

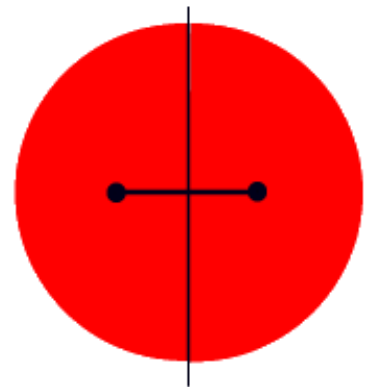
Sonneninneres

Die Sonne als Plasmakugel

Die Strahlungsgesetze ergeben für die Sonnenoberfläche eine Temperatur von 6000 K. Das Sonnenspektrum zeigt die Existenz von Atomen und Ionen durch Auftreten entsprechender Absorptionslinien. Unter der Sonnenoberfläche aber können bei hohen Temperaturen, wie sie für den Prozess der Kernfusion erforderlich sind, keine Atome existieren. Die Materie ist zum Zentrum hin (fast) vollständig ionisiert, d.h. hier besteht Materie in Form eines Plasmas aus Elektronen, Protonen (Wasserstoffkernen), Heliumkernen und anderen Teilchen, auch schon schwereren Kernen. Man nimmt an, dass dieses Plasma sich als ideales Gas verhält, und kann daher mit Hilfe der Gasgesetze, insbesondere der allgemeinen Gasgleichung auf Dichte, Druck und Temperatur im Zentrum der Sonne schließen.

Abschätzung des Drucks

Unter der Annahme konstanter Dichte ziehen sich die zwei in Schwerpunkten gedachten Massenhälften der Sonne durch Gravitation an. Die wirkende Kraft erzeugt auf die Querschnittsfläche einen Druck von ca. $1,6 \cdot 10^{14}$ Pa.



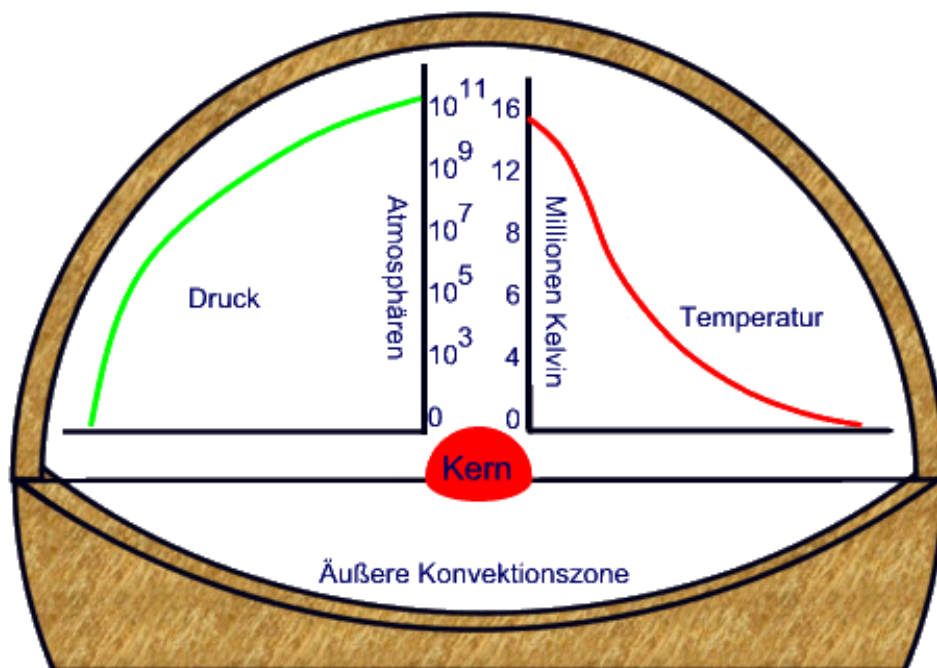
Unser Atmosphärendruck beträgt ca. 1000 hPa, der Druck in der Sonne stellt also den über Milliardenfachen Wert dar. Tatsächlich ist der Druck im Zentrum eher größer, da mit dem Druck das Plasma zum Zentrum verschoben ist, also auch die Masse. Andere Modellrechnungen ergeben sogar einen Druck von $2 \cdot 10^{16}$ Pa im Zentrum.

Abschätzung der Temperatur

Die allgemeine Gasgleichung $pV = NkT$ erlaubt eine Abschätzung der Temperatur des Plasmas. Das Volumen V ergibt sich aus dem bekannten Radius, der Druck wurde bereits abgeschätzt. k ist die Boltzmannkonstante. Die Teilchenzahl N erhält man aus der Masse der Sonne und der mittleren Masse eines Teilchens. Nimmt man an, dass nur Protonen und Elektronen (wegen der elektrischen Neutralität) in gleicher Anzahl existieren, ist die mittlere Teilchenmasse der Mittelwert aus Proton- und Elektronmasse. So erhält man eine Temperatur von 7 Millionen Kelvin. Dies stellt aber nur einen Mittelwert zwischen Zentrum und Oberfläche dar, zudem existieren auch schwerere Teilchen. Die Zentrumstemperatur wird auf 15 Millionen Kelvin geschätzt.

Abschätzung der Dichte

Ebenfalls aus Gesetzen der Thermodynamik erhält man $\rho=160 \text{ kg/dm}^3$ für die Dichte im Zentrum, das ist immerhin die vierzehnfache Dichte von Blei. Trotzdem darf man das Plasma als Gas ansehen, in dem sich die Teilchen ziemlich frei und unabhängig von einander bewegen. Der hohe Druck und die hohe Temperatur sind Voraussetzung für die Kernfusion. Einzelne Kerne haben bei diesen Temperaturen eine genügend große Geschwindigkeit, um die Coulombabstoßung zu überwinden und zu fusionieren. Dabei ist der sogenannte Tunneleffekt von enormer Bedeutung. Es treten zwar nur wenige Reaktionen auf, aber bei der Größe der Sonne erhält man eine enorme frei gesetzte Energie.



Druck- und Temperaturverlauf im Inneren der Sonne

Die Abbildung zeigt den Verlauf von Temperatur und Druck vom Zentrum zur Oberfläche. Die Bedingungen für Kernfusion liegen nur im Kern vor. Um die kontrollierte Kernfusion in Reaktoren zur Energieerzeugung einzusetzen, muss die Physik des Plasmas beherrscht werden, also die Erzeugung und Kontrolle eines Materiezustandes bei hohem Druck und hoher Temperatur.

