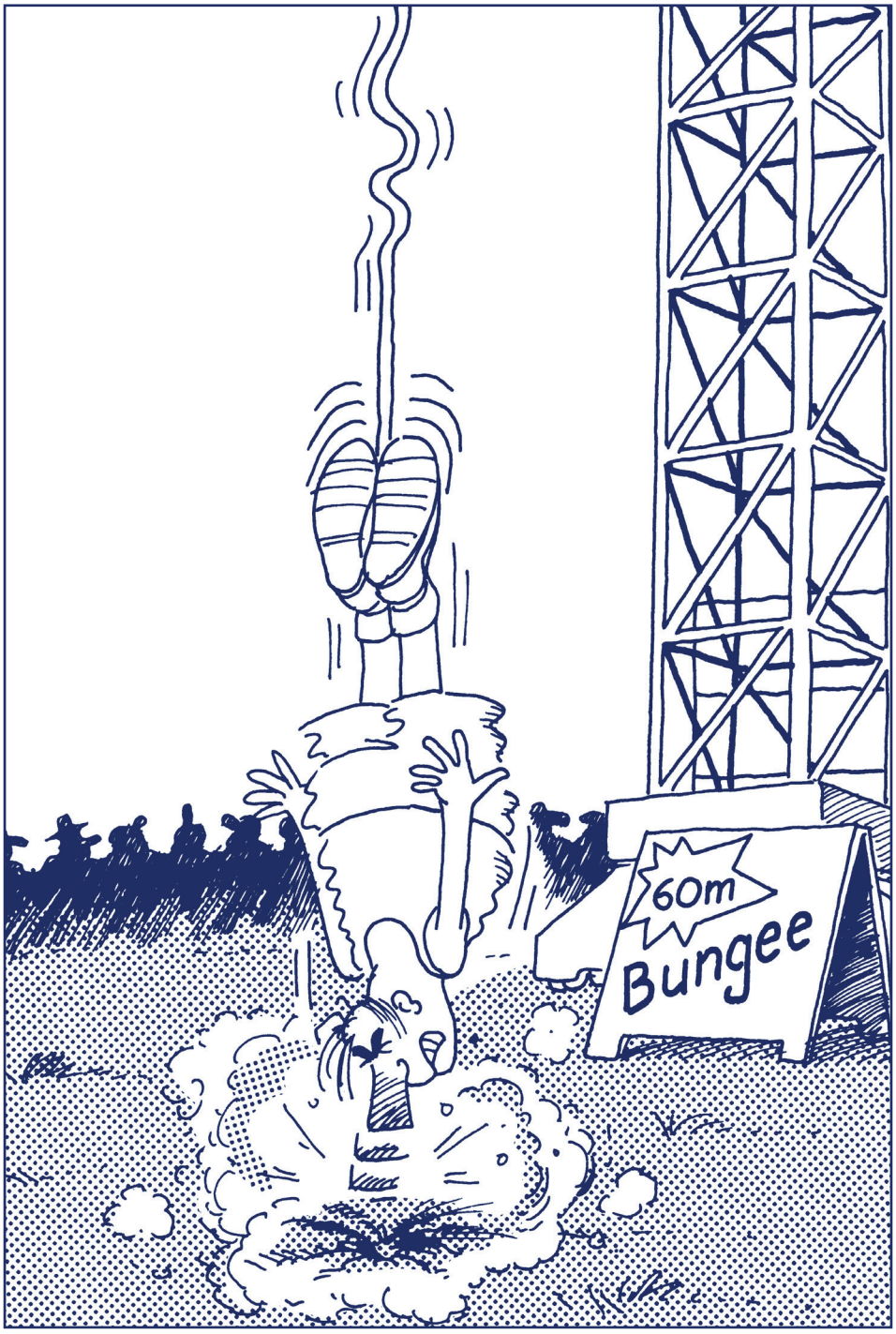
WIRE ROPE
TECHNOLOGY AACHEN



Die Auslegung des Seiltriebes nach DIN 15 020

Die Auslegung des Seiltriebes nach DIN 15 020

von Dipl.-Ing. Roland Verreet

Inhalt

1. Die Auslegung eines Seiltriebes nach DIN 15 020 4

2. Die Vorgehensweise 4

3. Rechenbeispiel 8

4. Die Umrechnung des c-Wertes 12

5. Rechenbeispiel 13

6. Fallstudie: Die Auslegung eines Gegengewichtsseiles 15

7. Fallstudie: Die Ausgleichsscheibe 16

8. Fallstudie: Der Seilwirkungsgrad 19

© 2009, 2018 Ingenieurbüro für Drahtseiltechnik Wire Rope Technology Aachen GmbH
Titel und Cartoons: Rolf Bunse
Satz, Layout und Gestaltung: Benedikt Dolzer, Aachen
Nachdruck, auch teilweise, nur mit Genehmigung des Verfassers.

1. Die Auslegung eines Seiltriebes nach DIN 15 020

Die DIN 15 020 ist die wichtigste deutsche Norm für die Konstrukteure und Betreiber von Seiltrieben. In Blatt 1 mit dem Titel „Grundsätze für Seiltriebe, Berechnung und Ausführung“ werden die Durchmesser der laufenden Drahtseile, der Seilscheiben und der Seiltrommeln festgelegt. Blatt 2 mit dem Titel „Grundsätze für Seiltriebe, Überwachung im Gebrauch“ definiert die Ablegekriterien von laufenden Drahtseilen.

Die Norm ordnet verschiedenen Seiltrieben, die mit der gleichen Seilzugkraft arbeiten, in Abhängigkeit von der mittleren Laufzeit je Tag und der Häufigkeit des Auftretens der höchsten Lasten verschiedene Seil-, Scheiben- und Trommeldurchmesser zu. Auf diese Weise soll zum einen eine hinreichende Sicherheit des Betriebes, zum anderen eine zufriedenstellende Seillebensdauer gewährleistet werden.

2. Die Vorgehensweise

Zunächst muß der Seiltrieb in eine Triebwerksgruppe eingestuft werden. Hierzu wählt man zunächst in Tabelle 1 anhand der mittleren Laufzeit je Tag in Stunden, umgerechnet auf 1 Jahr, die Laufzeitklasse aus (Abb. 1).

Abhängig von der Häufigkeit des Auftretens der größten Lasten wird das Lastkollektiv ausgewählt. Die gesuchte Triebwerksgruppe findet sich im Schnittpunkt der Spalte der Laufzeitklasse mit der Zeile des Lastkollektivs.

