

# Das Verspannungsschaubild

*(zur Veranschaulichung der Kraft- und Längenverhältnisse bei Schraubverbindungen)*

Das Verspannungsschaubild stellt die Längenänderung auf der X-Achse der Kraft auf der Y-Achse gegenüber. Eine Kurve- idealisiert eine Gerade- in diesem Diagramm ist also im Grunde eine Federkennlinie. Der Tangens ihres Steigungswinkels ist somit die Federkonstante  $c$ , die ja als Verhältnis von Kraft zu bewirkter Längenänderung definiert ist. Das Festziehen einer Schraube bewirkt nun, dass sie sich dehnt, während das verschraubte Material gestaucht wird. Diese Vorspannkraft wirkt gleichermaßen auf die Schraube, wie auch auf die verbundenen Elemente. Es handelt sich also eigentlich um eine Reihenschaltung von Federn, bei der sich die Materialien als Folge der selben Kraft wegen ihrer i.A. unterschiedlichen Federkonstanten unterschiedlich stark verformen. In diesem Zusammenhang ist sinnvollerweise die Kennlinie der Schraube mit positiver Steigung eingetragen, während die Materialkennlinie negativ ansteigt. Damit werden entsprechend die positiven und negativen Längenänderungen, d.h. die Längungen und Stauchungen verdeutlicht. Am Schnittpunkt beider Geraden kann man also die Vorspannkraft ablesen. Entspannen sich die Werkstoffe mit der Zeit, treten also Setzvorgänge ein, so sinkt natürlich die Vorspannkraft und die Längenänderungen von Schraube und Bauteilen gehen ebenfalls zurück. Im Diagramm bedeutet das eine Verschiebung der Kennlinien nach unten um die entsprechende Kraftdifferenz. Der Setzbetrag ist dabei analog als Längendifferenz erkennbar.

Die Verhältnisse bei einer eigentlichen Belastung der Schraubverbindung, zusätzlich zur Vorspannkraft, sind folgende: die Betriebskraft bewirkt eine zusätzliche Längung der Schraube und eine Reduzierung der Bauteil-Stauchung. Sie wirkt quasi der Vorspannkraft entgegen (man kann sie aber nicht einfach davon abziehen, weil das gestauchte Material ja ebenfalls eine „Gegenkraft“ aufbringt und die zunehmend gelängte Schraube auch entsprechend größere Kräfte aufweist...). Graphisch bedeutet dies, dass sozusagen der Gleichgewichtspunkt der Vorspannkraft verlassen wird und die Verbindungselemente soweit verformt werden (entspricht Wandern auf den Kennlinien), bis die Summe der zu diesen Verformungen nötigen Kräfte gleich der Betriebskraft ist. Die verspannten Teile werden dadurch also etwas entspannt, ziehen sich sozusagen wieder etwas zusammen, sodaß sie jetzt nur noch die Restklemmkraft hervorrufen, die natürlich geringer ist als die vorherige Vorspannkraft.

Die konstruktive Gestaltung einer Schraubverbindung hat Einfluss auf die Verteilung der Betriebskraft auf Schraube und Bauteile. Befindet sich der Angriffspunkt der Betriebskraft z.B. nahezu am Schraubenkopf, so ist klar, dass dann nur die Federkonstante der Schraube maßgebend ist. Wirkt die Betriebskraft nicht direkt am Schraubenkopf, sondern „drückt“ z.B. über weiteres Material erst auf die Schraube, dann sinkt die Federkonstante (Reihenschaltung:  $c_{\text{ges}}^{-1} = \sum c_i^{-1} \dots$ ). In diesem Fall entfällt also mehr Kraft auf die „elastischere“ Schraube und die Restklemmkraft ist relativ geringer. Eine solche Gestaltung lässt sich an dem Knick in der Kennlinie der Schraube bei der Vorspannkraft erkennen (erst bei Auftreten der Betriebskraft wirkt sich der verschobene Kraftangriffspunkt mit dem zusätzlichen verformungsfähigen Material aus...). Somit sollte man z.B. zu Dichtzwecken den Kraftangriffspunkt nahe an den Schraubenkopf legen, um eine große Restklemmkraft zu erzielen. Soll die Verbindung im Gegenteil elastisch sein, ist es ratsam, außer dem Schraubenschaft zusätzliches Material vor den Kraftangriffspunkt zu verlegen, oder aber eine Dehnschraube zu verwenden, die wegen ihres geringeren Schaftdurchmessers eine größere Dehnfähigkeit besitzt, wie der Name vermuten lässt.