

KONSTRUIEREN MIT TECHNISCHEN

KUNSTSTOFFEN

mit Übersichtstabellen





LICHARZ

SEILROLLEN AUS KUNSTSTOFF

Vorsprung durch Konstruktionsteile aus Kunststoff

1. Einsatz von **LiNNOTAM** als Seilrollenwerkstoff

In der Fördertechnik sind Stahldrahtseile wichtige und hochbeanspruchte Maschinenelemente. Von ihrer Funktionsfähigkeit hängt in vielen Fällen nicht nur die Wirtschaftlichkeit großer Anlagen, sondern auch ihre Sicherheit ab. Sie müssen im Gegensatz zu anderen Maschinenelementen bereits ersetzt werden, bevor sie endgültig zerstört sind.

Für die Lebensdauer und Belastbarkeit eines über Seilrollen laufenden Seils ist die an der Berührungsfläche zwischen Rolle und Seil entstehende Flächenpressung maßgeblich entscheidend. Seilrollenwerkstoffe, die ein geringes E-Modul aufweisen, führen zu geringen Flächenpressungen und damit zur längeren Lebensdauer des Seils. Aus diesem Grund kommen thermoplastische Kunststoffe für die Herstellung von Seilrollen in Betracht.

Dabei werden vom verwendeten Kunststoff folgende Eigenschaften gefordert:

- seilschonende Elastizität,
- ausreichende Druckschwellfestigkeit,
- hohe Verschleißfestigkeit,
- ausreichende Zähigkeit auch bei tiefen Temperaturen,
- Schmierstoffbeständigkeit,
- weitgehende Beständigkeit gegen Witterungseinflüsse.

Es hat sich gezeigt, dass diese Anforderungen von Guss-Polyamid (**LiNNOTAM**) in hervorragender Weise erfüllt werden. Andere Kunststoffe, wie z. B. PE-UHMW oder PVC als schlagzähe Modifikation kommen wegen ihrer geringen Belastbarkeit und schlechteren Verschleißfestigkeit nur in speziellen Einsatzfällen zum Tragen. Aus diesem Grund beschränken wir uns bei den weiteren Ausführungen auf den Kunststoff **LiNNOTAM** als Seilrollenwerkstoff.

1.1 Vorteile von Seilrollen aus **LiNNOTAM**

1.1.1 Niedriger Seilverschleiß

Seile, die über Seilrollen aus metallischen Werkstoffen laufen, unterliegen einer hohen Beanspruchung durch die zwischen Seil und Rillengrund auftretende Flächenpressung. Beim Überrollen liegen nur die unteren Außenlitzen des Seils im Rillengrund auf. Die Folge davon ist Verschleiß in Form von Einzeldrahtbrüchen an den Außenlitzen bis hin zum Seilbruch.

Seilrollen aus **LiNNOTAM** verhindern dies aufgrund ihres elastischen Verhaltens. Die auftretende Pressung zwischen Seil und Rolle bei der Kombination Stahlseil/Polyamidrolle verhält sich etwa 1:10 im Vergleich zu Stahlseil/Stahlrolle. Dies lässt sich aus dem viskoelastischen Verhalten von Polyamid erklären. Es liegen nicht nur einzelne Außenlitzen, sondern nahezu die gesamte projizierte Litzenbreite im Rillengrund auf. Dies senkt die Flächenpressung zwischen Seil und Rolle und führt zu erheblich längerer Lebensdauer des Seils.

1.1.2 Gewichtsreduzierung

Polyamide sind um das Siebenfache leichter als Stahl. Aufgrund des Gewichtsvorteils kann durch den Einsatz von Polyamidrollen bei ähnlicher Belastbarkeit eine erhebliche Gewichtsreduzierung erzielt werden. Bei einem Mobilkran mit bis zu 18 Polyamid-Seilrollen kann eine Gewichtseinsparung von ca. 1.000 kg realisiert und so die Achslast entsprechend verringert werden. Zudem wirkt sich das leichtere Rollengewicht auch auf den Kranausleger positiv aus und erleichtert die Handhabung und Montage der Rollen wesentlich.

Seilrollen aus Kunststoff

1.1.3 Dämpfung

Das gute Dämpfungsvermögen von **LINNOTAM** reduziert Schwingungen, die bei metallischen Rollen vom Seil über die Rolle auf Welle und Lager übertragen werden. So werden Seil, Welle und Wellenlagerung geschont. Zudem ist eine Reduzierung der Laufgeräusche zu verzeichnen.

