

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Berechnung von Seiltrieben in Hebezeugen

VDI 5020
Entwurf

Dimensioning of rope drives in lifting equipments

Einsprüche bis 2022-11-30

- vorzugsweise über das VDI-Richtlinien-Einspruchportal
<http://www.vdi.de/5020>
- in Papierform an
VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik
Fachbereich Technische Logistik
Postfach 10 11 39
40002 Düsseldorf

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	2
2 Normative Verweise	3
3 Begriffe	3
4 Formelzeichen	3
5 Berechnung des Seiltriebs	4
5.1 Betriebsweise	4
5.2 Seildurchmesser	5
5.3 Durchmesser von Seiltrommeln, Seilscheiben und Ausgleichsscheiben	6
6 Seilendbefestigungen	7
7 Sonstige Anforderungen und Seilmontage	8
8 Informationen	8
8.1 Informationen zu erreichbaren Biegewechselzahlen und zur Seilanzahl	8
8.2 Informationen zum Seilkraftkollektiv	9
8.3 Informationen zur Bestimmung des Beiwerts c	9
8.4 Informationen zur Bestimmung der Biegewechselzahl w	10
Schrifttum	11

VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik (GPL)

Fachbereich Technische Logistik

VDI-Handbuch Technische Logistik, Band 1: Krane

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Weitere aktuelle Informationen sind im Internet abrufbar unter www.vdi.de/5020.

Einleitung

Im Rahmen der europäischen Harmonisierung der Drahtseilnormen ist beabsichtigt, die DIN 15020 aus dem Jahr 1974 zurückzuziehen und durch die DIN EN 13001-3-2 zu ersetzen. Die DIN 15020 hat bei ihrem Erscheinen weltweite Beachtung gefunden, weil sie in sehr fortschrittlicher Weise die Anforderungen der Betriebsfestigkeit der Drahtseile in Seiltrieben berücksichtigt. Sie galt eigentlich nur für die Bemessung von Hebezeugen, Kranen und Serienhebezeugen aller Art. Sie wurde jedoch darüber hinaus auch außerhalb ihres Geltungsbereichs zur Bemessung von Seiltrieben aller Art genutzt, wenn keine eigenen Auslegungsnormen zur Verfügung standen.

Die neue DIN EN 13001-3-2 ist keine Auslegungsnorm im eigentlichen Sinne, sondern eine Nachweisnorm. Für mehr oder weniger frei gewählte Abmessungen muss ein statischer Festigkeitsnachweis und ein Nachweis der Ermüdungsfestigkeit geführt werden. Im statischen Festigkeitsnachweis ist der minimale Seilwiderstandsbeiwert, auch statischer Seilzugsicherheitsfaktor genannt, dem Durchmesser Verhältnis zugeordnet. Der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit geht von frei gewählten Seilanzahlen und daraus abgeleiteten Biegewechselzahlen aus, die in dem damit als sicher nachgewiesenen Seiltrieb eventuell nicht erreicht werden können. Damit fehlt dieser Norm das, was die DIN 15020 in herausragender Weise über Jahrzehnte erfüllt hat, nämlich dem Konstrukteur eines Hebezeugs ein Handwerkszeug an die Hand zu geben, das ihn befähigt, Seiltriebe beanspruchungsgerecht nach der „Schwere des Betriebs“ aus Kollektivlast und Benutzungshäufigkeit als Maß für die Biegewechselzahl zu dimensionieren. Die „ausreichende Aufliegezeit“ für die notwendi-

ge Überprüfung nach DIN EN 12385-3 und DIN ISO 4309 bis zur „Ablegereife“ der Drahtseile in sicheren Intervallen ist mit der Dimensionierung in der DIN 15020 verbunden. In diesem Zusammenhang wird in der DIN EN 12385-1 die Ermüdung bei Drahtseilen nicht als Gefährdung betrachtet. Im Abschnitt 8 sind einige Erläuterungen zu den erreichbaren Biegewechseln aufgeführt.

Mit dieser VDI-Richtlinie kann die vor dem Nachweis erforderliche Bemessung der Seiltriebe so erfolgen, dass den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen genügt wird und dem langjährig bekannten Stand der Technik bei der Normanwendung und bei dem Gebrauch der Drahtseile Rechnung getragen werden kann. Dem Konstrukteur wird damit wieder ein geeignetes Auslegungswerkzeug an die Hand gegeben, mit dem auch die Überprüfung in den erfahrungsgemäß bekannten Intervallen gewährleistet ist.

Die Erstellung dieser Richtlinie wurde zum Anlass genommen, alle Lücken, die die DIN 15020 aus dem Jahr 1974 aufwies, z. B. bei der Berücksichtigung höherer Drahtfestigkeiten und moderner Seilkonstruktionen, in geeigneter Weise zu füllen. Für alle Seiltriebe im entsprechenden Gültigkeitsbereich, die nach dieser Richtlinie dimensioniert werden, müssen der statische Festigkeitsnachweis und der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit nach DIN EN 13001-3-2 geführt werden.

