



© NASA/ESA, NASA/GSFC, U. v. Kusserow, NASA/JHUAPL (3), M. Druckmüller, NASA, U. v. Kusserow, S. D. Bale u. a./NASA/JHUAPL, ESA, SOLAR ORBITER/EUI TEAM/ESA AND NASA, CSL, IAS, MPS, PMOD/WRC, ROB, UCL/MSSL, J. Acacaba/NASA

## Parker Solar Probe, Solar Orbiter und die Erforschung des Sonnenwindes

Ulrich v. Kusserow (IAR)

Was verstehen die Wissenschaftler, Helio-, Plasma-, Planeten- und Geophysiker eigentlich unter dem Begriff des Sonnenwindes? Welche Auswirkungen dieses Sternwindes, der von der Sonnenatmosphäre abströmt, können wir Menschen sogar direkt selbst beobachten, erleben, erfahren? Welche Höhepunkte charakterisieren dabei die Geschichte der Entdeckung und Erforschung der unterschiedlichen Arten von Sonnenwindströmen? Welche Auswirkungen hat dieser magnetisierte Wind auf die Magnetosphären und Ionosphären der Planeten als auch kleinerer Himmelsobjekte innerhalb der Heliosphäre unseres Sonnensystems? Wie genau bestimmt dieser Sonnenwind das sogenannte Weltraumwetter insbesondere im Umfeld der Erde? Welche charakteristischen Eigenschaften besitzt er und wodurch verändert sich seine Ausprägung mehr oder weniger periodisch zeitlich und räumlich? Wo genau entsteht er, welche physikalischen Prozesse treiben ihn? Wie wird er aufgeheizt und beschleunigt? Und welches besondere Interesse besteht vor allem in der heutigen Zeit an seiner intensiven Erforschung? Mit welchen Methoden gelingt dies den Wissenschaftlern immer besser? Aber welche Fragen an den Sonnenwind bleiben dabei aber auch heute noch leider unbeantwortet? Welche Rätsel sollen unbedingt aus welchem Grund noch gelöst werden?

Dies alles sind sehr grundlegende Fragen, die in diesem Vortrag mit Hilfe farbenprächtiger Abbildungen und eindrucksvoller Videosequenzen veranschaulicht und möglichst verständlich beantwortet werden sollen.

Der von magnetischen Feldern durchsetzte Sonnenwind bezeichnet den Strom elektrisch geladener Teilchen, die, aufgeheizt und beschleunigt, aus der Korona, der äußeren Schicht der Sonnenatmosphäre, in die sogenannte Heliosphäre unseres Sonnensystems abströmen. Dieser aus extrem verdünntem, nahezu kollisionsfreiem Gas sowie Staubpartikeln bestehende Teilchenstrom bestimmt das sogenannte Weltraumwetter in diesem, die Sonne umgebenden leitfähigen Plasmamedium. Der Sonnenwind, in dem pro Sekunde etwa eine Millionen Tonnen an Materie in den interplanetaren Raum transportiert werden, trifft auf und wechselwirkt mit den Magneto- und Ionosphären der Planeten sowie kleinerer Himmelsobjekte, verdrängt außerdem das unser Sonnensystem einhüllende interstellare Medium. Schnelle und langsame Sonnenwindkomponenten unterscheiden sich dabei hinsichtlich ihres Entstehungsortes, ihrer jeweils charakteristischen Geschwindigkeiten, ihrer chemischer Zusammensetzungen, ihrer Temperaturen sowie ihres Strömungsverhalten. Schnelle Sonnenwindströme sowie die Stoßfronten gewaltiger koronaler Masseauswürfe wechselwirken mit voranlaufenden langsamen Sonnenwindströmen unter Ausbildung sogenannter Korotierender Interaktionsregionen. Nicht nur bei hochexplosiven Flare-Prozessen innerhalb der Sonnenatmosphäre, sondern auch in diesen Gebieten können solare hochenergetische Partikel sogar bis auf Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden.

Zentrale Fragestellungen im Rahmen der Erforschung des Sonnenwindes betreffen zum einen die verantwortlichen Aufheizungsprozesse der Materie vor allem in der Sonnenkorona aber auch im Sonnenwind. Zum andern stellt sich die Frage nach den entscheidenden Beschleunigungsprozesse der geladenen Partikel in den Sonnenwindströmen. Wie kann der Auswurf geladener Partikel gegen den Einfluss der so großen Gravitationskraft gelingen? Und welche physikalischen Prozesse können dafür verantwortlich sein, dass die Teilchen innerhalb des abströmenden Sonnenwindes noch weiter beschleunigt werden können? Einigkeit besteht bei den Wissenschaftlern darüber, dass der Einfluss magnetischer Felder in jedem Fall entscheidende Beiträge liefert. Diskutiert wird heute aber vor allem darüber, ob die Dissipation magneto-hydrodynamischer Turbulenzen und wechselwirkender Alfvén-Wellen oder aber auch magnetische Rekonnexionsprozesse in sogenannten Nanoflare-Prozessen wesentlich für die Aufheizung des extrem dünnen Plasmas verantwortlich sind. Der Energieübertrag von Wellen auf Teilchen sowie Mikroinstabilitäten bewirken ganz offensichtlich die Beschleunigung der Teilchen des Sonnenwindes.