Wenn der Seiltrieb nicht eindeutig einem der Lastkollektive „leicht“, „mittel“ oder „schwer“ zugeordnet werden kann, muß der sogenannte kubische Mittelwert k der auf die Tragfähigkeit bezogenen Belastungen entsprechend der Fußnote zu Abschnitt 4.1 errechnet werden. Liegt der errechnete Wert für k unter 0.53, handelt es sich um ein Lastkollektiv „leicht“, liegt er zwischen 0.53 und 0.67, handelt es sich um ein Lastkollektiv „mittel“. Wenn k einen Wert zwischen 0.67 und 0.85 annimmt, muß der Seiltrieb im Lastkollektiv „schwer“ eingestuft werden.

Der Mindestnenndurchmesser für das Drahtseil des Seiltriebes wird nach einer einfachen Formel berechnet:

$$d_{min} = c \bullet \sqrt{S}$$

Die rechnerische Seilzugkraft S erhalten wir nach DIN 15 020 aus der statischen Zugkraft im Drahtseil unter Berücksichtigung der Beschleunigungskräfte und des Seiltriebwirkungsgrades. Wenn die Beschleunigungskräfte allerdings kleiner sind als 10% der statischen Zugkräfte, müssen sie nicht berücksichtigt werden.

Ebenso brauchen Zusatzkräfte, die sich aus einer Seilspreizung bis 45° ergeben, nicht berücksichtigt zu werden. Die Eigengewichte der Tragmittel und der Wirkungsgrad des Seiltriebes dürfen vernachlässigt werden, wenn ihr gemeinsamer Einfluß nicht größer ist als 5% der statischen Last.

Lauf-zeit-klasse		Kurzzeichen		V_{006}	V_{012}	V_{025}	V_{05}	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
		mittl. Laufzeit je Tag in h, bezogen auf 1 Jahr		bis 0,125	ü 0,125 bis 0,25	ü 0,25 bis 0,5	ü 0,5 bis 1	über 1 bis 2	über 2 bis 4	über 4 bis 8	über 8 bis 16	über 16
Lastkollektiv	Nr	Benen-nung	Erklärung	Triebwerksgruppe								
	1	leicht	geringe Häufigkeit der größten Last	$1E_m$	$1E_m$	$1D_m$	$1C_m$	$1B_m$	$1A_m$	2_m	3_m	4_m
	2	mittel	etwa gleiche Häufigkeit von kleinen, mittleren und größten Lasten	$1E_m$	$1D_m$	$1C_m$	$1B_m$	$1A_m$	2_m	3_m	4_m	5_m
	3	schwer	nahezu ständig größte Lasten	$1D_m$	$1C_m$	$1B_m$	$1A_m$	2_m	3_m	4_m	5_m	5_m

Abb. 1: Bestimmung der Triebwerksgruppe

Trieb-werks-gruppe	c in mm / $\sqrt{N}$ für übliche Transporte und								c in mm / $\sqrt{N}$ für gefährliche Transporte und					
	nicht drehungsfreie Drahtseile					drehungsfreie bzw. drehungsarme Drahtseile			nicht drehungsfreie Drahtseile			drehungsfreie bzw. drehungsarme Drahtseile		
	Nennfestigkeit der Einzeldrähte in N/mm^2													
	1570	1770	1960	2160	2450	1570	1770	1960	1570	1770	1960	1570	1770	1960
$1E_m$	–	0,0670	0,0630	0,0600	0,0560	–	0,0710	0,0670	–			–		
$1D_m$	–	0,0710	0,0670	0,0630	0,0600	–	0,0750	0,0710	–			–		
$1C_m$	–	0,0750	0,0710	0,0670		–	0,0800	0,0750	–			–		
$1B_m$	0,0850	0,0800	0,0750	–		0,0900	0,0850	0,0800	–			–		
$1A_m$	0,0900	0,0850		–		0,0950		0,0900	0,0950			0,1060		
2_m	0,0950			–		0,1060			0,1060			0,1180		
3_m	0,1060			–		0,1180			0,1180			–		
4_m	0,1180			–		0,1320			0,1320			–		
5_m	0,1320			–		0,1500			0,1500			–		

Abb. 2: Bestimmung des c- Wertes

Den Beiwert c finden wir für die ermittelte Triebwerksgruppe in Tabelle 2 der Norm. Die Tabelle unterscheidet in den Spalten zwischen üblichen Transporten und gefährlichen Transporten, wie z.B. dem Befördern feuerflüssiger Massen oder dem Befördern von Reaktorbrennelementen (Abb. 2). Ferner unterscheidet sie innerhalb dieser Gruppen noch einmal zwischen nicht drehungsfreien und drehungsfreien oder drehungsarmen Drahtseilen. Für die „niedrigeren“ Triebwerksgruppen erfolgt eine weitere Unterteilung entsprechend der Nennfestigkeit der Seildrähte.

Gefährlichen Transporten, drehungsfreien oder drehungsarmen Drahtseilen und höheren Triebwerksgruppen werden höhere c- Werte zugeordnet, was zu größeren Seildurchmessern führt. In den „niedrigeren“ Triebwerksgruppen werden zusätzlich den geringeren Drahtfestigkeiten größere c- Werte zugeordnet, was ebenfalls die Seildurchmesser vergrößert.

Der Durchmesser D von Seiltrommel oder Seilscheibe errechnet sich als Vielfaches des Mindestseildurchmessers nach der Formel

$$D_{min} = h1 \cdot h2 \cdot d_{min}.$$

Die Faktoren h1 und h2 sind dimensionslos. h1 wird nach Tabelle 4 der DIN in Abhängigkeit von der Triebwerksgruppe gewählt.

