

Seiltriebberechnung

Bemerkungen zur Entwicklung der

In den Normen zur Seiltriebdimensionierung sind Sicherheitskennzahlen und Durchmesser der Seiltrieb-elemente anwendungsspezifisch für die „Betriebsfestigkeit“ der Drahtseile zugeordnet und gewährleisten mit den Seilkraftkollektiven eine „ausreichende Aufliegezeit“ der Seile. Die Regeln zur Dimensionierung der Seiltriebe für Krane/Hubwerke/Hebezeuge wurden an die Tragwerksberechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten angepasst. Die Anpassung wird mit Bezug auf bisherige Normen betrachtet.

■ Gerhard Steinbach

Die Normen DIN 15 020 und TGL 34 022

Zur Veranschaulichung der Zusammenhänge dient das Interaktionsdiagramm (Bild 1). Aus längerer Tradition [1, 2] sind in der DIN 15 020 Blatt 1 [3] und ähnlichen Normen [4] Beiwerte aus Sicherheitskennzahlen für den Seildurchmesser und für das Durchmesser Verhältnis bei Voll-Last auf den Linien **a**) festgelegt, die den aus Laufzeitklassen und Lastkollektiven gebildeten Triebwerkgruppen zugeordnet sind. Die Belastungskollektive DIN BK kennzeichnen mit den kubischen Mittelwerten

$$k^{DIN\ BK} < 1,0$$

der Seilkräfte die während der Aufliegezeit wirkende „Betriebsdauersicherheit“. Damit sind erhebliche Unterschiede der „Aufliegezeit“ bei der gleichen Triebwerkgruppe im Vergleich mit den Wertepaarhyperbeln **b**) [9] möglich, wie die Erfahrung zeigt.

Die TGL 34 022/01 bis /04 [6] wurde als Grundlage für die Seiltriebe in der Fördertechnik [8, 9, 11] entwickelt. Mit der Sicherheitszahl und ergänzenden Faktoren werden die Betriebsbedingungen und mit der Drahtberührung parallel (II) oder kreuzend (X) die gewählte Seilkonstruktion berücksichtigt [12]. Mit dem schädigungsgleichen quadratischen Mittelwert der Seilkräfte wird die „Betriebsdauersicherheit“ beliebiger Lastkollektive bestimmt. Damit können die Interaktionen von „Betriebsdauersicherheit“ und Durchmesser Verhältnis auf tabellierten Wertepaarhyperbeln $n = \text{const.}$ ähnlich **b**) [9] frei ausgewählt [13] werden. Die „Vereinfachte Berechnung für Seiltriebe der Hebezeuge“ [6] sollte die Dimensionierung nicht bestimmen [14], aber vorläufig den Übergang von [1, 3] auf [6] erleichtern.

Die Wertepaarhyperbeln **b**) kreuzen die DIN-Wertepaarlinien **a**). Neben der Aus-

wahl einer geeigneten Seilkonstruktion nach der gewünschten Biegewechselzahl bis zum Grenzzustand der Ablegereife bestand damit ab 1975/1980 erstmals die Möglichkeit, auch für die unterschiedlichen Belastungskollektive DIN BK in den Triebwerkgruppen der DIN 15020 Bl.1 [3] die „ausreichende Aufliegezeit“ zu den DIN-Wertepaarlinien oder zu den aktuellen Belastungskollektiven [15] als ertragbare Biegewechselzahl rechnerisch abzuschätzen.

Die Norm DIN CEN/TS 13001-3-2

In der DIN CEN/TS 13001-3-2 [5] sind die Seilkraftberechnungen zu den Drahtseilen in Seiltrieben der Krane für die Nachweise mit Teilsicherheitsfaktoren umfangreich vorgegeben. Für den statischen Festigkeitsnachweis sind sehr geringe Seilwiderstandsbeiwerte im Sinne von Sicherheitszahlen mit dem dazu kleinsten relevanten Durchmesser nach **f**), Linie links unten, mit einem besonders fragwürdigen Abschnitt (?) zugeordnet, so dass mindestens in den unteren Seilkraftverlaufsklassen nicht vertretbare Seildurchmesser und Seilrollenabmessungen möglich sind [10]. Maßgebend ist erst der Nachweis der Betriebsfestigkeit. Für den Nachweis der Betriebsfestigkeit sind zu jeder Seilkraftverlaufsklasse der Seilkraftverlaufsparemeter definiert und die Referenzverhältnisse (Durchmesser Verhältnisse) entsprechend den linken Wertepaarlinien **f**) für Voll-Last ähnlich [3] zugeordnet.