1.2 Schmierung des Seils

Die Verwendung von zähen und haftenden Seilschmierstoffen kann dazu führen, dass diese in der Seilrille festkleben. In Verbindung mit einer staubhaltigen Umgebungsluft oder eingetragenen Schmutzpartikeln bildet das anhaftende Schmiermittel eine Schmirgelpaste, die zu erhöhtem Verschleiß an Seil und Rolle führen kann. Wir empfehlen daher die Schmierung des Seils mit einem niedrigviskosen Korrosionsschutzöl, was Seil und Rolle weitgehend sauber hält.

1.3 Verschleiß von Seilrollen aus **LINNOTAM**

Verschleiß entsteht an Seilrollen aus Polyamid im Wesentlichen durch mechanische Überbeanspruchung oder Schlupf, wobei die Seilrille die am höchsten beanspruchte Stelle ist. Sie wird beim Überrollen durch das Seil schwellend beansprucht und erwärmt sich bei hohen Geschwindigkeiten. Grundsätzlich ist der Verschleiß von lose mitlaufenden Rollen bzw. Rollen, die über ein gespanntes Seil laufen, geringer als der von angetriebenen Rollen. Sind Litzenseile im Einsatz, können sich die einzelnen Litzen bei hochbeanspruchten Rollen im Rillengrund abdrücken. Bei hochbelasteten, schlupffreien Rollen, in Verbindung mit einem offenen Litzenseil, darf das Umfangsmaß des Rillengrunds kein ganzzahliges Vielfaches des Litzenschlages bilden. So wird, ähnlich wie bei den kämmenden Zähnen eines Zahnrads, vermieden, dass ständig die gleichen Stellen des Rillengrunds mit einem Seiltal bzw. einer Seilkuppe in Berührung kommen. Bei der Verwendung von geschlossenen Seilen kann es in Verbindung mit Schmierstoffen zu Grübchenbildung kommen, deren Entstehungsursache vermutlich mit denen bei Zahnrädern identisch ist. Im Allgemeinen ist unter normalen Umgebungsbedingungen und bei Einhaltung der Grenzbelastungswerte ein Rillengrundverschleiß von $\leq 0,1 \mu\text{m}/\text{km}$ möglich.

2. Konstruktionshinweise

2.1 Seilrillenprofil

Der Seilrillenradius sollte ca. 5-10 % größer als der halbe Seildurchmesser sein. Damit sind die Seiltoleranzen in ausreichendem Maß berücksichtigt und eine gute Seilaufgabe gewährleistet. Die Seilrillentiefe h wird in DIN 15061 Teil 1 für Seilrollen aus Stahl mit mindestens $h_{\min} = d\sqrt{2}$ angegeben. Wir empfehlen für Seilrollen aus Polyamid eine Seilrillentiefe von $h \geq 1,5 d$. Die Wahl des Öffnungswinkels β ist von der seitlichen Seilablenkung abhängig. Die maximale Seilablenkung in Rillenrichtung sollte vier Grad nicht überschreiten.

Folgende Rillenwinkel, in Verbindung mit der Seilablenkung, haben sich bewährt:

Seilablenkung 0° - $2,5^\circ \rightarrow \beta = 45^\circ$

Seilablenkung $>2,5^\circ$ - $4,0^\circ \rightarrow \beta = 52^\circ$

Ein Seilrillenwinkel $< 45^\circ$ sollte vermieden werden. Die DIN 15061 Teil 1 empfiehlt die in Tabelle 1 enthaltenen Abmessungen als Richtwerte für Seilrillenprofile.

Als Richtwert für den Seilrillengrunddurchmesser von Seilscheiben aus Gusspolyamid empfehlen wir:

