

Bei der Auswahl einer Bremse zur Verwendung in einer bestimmten Maschine müssen viele Punkte in Betracht gezogen werden. Beispielsweise: Wie soll die Bremse funktionieren? Gibt es externe Lasten? Gibt es Verzögerungszeiten?

Die Überlegung basiert auf folgender Frage:

„Was soll die Bremse bewirken?“

Die Anwendung erfolgt oft in einer der folgenden Hauptbereiche:

- **Haltebremsen**

Bei einer solchen statischen Anwendung sollte ein gewisser Sicherheitsfaktor einkalkuliert werden, um eventuelle Verschmutzungen der Brems Scheibe, oder Veränderungen der Bremsbelagsoberfläche zu berücksichtigen, sowie um, abhängig vom Belagmaterial, gesetzlichen oder anderweitigen Bestimmungen, einen Sicherheitszuschlag bereitzustellen.

- **Dynamische Bremsen und Not-Stop**

Bei einer dynamischen Anwendung muss die Bremse alle

beweglichen Teile einer Maschine zum Stillstand bringen. Gefragt ist dies oft in Verbindung mit einer Halte- oder Not-Stop-Funktion. In diesem Fall sollte die Berechnung eine Bewertung von Betriebstemperatur, Energieumwandlung (um sicher zu gehen, dass die Bremsbeläge nicht zu stark abgenutzt werden) und erwarteter Bremsbelagstandzeit beinhalten.

- **Abwickelbremsen (Kontinuierliche Bremsung)**

Dieser Anwendungsfall tritt auf, wenn es die Aufgabe der Bremse ist, ein kontinuierliches Moment oder Zug auf das Material anzuwenden, das durch eine Maschine läuft, z. B. Haspelanlagen. Spezielle Überlegungen sind notwendig, um entsprechende Belagstandzeiten zu realisieren.

Bremsberechnungen sind notwendig, um eine korrekte Bremsenauswahl zu treffen. Die folgenden Berechnungen gelten als Richtlinie für all jene, die eine eigene Auswahl durchführen wollen. Für die Detailberechnung eines Bremssystems stehen unsere Techniker zur Verfügung, die mit Hilfe von Spezialsoftware alle zu erwartenden Einsatzfälle kalkulieren können.

Definition von Bremsbegriffen

Klemmkraft (F_n) ist jene Kraft, mit der jeder Belag gegen die Scheibe gepresst wird.

Bremskraft (F_b) ist die tangentielle Reibkraft, wirkend zwischen Belag und Scheibe.

$$F_b = 2 \cdot \mu \cdot F_n$$

Wobei: μ der Reibwert zwischen Bremsbelag und Scheibe ist (ein Nominalwert von 0,4 wird von Twiflex für eingeschliffene Bremsbeläge aus Standardmaterial angenommen).

Bremsmoment (T_b) ist jenes Moment der Bremskraft, das außerhalb des Zentrums der Rotation wirkt.

$$T_b = F_b \cdot r_e$$

Wobei r_e der effektive Scheibenradius ist.

Das so berechnete Bremsmoment wird in diesem Übersichtskatalog für Twiflex Bremszangen – in Verbindung mit den Twiflex Standard-Brems Scheiben – aufgeführt.

Bremsberechnungen

Definitionen von Symbolen und Einheiten

Bei der Berechnung ist es wichtig gleichbleibende Einheiten zu verwenden.

Symbole und Einheiten

ω_m	Maximale Scheibengeschwindigkeit	[rad/sec]	T_J	Trägheitsmoment	[Nm]
ω	Verzögerung beim Bremsen	[rad/sec ²]	T_F	Reibungsmoment	[Nm]
J	Trägheitsmoment reduziert auf die gebremste Welle	[kgm ²]	t_b	Bremszeit	[sec]
m	Externe Last	[kg]	t_d	Reaktionszeit für Bremssignal	[sec]
T_B	Gesamtes Bremsmoment	[Nm]	t_s	Gesamtstopzeit	[sec]
T_L	Lastmoment (von außen wirkende Lasten)	[Nm]	g	Erdbeschleunigung	[m/sec ²]

Grundlagen der Bremsberechnung

Mit den Grundlagen der Bremsberechnung soll sichergestellt werden, dass:

- Ausreichend Moment vorhanden ist, um die Maschine abzubremsen und im Stillstand festzuhalten.
- Bei dynamischen Bremsungen die Energieumwandlung im richtigen Verhältnis zur Bremsbelagsfläche steht.
- Die Temperatur der Scheibe kontrolliert wird, um „Bremsfading“ und eine reduzierte Wirkungsweise auszuschließen.

Die Basisdaten für die Ausgangsberechnung umfassen von außen wirkende Kräfte und das gesamte

Massenträgheitsmoment der beweglichen Teile der Maschine.

Das Gesamtbremsmoment wird wie folgt definiert:

$$T_B = T_J + T_L - T_F$$

Reibungseffekte können bei der konservativen Ermittlung des benötigten Bremsmoments normalerweise vernachlässigt werden.