Das in der Gebrauchsdauer des Seiles angenommene beliebige Belastungskollektiv wird mit dem Seilkraftspektrumsfaktor berücksichtigt, wie die rechten Wertepaarlinien **f**) für das Beispiel des leichten Belastungskollektivs DIN BK1 zeigen.

Diese Grunddimensionierung wird mit Beiwerten und Faktoren zur Seilkraft und mit dem Faktor der weiteren Einflüsse zur Grenzseilkraft variiert. Damit besteht nach **f**) ähnlich [3] ein weit gefächerter Bereich der Seiltriebdimensionierung.

Der Seilkraftverlaufsparemeter ist das Produkt aus Seilkraftspektrumsfaktor und relativer Biegewechselzahl, die aus der Gesamtzahl der Biegewechsel in der Gebrauchsdauer des Seiles berechnet wird.

Die Eigenschaften der Seilkonstruktionen werden nur ungenügend mit dem Seilartfaktor berücksichtigt. Für den sicheren Gebrauch des Seiles wird auf die Ablege-Kriterien ISO 4309 [16] ohne direkte Verbindung hingewiesen.

Berechnung der Biegewechselzahlen

Die Berechnung der in der Betriebsdauer bei Einfachbiegung und bei Gegenbiegung ertragbaren Biegewechselzahl erfolgt in TGL 34 022/03 [6] als Metho-