Triebwerksgruppe	h_1 für Seiltrommel und		h_1 für Seilscheibe und		h_1 für Ausgleichsscheibe und	
	nicht drehungsfreie Drahtseile	drehungsfreie bzw. drehungsarme Drahtseile	nicht drehungsfreie Drahtseile	drehungsfreie bzw. drehungsarme Drahtseile	nicht drehungsfreie Drahtseile	drehungsfreie bzw. drehungsarme Drahtseile
$1E_m$	10	11,2	11,2	12,5	10	12,5
$1D_m$	11,2	12,5	12,5	14	10	12,5
$1C_m$	12,5	14	14	16	12,5	14
$1B_m$	14	16	16	18	12,5	14
$1A_m$	16	18	18	20	14	16
2_m	18	20	20	22,4	14	16
3_m	20	22,4	22,4	25	16	18
4_m	22,4	25	25	28	16	18
5_m	25	28	28	31,5	18	20

Abb. 3: Bestimmung der Beiwerte h1

Drehungsfreien und drehungsarmen Drahtseilen werden hier höhere Beiwerte zugeordnet, die zu größeren Scheiben- und Trommeldurchmessern führen (Abb. 3).
Tabelle 4 weist für Ausgleichsscheiben kleinere Beiwerte h1 aus als für die übrigen Seilscheiben des Seiltriebes. Zur Vermeidung von gefährlichen Unfällen sei dem Konstrukteur aber dringend geraten, die Ausgleichsscheiben genauso groß zu dimensionieren wie die anderen Seilscheiben. Dieser Punkt wird in der „Fallstudie: Die Ausgleichsscheibe“ ausführlich behandelt.

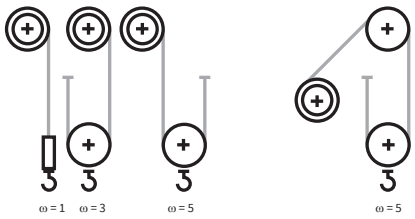
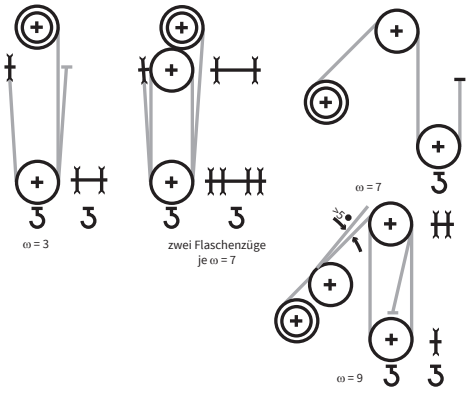
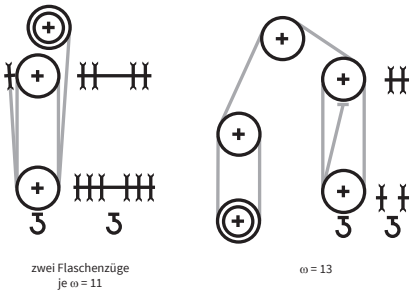
Beschreibung	Anordnungsbeispiele von Seiltrieben Anwendungsbeispiele (Trommeln sind in Doppellinien angegeben)	ω	h2 für	
			Seiltrommeln Ausgleichsrollen	Seilrollen
Drahtseil läuft auf Seiltrommel und über höchstens • 2 Seilrollen mit gleichsinniger Biegung oder • 1 Seilrolle mit Gegenbiegung		bis 5	1	1
Drahtseil läuft auf Seiltrommel und über höchstens • 4 Seilrollen mit gleichsinniger Biegung oder • 2 Seilrollen mit gleichsinniger und 1 Seilrolle mit Gegenbiegung oder • 2 Seilrollen mit Gegenbiegung		6 bis 9	1	1,12
Drahtseil läuft auf Seiltrommel und über höchstens • 5 Seilrollen mit gleichsinniger Biegung oder • 3 Seilrollen mit gleichsinniger und 1 Seilrolle mit Gegenbiegung oder • 1 Seilrolle mit gleichsinniger und 2 Seilrollen mit Gegenbiegung oder • 3 Seilrollen mit Gegenbiegung		ab 10	1	1,25

Abb. 4: Bestimmung des Beiwertes h2

Der Beiwert h2 wird der Tabelle 5 der DIN 15020 entnommen. Er berücksichtigt die Zahl der Biegewechsel, die das höchstbeanspruchte Seilstück bei einem Arbeitsspiel erfährt. h2 kann die Werte 1, 1.12 und 1.25 annehmen. Ein Wert von h2 = 1.25 beispielsweise „bestraft“ den Konstrukteur, der zu viele Scheiben in den Seiltrieb einbaut, dafür, daß er dem Drahtseil zu viele Biegewechsel zumutet. Er muß zum Ausgleich alle Seilscheiben um 25 % im Durchmesser vergrößern. Der Rechengang soll nun an einem Beispiel erläutert werden.

3. Rechenbeispiel

Stellen wir uns vor, wir sollen einen Seiltrieb gemäß Abb. 5 nach den Regeln der DIN 15020 auslegen. Uns liegen die folgenden Angaben für den Seiltrieb vor:

Arbeitszeit: 10 Stunden pro Tag
Maximale Stranglast 32000N
Gleiche Häufigkeiten kleiner, mittlerer und großer Lasten
Nicht drehungsfreies Drahtseil
Drahtnennfestigkeit 1960 N/mm^2

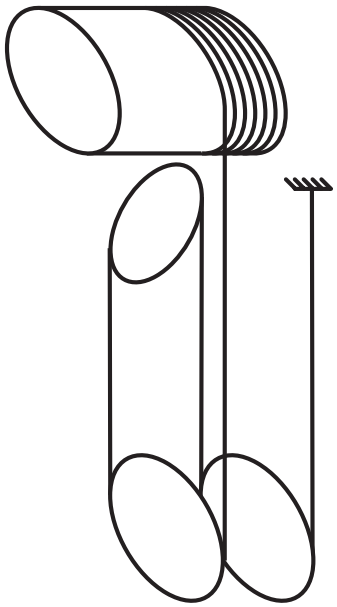


Abb. 5: Auszulegender Seiltrieb

Aus der Arbeitszeit von 10 Stunden pro Tag folgt nach Tabelle 1 der DIN 15020 eine Laufzeitklasse V 4. Kleine, mittlere und größte Lasten treten etwa in gleicher Häufigkeit auf, dies entspricht der Laufzeitklasse „mittel“. Aus diesen beiden Zuordnungen folgt eine Triebwerksgruppe 4m (siehe Abb. 1).