Bei allen Arten von dynamischen Bremsungen ist es wichtig, dass sich das Massenträgheitsmoment aller rotierenden Teile auf die zu bremsende Welle bezieht, wenn T_J berechnet wird (siehe unten).

Bremsberechnung

Die Grundlagen der Bremsberechnung werden aus der Mechanik abgeleitet. Sowohl der Effekt der von außen wirkenden Lasten, als auch das Moment, welches benötigt wird, um die Massen zum Stillstand zu bringen, müssen berücksichtigt werden.

Lastmoment T_L

Wenn auf die Maschine eine Kraft von außen wirkt, dann muss dieses effektive Moment in die Berechnung mit einbezogen werden. Im Falle einer hängenden Last berechnet sich das Lastmoment wie folgt

$$T_L = m \cdot g \cdot r \text{ [Nm]}$$

wobei r jener Radius ist, an dem die Last wirkt (bezogen auf Trommel-, Haspeldurchmesser usw.). Die Bremse muss mehr Moment aufbringen, bevor sie die Maschine verlangsamen kann; Wenn die Last sich im Stillstand befindet, verhindert das statische Bremsmoment eine Bewegung. In der Praxis wird ein Servicefaktor angewendet, um Bremsen zu berechnen, welche Lasten nur Halten und sehr selten als dynamische Bremsen verwendet werden. Dabei wird das 2-fach berechnete Bremsmoment als Nennmoment der Bremse herangezogen.

Bei manchen Anlagen wie bergabfördernden Transportbändern oder Rolltreppen wirkt die Kraft in die gleiche Richtung wie die Bewegungsrichtung. In diesen Fällen sollte die folgende Gleichung verwendet werden:

$$T_L = m \cdot g \cdot r \cdot \sin \vartheta \text{ [Nm]}$$

Wobei ϑ jener Winkel ist, der die Bewegungsrichtung und die Horizontale einschließt. In Fällen, bei denen die Last kein direktes Moment auf die zu bremsende Welle bewirkt (es befindet sich ein Getriebe zwischen belasteter Welle und Bremse), muss ein entsprechender Wert (Übersetzungsverhältnis des Getriebes) berücksichtigt werden.

Bei dynamischen Bremsungen, bei denen die Last nicht konstant ist (z. B. Windkraftanlagen: es ändert sich die aerodynamische Last mit der Geschwindigkeit), wird die Berechnung des Lastmomentes T_L sehr komplex. Wir empfehlen Ihnen, solche Anwendungen Twiflex Technikern zur Berechnung zu übermitteln.

Bremsmoment durch rotierende Massen T_J (nur für dynamisches Bremsen)

Überwiegen externe Kräfte, ist ein zusätzliches Bremsmoment notwendig, um alle rotierenden Teile einer Maschine zu stoppen. Dieses Zusatzmoment berechnet sich wie folgt:

$$T_J = J \cdot \dot{\omega} \text{ [Nm]}_B$$

Die in dieser Gleichung benötigte Verzögerung kann aus der Bremszeit ermittelt werden.

$$\dot{\omega} = \omega / t_B$$

In manchen speziellen Fällen ist eine genauere Berechnung von Geschwindigkeit und Bremszeit nötig.

Das Massenträgheitsmoment des Systems (J) sollte alle rotierenden Teile beinhalten. So sollten bei einer Kranberechnung z. B. folgende Teile berücksichtigt werden: Motor, Bremsscheibe, Getriebe, Seiltrommel, Seile, Last usw., wobei erneut beliebige mechanische Vorteile an den verschiedenen Systembauteilen in Betracht gezogen werden sollten.

Das effektive Massenträgheitsmoment ergibt sich einfach aus:

$$J = m \cdot r^2 \text{ [kgm}^2\text{]}$$

Für die Seiltrommel kann folgende Formel für eine erste Beurteilung angewendet werden (dies gilt ebenso für flache Scheiben):

$$J = \pi \rho l (D^4 - d^4) / 32 \text{ [kgm}^2\text{]}$$

Wobei l die Länge der Trommel,

D der Außendurchmesser,

d der Innendurchmesser und ρ die Dichte des Materials ist (7840 kg/m³ für Stahl)

Das Massenträgheitsmoment des Motors muss auch in der Berechnung berücksichtigt werden. Diese Werte können geschätzt oder idealerweise vom Motorhersteller erfragt werden.

Hinweis: Alle Massenträgheitswerte müssen auf die zu bremsende Welle bezogen werden.

Wenn die Bremse auf der langsam drehenden Welle (Getriebeausgangswelle) montiert ist, dann müssen alle Massenträgheitsmomente (Motor, Kupplung usw.) auf diese Welle bezogen sein.

Das Referenz-Massenträgheitsmoment J_B von einer Welle mit der Geschwindigkeit ω_B zu einer anderen Welle mit der Geschwindigkeit ω_A errechnet sich folgendermaßen:

$$J_A = J_B (\omega_B / \omega_A)^2$$

Spezielle Anforderungen

In manchen Sonderfällen müssen andere direkte Überlegungen bei der Bremsberechnung ebenfalls berücksichtigt werden.

