

Aus Schaden wird man klug

Unsachgemässes Anheben einer Last

Hebezeuge wie Krane, Winden und Helikopter, sind eine gute Sache zum Heben und Bewegen von Lasten. Die Entwicklungsgeschichte reicht in die Zeit des Pyramidenbaus und weiter in die Steinzeit zurück.

Autoren: Gabor Oplatka, Willi Müller, Max Schärli

Hebezeuge benötigen zum Arbeiten sog. Anschlagmittel. Das sind Einrichtungen, die eine Verbindung zwischen Tragmittel und Last oder Tragmittel und Lastaufnahmemittel herstellen. Anschlagmittel können sein: Seile, Ketten, Hebebänder, Hebegurt-schlingen, Rundschlingen (auch Schlupf genannt) und lösbare Verbindungsteile wie z.B. Schäkel oder Wirbel. Auf allen Anschlagmitteln ist die höchstzulässige Tragfähigkeit angegeben, die nicht überschritten werden darf.

Ruckartiges Anheben einer Last mit hoher Seilgeschwindigkeit (bei Schlaffseil)

Die Art und Weise, wie ein Kran bedient wird, hat grossen Einfluss auf die dynamischen Kräfte. Ein gefährlicher Lastfall ist ein Anheben mit Schlaffseil am Anfang, mit „voller Pulle“, wenn man z.B. den Arbeitsgang beschleunigen möchte. [1]

Man muss sich vorstellen: der Motor hat seine volle Drehzahl erreicht, bevor das Seil gespannt wird. Die kinetische Energie des drehenden Rotors des Motors ist meist beachtlich hoch. Die ruckartige Beanspruchung beim Anspannen des Seils betrifft nicht nur das Seil, sondern auch das Getriebe, die Kupplung, den Motor, die Lager und das gesamte Stahlwerk. Die auftretende Kraft kann die Bruchkraft des Anschlagmittels übersteigen. In Abb1. sind einige typische Kraftverläufe dargestellt.

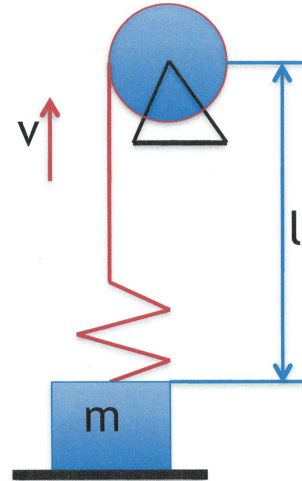


Abb. 2

$$F_{\max} = F_{St} * K$$

$$K = 1 + \frac{v}{g} \sqrt{\frac{A * E}{l * m}}$$

Abschätzen deshalb, weil die Einflüsse von Rotormasse, Kupplung und Getriebe schwer zu erfassen sind.

Etwas Physik zeigt die grossen Kräfte

Natürlich lässt sich auch hier die Physik nicht austricksen. Denn: wenn eine am Boden liegende Masse m mit einem bereits mit der Geschwindigkeit v laufenden, zunächst schlaffen Seil, angehoben wird, so entsteht im Seil eine K-mal grössere Kraftspitze. Abb. 2.

Der Wert dieser Kraftspitze lässt sich an einem vereinfachten Modell wie folgt abschätzen:

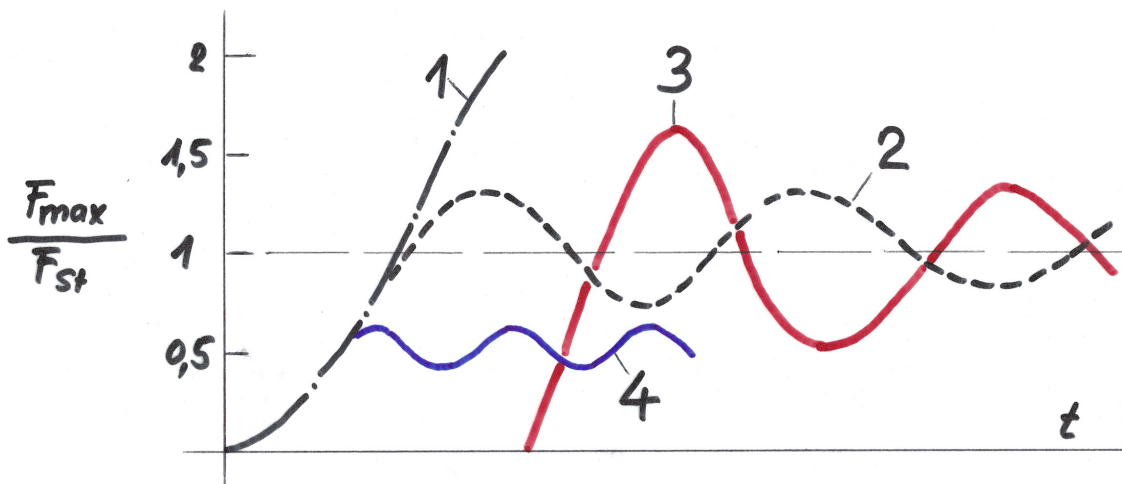


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf der Seilkraft bei verschiedenen Betriebszuständen. Kurve 1: Überlast. Kurve 2: zulässige Nutzlast. Kurve 3: Anheben mit zu hoher Geschwindigkeit bei Schlaffseil. Kurve 4: Teillast.

