

# Die Planck-Skala, Planck-Einheiten

**Die moderne Physik wird durch zwei grundlegende Theorien bestimmt. Und zwar sind dies im Makrokosmos die *Relativitätstheorie* und im Mikrokosmos die *Quantentheorie*. Beide sind vielfach durch Beobachtungen und Experimente bestätigt worden und gelten somit als gesichert. Die Theorien gelten jeweils in Bereichen völlig unterschiedlicher Größenordnungen. Während die Allgemeine Relativitätstheorie die Wechselwirkungen der Gravitation im Großen beschreibt, bestimmt die Quantentheorie die Wechselwirkungen zwischen kleinsten Teilchen in kleinen Raumgebieten. Versuche, beide Theorien in einer *Quantengravitation* zusammen zu führen, waren bisher noch nicht erfolgreich.**

Die physikalischen Einheiten von Masse, Energie, Zeit, Temperatur etc, sowie die Maßeinheiten Länge , Fläche, Volumen u. a. sind uns in unserer makroskopischen Welt wohl bekannt und geläufig. Für den Mikrokosmos sind sie hingegen ungeeignet und müssen sinnvollerweise in eine andere Skala, die Planck-Skala, benannt nach Max Planck (1858 – 1947), dem Begründer der Quantentheorie, übersetzt werden. Über diesen Aspekt hinaus ist aber etwas ganz Anderes entscheidend, denn die Planck-Skala markiert größenordnungsmäßig eine Grenze für die Anwendbarkeit der bekannten Gesetze der Physik.

Grundlage für die Planck-Skala ist die Heisenberg'sche Unschärferelation, benannt nach dem Physiker Werner Heisenberg (1901 – 1976). Diese besagt, dass zwei komplementäre Eigenschaften eines Teilchens, wie Ort und Impuls oder Zeit und Energie nicht gleichzeitig beliebig genau bestimmbar sind, sondern eine Unschärfe in der Größenordnung des sogenannten **Planckschen Wirkungsquantums  $h$**  zeigen, das heißt Ort x Impuls bzw. Zeit x Energie sind jeweils  $\geq h/4\pi$ . Es gibt demnach eine Grenze jenseits derer das Prinzip von Ursache und Wirkung aufgehoben ist, z. B. unmittelbar nach dem Urknall oder am Ereignishorizont von Schwarzen Löchern (siehe diesbezüglichen Beitrag). Schon Max Planck wies darauf hin, dass es eine kritische Masse geben muss, ab der eine Beschreibung mit Relativitätstheorie und Quantentheorie allein nicht mehr möglich ist. Seither nennt man diese kritische Masse die Planck-Masse (oder äquivalent Planck-Energie). Konkret wird bei diesem kritischen Wert der Masse die Gravitation innerhalb einer Kugel mit dem Radius einer Planck-Länge so stark, dass sich ein Schwarzes Loch mit dem Schwarzschild-Radius einer Planck-Länge bildet. In diesem Fall wird also die Planck-Dichte so groß, dass die Gravitation zur stärksten Kraft im Universum avanciert. – Normalerweise ist die Gravitation die schwächste der vier Grundkräfte der Physik: Gravitation, elektromagnetische Wechselwirkung, schwache und starke Wechselwirkung. – Für Materieansammlungen, deren Dichte oberhalb der Planck-Dichte liegt, lassen sich die Vorgänge nicht mehr mit der uns bekannten Physik beschreiben. Das bedeutet, dass diese Einheiten und mit ihnen ein ganzes System von weiteren Planck-Einheiten sozusagen die natürlichen "Anfangsbedingungen" für die Physik, wie wir sie kennen, definieren. Sie werden direkt als Produkte und Quotienten der folgenden fundamentalen Naturkonstanten berechnet:

$G$  = Gravitationskonstante

$c$  = Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

$h$  = Plancksches Wirkungsquantum

$k_B$  = Boltzmann-Konstante

$\epsilon_0$  = Elektrische Feldkonstante des Vakuums

$C$  = Elektr. Ladung

Die wesentlichen Einheiten der Planck-Skala lauten dann:

Planck-Masse:  $m_P = \sqrt{\hbar \cdot c / (2 \cdot \pi \cdot G)} = 2,18 \cdot 10^{-8} \text{ [kg]}$

Planck-Länge:  $l_P = \sqrt{(G \cdot \hbar) / (2 \cdot \pi \cdot c^3)} = 1,62 \cdot 10^{-35} \text{ [m]}$

Planck-Zeit:  $t_P = l_P / c = 5,39 \cdot 10^{-44} \text{ [s]}$

Planck-Ladung  $q_P = \sqrt{2 \cdot \hbar \cdot c \cdot \epsilon_0} = 1,88 \cdot 10^{-18} \text{ [C]} \text{ (Coulomb)}$

Planck-Temperatur:  $T_P = (m_P \cdot c^2) / k_b = 1,42 \cdot 10^{32} \text{ [K]} \text{ (Kelvin)}$

Planck-Energie:  $E_P = m_P \cdot c^2 = 1,96 \cdot 10^9 \text{ [J]} \text{ (Joule)}$

Planck-Dichte:  $\rho_P = m_P / l_P^3 = 5,15 \cdot 10^{96} \text{ [kg/m}^3\text{]}$

Eine Vielzahl weiterer Planck-Einheiten, wie schon die aufgeführte Planck-Energie und die Planck-Dichte leiten sich aus dieser Tabelle ab.

In der Kosmologie liegen die ersten Phasen nach dem Urknall, insbesondere die der Inflationstheorie im Bereich der Planck-Skala.

*P. S.*