Einleitung Knickung

Ein schlanker Stab, der auf Druck beansprucht wird, biegt sich bei einer bestimmten Kraft durch. Dieser Vorgang wird als Ausknicken bezeichnet. Er entsteht dadurch, dass die Stabachse praktisch nie vollkommen gerade ist und die Wirklinie der Druckkraft nicht genau durch die Querschnittsachse geht, so dass ein Biegemoment entsteht.

Unmittelbar vor dem Ausknicken herrscht ein labiler Gleichgewichtszustand. Die Kraft, bei der das Ausknicken beginnt, heisst Knickkraft Fk. Solange die Druckkraft F kleiner ist, als die Knickkraft Fk, bleibt der Stab noch gerade. Beim Erreichen von Fk knickt er aber sofort aus. Erst bei weiterem Ansteigen der Druckkraft über Fk hinaus nimmt die Durchbiegung sehr schnell zu, bis sie dann schlussendlich zum Bruch führt.

Bei der Knickung handelt es sich nicht um Festigkeits-, sondern um ein Stabilitätsproblem. Aus Sicherheitsgründen darf die von einer Druckkraft F hervorgerufene Druckspannung niemals die Knickspannung erreichen, die als Stabilitätsgrenze aufzufassen ist. Zwischen den beiden Spannungen bzw. Kräften muss ein ausreichender Unterschied vorhanden sein, der druch die Sicherheit gegen Knicken ausgedrückt wird. Wegen der Unsicherheiten im Rechnungsansatz werden die erforderlichen Knicksicherheiten allgemein recht hoch gewählt – im Maschinenbau erfahrungsgemäss zwischen 4 ….. 8. Um die Schlankheit eines Stabes kennzeichnen zu können wurde der Schlankheitsgrad eingeführt. Darin ist die wirksame Knicklänge von der Lagerungsart der Stabenden abhängig. Man unterscheidet vier Knickfälle, von denen der Knickfall 2 im Maschinenbau überwiegend vorkommt.

Elastische Knickung

Die Knickkraft Fk wurde erstmalig für einfache Fälle von Euler errechnet. Die von ihm entwickelten Eulerschen Gleichungen gelten jedoch nur für den elastischen Bereich des Werkstoffes. Dabei wird verstanden, dass bei Wegnahme der Knickkraft Fk keine bleibende Verformung zurück bleibt. Ausgehend von der Biegelinie für Stäbe mit gleich bleibendem Durchmesser entwickelte Euler der nach ihm benannten Eulerschen Knickkraft Fk.

$$F_K = \frac{E \cdot I_{\min} \cdot \pi^2}{s^2}$$

Sie ist abhängig von dem E-Modul des Werkstoffes, dem kleinsten axialen Flächemoment 2. Grades und von der Knicklänge s. Bei der Berechnung nach den Eulerschen Gleichungen ist der vorhandene Schlankheitsgrad, verglichen mit dem Grenzschlankheitsgrad entscheidend.

$$\lambda_{vorh} > \lambda_0$$

Unelastische Knickung

Ist der vorhandene Schlankheitsgrad eines Druckstabes kleiner als der Grenzschlankheitsgrad, so erfolgt das Ausknicken nicht mehr in elastischen, sondern im unelastischen Bereich. Dabei wird verstanden, dass bei Wegnahme der Knickkraft Fk eine bleibende Verformung zurück bleibt. Die unelastische Knickung, die mit den Eulerschen Gleichungen nicht mehr erfasst werden kann, hat Tetmajer untersucht und für verschiedene Werkstoffe die Knickspannung in Abhänigkeit der Druckspannung ermittelt. Die Versuchsergebnisse lagen bei den entsprechenden Werkstoffen nahezu auf einer linearen Funktion (abhängig vom vorhandenen Schlankheitsgrad).

Bei der Berechnung nach den Tetmajerschen Funktionen ist der vorhandene Schlankheitsgrad, verglichen mit dem Grenzschlankheitsgrad entscheidend.

$$\lambda_{vorh} < \lambda_0$$

Die Ermittlung der erforderlichen Querschnittabmessungen (Durchmesser) eines knickgefährdeten Druckstabes ist nach den Tetmajer – Funktionsgleichungen nicht auf anhin möglich. Im Falle einer <u>Entwurfsberechnung</u> müssen die Abmessungen zuerst nach den Eulerschen Gleichungen errechnet und anschliessend kontrolliert werden.

Wenn anhand einer durchgeführten Kontrolle die gewünschte Sicherheit nicht erreicht wurde, müssen die entsprechenden Abmessungen angenommen oder errechnet werden.

(folgendes Beispiel: Tetmajer Fall Folie 1)

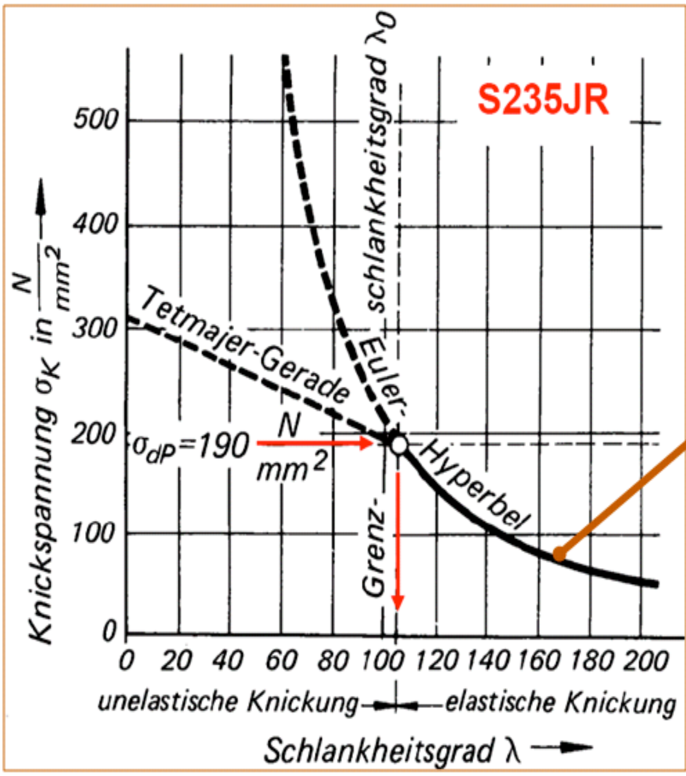
$$\frac{\sigma_K}{\sigma_d} = \frac{-1.14 \cdot \lambda_{vorh} + 310}{\frac{F}{A}}$$

$$\frac{\sigma_K}{\sigma_d} = \nu = 8 = \frac{\frac{-1.14 \cdot \frac{450}{\frac{d}{4}} + 310}{1}}{\frac{12000\,N}{\frac{d^2 \cdot \pi}{4}}}$$

$$d = \underline{\underline{24mm}}$$

Tetmajer

$$\boxed{\lambda_{vorh} < \lambda_0}$$



Eulerbedingung

$$\boxed{\lambda_{vorh} > \lambda_0}$$

$$\boxed{f(\lambda) = \frac{E \cdot \pi^2}{\lambda^2}}$$