Dem Sprachgebrauch im Seilbahnbau folgend (siehe DIN EN 1907) – aber entgegen den meisten Normen – wird zwischen Seilscheiben und Seilrollen unterscheiden. Demnach gilt

- Die Seilscheibe ändert die Richtung des Seils, wobei das Seil im Allgemeinen die Krümmung der Seilscheibe annimmt.
- Die Seilrolle belastet das Seil durch eine Querkraft, wobei das Seil im Allgemeinen die Krümmung der Seilrolle nicht annimmt.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie kann angewandt werden zur Bemessung von Hebezeugen, Kranen und Serienhebezeugen aller Art. Darüber hinaus kann sie zur Bemessung von Seiltrieben aller Art verwendet werden, für die jeweils keine eigene Auslegungs- oder Nachweisnorm existiert.

Die Richtlinie ist keine Vorschrift und kann auch nicht feststehende Normen auf dem Gebiet der Drahtseile ersetzen. Mit der Herausgabe soll ein Handwerkszeug zur beanspruchungsgerechten Dimensionierung von Seiltrieben für den mit Überwachung bzw. Überprüfung verbundenen Ge-

brauch der Drahtseile ohne Gefährdung durch Ermüdung gegeben werden.

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit
s	mittlerer Hubweg oder Haupthubweg	h
s_r	Seilkraftverlaufparameter nach DIN EN 13001-3-2	
t_{SP}	mittlere Laufzeit eines Arbeitsspiels	h
$t_{SP,S}$	mittlere Laufzeit des Seiltriebs/Hubwerks in der Arbeitsspielzeit t_{SP}	h
v	Beharrungsgeschwindigkeit	m/s
V	mittlere Laufzeit des Seiltriebs	h/Tag
w	Anzahl der Biegewechsel bei einer Hubbewegung	
w_D	Anzahl der Biegewechsel am Bezugspunkt $w_D = 5 \cdot 10^5$ nach DIN EN 13001-3-2	
w_i	Einzelbiegewechselzahl bei einer Hubbewegung	
w_r	äquivalente Einzelbiegewechselzahl bei Gegenbiegung	
w_{tot}	berechnete Gesamtanzahl der Biegewechselzahl nach DIN EN 13001-3-2	
γ_n	Risikobeiwert nach DIN EN 13001-3-2	
ν	statische Seilzugsicherheit	

5 Berechnung des Seiltriebs

Für die Berechnung des Seiltriebs wird die bekannte und gebräuchliche Nomenklatur der DIN 15020-1 übernommen. Demnach sind die zu berücksichtigenden wesentlichen Einflüsse auf die Betriebsdauer der Drahtseile:

- Betriebsweise des Seiltriebs, wie bei einer Triebwerksgruppe,
- Seildurchmesser mit Beiwert c für die Berechnung,
- Durchmesser von Seiltrommeln, Seilscheiben und Ausgleichsscheiben mit den Beiwerten h_1 und h_2 für die Berechnung.

Damit ein der Seiltriebauslegung nachfolgender Sicherheitsnachweis des Seiltriebs nach DIN EN 13001-3-2 erleichtert wird, wird ein Bezug zu einzelnen Größen der DIN EN 13001 hergestellt und erläutert.

5.1 Betriebsweise

Abweichend von der derzeit gültigen Nachweisnorm DIN EN 13001-3-2 muss der zu berechnende Seiltrieb analog zur DIN 15020-1 bezüglich Laufzeitklasse und Lastkollektiv separat eingestuft

werden. Laufzeitklasse und Lastkollektiv legen zusammen die Triebwerkgruppe fest, in die der Seiltrieb eingestuft werden muss, um eine ausreichende Biegewechselzahl des Seils und damit Betriebsdauer zu gewährleisten.

5.1.1 Laufzeitklasse

Es wird empfohlen, die hier vorgestellte Klassierung nach Laufzeiten des Seiltriebs mit den Klassen U der Gesamtzahlen von Arbeitsspielen C während der Auslegungslebensdauer des Krans nach DIN EN 13001-1 in Übereinstimmung zu bringen. Dazu besteht die Möglichkeit, die mittlere Laufzeit V aus den nach DIN EN 13001 zugrunde zu legenden Parametern der Klassierung zu berechnen:

$$V = C \cdot \frac{t_{SP,S}}{n_a \cdot n_{d,a}} \quad \text{oder} \quad (1)$$

$$V = C \cdot \frac{t_{SP,S} / t_{SP}}{n_a \cdot n_{d,a} \cdot f_{SP}}$$

Dabei ist

V mittlere Laufzeit des Seiltriebs in Stunden pro Tag

C Gesamtanzahl von Arbeitsspielen während der Auslegungsdauer des Krans nach DIN EN 13001

n_a Auslegungsdauer des Krans in Jahren

$n_{d,a}$ Betriebsdauer des Krans in Tagen pro Jahr

t_{SP} mittlere Laufzeit eines Arbeitsspiels in Stunden

$t_{SP,S}$ mittlere Laufzeit des Seiltriebs/Hubwerks in der Arbeitsspielzeit t_{SP} in Stunden

f_{SP} mittlere Frequenz an Arbeitsspielen pro Stunde

Die mittlere Laufzeit des Seiltriebs in der Arbeitsspielzeit t_{SP} ist von der Beschaffenheit und von der Arbeitsaufgabe des Seiltriebs abhängig und muss sinnvoll gewählt oder ermittelt werden. Dafür kann VDI 3573 unterstützend herangezogen werden. Beispielfhaft kann für ein Hubwerk die Laufzeit des Seiltriebs in einem Arbeitsspiel, bestehend aus zwei Hubbewegungen, also zweimal Heben und Senken, mit folgender Gleichung berechnet bzw. angenommen werden:

$$t_{SP,S} = 4 \cdot \left(\frac{s}{v} \cdot \frac{v}{a} \right) \quad (2)$$

Dabei ist

$t_{SP,S}$ mittlere Laufzeit des Seiltriebs bei zwei Hubbewegungen pro Arbeitsspiel

s mittlerer Hubweg oder Haupthubweg

- v Beharrungsgeschwindigkeit
- a mittlere Beschleunigung beziehungsweise Verzögerung