Wissen

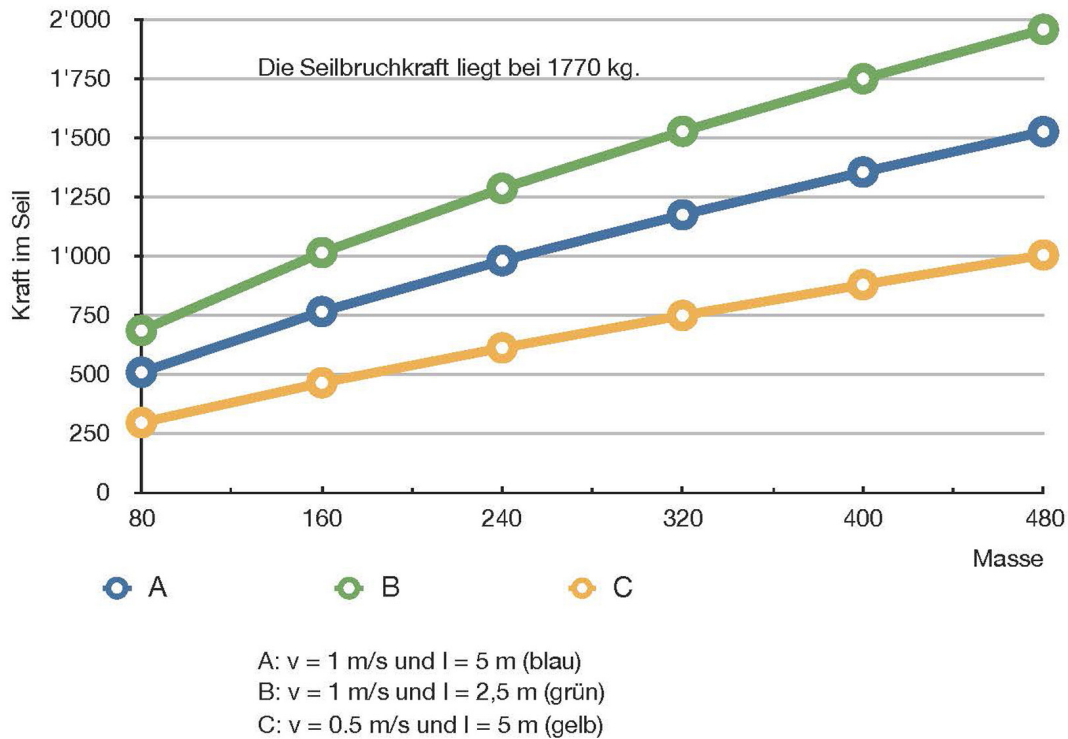


Abb. 3 Das Diagramm zeigt eindrücklich die Wirkung von der Seillänge und der Seilgeschwindigkeit. Vorteilhaft sind lange Seile und kleine Seilgeschwindigkeiten.

In diesen Formeln bedeuten:
 v = Geschwindigkeit des Seiles am Auflaufpunkt der Winde, konstant, l = Länge vom Seil bei der Streckung, F_{st} = Zugkraft im Seil bei gleichförmiger Bewegung der schwebende Last, F_{max} = grösste Zugkraft im Seil bei der Anhebung der Last, K = Lastvielfaches, g = Erdbeschleunigung
 A = metallischer Querschnitt des Seiles, E = Elastizitätsmodul des Seiles.

Dazu gelten die folgenden Bemerkungen: a) Hängt der Haken des Kranes am Flaschenzug, so ist v durch die Anzahl der Stränge zu dividieren und für l die ganze Seillänge einzusetzen.

b) wenn sich die zu hebende

Masse selber auf und ab bewegt, wie z.B. auf einem durch die Wellen bewegten Schiff, so ist deren Sinkgeschwindigkeit zu der Geschwindigkeit des Seiles zu addieren (Vergrößerung von F_{max} im Seil).

c) wenn sich die Seilführungselemente des Kranes elastisch bewegen können, wie z.B. am Ende eines Auslegers, oder wenn zwischen Haken und der Masse ein elastisches Anschlagmittel vorhanden ist, so ist deren Elastizität im Elastizitätsmodul des Seiles zu berücksichtigen (Verminderung von F_{max} im Seil).

Ein Zahlenbeispiel belegt die Lastvervielfachung für ein Kranseil. $v = 1 \text{ m/s}$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $d = 5,5 \text{ mm}$, $F_b = 17,7 \text{ kN}$, $A = 10,9$

mm^2 , $E = 10^5 \text{ N/mm}^2$, $l = 5 \text{ m}$, $m = 160 \text{ kg}$

In die Formel (2) eingesetzt, ergibt sich ein Lastvielfaches von $K = 4,76$. Das heisst, das Kranseil muss nicht 160 kg anheben, sondern, gemäss Formel (1)

$F_{max} = 4,76 \times 160 = 762 \text{ kg!}$
 Dass dabei auch mal ein Anschlagmittel in die Brüche gehen kann, ist verständlich. Um solche Überbeanspruchungen zu vermeiden, ist es wichtig, dass die Last erst dann schnell angehoben wird, wenn das Seil bereits eine gewisse Vorspannung hat.

Literatur: [1] H. Dreisig, A. Fidlin: Schwingungen mechanischer Antriebssysteme. Springer Verlag 2014.