Unser Kran wird übliche Transporte durchführen, und wir werden ein nicht drehungsfreies Seil mit einer Nennfestigkeit von 1960 N/mm² einsetzen. In Tabelle 2 finden wir für c einen Wert von 0,118.
Unsere maximale Seilzugkraft beträgt 32000N. Somit errechnet sich unser minimaler Seilnenndurchmesser zu

$$d_{min} = 0{,}118 \cdot \sqrt{32000}\,\text{mm}$$

und

$$d_{min} = 21{,}11\text{mm}.$$

Der Konstrukteur ist in der Regel bestrebt, den Seilnenndurchmesser möglichst klein zu halten. Er wird daher den gefundenen Wert für d_{min} nur auf die nächstgrößere gerade Zahl aufrunden. Wir wählen also einen Seilnenndurchmesser von

$$d = 22\text{mm}.$$

Aus Tabelle 4 der DIN 15 020 ermitteln wir für die Triebwerksgruppe 4m einen Beiwert von

$$h1 = 22{,}4 \text{ für die Seiltrommel}$$

und von

$$h1 = 25 \text{ für die Seilscheiben.}$$

Bei einem vollen Arbeitsspiel (1x Senken, 1x Heben) wird das höchstbeanspruchte Seilstück unseres Kranes 7 Biegewechsel vollführen (Senken: 1/2 BW auf der Trommel, 3 BW auf Scheiben, Heben: 3 BW auf Scheiben, 1/2 BW auf der Trommel). Für ein $\omega = 7$ ermitteln wir in Tabelle 5 der DIN 15020 einen Beiwert von

$$h2 = 1{,}12.$$

Der Mindesttrommeldurchmesser errechnet sich somit zu

$$D_{min} = 22{,}4 \cdot 1{,}12 \cdot 21{,}11\text{mm}$$

oder

$$D_{min} = 529{,}61\text{mm}.$$

Wir wählen einen Trommeldurchmesser von 540mm. Der Mindestscheibendurchmesser errechnet sich zu

$$D_{min} = 25 \cdot 1{,}12 \cdot 21{,}11\text{mm}$$

oder

$$D_{min} = 591{,}08\text{mm}.$$

Wir wählen einen Scheibendurchmesser von 600mm.

Zu beachten ist, daß zur Ermittlung des Trommel- oder Seilscheibenmindestdurchmessers der Mindestseilnenndurchmesser (in unserem Fall 21,11mm) mit den Faktoren h1 und h2 multipliziert wird und nicht etwa der gewählte Seilnenndurchmesser (in unserem Fall 22mm).

Gemäß Punkt 4.3 der Norm darf der Seilnenndurchmesser bis zu 25% größer gewählt werden als der errechnete Mindestwert und dann trotzdem noch auf den mit dem erheblich kleineren Mindestseildurchmesser errechneten Trommel-und Scheibendurchmessern eingesetzt werden. In unserem Fall erhielten wir als maximalen Seilnenndurchmesser

$$d_{max} = 1{,}25 \cdot d_{min}$$

oder

$$d_{max} = 26{,}37\text{mm}$$

Ein Drahtseil vom Nenndurchmesser 26mm wäre also nach Norm zulässig und dürfte sogar noch auf der von uns gewählten Trommel im Durchmesser von 540mm und den Seilscheiben vom Durchmesser 600mm arbeiten.

Die zu erwartende Lebensdauer wäre aber mit einem überdimensionierten Seilnenndurchmesser von 26mm und einem Verhältnis Scheibendurchmesser : Seilnenndurchmesser von 23, 1 : 1 erheblich niedriger als mit einem Seilnenndurchmesser von 22mm und einem Durchmesserverhältnis von 27,3 : 1.

Abb. 6 zeigt für den von uns angenommenen Lastfall im ersten Block unter der Überschrift „Auslegung nach DIN“ den Einfluß der Triebwerksgruppe auf die Durchmesser von Drahtseil, Seiltrommel und Seilscheibe. Für die von uns angenommene Seilzugkraft errechnen wir in der niedrigsten Triebwerksgruppe 1Em einen Seilnenndurchmesser von 12mm, in der höchsten Triebwerksgruppe 5m einen Seilnenndurchmesser von 24mm. Der Mindestscheibendurchmesser beträgt in der niedrigsten Triebwerksgruppe 142mm, in der höchsten 741mm.

Seilkonstruktion:	Turboplast		
Füllfaktor:	0.66	Stranglast [N]:	32000
Verseilfaktor:	0.86	Art:	übl. Transp.
Festigkeit:	1960	Beiwert h2:	1.12

Triebwerksgruppe:	1Em	1Dm	1Cm	1Bm	1Am	2m	3m	4m	5m
Auslegung nach DIN									
c- Wert:	0.063	0.067	0.071	0.075	0.085	0.095	0.106	0.118	0.132
Seildurchmesser d min:	11.27	11.99	12.70	13.42	15.21	16.99	18.96	21.11	23.61
Seildurchmesser gew:	12	12	13	14	16	17	19	22	24
Beiwert h 1 Trommel:	10.0	11.2	12.5	14.0	16.0	18.0	20.0	22.4	25.0
Trommeldurchmesser D min:	127	151	178	211	273	343	425	530	662
Beiwert h 1 Rolle:	11.2	12.5	14.0	16.0	18.0	20.0	22.4	25.0	28.0
Rollendurchmesser D min:	142	168	200	241	307	381	476	592	741
Umrechnung Füllfaktor									
c- Wert neu:	0.0528	0.0561	0.0595	0.0629	0.0712	0.0796	0.0888	0.0989	0.1106
Seildurchmesser d min:	9.44	10.04	10.64	11.24	12.74	14.24	15.89	17.69	19.79
Seildurchmesser gew:	10	11	11	12	13	15	16	18	20
Beiwert h 1 Trommel:	10.0	11.2	12.5	14.0	16.0	18.0	20.0	22.4	25.0
Trommeldurchmesser D min:	106	126	150	177	229	288	356	444	555
Beiwert h 1 Rolle:	11.2	12.5	14.0	16.0	18.0	20.0	22.4	25.0	28.0
Rollendurchmesser D min:	119	141	167	202	257	320	399	496	621
Umrechnung Füllf. / Verseilf.									
c- Wert neu:	0.0509	0.0542	0.0574	0.0606	0.0687	0.0768	0.0857	0.0954	0.1067
Seildurchmesser d min:	9.11	9.69	10.27	10.84	12.29	13.74	15.33	17.06	19.09
Seildurchmesser gew:	10	10	11	11	13	14	16	18	20
Beiwert h 1 Trommel:	10.0	11.2	12.5	14.0	16.0	18.0	20.0	22.4	25.0
Trommeldurchmesser D min:	103	122	144	171	221	277	344	429	535
Beiwert h 1 Rolle:	11.2	12.5	14.0	16.0	18.0	20.0	22.4	25.0	28.0
Rollendurchmesser D min:	115	136	161	195	248	308	385	478	599
Umrechnung Füllf./ Versf./ Fest.									
c- Wert neu:	0.0509	0.0542	0.0574	0.0606	0.0687	0.0768	0.0857	0.0954	0.1067
Seildurchmesser d min:	9.11	9.69	10.27	10.84	12.29	13.74	15.33	17.06	19.09
Seildurchmesser gew:	10	10	11	11	13	14	16	18	20
Beiwert h 1 Trommel:	10.0	11.2	12.5	14.0	16.0	18.0	20.0	22.4	25.0
Trommeldurchmesser D min:	103	122	144	171	221	277	344	429	535
Beiwert h 1 Rolle:	11.2	12.5	14.0	16.0	18.0	20.0	22.4	25.0	28.0
Rollendurchmesser D min:	115	136	161	195	248	308	385	478	599