$$D_1 = 22 \cdot d_1 \text{ [mm]}$$

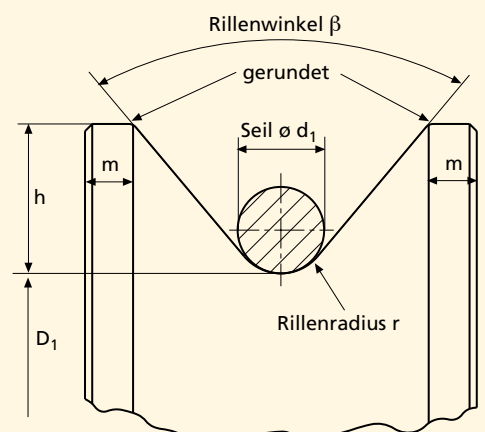


Tabelle 1: Richtwerte für Seilrillenprofile in mm nach DIN 15061 Teil 1

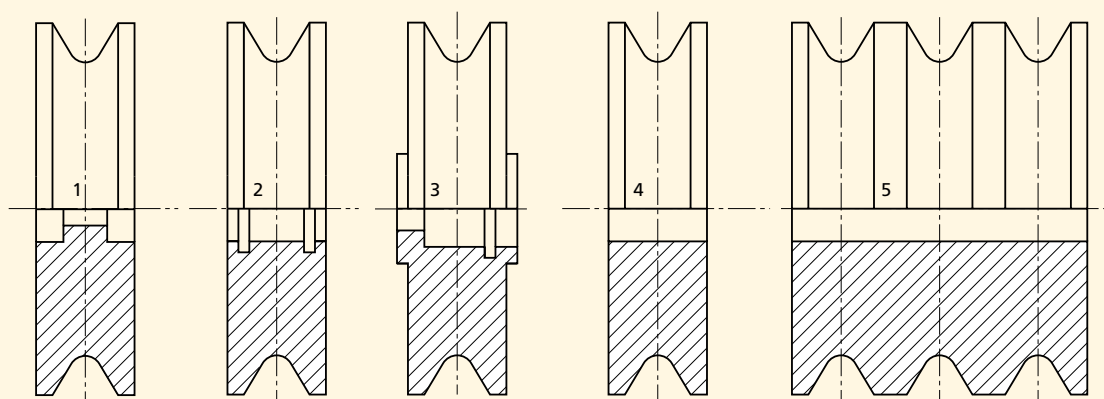
$\varnothing d_1$	r_1	h	m	$\varnothing d_1$	r_1	h	m	$\varnothing d_1$	r_1	h	m
3	1,6	8	2	21	11	35	7	39	21	60	11
4	2,2	10	2	22	12	35	7	40	21	60	11
5	2,7	12,5	2	23	12,5	35	7	41	23	60	11
6	3,2	12,5	3	24	13	37,5	8	42	23	65	11
7	3,7	15	4	25	13,5	40	8	43	23	65	11
8	4,2	15	4	26	14	40	8	44	24	65	12,5
9	4,8	17,5	4,5	27	15	40	8	45	24	65	12,5
10	5,3	17,5	4,5	28	15	40	8	46	25	67,5	12,5
11	6,0	20	5	29	16	45	8	47	25	70	12,5
12	6,5	20	5	30	16	45	8	48	26	70	12,5
13	7,0	22,5	5	31	17	45	8	49	26	72,5	12,5
14	7,5	25	6	32	17	45	8	50	27	72,5	12,5
15	8,0	25	6	33	18	50	10	52	28	75	12,5
16	8,5	27,5	6	34	19	50	10	54	29	77,5	12,5
17	9,0	30	6	35	19	55	10	56	30	80	12,5
18	9,5	30	6	36	19	55	10	58	31	82,5	12,5
19	10,0	32,5	7	37	20	55	11	60	32	85	12,5
20	10,5	35	7	38	20	55	11	-	-	-	-

2.2 Lagerung

Aufgrund der guten Gleiteigenschaften von **LINNOTAM** ist bei gering belasteten Seilrollen eine Ausführung der Lagerung als Gleitlager möglich. Maßgebend ist dabei der pv-Grenzwert. Ist hoher Verschleiß am Lager bei intakter Seilrille zu erwarten, kann durch den Einsatz einer austauschbaren Lagerbuchse das vorzeitige Austauschen der Seilrolle vermieden werden.

Für hochbelastete Seilrollen, deren maximale Belastungswerte über denen für eine Gleitlagerung zulässigen liegen, empfehlen wir den Einbau von Wälzlagern. Diese können durch Einpressen in den mit Untermaßen nach Diagramm 1 und 2 gefertigten Lagersitz befestigt werden. Bei zu erwartenden axialen Belastungen des Wälzlagers empfehlen wir, die Lager durch im Maschinenbau übliche Sicherungselemente, wie z. B. Sicherungsringe nach DIN 472, gegen Herausdrücken zu sichern.

