859, das Polarlichter bis nach Kuba aufleuchten liess und den Ausfall von Telegrafenanlagen verursachte. Näher an der Gegenwart: Im Februar 2022 verlor das Luft- und Raumfahrtunternehmen SpaceX 38 von 49 neu gestarteten Kommunikationssatelliten, als ein Sonnensturm die Erdatmosphäre dichter werden liess, wodurch die Satelliten zusätzlich belastet und aus der Umlaufbahn gezogen wurden.

Was sind die Neuerungen, die mit den oben erwähnten Schlangen und Eruptionen und der Wellenenergie verbunden sind? Wir werden diese Ergebnisse zunächst skizzieren und sie dann in den Kontext dreier bekannter, aber wenig verstandener grundlegender Sonnenphänomene stellen: die Klingende Sonne («Die Sonne tönt...»), das Koronale Heizungsparadoxon und Polsprünge der Sonne.

### *Von Schlangen, Seilen und Knicken*

Im Vorfeld der Eruption, am 5. September 2022, erschien auf den Bildern des Solar Orbiters eine riesige «Plasmaschlange», die sich über einen Grossteil der Sonnenscheibe erstreckte (Long *et al.* 2023). Die in Abb. 1 gezeigte Struktur, die jetzt als magnetisches Flusseil bekannt ist, scheint aus einer kühleren Region zu bestehen, die als hellerer Fleck den Umrissen eines verdrillten, spiralförmigen Filaments des Sonnenmagnetfelds folgt bzw. sich durch dieses hindurch schlängelt. Wissenschaftler dachten, dass solche magnetischen Stränge mit koronalen Massenauswürfen in Verbindung stünden, da sie oft kurz vor einer Eruption auftauchten. Solar Orbiter konnte diesen Zusammenhang bestätigen. Er zeigte, wie sich dieses Seil in den Stunden vor der Eruption bildete und bewegte, wobei es mit einer Geschwindigkeit von etwa 170 Kilometern pro Sekunde dahinglitt. Die Enden des Seils scheinen die Basis für einen sog. koronalen Massenauswurf zu bilden.