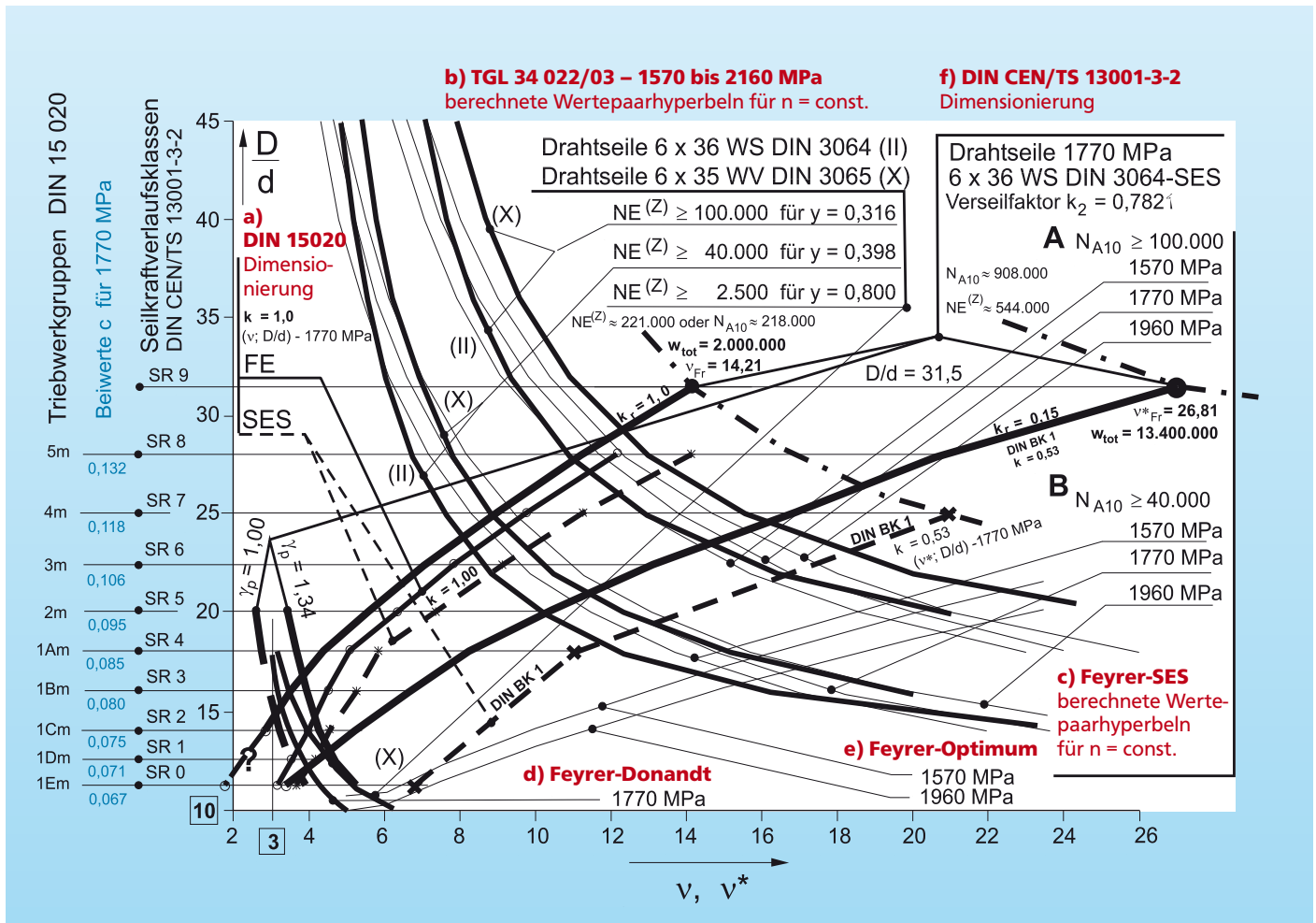
de „Leipzig“ mit Kennwerten von Wöhlerlinien für die komplexe Beanspruchung der Seildrähte im Drahtseil [8, 9]. Für Einfachbiegewechselzahlen ($n_e = NE^{(Z)10\%} = \text{const.}$) bis zum Grenzzustand der Ablegereife durch Drahtbrüche liegen die Wertepaare auf den berechneten Hyperbeln **b**) [9, 10]. Die Eigenschaften der Drahtseilkonstruktionen werden weitgehend berücksichtigt. Der zu nicht sichtbarer, innerer Drahtbruchentwicklung bei (X) führende Beanspruchungs- und Biegewechselzahlunterschied zu den Seilrillen mit (II), vor allem bei Kunststoffrillen [17], kann rechnerisch abgeschätzt werden. Die zum Grenzzustand der Ablegereife ($NE^{(Z)}$) gehörenden Drahtbruchzahlen Z sind als Summe der sichtbaren und der nicht sichtbaren Drahtbruchentwicklung innerhalb der kritischen Seillänge von etwa 30 d angegeben [6]. Die ab etwa 1973 in der WBK-Seilprüfstelle Bochum entwickelte Methode für Schachtförderseile [10, 18] stimmt mit der „Methode Leipzig“ überein, so dass beide Methoden zusammengeführt wurden und kombiniert auch in Verbindung mit magnetischen Prüfverfahren bei der Seilüberwachung angewendet werden können.

Von Feyrer [7, 19] wurde eine Biegewechselzahlgleichung für wesentliche Seilkonstruktionen als Methode „Stuttgart“ entwickelt. Die Wertepaare für die Einfachbiegewechselzahlen der Ablegereife ($N_{A10} = \text{const.}$) liegen weitgehend übereinstimmend mit **b**) auf den Wertepaarhyperbeln **c**) [9, 10]. Für die wesentlichen Litzen- und Seilkonstruktionen können die zulässigen sichtbaren Drahtbruchzahlen bei Ablegereife berechnet werden.