Die nachfolgende Abbildung zeigt einige mögliche Rollenausführungen:



Ausführung mit Lagersitz für Wälzlagerung

Ausführung mit Gleitlagerung

Seilrollen aus Kunststoff

Diagramm 1: Empfohlenes Einpressuntermaß für Wälzlagersitze

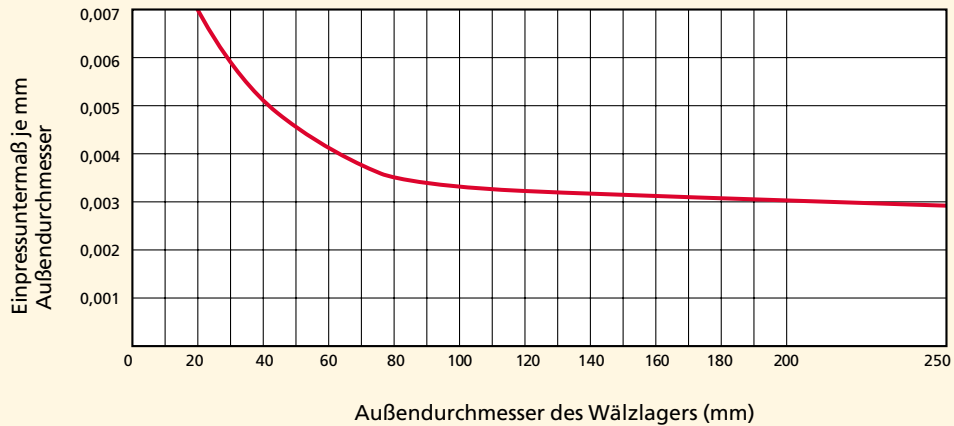
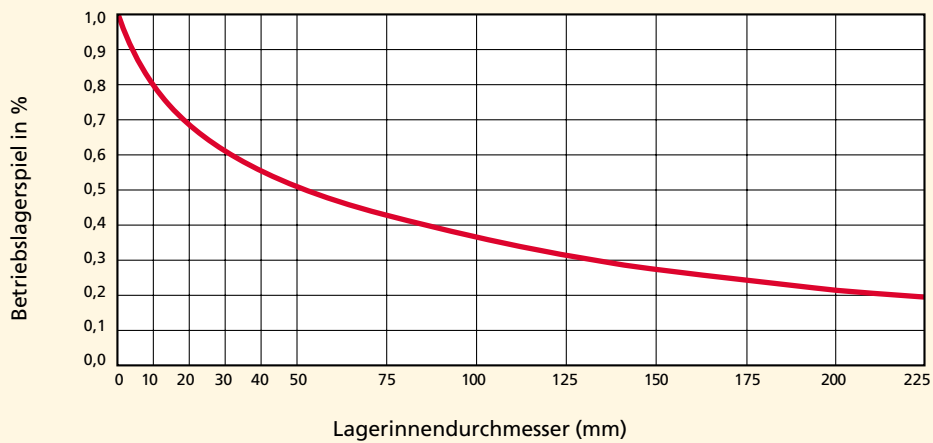


Diagramm 2: Empfohlenes Betriebslagerspiel für Gleitlagerung



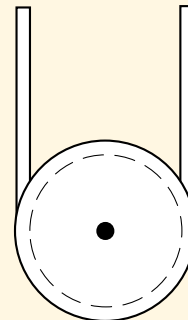
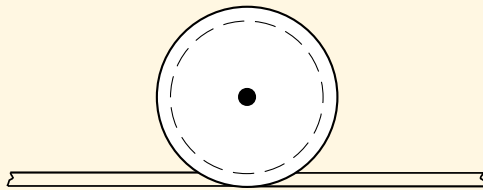
Für die Berechnung und Dimensionierung der Lagerung ist speziell bei Gleitlagern zu beachten, dass die Lagerlast bei losen Rollen dem Seilzug entspricht, bei festen Rollen jedoch mit dem Umschlingungswinkel eine resultierende Kraft bildet, die bei 180° das Doppelte des Seilzugs beträgt. Hierzu werden im Abschnitt 3 „Berechnung von Seilrollen“ weitere Informationen gegeben.

3. Berechnung von Seilrollen

Für die Berechnung von Seilrollen sind Unterscheidungen hinsichtlich des Belastungsfalls, der verwendeten Seile und der Betriebsart zu treffen.