Abb. 6: Tabelle zum Rechenbeispiel

4. Die Umrechnung des c-Wertes

Die Umrechnung des c-Wertes erlaubt bei Verwendung von Drahtseilen mit hohen Füllfaktoren, Verseilfaktoren oder Drahtnennfestigkeiten Verringerungen des Drahtseildurchmessers um bis zu 30%. Da die Trommel- und Scheibendurchmesser als Vielfache des Seilmindestdurchmessers definiert sind, können diese im gleichen Maße verkleinert werden. Die Vorteile für den Krankonstrukteur sind offensichtlich: Kleinere Seilscheiben und Seiltrommeln reduzieren die Baumaße sowie die Gewichte und Gegengewichte des Kranes. Infolge des kleineren Trommeldurchmessers reduzieren sich die Antriebsmomente und somit auch die Dimensionen des Getriebes und des Motors. Ein geringfügig höherer Preis für das Spezialdrahtseil kann auf diese Weise die Maße, Gewichte und Kosten eines Kranes dramatisch reduzieren.

Gemäß einer Fußnote der DIN 15020 errechnet sich der c- Wert aus folgender Formel:

$$c = \sqrt{\frac{\nu}{k \cdot f \cdot \frac{\pi}{4} \cdot R_o}}$$

Hierbei sind

ν die Sicherheitskennzahl,
f der Füllfaktor des Drahtseiles,
k der Verseilfaktor des Drahtseiles und
R_o die Nennfestigkeit des Einzeldrahtes.

Bei Verwendung eines Spezialdrahtseiles mit höherem Füllfaktor, Verseilfaktor oder einer höheren Drahtnennfestigkeit besteht die Möglichkeit, bei gleicher Sicherheitskennzahl Drahtseile mit einem kleineren Durchmesser einzusetzen. Hierzu muß der c- Wert der Tabellen mit den Faktoren des verwendeten Drahtseiles umgerechnet werden.

Dies kann nach der folgenden Formel geschehen:

$$c^* = c \cdot \sqrt{\frac{k \cdot f \cdot R_o}{k^* \cdot f^* \cdot R_o^*}}$$

Hierbei sind

f^* der Füllfaktor des Spezialdrahtseiles,
k^* der Verseilfaktor des Spezialdrahtseiles und
R_o^* die Nennfestigkeit des Einzeldrahtes des Spezialdrahtseiles.

Gemäß einer Fußnote der Norm zu Abschnitt 4.2 wurde für die Berechnungen der Tabellen für den c- Wert ein Füllfaktor des Drahtseiles von f = 0,46 zugrunde gelegt.

Der Verseilfaktor wird bei nicht- drehungsarmen DIN- Seilen mit k = 0,80, bei drehungsarmen DIN- Seilen mit k = 0,75 angesetzt. Mit dem so erhaltenen Wert c* wird der Berechnungsgang der DIN 15 020 weitergeführt.

Die Vorgehensweise soll nun an einem Beispiel erläutert werden.

5. Rechenbeispiel

In dem zuvor berechneten Seiltrieb soll statt eines DIN- Seiles ein Spezialseil mit verdichteten Außenlitzen und einer Kunststoffzwischenlage zwischen Stahleinlage und Außenlitzen eingesetzt werden. Die Daten dieses Spezialseiles sind:

$f^* = 0{,}655$
$k^* = 0{,}860$
$R_0^* = 1960 N/mm^2$.

Der neue c- Wert errechnet sich zu

$$c^* = c \cdot \sqrt{\frac{0{,}80 \cdot 0{,}460 \cdot 1960}{0{,}86 \cdot 0{,}655 \cdot 1960}}$$

oder

$$c^* = 0{,}8083 \cdot c.$$

Die Umrechnung reduziert somit den c- Wert um 19,5%. Mit c = 0,118 ergibt sich:

$$c^* = 0{,}0954.$$

Mit

$$d_{min} = c \bullet \sqrt{S}$$

folgt

$$d_{min} = 0{,}0954 \bullet \sqrt{32000}\,mm$$

und

$$d_{min} = 17{,}06mm.$$

Wir wählen einen Seilnenndurchmesser von 18mm.

Analog finden wir für den Mindesttrommeldurchmesser

$$D_{min} = 22{,}4 \cdot 1{,}12 \cdot 17{,}06mm$$

oder

$$D_{min} = 428{,}00mm.$$

Wir wählen einen Trommeldurchmesser von 440mm.

Der Mindestscheibendurchmesser errechnet sich zu

$$D_{min} = 25 \bullet 1{,}12 \cdot 17{,}06mm$$

oder

$$D_{min} = 477{,}68mm.$$

Wir wählen einen Scheibendurchmesser von 490mm.

Zu beachten ist, daß in unserem Rechenbeispiel, wie Abb. 6 zeigt, die Drahtnennfestigkeit von 1960N/mm^2 keinen Beitrag zur Verringerung des Seilmindestdurchmessers leistet, da in den höheren Triebwerksgruppen der c- Wert der DIN 15020, der der Umrechnung zugrundegelegt wurde, diese Festigkeit mit abdeckt. Eine Festigkeit von 2160N/mm^2 hätte auf der anderen Seite den Wert von c* noch weiter verkleinert.