In DIN CEN/TS 13001-3-2 [5] wird aus der in der Gebrauchsdauer des Kranes/Hubwerkes weitgehend willkürlich angenommenen Anzahl der Seile die in der Gebrauchsdauer des Seiles erwartete Gesamtzahl der Biegewechsel w_{tot} unabhängig von der Seilkonstruktion zur Bestimmung der Seilkraftverlaufsklasse berechnet. Allgemeine Vergleiche [10] und Beispielrechnungen für die in den Seilkraftverlaufsklassen aus dem Seilkraftverlaufsparemeter gegebenen Interaktionen von „Sicherheitskennzahl“ und Referenzverhältnis (Durchmesser Verhältnis) haben gezeigt, dass die ohne Angabe eines Schädigungsgrades des Seiles „berechneten“ Biegewechselzahlen w_{tot} nach Tafel 1 sehr weit über den mit den Methoden „Leipzig“ ($NE^{(Z)10\%}$) und „Stuttgart“ (N_{A10}) für den Grenzzustand der Ablegereife [6] berechneten Werten liegen.

Mit den aus der Seilanzahl in der Gebrauchsdauer des Hubwerkes/Kranes ohne Angabe eines Schädigungsgrades weitgehend willkürlich berechneten Biege-

Normen



1 Interaktionsdiagramm der Wertepaare auf den Dimensionierungslinien nach DIN 15 020 [3] und DIN CEN/TS 13 001-3-2 [5] im Vergleich mit den berechneten Wertepaarhyperbeln konstanter Biegewechselzahl nach TGL 34 022/03 [6] und Feyrer [7] für Drahtseile 6x36 WS DIN 3064-FE (II) und SES (X) oder 6x36 WV DIN 3065 (X)

Erläuterungen:

- D/d Durchmesser Verhältnis oder auch Referenzverhältnis des Seilbiegeradius [5]
- N Sicherheitskennzahl aus rechnerischer Seilbruchkraft zu maximaler Seilkraft S
- v^* Betriebsdauersicherheit für Seilkraftkollektiv LK bzw. BK mit der Seilkraft S^*
- y Anstrengung nach Methode „Leipzig“; Anstrengung y^* bei der Seilkraft S^* [6, 8, 9]
- $NE^{(Z)}$ Einfachbiegewechselzahlen bis zur Ablegereife in 10 % der Seile, Methode „Leipzig“
- N_{A10} Einfachbiegewechselzahlen bis zur Ablegereife in 10 % der Seile mit 95 % Wahrscheinlichkeit, Methode „Stuttgart“ [7]

- a) DIN 15 020 – 1770 MPa – Wertepaare für Voll-Last und für Belastungskollektiv DIN BK 1 [3]
- b) TGL 34 022/03 – 1570 bis 2160 MPa – Berechnete Wertepaarhyperbeln für parallele (II) und kreuzende (X) Drahtberührung bis zur zulässigen Drahtbruchzahl (Z) bei der Anstrengung y oder y^* [6]
- c) Feyrer – 1570 bis 1960 MPa; $\varnothing 30$ mm – Wertepaarhyperbeln A und B für N_{A10} [7]
- d) Feyrer-Donandt – Paare aus rechnerischer Seilbruchkraft bei 1770 MPa [7]
- e) Feyrer-Optimum – Optimalpaare bei zwei Nennfestigkeiten [7]
- f) DIN CEN/TS 13 001-3-2 – Grenzseilkraftlinien, Wertepaarlinien für Voll-Last und Wertepaarlinien für die „Betriebsdauersicherheit“, dem Referenzverhältnis R_{Dd} zu den Seilkraftverlaufsklassen S_{R0} bis S_{R9} zugeordnet [10]

Tafel ① Vergleich der Biegewechselzahlen für die Seilkraftverlaufsklasse $S_R 9$ mit $R_{Dd} = 31,5$ [10]

Seilkraftspektrum/ Belastungskollektiv		Voll-Last, $k_f = 1,00$	DIN 15 020 – DIN BK 1, $k_f \approx 0,15$
b) Methode „Leipzig“	$NE^{(Z)10\%}$	221.000	543.900
c) Methode „Stuttgart“	N_{A10}	218.000	907.700
f) CEN/TS 13001-3-2	w_{tot}	2.000.000	13.400.000

wechselzahlen w_{tot} , die bis zu 10-fach über den Werten der Methoden „Leipzig“ oder „Stuttgart“ liegen können, sind nicht erfüllbare Forderungen an die Betriebsdauer der Seile möglich und sicherheitliche Fehler bei der Festlegung der Untersuchungszyklen [15] und bei der Bewertung der Ablegekriterien [16] und damit Gefährdungen [12] zu erwarten.