Man unterscheidet zwischen:

- Belastung der Seilrolle durch Punktlast (Seilrolle läuft auf gespanntem Seil),
- Belastung der Seilrolle durch Umfangslast (Seil umschlingt die Seilrolle),



- der Seilart:
offenes Drahtseil (Litzenseil),
verschlossenes Drahtseil,
- der Betriebsart:
lose Rolle (z. B. Laufrolle einer Seilbahn),
feste Rolle (z. B. Umlenkrollen).

Die Berücksichtigung dieser Kriterien führt für die einzelnen Lastfälle, Seilarten und Betriebsarten zu unterschiedlichen Rechengängen bzw. kräftemäßigen Betrachtungen.

3.1 Berechnung der Lagerpressung

Soll das Rollenlager als Gleitlager ausgeführt werden, muss der im Lager auftretende pv-Wert errechnet und mit den für **LINNOTAM** zulässigen Werten verglichen werden. Dabei ist das Gleitlager wie eine eingepresste Lagerbuchse zu betrachten. Die Berechnung erfolgt also analog der für dynamisch belastete Gleitlager. Die zu erwartende Lagerlast ist von der Betriebsart der Seilrolle abhängig.

Die mittlere Flächenpressung für Querlager beträgt:

$$p = \frac{F}{d_w \cdot L} \quad [\text{MPa}]$$

mit

F = Lagerlast in N

d_w = Wellendurchmesser in mm

L = Lagerbreite in mm

und die mittlere Gleitgeschwindigkeit zu

$$v = \frac{d_w \cdot \pi \cdot n}{60.000} \quad [\text{m/s}]$$

mit

d_w = Wellendurchmesser

n = Drehzahl in min⁻¹

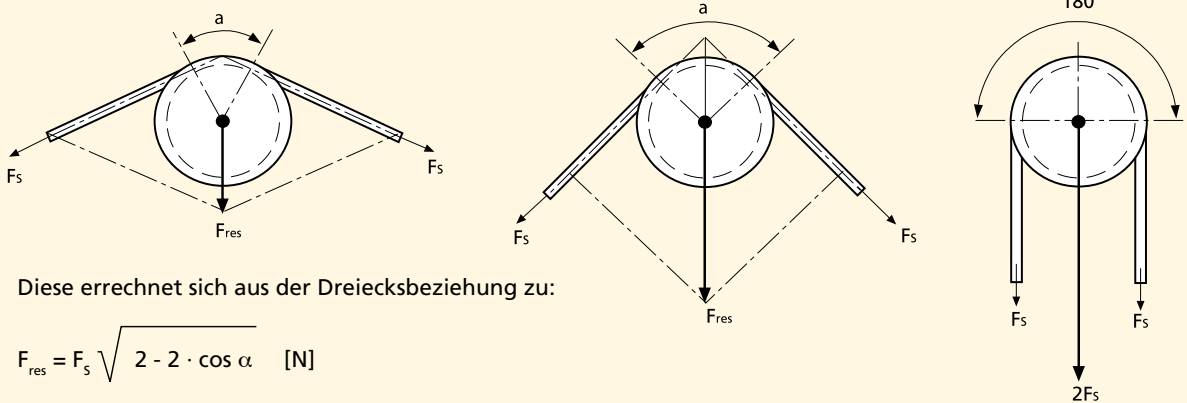
Seilrollen aus Kunststoff

Zusammengesetzt wird $p v_{\text{Dauer}}$ bei dynamischer Belastung für lose Rollen zu:

$$p v_{\text{Dauer}} = \left(\frac{F_s}{d_w \cdot L} \right) \cdot \left(\frac{d_w \cdot \pi \cdot n}{60.000} \right) \quad [\text{MPa} \cdot \text{m/s}]$$

Bei Aussetzbetrieb ist eine Korrektur der $p v_{\text{Dauer}}$ nach dem im Kapitel „Gleitlager“ Abschnitt 3.2 beschriebenen Verfahren möglich.

Für feste Rollen ist die Lagerlast vom Umschlingungswinkel, den das Seil mit Rolle bildet, abhängig. Bei einer vollständigen Umschlingung der Rolle (180°) geht der Seilzug doppelt in die Berechnungen ein. Für Umschlingungswinkel $\alpha < 180^\circ$ muss mit Hilfe des Winkels und des Seilzugs eine resultierende Kraft F_{res} errechnet werden.