6. Fallstudie: Die Auslegung eines Gegengewichtsseiles

Der Hersteller eines Regalförderzeuges hatte zur Reduktion der Antriebsleistung und zum Zwecke der Energieeinsparung ein Seilsystem mit Gegengewicht installiert, welches das Gewicht der Traverse nahezu kompensierte.

Das Hubwerk wurde aufgrund einer mittleren Laufzeit von 12h je Tag in der Laufzeitklasse V 4 und wegen der geringen Häufigkeit der größten Lasten in das Lastkollektiv 1 (leicht) eingestuft. Nach Tabelle 1 der DIN 15020 ergab sich somit eine Einstufung in Triebwerksklasse 3m. Gemäß den Regeln der DIN wurden nun für diese Einstufung die Seilnenndurchmesser und Scheibendurchmesser für das Hubwerk und das Gegengewichtssystem ermittelt.

Drei Monate nach Inbetriebnahme der Anlage riß das Gegengewichtsseil. Zunächst wurde ein Seilfehler vermutet und ein neues Drahtseil aufgelegt, welches wiederum nach drei Monaten versagte. Als auch das dritte Seil nach sehr kurzer Laufzeit bereits Ermüdungsdrahtbrüche aufwies, wurde die Problematik näher untersucht.

Die Lösung des Problems war relativ einfach: der Konstrukteur hatte für das Hubwerk eine Einstufung in die Triebwerksgruppe 3m ermittelt und dann die Seildurchmesser und Scheibendurchmesser sowohl des Hubwerkes als auch des Gegengewichtssystems entsprechend dieser Triebwerksgruppe dimensioniert. Das Gegengewichtssystem ist aber ein völlig eigener Seiltrieb und muß daher auch völlig eigenständig eingestuft werden.

Die Laufzeiten des Gegengewichtssystems entsprechen im vorliegenden Fall denen des Haupthubwerkes. Die Laufzeitklasse ist demnach ebenfalls V 4. Das Lastkollektiv ist jedoch ein völlig anderes: während das Haupthubwerk meistens mit kleinen Lasten arbeitet, hängt am Gegengewichtsseil immer die Höchstlast, nämlich das Gegengewicht. Damit ist dieses System eindeutig im Lastkollektiv 3 (schwer) einzuordnen. Aus diesen beiden Daten erfolgt eine Einstufung des Gegengewichtssystems in Triebwerksgruppe 5m.

Für das Seil und die Seilscheiben ergeben sich hieraus gravierende Veränderungen: In der fehlerhaften Einstufung in Triebwerksgruppe 3m betrug der Seilnenndurchmesser 10mm und der Seilscheibendurchmesser 224mm. Durch die Eingruppierung in die Triebwerksgruppe 5m erhöhte sich der Seilnenndurchmesser auf 12mm und der Scheibendurchmesser auf 336mm. Die Seillebensdauer erhöhte sich nach den entsprechenden konstruktiven Veränderungen auf etwa das fünffache des ursprünglichen Wertes.

Merke: Krane oder eine Anlage können mehrere Seiltriebe besitzen. Diese müssen alle unabhängig voneinander eingestuft werden.

7. Fallstudie: Die Ausgleichsscheibe

Auf einem Hallenkran mit einer Einscherung 4/2 nach Abb. 7 war das Hubseil gerissen, obwohl eine kurz zuvor durchgeführte Drahtseilinspektion keinerlei Anlaß zur Besorgnis gegeben hatte. Eine Untersuchung ergab, daß der Seilbruch genau im Auflaufpunkt auf die Ausgleichsscheibe stattgefunden hatte. Dieser Punkt war dem Seilinspekteur nicht zugänglich gewesen.

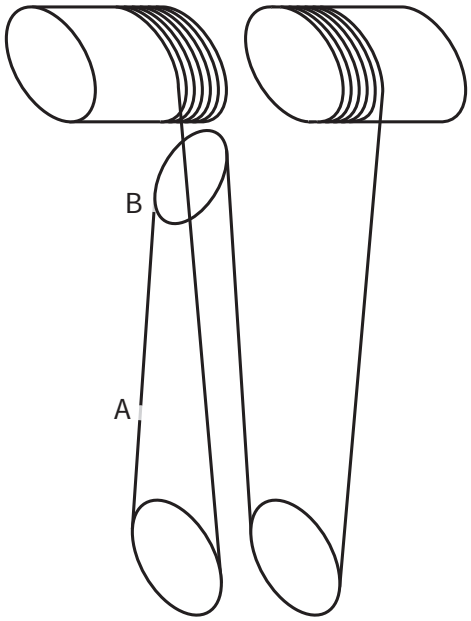


Abb. 7: Hubwerk 4/2 mit Ausgleichsscheibe

Unter einer Ausgleichsscheibe versteht man eine Seilscheibe in einem symmetrischen Seiltrieb, die während eines typischen Arbeitsspieles praktisch keine Drehbewegung ausführt. Ihre Funktion liegt vielmehr in einem Kraft- bzw. Längenausgleich zwischen den Seilen auf beiden Seiten der Scheibe. In den derzeit gültigen Fassungen der DIN 15 020 und der ISO 4308 werden für die Ausgleichsscheiben bis zu 36% kleinere Scheibendurchmesser zugelassen als für die übrigen Scheiben des Seiltriebes. Bei der Festlegung dieser Zahlen gingen die zuständigen Normengremien davon aus, daß eine Ausgleichsscheibe keine großen schädigenden Wirkungen auf das Drahtseil ausüben könne, da sie ja definitionsgemäß praktisch keinerlei Drehbewegung ausübt. Diese Fehleinschätzung hat zu dem oben geschilderten und zu einer großen Zahl weiterer Unfälle geführt.

Betrachten wir zunächst eine einfache symmetrische Seilanordnung eines Hallenkranes (Abb. 8). Bei einem typischen Arbeitsspiel dieses Kranes (Heben einer Last, horizontales Verfahren des Kranes, Absenken der Last) wird ein beliebiges Seilstück „A“ zunächst beim, Aufwickeln auf die Trommel einem halben Biegewechsel unterworfen.