Die Laufzeit $t_{sp,s}$ umfasst nur die Arbeitsbewegungen des jeweiligen Seiltriebs. Alle Zeitanteile neben den Arbeitsbewegungen des Seiltriebs, wie Kranfahrt, Katzfahrt, Drehen, brauchen nicht berücksichtigt werden. Anhand der ermittelten Laufzeit je Tag in Stunden kann nach Tabelle 2 in Abschnitt 5.1.3 die Laufzeitklasse festgelegt werden.

5.1.2 Lastkollektiv

Das Lastkollektiv gibt an, in welchem Maß ein Seiltrieb seiner Höchstbeanspruchung oder nur kleineren Beanspruchungen ausgesetzt ist. Analog zur DIN 15020-1 kann ein Seilkraftkollektiv in zwei bis vier Stufen i aus den Kollektiven der Lastwirkungen gebildet werden. Der kubische Mittelwert k der Seilkräfte kennzeichnet die „Schwere des Betriebs“ mit der Klassierung der Lastkollektive in „leicht“, „mittel“ und „schwer“. Dieser wird in vereinfachter Form unabhängig vom Lastaufnahmemittel, Anschlagmittel und Tragmittel nur durch die auftretenden Seilkräfte und deren Häufigkeit definiert. Die Häufigkeit der einzelnen Laststufen kann in unterschiedlicher Weise, ent-

weder zeitlich oder als Anzahl von Arbeitsspielen ausgedrückt werden.

Entsprechend dem ermittelten kubischen Mittelwert k ist dem Seiltrieb ein Lastkollektiv nach Tabelle 1 zuzuordnen. Im Abschnitt 8.2 sind einige Anmerkungen zum Lastkollektiv aufgeführt.

5.1.3 Triebwerkgruppe

Mit der zugrunde gelegten Laufzeitklasse und der Zuordnung des Lastkollektivs kann anhand Tabelle 2 die Triebwerkgruppe des Seiltriebs festgelegt werden.

5.2 Seildurchmesser

Aus der rechnerischen Seilkraft S und dem Beiwert c errechnet sich der minimale Seildurchmesser d_{min} zu:

$$d_{min} = c \cdot \sqrt{S} \tag{3}$$

Dabei ist

- d_{min} minimaler Seildurchmesser
- c Beiwert für die Seildurchmesserberechnung
- S rechnerische Seilkraft

Der Beiwert c berücksichtigt die Triebwerksgruppe und eventuell die Risikoklasse nach DIN EN 13001-2 und ist in Tabelle 3 angegeben.

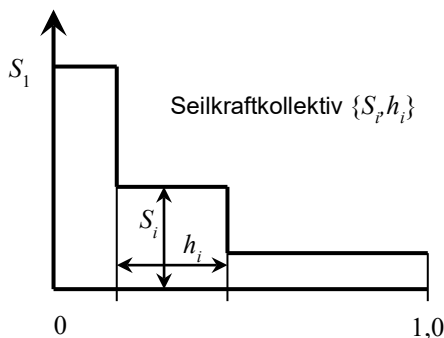


Bild 1. Seilkraftkollektiv

- Dabei ist
- k_S kubischer Mittelwert des Seilkraftkollektivs
- S_1 maximale Seilkraft im Seiltrieb
- S_i Seilkraft in Laststufe i
- h_i Häufigkeit der Laststufe i
- C Gesamtanzahl von Arbeitsspielen während der Auslegungsdauer des Krans nach DIN EN 13001-1
- C_i Anzahl Arbeitsspiele in Laststufe i

$$k_S = \sqrt[3]{\sum_1^i \left(\frac{S_i}{S_1}\right)^3 \cdot h_i} \tag{4}$$

$$h_i = \frac{C_i}{C} \tag{5}$$

Tabelle 1. Einteilung der Seilkraftkollektive

Lastkollektiv		Erläuterung	Kubischer Mittelwert k_S	Zuordnung von Klassen Q_i nach DIN EN 13001-1
1	leicht	größte Beanspruchungen sind die Ausnahme, im Betrieb weit geringere Beanspruchungen	$k_S \leq 0,53$	Klasse Q_0 bis Q_2
2	mittel	ungefähr gleiche Zeitanteile von kleinen, mittleren und größten Beanspruchungen	$0,53 < k_S \leq 0,67$	Klasse Q_2 bis Q_4
3	schwer	hauptsächlich Beanspruchungen in der Nähe der größten Beanspruchung	$0,67 < k_S \leq 0,85$	Klasse Q_4 bis Q_5