Diese errechnet sich aus der Dreiecksbeziehung zu:

$$F_{\text{res}} = F_s \sqrt{2 - 2 \cdot \cos \alpha} \quad [\text{N}]$$

mit

F_s = Seilzug in N

α = Umschlingungswinkel

Die ermittelten $p v$ -Werte dürfen bei Rollen aus **LINNOTAM** max. $0,13 \text{ MPa} \cdot \text{m/s}$ im Trockenlauf und max. $0,5 \text{ MPa} \cdot \text{m/s}$ bei Schmierung betragen. Liegen die errechneten Werte über diesen maximalen Werten, ist eine Wälzlagerung vorzuziehen.

3.2 Berechnung der Pressung zwischen Seil und Seilrille

Das maßgebliche Kriterium für die Belastbarkeit von Seilrollen stellt die zwischen Seil und Rolle entstehende Pressung dar. Zur rechnerischen Bestimmung der auftretenden Pressungen werden die für diesen Fall modifizierten Hertzschen Gleichungen angewendet. Die Ergebnisse aus den Berechnungen müssen mit den für **LINNOTAM** zulässigen Werten aus den Diagrammen 3 und 4 verglichen werden. Sie sind in Verbindung mit der Seilgeschwindigkeit zu betrachten und dürfen diese nicht überschreiten.

3.2.1 Punktförmige Berührung von verschlossenen Drahtseilen

Bei der Verwendung eines verschlossenen Drahtseils mit einem kleinen Seilablenkwinkel ($\alpha < 10^\circ$), wie es z. B. bei Seilbahnen der Fall ist, entsteht eine punktförmige Belastung. Die erzeugte Druckfläche ist elliptisch.

Unter diesen Voraussetzungen berechnet sich der Pressungskennwert p' für Seilrollen aus **LINNOTAM** aus der Gleichung:

$$p' = \frac{63,5}{\xi \cdot \eta} \cdot \sqrt[3]{\left(\sum \frac{1}{R}\right)^2 \cdot F} \quad [\text{MPa}]$$

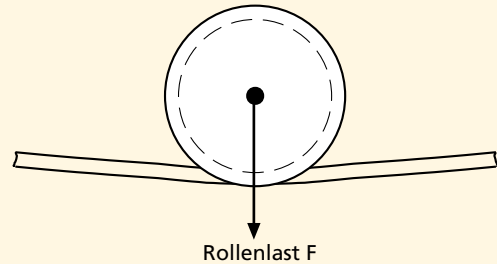
mit

ξ = Hilfwert

η = Hilfwert

$\sum \frac{1}{R}$ = Summe der Hauptkrümmungen in mm^{-1}

F = Rollenlast in N



Die Summe der Hauptkrümmungen der sich berührenden Körper errechnet sich aus:

$$\sum \frac{1}{R} = \frac{2}{d} - \frac{1}{\rho} - \frac{1}{r} + \frac{2}{D} \quad [\text{mm}^{-1}]$$

Aus der Summe der Hauptkrümmung kann der Hilfwinkel ϑ zur Bestimmung der Hilfwerte ξ und η nach folgender Formel bestimmt werden:

$$\cos \vartheta = \frac{\frac{2}{d} + \frac{1}{\rho} - \frac{1}{r} - \frac{2}{D}}{\sum \frac{1}{R}}$$

mit

d = Seildurchmesser in mm

ρ = Seilkrümmungsradius (i. a. vernachlässigbar, da im Vergleich zu den anderen Radien sehr groß)

r = Rillradius in mm

D = Rillengrunddurchmesser

Die Hilfwerte ξ und η können aus Tabelle 1 entnommen werden. Liegt ϑ zwischen den Tabellenwerten, müssen die Hilfwerte interpoliert werden.