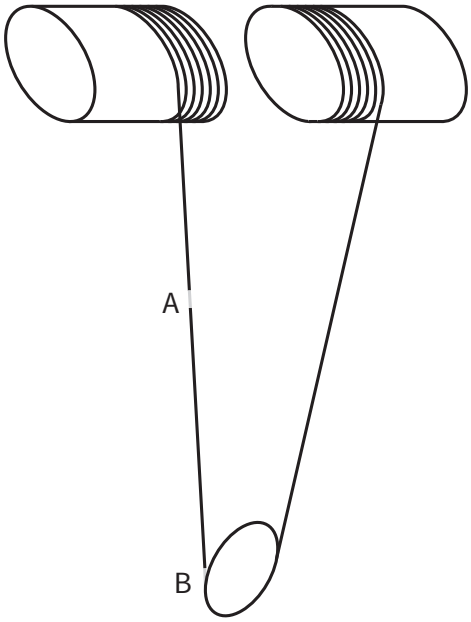


Abb. 8: Hubwerk 2/2 mit Ausgleichsscheibe

Nach dem horizontalen Verfahren des Kranes wird Seilstück „A“ wieder abgewickelt und erfährt hierbei einen weiteren halben Biegewechsel. Bei jedem Arbeitsspiel wird ein beliebiges Seilstück der Anlage also einem Biegewechsel unterworfen.

Anders liegen aber die Verhältnisse für das Seilstück „B“ in unmittelbarer Nähe des Auflaufpunktes auf die Ausgleichsscheibe. Im Idealfall verändert das Seilstück „B“ beim Heben der Last seine Lage relativ zur Ausgleichsscheibe nicht. Durchmesserdifferenzen der beiden Trommeln oder aber der auf die beiden Trommeln auflaufenden Seilstücke können jedoch zu Ausgleichsbewegungen der Seilscheibe führen, so daß auch Seilstück „B“ einem halben Biegewechsel unterworfen wird. Beim anschließenden horizontalen Verfahren des Kranes wird jedoch die Last aufgrund ihrer Trägheit zunächst in ihrer Position verharren, bevor sie dem Kran folgt, und hierdurch in Schwingung versetzt werden. Diese Schwingung wird bei jeder Hin- und Herbewegung zu Längendifferenzen zwischen den beiden Seilsträngen führen, die dann über die Ausgleichsscheibe, wie der Name schon sagt, ausgeglichen werden. Bei diesem Vorgang wird Seilstück „B“ immer wieder auf die Scheibe auf- und von ihr ablaufen und hierbei jedesmal einem Biegewechsel unterworfen werden.

Auf diese Weise wird Seilstück „B“ einer weitaus größeren Zahl von Biegewechseln unterworfen als irgendein anderes Seilstück im Seiltrieb. Mit welcher Berechtigung darf ausgerechnet die Scheibe, die die größte Seilbeanspruchung hervorruft, kleiner sein als alle anderen Seilscheiben des Seiltriebes?

Geringe Unterschiede in den Durchmesser der Seiltrommeln oder im Durchmesser der auf die beiden Trommeln auflaufenden Seilenden führen dazu, daß die eine Trommel bei jeder Umdrehung eine größere Seillänge auftrommeln wird als die andere. Dieser Längenunterschied muß durch die Ausgleichsscheibe ausgeglichen werden und wird die der Ausgleichsscheibe benachbarten Zonen einem Biegewechsel unterwerfen. In einem Seiltrieb nach Abb. 8 bedeutet dies, daß Seilstücke „B“ in der Nähe des Ausgleichsscheibe bei jedem Hub einem vollen Biegewechsel unterworfen werden, genauso viele Biegewechseln also wie die Seilstrecken, die auf die Trommel auflaufen. Mit welchem Recht sollte daher diese Scheibe kleiner im Durchmesser sein als die Trommel?

Vereinzelt werden die zwei Seiltrommeln eines derartigen Systems auch getrennt angetrieben und gezielt zu verschiedenen Zeiten gestartet, damit sich nicht die Spitzenspannungen beim Hochfahren der Motoren addieren. Auch können die beiden Motoren geringfügig unterschiedliche Charakteristiken aufweisen. In beiden Fällen werden zu beiden Seiten der Ausgleichsscheibe unterschiedliche Seillängen auf oder abgetrommelt, was zu einer Ausgleichsbewegung der Ausgleichsscheibe führt. Auch hier werden die der Ausgleichsscheibe benachbarten Seilzonen bei jedem Hubvorgang mindestens einem Biegewechsel unterworfen. Warum sollte dies ein Biegewechsel auf einer verkleinerter Scheibe sein?

Während also in der Theorie Seilzonen in der Nähe der Ausgleichsscheibe keinerlei Biegewechsel unterworfen sind, können sie in der Praxis die höchstbeanspruchten Zonen des Seiltriebes sein. Aus diesem Grunde sollten die Seilzonen in der Nähe und auf der Ausgleichsscheibe einer besonders sorgfältigen Inspektion unterzogen werden. In den meisten Fällen ist aber genau dies nicht möglich. Die Ausgleichsscheibe ist oft nicht zugänglich, und wegen der symetrischen Anordnung der Anlage ist es auch nicht möglich, die zu untersuchende Seilzone aus dem Bereich der Ausgleichsscheibe herauszufahren.

Krane, die im Freien arbeiten, haben noch ein weiteres Problem: Nach einem Regen trocknen die dem Wind ausgesetzten freien Seilzonen relativ schnell, während zwischen Seil und Seilscheiben das Wasser festgehalten wird. Da sich die Hakenstellung des Kranes in der Regel immer wieder verändert, wird dieser Umstand jedesmal eine andere Seilzone beeinträchtigen. Eine Ausnahme bildet hier das Seilstück auf der Ausgleichsscheibe, da diese seine Position praktisch nie verändert. Dieses Stück wird also verstärkt unter Korrosion zu leiden haben. Die Verhältnisse sind hier also schon gefährlich genug. Warum müssen die Gefahr durch eine verkleinerte Scheibe noch weiter vergrößert werden?

Gegen eine Verkleinerung der Ausgleichsscheibe sprechen in der Regel auch praktische Gründe: Der Kranhersteller sollte bestrebt sein, seine Bauteile zu standardisieren. Er sollte also Interesse daran haben, daß alle Seilscheiben im Seiltrieb gleich groß sind.

Die internationale Norm ISO 4308 lässt keine kleineren Durchmesser für Ausgleichsscheiben zu.