Tabelle 2. Einteilung des Seiltriebs in Triebwerkgruppen

Laufzeit-klasse	Kurzzzeichen			V ₀₀₆	V ₀₁₂	V ₀₂₅	V ₀₅	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅
	mittlere Laufzeit je Tag in h bezogen auf 1 Jahr			bis 0,125	über 0,125 bis 0,25	über 0,25 bis 0,5	über 0,5 bis 1	über 1 bis 2	über 2 bis 4	über 4 bis 8	über 8 bis 16	über 16
Last-kollektiv	Nr.	Benennung	Erklärung	Triebwerkgruppe								
	1	leicht	geringe Häufigkeit der größten Lasten	1E _m	1E _m	1D _m	1D _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	1D _m	1B _m	1A _m	2 _m	3 _m	4 _m	5 _m	5 _m

Tabelle 3. Beiwert c

Triebwerk-gruppe	c in mm / √N					
	nicht drehungsarme Drahtseile	drehungsarme Drahtseile	Risikoklasse I ^{a)}		Risikoklasse II ^{a)}	
			nicht drehungsarme Drahtseile	drehungsarme Drahtseile	nicht drehungsarme Drahtseile	drehungsarme Drahtseile
1E _m	0,059	0,063	0,066	0,079	0,075	0,090
1D _m	0,063	0,067	0,071	0,075	0,080	0,085
1C _m	0,067	0,071	0,075	0,079	0,085	0,090
1B _m	0,071	0,076	0,079	0,085	0,089	0,096
1A _m	0,080	0,085	0,089	0,095	0,101	0,108
2 _m	0,089	0,100	0,100	0,112	0,113	0,127
3 _m	0,100	0,112	0,112	0,125	0,126	0,141
4 _m	0,111	0,125	0,124	0,140	0,141	0,158
5 _m	0,124	0,142	0,139	0,159	0,157	0,180

^{a)} Risikoklassen nach DIN EN 13001-2. Die Risikobeiwerte $\gamma_n = 1,25$ für Risikoklasse I bzw. $\gamma_n = 1,6$ für Risikoklasse II sind in den Sicherheitswerten als Grundlage für die c-Wertbestimmung berücksichtigt.

Im Abschnitt 8.3 sind einige Anmerkungen zur Bestimmung des Beiwerts c aufgeführt.

5.3 Durchmesser von Seiltrommeln, Seilscheiben und Ausgleichsscheiben

Der Durchmesser D einer Seiltrommel, einer Seilscheibe oder einer Ausgleichsscheibe bezieht sich jeweils auf den Rillengrund. Der minimale Durchmesser D_{min} einer Seilscheibe berechnet sich mittels des in Abschnitt 5.2 bestimmten Seildurchmessers d_{min} zu:

$$D_{min} = h_1 \cdot h_2 \cdot d_{min} \tag{6}$$

Dabei sind

h_1, h_2 Beiwerte für die Durchmesserberechnung

d_{min} minimaler Seildurchmesser

Der Faktor h_1 ist von der Triebwerkgruppe und der Seilkonstruktion abhängig, siehe Tabelle 4.

Tabelle 4. Beiwert h_1

Triebwerkgruppe	h_1 ^{a)}	
	nicht drehungsarme Drahtseile	drehungsarme Drahtseile
1E _m	11,2	12,5
1D _m	12,5	14
1C _m	14	16
1B _m	16	18
1A _m	18	20
2 _m	20	22,4
3 _m	22,4	25
4 _m	25	28
5 _m	28	31,5

a) Seilscheiben in Greifern dürfen unabhängig von der Einstufung des übrigen Seiltriebs nach Triebwerkgruppe 1B_m bemessen werden.

Bei Serienhebezeugen dürfen für drehungsarme Drahtseile die gleichen Beiwerte h_1 benutzt werden wie für nicht drehungsarme Drahtseile, wenn durch die Wahl der Seilkonstruktion eine ausreichende Betriebszeit erreicht wird.

Der Faktor h_2 berücksichtigt die Belastung des Drahtseils durch die erfahrenen Biegewechsel und bestimmt sich zu:

$$h_2 = \begin{cases} 1,00 & \text{für } w \leq 5 \\ 1,12 & \text{für } 5 < w \leq 9 \\ 1,25 & \text{für } w > 9 \end{cases} \quad (7)$$

Dabei ist

w Anzahl der Biegewechsel, die der höchstbeanspruchte Seilabschnitt während der Hubbewegung in einem Arbeitsspiel erfährt

Die Anzahl der Biegewechsel w wird als Summe der Einzelbiegewechselzahlen w_i für die Elemente des Seiltriebs eingesetzt. Biegewechsel werden nur gezählt, wenn der Umschlingungswinkel an der Seilscheibe größer als 5° ist. Bei Gegenbiegung wird eine schädigungsäquivalente Biegewechselzahl w_r verwendet. Diese äquivalente Einzelbiegewechselzahl w_r hängt von der Triebwerkgruppe ab und ist in Tabelle 5 angegeben. Im Abschnitt 8.4 sind einige Anmerkungen zur Bestimmung der Biegewechselzahl w aufgeführt.