Tabelle 1: Hilfwerte ξ und η für verschiedene Werte von ϑ

ϑ	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
ξ	1,0	1,128	1,284	1,486	1,754	2,136	2,731	3,778	6,612	∞
η	1,0	0,893	0,802	0,717	0,641	0,567	0,493	0,408	0,319	0

3.2.2 Punktförmige Berührung von offenen Drahtseilen

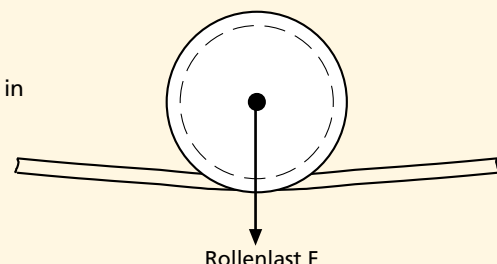
Es kann davon ausgegangen werden, dass bei Seilrollen aus **LINNOTAM** aufgrund der Elastizität der Rolle in Verbindung mit einem offenen Litzenseil nicht nur ein einzelner Draht der Litze, sondern mehrere Drähte aufliegen und an der Kraftübertragung beteiligt sind. Es wird daher die gesamte Litze als Einzeldraht betrachtet und vorausgesetzt, dass alle belasteten Litzen die gleiche Kraft übertragen. In den Rechengang wird ein Korrekturglied eingeführt, welches die Kraftübertragung von mehreren, jedoch höchstens 40 % aller Litzen berücksichtigt.

Mit dieser Betrachtung wird der Pressungskennwert p' zu:

$$p' = p'_e \cdot \sqrt[3]{\frac{X}{Z}} \quad [\text{MPa}]$$

und der Pressungskennwert p'_e für einen Einzeldraht in Verbindung mit einer Rolle aus **LINNOTAM**

$$p'_e = 42 \cdot \sqrt[3]{\left(1 - \frac{d_1}{2r} + \frac{d_1}{D}\right)^2 \cdot \frac{F}{d_1^2}} \quad [\text{MPa}]$$



Seilrollen aus Kunststoff

mit

X = Korrekturfaktor in Beziehung zu p'_e
zu entnehmen aus Tabelle 2

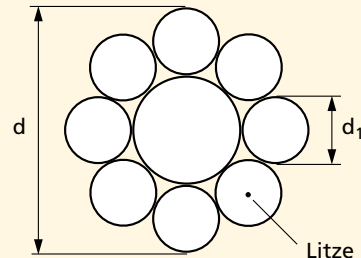
Z = Anzahl der Außenlitzen

d_1 = Litzendurchmesser in mm

r = Rillenradius in mm

D = Rillengrunddurchmesser in mm

F = Rollenlast in N



3.2.3 Umfangslast mit offenen Drahtseilen

Hinsichtlich der Kraftübertragung zwischen Seil und Rolle gilt die gleiche Betrachtungsweise, wie sie unter Punkt 3.2.2 für die punktförmige Belastung beschrieben wurde. Abweichend davon ist lediglich, dass es sich bei einer umschlungenen Rolle nicht um eine Punktlast, sondern Flächenlast handelt. Damit wird der Pressungskennwert p' zu:

$$p' = p'_e \sqrt{\frac{X}{Z}} \quad [\text{MPa}]$$

und der Pressungskennwert p'_e für einen Einzeldraht in Verbindung mit einer Rolle aus **LINNOTAM**

$$p'_e = 55 \cdot \sqrt{\frac{(2r - d_1) \cdot F_s}{2r \cdot d_1 \cdot D}} \quad [\text{MPa}]$$

mit

X = Korrekturfaktor in Beziehung zu p'_e
zu entnehmen aus Tabelle 2

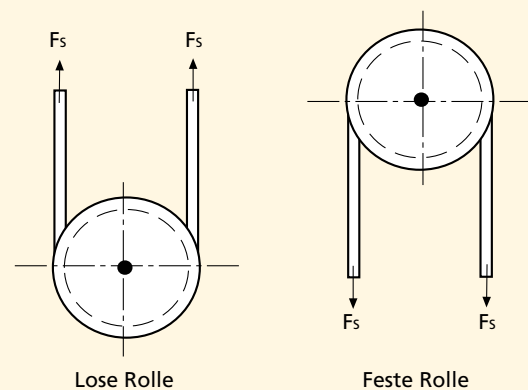
Z = Anzahl der Außenlitzen

d_1 = Litzendurchmesser in mm

r = Rillenradius in mm

D = Rillengrunddurchmesser in mm

F_s = Seilzug in N



Bei der Ermittlung des Korrekturfaktors ist zu beachten, dass bei $X > Z$ in den Wurzelausdruck des Korrekturglieds $Z = X$ einzusetzen ist, damit der Wurzelausdruck zu 1 wird. Liegt der Wert von p'_e zwischen den in der Tabelle angegebenen, muss der Wert für X entsprechend interpoliert werden.