Die im August 2018 gestartete Parker Solar Probe (PSP) Sonde der NASA und des Applied Physics Laboratory der Johns Hopkins University hat sich Ende 2020 der Sonne auf ihrem elliptischen Orbit bereits fünfmal, und dabei zunehmend stärker genähert. Bis die nach dem amerikanischen Astrophysiker Eugene Norman Parker benannte Sonde der Sonnenoberfläche Weihnachten 2024 aber letztlich bis auf weniger als 10 Sonnenradius nahe gekommen sein wird, erforscht sie mit drei in-situ Instrumenten die Eigenschaften des Sonnenwindes vor Ort, beobachtet außerdem mit zwei Kameras den seitlich an ihr vorbeiströmenden Sonnenwind. Die Solar Orbiter (SO) Mission der ESA und NASA startete dagegen erst im Februar 2020 ihren Flug in Richtung Sonne. Bereits einmal hat sie den sonnennächsten Punkt ihres Orbits, den Perihel, durchflogen und dabei die Qualität ihre sechs Fernbeobachtungs- und vier in-situ-Instrumente erfolgreich getestet. Unterstützt durch weitere Sonnensatelliten wie SOHO, STEREO, HINODE und das Solar Dynamics Observatory (SDO) sowie durch erdgebundene, besonders hochauflösende neue Sonnentelkope werden PSP und SO riesige Datenmengen im Sonnenwind und aus der Umgebung ihrer Entstehungsorte sammeln. Mit Hilfe der Ergebnisse leistungsfähiger Modell- und Simulationsrechnungen lassen sich dann in Zukunft so manche Fragen an den Sonnenwind besser beantworten, können die Rätsel um die Heizungs- und

Beschleunigungsprozesse in der Sonnenkorona und Sonnenwind vielleicht doch irgendwann einmal zufriedenstellend gelöst werden.

Der Vortrag beginnt mit der Auflistung all der spannenden Fragen an den Sonnenwind und der Vorstellung erster einfacher Antwort auf diese. Anschließend werden die Highlights der geschichtlichen Entwicklung im Zusammenhang mit der Entdeckung und Erforschung des Sonnenwindes skizziert. Auch wenn die Entdeckung und erste Erklärungen über die verantwortlichen physikalischen Prozesse, für die Einflussnahme des Sonnenwindes sowie des Weltraumwetters erst Mitte des 20. Jahrhunderts von statten gingen, so gab es in der Historie in den vorangegangenen Jahrhunderten, sogar Jahrtausenden, weitgehend unbemerkt erste deutliche Indizien für die Existenz eines solchen Teilchenwindes sowie für dessen Freisetzung in der Atmosphäre der aktiven Sonne. Über die Entstehung und Entwicklung der Sonnenflecken, solarer Gaswolken und heftiger Sonneneruptionen im Rhythmus solarer Aktivitätszyklen wird im folgenden Abschnitt dieses Vortrags kurz berichtet, bevor die aktuellen Erkenntnisse über Heizungs- und Beschleunigungsprozesse ausführlicher vorgestellt werden. Danach werden die Auswirkungen des Sonnenwindes auf die Magnetosphären und Ionosphären unterschiedlicher planetarer Himmelsobjekte beschrieben. Dabei geht es insbesondere auch um die Erzeugung der Kometenschweife, um die Bedeutung des Weltraumwetters in der Erdumgebung, speziell auch um die Entstehung der so beeindruckenden Polarlichter. In den beiden abschließenden Kapiteln dieses Vortrags werden die Eigenschaften und Zielsetzungen der Sonnensonden Parker Solar Probe und Solar Orbiter sowie erste, durch sie gerade neu gewonnene Erkenntnisse über den Sonnenwind etwas detaillierter vorgestellt.

### **Themenschwerpunkte des Vortrags**

1. Fragen an den Sonnenwind
2. Historisches zur Entdeckung und Erforschung des Sonnenwindes
3. Die Aktive Sonne
4. Über die Heizung und Beschleunigung des Sonnenwindes
5. Heliosphärische Auswirkungen des Sonnenwindes
6. Parker Solar Probe und Solar Orbiter
7. Neue Erkenntnisse und ungelöste Rätsel

---

Nähere **Informationen über diesen Vortrag** können Sie erhalten bei

Ulrich v. Kusserow  
Besselstraße 32-34  
28203 Bremen

E-mail: [uvkusserow@t-online.de](mailto:uvkusserow@t-online.de)

Internet: <https://ulrich-von-kusserow.de>