Ein Gegenbiegewechsel ist zu berücksichtigen, wenn, wie in DIN EN 13001-3-2 dargestellt, der Winkel zwischen den Ebenen zweier nacheinander durchlaufener Seilscheiben mehr als 120° beträgt. Die tatsächliche Wirkung der Gegenbiegung ist vom Abstand der Seilscheiben und von der seitlichen Ablenkung, bestimmt durch den Auf- und Ablaufwinkel sowie dem Seilablenkungswinkel, abhängig und im Einzelfall zu bewerten.

Tabelle 5. Äquivalente Einzelbiegewechselzahl w_r bei Gegenbiegung

Triebwerkgruppe	w_r	
	nicht drehungsarme Drahtseile	drehungsarme Drahtseile
1E _m	1,3	1,4
1D _m	1,4	1,5
1C _m	1,5	1,6
1B _m	1,6	1,8
1A _m	1,8	2,2
2 _m	2,2	2,7
3 _m	2,7	3,2
4 _m	3,2	4,0
5 _m	4,0	5,3

Die minimalen Durchmesser einer Seiltrommel D_{Tmin} und einer Ausgleichscheibe D_{Amin} errechnen sich vergleichbar mit DIN EN 13001-3-2 und ISO 16625 zu:

$$D_{Tmin} = D_{Amin} = h_1 \cdot \frac{d_{min}}{1,125} \quad (8)$$

Auf die nach dieser Richtlinie dimensionierten Seiltrommeln, Seilscheiben und Ausgleichsscheiben können bei gleicher Seilskraft dickere Drahtseile bis zum 1,25-Fachen errechneten Seildurchmesser ohne Beeinträchtigung der Betriebszeit aufgelegt werden, wobei die erforderlichen Rillenradien nach DIN EN 13001-3-2 beachtet werden müssen. Eine Vergrößerung der Durchmesser von Seilscheiben, Trommeln und Ausgleichsscheiben erhöht die Betriebszeit des Drahtseils. Eine Ausgleichsscheibe darf einen kleineren Durchmesser als eine Seilscheibe haben, weil sie praktisch feststeht oder höchstens kleine Bewegungen ausführt. Bei sehr großen Hubhöhen ist aber damit zu rechnen, dass die Drehbewegung der Ausgleichsscheibe nicht mehr klein ist. Dann ist eine Vergrößerung der Ausgleichsscheibe bis zur Größe der Seilscheibe zu empfehlen. Unabhängig davon empfiehlt sich auch die Anordnung der Ausgleichsscheibe auf der Höhe der Seiltrommel, um eine gute Zugänglichkeit hinsichtlich der Inspektion des Drahtseils zu erreichen.

6 Seilendbefestigungen

Das Seilende muss so beschaffen sein, dass dauerhaft sichergestellt ist, dass das Seilgefüge nicht locker wird. Dieses kann beispielsweise durch Abbrenn-Stumpfschweißung oder durch Abbinden entstehen. Bei der Verwendung von Seilendverbindungen sind die Angaben der entsprechenden Normen oder Herstellerangaben zu beachten.

7 Sonstige Anforderungen und Seilmontage

Durch geeignete konstruktive Maßnahmen muss sichergestellt sein, dass das auf- und ablaufende Drahtseil auch bei Schlaffseil nicht von der Seiltrommel oder den Seilscheiben seitlich ablaufen kann. Bei der Montage oder beim Auflegen des Seils darf das Seilgefüge nicht locker werden, beispielsweise durch Aufdrehen. Bei der Verwendung von Montageverbindungen sind die Angaben der entsprechenden Normen oder Herstellerangaben in Verbindung mit konstruktiven Maßnahmen gegen seitliches Ablauen zu beachten.

8 Informationen

8.1 Informationen zu erreichbaren Biegewechselzahlen und zur Seilanzahl

Die erreichbare Arbeitsspielzahl ist neben der Triebwerkgruppe auch vom Bewegungskollektiv und den Abmessungen des Seiltriebs abhängig. Die nach DIN EN 13001-3-2 aus der willkürlich wählbaren Seilanzahl l_r berechnete Gesamtanzahl der Biegewechsel w_{tot} ist nicht als Anzahl der Biegewechsel zu verstehen, die zum Ablegen des Seils führt. Das Ergebnis aus dem Nachweis der Ermüdungsfestigkeit der DIN EN 13001-3-2 können Seiltriebabmessungen sein, mit denen eine für die Überwachung in sicheren Intervallen „ausreichende Auftriegszeit“ nicht mehr erreicht werden kann [4 bis 6].

Für die Abschätzung der Betriebszeit können die Richtwerte für die erreichbaren Vollastbiegewechselzahlen N_V aus Tabelle 6 angenommen werden. Die Vollastbiegewechselzahlen ergeben sich aus

den Beiwerten c und h_1 . Mit $1/c^2 = S/d^2$ aus Gleichung (5), $h_1 = D/d$ aus Tabelle 4 und der Methode Stuttgart [1] wurde für jede Triebwerkgruppe und für die Klassen der nicht drehungsarmen und drehungsarmen Seile die Vollastbiegewechselzahlen N_V getrennt bestimmt. Neben den Triebwerkgruppen dieser Richtlinie (wie bei DIN 15020) sind auch die Maschinenklassen nach FEM 9.511 aufgeführt.