Tabelle 2: Korrekturfaktor X

Flächenpressung p'_e in MPa	Korrekturfaktor X
≤ 50	Z
150	6
300	4
≥ 450	2,5

3.3 Maximal zulässige Flächenpressungen

Die Ergebnisse aus den Berechnungen müssen mit den maximal zulässigen Belastungskennwerten aus den Diagrammen 3 und 4 verglichen werden. Ein Überschreiten dieser Werte sollte vermieden werden.

Diagramm 3:

Grenzbelastungswert p'_{\max} in Abhängigkeit von Seilgeschwindigkeit und Umgebungstemperatur für Seilrollen aus **LINNOTAM** unter Umfangslast

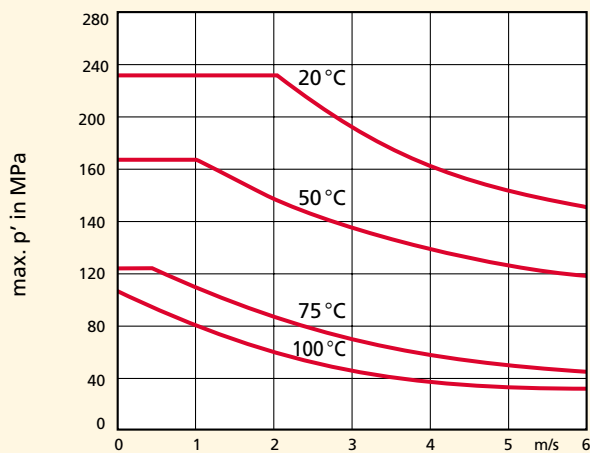
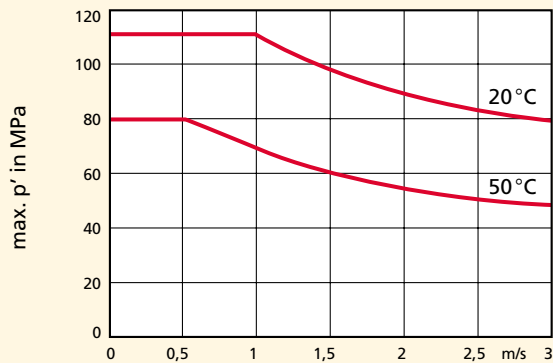


Diagramm 4:

Grenzbelastungswert p'_{\max} in Abhängigkeit von Seilgeschwindigkeit und Umgebungstemperatur für Seilrollen aus **LINNOTAM** mit Punktlast



Deutschland: Licharz GmbH
Industriepark Nord | D-53567 Buchholz | Germany
Telefon: +49 (0) 2683 - 977 0 | Fax: +49 (0) 2683 - 977 111
Internet: www.licharz.com | E-Mail: info@licharz.com

Frankreich: Licharz eurl.
Z.I. de Leveau – Entrée G | F-38200 Vienne | France
Téléphone: +33 (0) 4 74 31 87 08 | Fax: +33 (0) 4 74 31 87 07
Internet: www.licharz.fr | e-mail: info@licharz.fr

England: Licharz Ltd
34 Lanchester Way | Royal Oak Industrial Estate | Daventry, NN11 8PH | Great Britain
Phone: +44 (0) 1327 877 500 | Fax: +44 (0) 1327 877 333
Internet: www.licharz.co.uk | email: sales@licharz.co.uk

USA: Timco Inc
2 Greentown Rd | Buchanan NY 10511 | USA
Phone: +1 914 - 736 0206 | Fax: +1 914 - 736 0395
Internet: www.timco-eng.com | Email: sales@timco-eng.com

LICHARZ GENAU IHRE LÖSUNG

Wir denken von Anfang an mit!

Wir beraten Sie beim Einsatz von Kunststoffen und entwickeln Ihr Bauteil mit Ihnen gemeinsam:

- Wir prüfen Einsatzbedingungen an Ihrer Maschine vor Ort,
- wir überprüfen Ihre Konstruktionszeichnung,
- wir empfehlen den Werkstoff und das Bearbeitungsverfahren,
- wir fertigen bei Bedarf einen Prototypen für Sie.

Schnell und wirtschaftlich erhalten Sie Ihr Produkt genau so, wie Sie es brauchen!