Bei Minenaufzügen wird ein spezieller Servicefaktor für das Halten sowie die Höhe der Absenkung definiert. Dies ist insbesondere beim Personentransport wichtig.

Für Fördertreppen kann die erlaubte Distanz bis zum Anhalten der Anlage, oder die Höhe der Absenkung gemäß lokaler Bestimmungen vorgeschrieben sein.

Twiflex bietet in solchen Spezialfällen Unterstützung bei der Berechnung.

Um den Bremsvorgang zu optimieren, müssen weitere Faktoren beachtet werden.

Gleitgeschwindigkeit

Bei Spezialanwendungen mit schnell laufenden Maschinen muss die Geschwindigkeit berücksichtigt werden, mit der die Bremsscheibe bei Betätigung der Bremse an den Belägen vorbeigleitet. Dabei ist die Lineargeschwindigkeit wichtig, die am effektiven Bremsscheibenradius berechnet werden kann.

Die Formel für die Gleitgeschwindigkeit lautet:

$$\text{Gleitgeschwindigkeit} = \omega_m \cdot r_e \text{ (m/s)}$$

Im Normalfall wird eine Maximalgeschwindigkeit von 30 m/s für Standardbelagmaterial festgelegt. Oberhalb dieses Wertes wird der effektive Reibbeiwert reduziert, was wiederum eine verminderte Effizienz der Bremsanlage bedeutet. Für Anwendungsfälle, bei denen die Gleitgeschwindigkeit wesentlich höher ist (bis zu 100 m/s), können Spezialbremsbeläge aus Sintermetall zur Anwendung kommen. Weitere Details erhalten Sie auf Anfrage.

Betriebstemperaturen

Während einer dynamischen Bremsung wird die Energie der Maschine in Wärme umgewandelt, welche zwischen Bremsscheibe und Belag entsteht. Anhand der Bremsscheibentemperatur kann normalerweise die Leistung der Bremse beurteilt werden. Fehler, die wegen Nichtberücksichtigung der Spitzentemperaturen auftreten, können zu einer verminderten Bremsleistung aufgrund des sogenannten „Bremsfading“ führen. Bei Verwendung von Standardbremsbelägen sind Temperaturen bis zu + 250°C zulässig, obwohl in manchen Fällen eine höhere Temperatur erlaubt werden kann. Bei Verwendung von Sinterbelägen können Höchsttemperaturen von bis zu + 600°C akzeptiert werden. Die Betriebstemperatur wirkt sich ebenfalls auf den Verschleiß der Beläge aus. Je höher die Temperatur, umso höher ist der Verschleiß. Die detaillierte Berechnung des Bremsvorganges wird unter Verwendung von spezieller Software von unseren Technikern durchgeführt.

Wärmeabstrahlung

Um eine kontrollierte Leistung einer Bremse zu bewirken ist es ebenso notwendig, die während einer Bremsung entstehende Wärmeabstrahlung zu berücksichtigen. Dies beeinflusst den Zustand der Bremsbeläge.

Um die Wärmeabstrahlung zu berechnen ist es notwendig, die totale Energieabgabe während einer Bremsung zu ermitteln:

$$\text{Kinetic Energy (KE)} = J \cdot \omega_m^2 / 2 \text{ (Joule)}$$

Im Falle von externen Lasten müssen Grenzen zwecks Umwandlung in Potentialenergie des Systems festgelegt werden. Für unser o.g. Beispiel mit dem Kran würde dies bedeuten, wie weit die Last während des Bremsvorgangs abfällt. Daraus ergibt sich die Formel für die Wärmeabstrahlung:

$$\text{Mittlere Wärmeabstrahlung} = \text{KE} / t_b \text{ (Watt)}$$

Dieser Wert wird normalerweise in die spezifische mittlere Wärmeabstrahlung (kW/cm^2) umgewandelt, welche sich auf die angreifende Belagsfläche bezieht, d.h. die Wärmeabstrahlung wird durch die Belagsfläche dividiert.

Ein Wert von $0,7 \text{ kW/cm}^2$ ist für Not-Stopp-Bremsungen mit einer Dauer von max. 10 Sekunden akzeptabel. Dies setzt natürlich gut eingeschliffene Bremsbeläge voraus. Höhere Werte können für kürzere Bremszeiten angesetzt werden.

In dem Spezialfall der Wickel- bzw. Haspelbremsen liegt dieser Wert eher bei ca. $0,06 \text{ kW/cm}^2$. Wenn diese Basiskriterien für die Bremsenauslegung ignoriert werden, führt dies zu einer verringerten Bremsleistung und verkürzter Belagstandzeit.

Unsere Techniker stehen Ihnen mit ihrem gesamten Wissen bei der Bremsenauslegung für Ihren speziellen Anwendungsfall zur Verfügung.