Die in Tabelle 6 genannten Vollastbiegewechselzahlen N_V sind Richtwerte. In der Praxis treten Streuungen auf.

Die bei der Kollektivseilkraft $k \cdot S_1$ in einer Triebwerkgruppe erreichbare Kollektivlastbiegewechselzahl $N_{V,k} > N_V$ an einer Seilscheibe beträgt nach [7] und mit Bezug auf den Seilkraftspektrumsfaktor k_r (siehe Abschnitt 8.2, Gleichung (11)):

$$N_{V,k} = N_V \cdot \left(\frac{S_1}{k_S \cdot S_1} \right)^2 = N_V \cdot \left(\frac{1}{\sqrt[3]{k_r}} \right)^2 \quad (9)$$

Dabei ist

- C Gesamtanzahl von Arbeitsspielen in der Auslegungslbensdauer des Krans nach DIN EN 13001-1
- S_1 Maximalkraft im Seiltrieb, gegebenenfalls auch nur Seilkraft $S \leq S_1$ aus Nennlast
- k_S kubischer Mittelwert des Seilkraftkollektivs
- k_r Seilkraftspektrumsfaktor

Die erreichbare Anzahl der Biegewechsel N_V oder $N_{V,k}$ in den Triebwerkgruppen kann als Gesamtanzahl w_{tot} der Biegewechsel während der Bemessungslbensdauer bis zur Ablegereife eines Seils angenommen werden.

Tabelle 6. Richtwerte für die Vollastbiegewechselzahlen N_V an einer Seilscheibe

Triebwerkgruppe oder Maschinenklasse		nicht drehungsarme Drahtseile			drehungsarme Drahtseile		
VDI	FEM	c	h_1	N_V	c	h_1	N_V
1E _m		0,059	11,2	3200	0,063	12,5	6300
1D _m	M1	0,063	12,5	6300	0,067	14	7500
1C _m	M2	0,067	14	7500	0,071	16	12500
1B _m	M3	0,071	16	12500	0,076	18	25000
1A _m	M4	0,080	18	25000	0,085	20	50000
2 _m	M5	0,089	20	50000	0,100	22,4	125000
3 _m	M6	0,100	22,4	125000	0,112	25	200000
4 _m	M7	0,111	25	200000	0,125	28	360000
5 _m	M8	0,124	28	360000	0,142	31,5	900000
		0,145	31,5	900000	0,154	36	1250000
		0,152	36	1250000			

Für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit nach DIN EN 13001-3-2 kann als rechnerische Biege- wechselzahl $w_{\text{tot}} = N_V$ mit Bezug auf den Seilkraft- verlaufparameter $s_r = k_r \cdot w_{\text{tot}}/w_D$ angenommen werden.

Die Seilanzahl l_r für die Arbeitsspielzahl C in der Auslegungslebensdauer des Krans kann mit der Vollastbiege wechselzahlen N_V oder der Kollektiv- lastbiege wechselzahl $N_{V,k}$ als voraussichtlich er- forderlich geschätzt werden.

$$l_r = \frac{C \cdot w \cdot l_C}{N_V} \quad \text{oder} \quad l_r = \frac{C \cdot w \cdot l_C}{N_{V,k}} \quad (10)$$

Dabei ist

- l_r Seilanzahl nach DIN EN 13001-3-2
- C Gesamtanzahl von Arbeitsspielen in der Auslegungslebensdauer des Krans nach DIN EN 13001-1
- w Anzahl der Biege wechselzahl bei einer Hubbewegung
- l_C Anzahl der Hubbewegungen in einem Arbeitsspiel
- N_V Vollastbiege wechselzahl
- $N_{V,k}$ Kollektivlastbiege wechselzahl

8.2 Informationen zum Seilkraftkollektiv

Das in der Seiltriebauslegung zugrunde gelegte Seilkraftkollektiv wird mit einem kubischen Mittelwert berücksichtigt. Dieses bedeutet, dass der Schädigungsexponent als inverse Steigung der Wöhlerlinie $m = 3$. Der kubische Mittelwert berechnet sich nach Gleichung (3):

$$k_S = \sqrt[3]{\sum_1^i \left(\frac{S_i}{S_1} \right)^3} \cdot h_i$$

Die Betriebs- und Lebensdaueruntersuchungen an Drahtseilen sowohl am IFT Stuttgart als auch am ehemaligen Institut für Bergbausicherheit Leipzig zeigen, dass eine Berücksichtigung des Seilkraft- kollektivs mit einem quadratischen Mittelwert ($m = 2$) zutreffender ist. Der Unterschied von $m = 2$ und $m = 3$ auf die Betriebs- und Lebensdau- erabschätzung der Drahtseile hinsichtlich der er- tragbaren Biege wechselanzahlen ist in realen Seil- trieben mit Seilkraftkollektiv jedoch gering. In Hinblick auf die gleiche Berücksichtigung in DIN 15020 und DIN EN 13001-3-2 (jeweils $m = 3$), wird der Schädigungsexponent hier ent- sprechend beibehalten.

Zwischen dem kubischen Mittelwert des Seilkraft- kollektivs k_S und dem Seilkraftspektrumsfaktor k_r in DIN EN 13001-3-2 besteht der Zusammenhang

$$k_S = \sqrt[3]{k_r} \quad (11)$$

Mit Bezug auf DIN EN 13001-1 kann der Lastkol- lektivbeiwert $k_Q = k_r$ angenommen werden.