Unter Sicherheitsgesichtspunkten ist ohnehin ein Wippe einer Ausgleichsscheibe vorzuziehen. Sie erfüllt genauso wie die Ausgleichsscheibe die Funktion des Ausgleichens von Kräften und Längendifferenzen zwischen zwei Seilen. Da es sich hier aber um zwei getrennte Drahtseile statt um ein durchgehendes Drahtseil handelt, besteht im Falle eines Seilrisses, beispielsweise durch eine mechanische Beschädigung, eine Chance, daß das zweite Seil die Last vor dem Absturz bewahrt.

Im Falle zweier Seiltrommeln mit unterschiedlichen Steigungsrichtungen bietet die Wippe zudem noch den Vorteil, daß ein linksgängiges und ein rechtsgängiges Drahtseil eingesetzt werden können. Ein Seiltrieb mit symmetrisch angeordneten rechtsgängigen und linksgängigen Seilen ist erheblich stabiler in Bezug auf Verdrehungen der Unterflasche als ein Seiltrieb mit nur einem durchgehenden Seil. Bei Verwendung einer Ausgleichsscheibe mit einem durchgehenden Seil muß man sich zudem für eine Schlagrichtung entscheiden und läuft Gefahr, daß die in Bezug auf diese Schlagrichtung „falsch“ geschnittene Seiltrommel Strukturveränderungen im Drahtseil erzeugt.

8. Fallstudie: Der Seilwirkungsgrad

Ein Konstrukteur berechnet das erforderliche Gewicht der Unterflasche seines Kranes unter Zuhilfenahme des in der DIN 15020 angegebenen Seilwirkungsgrades. Die Unterflasche läßt sich genau einmal nach oben ziehen, kommt dann aber nicht mehr freiwillig herunter.

Im Anhang der DIN 15020 sind die Formeln zur Berechnung des Wirkungsgrades eines Seiltriebes aufgeführt. Für den Wirkungsgrad einer Seilscheibe gibt die Norm einen Wert von 0,96 bei Gleit- und von 0,98 bei Wälzlagerung an. Diese Zahlen werden unter anderem benötigt, um das Mindestgewicht der Unterflasche zu berechnen und um die Antriebsleistung des Hubwerkes festzulegen. Der Wirkungsgrad eines Drahtseiles beim Lauf über eine Seilscheibe ist aber kein fester Wert, sondern eine im wesentlichen von der spezifischen Stranglast, dem D/d- Verhältnis und (wegen des Schmiermittels) von der Temperatur abhängige Größe. Abb. 9 zeigt einen typischen Verlauf.

Ein Kran kann eine Unterflasche mit leerem Haken nur dann ablassen, wenn die Gewichtskraft der Unterflasche groß genug ist, die Reibungskräfte des nahezu unbelasteten Seiles beim Lauf über die Seilscheiben sowie deren Lagerreibungen zu überwinden. Im Bereich kleiner Seilkräfte ist der Seilwirkungsgrad aber erheblich niedriger als die in der DIN 15020 ausgewiesenen Werte, so daß eine mit diesen Zahlen berechnete Unterflasche erheblich zu leicht ausfallen wird. Sie kann, einmal hochgezogen, nicht mehr heruntergelassen werden.

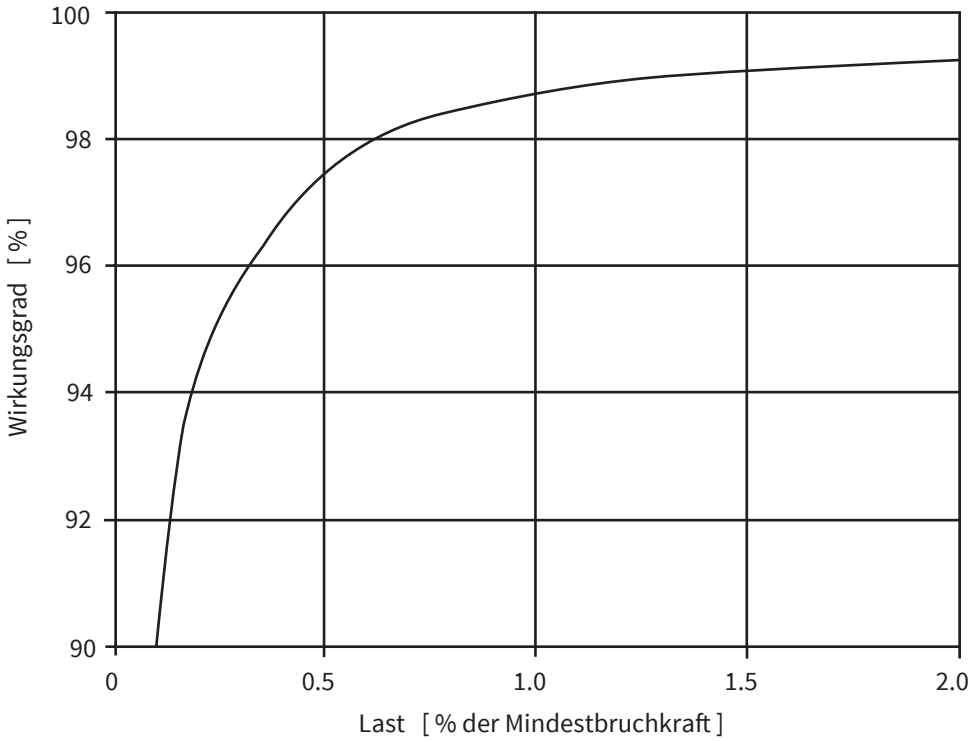


Abb. 9: Wirkungsgrad des Systems Seil/Scheibe

Auch bei der Berechnung der maximal auftretenden statischen und dynamischen Seilkräfte zur Ermittlung der erforderlichen Antriebsleistung des Hubwerkes muß der Konstrukteur den Wirkungsgrad der Einscherung berücksichtigen. Im Bereich hoher Seilkräfte ist der Seilwirkungsgrad aber deutlich höher als die in der DIN 15 020 ausgewiesenen Werte, so daß der Konstrukteur seinen Antrieb, insbesondere bei einem Kran mit vielen Scheiben, erheblich überdimensionieren wird.

Im Einzelfall sollte der Krankonstrukteur genaue Daten über den Wirkungsgrad der von ihm ausgewählten Seilkonstruktion beim Hersteller des Drahtseiles erfragen.

Ingenieurbüro für Fördertechnik
Dipl.-Ing. Roland Verreet

Grünenthaler Str. 40a • 52072 Aachen
Tel.: 0241- 173147 • Fax: 0241- 12982
Mail: R.Verreet@t-online.de
www.seile.com