8.3 Informationen zur Bestimmung des Beiwerts c

Die Beiwerte c der DIN 15020-1 bestimmten sich nach der Formel

$$c = \sqrt{\frac{v}{k \cdot f \cdot \frac{\pi}{4} \cdot R_0}} \quad (12)$$

Dabei ist

- v statische Seilzugsicherheit (in DIN 15020-1 Sicherheitskennzahl genannt)
- k Verseilverlustfaktor (in DIN 15020-1 Verseilfaktor genannt)
- f metallischer Füllfaktor (in DIN 15020-1 Füllfaktor genannt)
- R_0 Drahtnennfestigkeit (in DIN 15020-1 Nennfestigkeit des Einzel- drahts σ_z und in DIN EN 12385-2 Seilfes- tigkeitssklasse R_r genannt)

Die Beiwerte c dieser Richtlinie sind so gewählt worden, dass die statischen Seilzugsicherheiten für die jeweilige Triebwerkgruppe gleich groß bleiben.

Bei den nicht drehungsarmen Seilen wurden acht- litzige Warrington-Seale-Seile mit Stahleinlage und bei drehungsarmen Seilen 34×7-Seile jeweils nach DIN EN 12385-4 zugrunde gelegt.

Bei den nicht drehungsarmen Seilen wurden der Füllfaktor $f = 0,58$ und bei den drehungsarmen Seilen $f = 0,55$ zugrunde gelegt (DIN EN 12385-4). Für andere Füllfaktoren f_{Seil} kann der Beiwert c_{korr} nach der folgenden Formel korrigiert beziehungs- weise angepasst werden

$$c_{\text{korr}} = c \sqrt{\frac{f}{f_{\text{Seil}}}} \quad (13)$$

Der Verseilverlustfaktor in Gleichung (12) wurde nicht verändert.

Es wurde eine Drahtnennfestigkeit von $R_0 = 1960 \text{ N/mm}^2$ zugrunde gelegt. Niedrigere Drahtnennfestigkeiten können zu höheren Be- triebsdauern und höhere Drahtnennfestigkeiten zu niedrigeren Betriebsdauern führen.

Die mit den Beiwerten erreichbaren Betriebsdau- ern der Seile wurden berechnet. Zur Berechnung der Betriebsdauer wurden die Methoden Stuttgart [1] und Leipzig [2] verwendet.

Mit der Berechnung konnte die bisher allgemein benannte „ausreichende Aufliegezeit“ durch die erreichbaren Vollastbiege wechselzahlen N_V unter- legt werden. Die grundlegenden Sicherheits- und

Gesundheitsschutzanforderungen, besonders zur Festlegung von Inspektionsintervallen, werden damit ergänzt.

8.4 Informationen zur Bestimmung der Biegewechselzahl w

In Tabelle 7 sind einige Beispiele für die Bestimmung der Anzahl der Biegewechselzahl w bei einer Hubbewegung angegeben. Für die Bestimmung von h_2 wird die Belastungsfolge des höchstbeanspruchten Seilabschnitts für eine durchschnittlich anzunehmende Hubbewegung, bestehend aus Heben und Senken, skizziert. Die Belastungsfolge beginnt zweckmäßigerweise an der Seilendverbindung oder bei parallelen Teilseiltrieben mit durchgeschertem Seil bei der Ausgleichsscheibe, die dann als gedachter Festpunkt betrachtet wird. Die

Biegewechselzahl w ergibt sich aus der Summe der Einfachbiegewechsel w_i und der äquivalenten Einzelbiegewechselzahlen w_r für jeden Gegenbiegewechsel. Die äquivalenten Einzelbiegewechselzahlen w_r sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Die Bewertung der Gegenbiegung (schädigungsäquivalente Einfachbiegewechselzahl w_r) gibt das Verhältnis von ertragbarer Anzahl an Einfachbiegewechseln und ertragbarer Anzahl an Gegenbiegewechseln an. Die Anzahl der ertragbaren Biegewechsel ergeben sich mithilfe der Beiwerte c und h_1 . Mit $1/c^2 = S/d^2$ aus Gleichung (5), $h_1 = D/d$ aus Tabelle 4 und der Methode Stuttgart [1] wurde für jede Triebwerkgruppe und für die beiden Klassen der nicht drehungsarmen und drehungsarmen Seile w_r getrennt bestimmt.

Tabelle 7. Biegewechselzahl w für eine Hubbewegung bestehend aus Heben und Senken

	<p style="text-align: center;">$w = 5$</p>
	<p style="text-align: center;">$w = 3 + 2w_r$</p>
	<p style="text-align: center;">$w = 3$</p>
	<p style="text-align: center;">$w = 1 + 2w_r$</p>

Schrifttum

Technische Regeln

DIN 15020-1:1974-02 Hebezeuge; Grundsätze für Seiltriebe; Berechnung und Ausführung (Lifting Appliances; Principles Relating to Rope Drives; Calculation and Construction). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 1907:2018-04 Sicherheitsanforderungen an Seilbahnen für die Personenbeförderung; Begriffsbestimmungen; Dreisprachige Fassung EN 1907:2017 (Safety requirements for cableway installations designed to carry persons; Terminology; Trilingual version EN 1907:2017). Berlin: Beuth-Verlag

DIN EN 12385-1:2009-01 Drahtseile aus Stahldraht; Sicherheit; Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 12385-1:2002+A1:2008 (Steel wire ropes; Safety; Part 1: General requirements; German version EN 12385-1:2002+A1:2008). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 12385-2:2008-06 Stahldrahtseile; Sicherheit; Teil 2: Begriffe, Bezeichnung und Klassifizierung; Deutsche Fassung EN 12385-2:2002+A1:2008 (Steel wire ropes; Safety; Part 2: Definitions, designation and classification; German version EN 12385-2:2002+A1:2008). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 12385-3:2021-08 Drahtseile aus Stahldraht; Sicherheit; Teil 3: Informationen für Gebrauch und Instandhaltung; Deutsche Fassung EN 12385-3:2020 (Steel wire ropes; Safety; Part 3: Information for use and maintenance; German version EN 12385-3:2020). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 12385-4:2008-06 Drahtseile aus Stahldraht; Sicherheit; Teil 4: Litzenseile für allgemeine Hebezwecke; Deutsche Fassung EN 12385-4:2002+A1:2008 (Steel wire ropes; Safety; Part 4: Stranded ropes for general lifting applications; German version EN 12385-4:2002+A1:2008). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 13001-1:2015-06 Krane; Konstruktion allgemein; Teil 1: Allgemeine Prinzipien und Anforderungen; Deutsche Fassung EN 13001-1:2015 (Cranes; General design; Part 1: General principles and requirements; German version EN 13001-1:2015). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 13001-2:2021-12 Kransicherheit; Konstruktion allgemein; Teil 2: Lasteinwirkungen; Deutsche Fassung EN 13001-2:2021 (Crane safety; General design; Part 2: Load actions; German version EN 13001-2:2021). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 13001-3-2:2015-10 Krane; Konstruktion allgemein; Teil 3-2: Grenzzustände und Sicherheitsnachweis von Drahtseilen in Seiltrieben; Deutsche Fassung EN 13001-3-2:2014 (Cranes; General design; Part 3-2: Limit states and proof of competence of wire ropes in reeving systems; German version EN 13001-3-2:2014). Berlin: Beuth Verlag

DIN ISO 4309:2021-08 Krane; Drahtseile; Wartung und Instandhaltung, Inspektion und Ablage (ISO 4309:2017) (Cranes; Wire ropes; Care and maintenance, inspection and discard (ISO 4309:2017)). Berlin: Beuth Verlag

FEM 9.511:1986-06 Serienhebezeuge; Berechnungsgrundlagen für Serienhebezeuge; Einstufung der Triebwerke (Series lifting equipment; Rules for the design of series lifting equipment; Classification of mechanisms). Brüssel: FEM Section IX, www.fem-eur.com/publications/ (abgerufen am 06.04.2022)

ISO 4301-1:2016-07 Cranes; Classification; Part 1 (Krane; Klassifizierung; Teil 1: Allgemeines). Genf: ISO

ISO 16625:2013-07 Cranes and hoists; Selection of wire ropes, drums and sheaves (Krane und Winden; Wahl der Seile, Seiltrommeln und Seilrollen). Genf: ISO

VDI 1000:2021-02 VDI-Richtlinienarbeit; Grundsätze und Anleitungen (VDI Standardisation Work; Principles and procedures). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2358:2012-12 Drahtseile für Fördermittel (Wire ropes for mechanical handling equipment). Berlin: Beuth Verlag

VDI 3573:2018-05 Arbeitsgeschwindigkeiten von schienengebundenen Kranen (Working speeds of rail-mounted cranes). Berlin: Beuth Verlag

Literatur

- [1] *Feyrer, K.*: Drahtseile – Bemessung, Betrieb, Sicherheit. Heidelberg: Springer-Verlag, 2018
- [2] *Steinbach, G.*: Betriebsdauer in Seiltrieben – Berechnung der Biegewechselzahl – Methode „Leipzig“. In: Hebezeuge Fördermittel, 5 (2018), S. 34–35
- [3] *Wehking, K.-H.*: Laufende Seile – Bemessung und Überwachung. Renningen: Expert Verlag, 2018
- [4] *Anders, M.; Ryk, D.; Steinbach, G.*: Betriebsdauer und Sicherheit der Seiltriebe – Einfluss auf die Seiltriebauslegung. 26. Kranfachtagung Technische Universität Dresden, 2018
- [5] *Steinbach, G.; Anders, M.; Ryk, D.*: Drahtseile in Seiltrieben nach DIN EN 13001-3-2:2014-12 – Bemessungsbiegewechselzahl und Realbiegewechselzahl. Hebezeuge Fördermittel, Exklusivbeitrag 2016
- [6] *Steinbach, G.*: Bemerkungen zur Entwicklung der Normen. Hebezeuge und Fördermittel. Berlin 47 (2007) 11, S. 576–578
- [7] *Feyrer, K.*: Einfache Berechnung der Seiltriebe von Hebezeugen (I) und (II). Hebezeuge und Fördermittel. Berlin 36 (1996) 4, S. 186–188 (I) und 36 (1996) 5, S. 242–243