Zusammenfassung

Die „Betriebsfestigkeit“ der Drahtseile ist für die „ausreichende Aufliegezeit“ in Seiltrieben mit der anwendungsspezifischen Interaktion von Sicherheitskennzahlen und Durchmessern der Seiltrieb-elemente in Verbindung mit einer überwachbaren Schädigung seit Jahrzehnten in die Seiltriebdimensionierung – vor allem auch für Hebezeuge und Krane – einbezogen. Die neue Regel zur Dimensionierung der Seiltriebe von Kranen umfasst einen ähnlich weit gefächerten Bereich der Wertepaare wie bisher. Der Nachweis der Betriebsfestigkeit vermittelt dem Anwender aber den Eindruck, dass die für die Gebrauchsdauer des Seiles weitgehend willkürlich berechnete Biegewechselzahl unabhängig von der Seilkonstruktion bei der Interaktion von Seilkraft und Seilscheibendurchmesser in der Seilkraftverlaufsklasse erreicht werden kann. Das ist nicht der Fall. Den berechenbaren Biegewechselzahlen der neuen Regel ist außerdem kein Schädigungsgrad der vielfältigen Seilkonstruktionen zugeordnet, so dass sicherheitliche Risiken und damit mechanische Gefährdungen an Drahtseilen in Seiltrieben und Versagen bei Bezug auf die berechneten Biegewechselzahlen nicht ausgeschlossen werden können. In den neuen Drahtseilnormen wird das Versagen infolge Ermüdung bei Seilen einerseits nicht mehr als eine Gefährdung angesehen, andererseits sind aber Anweisungen zur Vermeidung von Gefährdungen und Untersuchungen – letztere auch in Verbindung mit der Ermittlung des verbrauchten Anteiles der Nutzdauer – gefordert. Diesen Forderungen kann die weitgehend wirklichkeitsgetreue rechnerische Abschätzung der von der Seilkonstruktion bis zum Grenzzustand der Ablegereife ertragbaren Biegewechselzahlen mit ihren Streuspannen nach den Methoden „Leipzig“ und „Stuttgart“ dienen. Beide Methoden können unabhängig von Vorschriften auf beliebige Seiltriebe angewendet werden. □

Literatur

- [1] Ernst, H.: Die Hebezeuge Bd. I. Friedr. Vieweg & Sohn; 2. Aufl. 1952 (DIN 4130).
- [2] VDI 2358:1968 und :1984-10 – Drahtseile für Fördermittel.
- [3] DIN 15 020:1974-02 – Hebezeuge; Grundsätze für Seiltriebe; Blatt 1 und 2.
- [4] FEM 9.661:1986-06 – Berechnungsgrundlagen für Serienhebezeuge; Baugrößen von Seiltrieben.
- [5] DIN CEN/TS 13001-3-2:2005-03 Vornorm – Krane – Konstruktion allgemein – Grenzzustände und Sicherheitsnachweis von Drahtseilen in Seiltrieben.
- [6] TGL 34 022/01 bis /04:1980-02- Fördertechnik; Seiltriebe;...
- [7] Feyrer, K.: Drahtseile. Bemessung, Betrieb, Sicherheit. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 1. Aufl. 1994; 2., überarb. u. erw. Aufl. 2000.
- [8] Jehmlich, G.: Anwendung und Überwachung von Drahtseilen. Berlin: Verlag Technik 1985.
- [9] Steinbach, G.: Berechnung der Betriebsdauer von Drahtseilen in Seiltrieben. Technische Überwachung (TÜ) Bd. 45 (2004) Nr. 4.
- [10] Steinbach, G.; Gronau, O.: Normen für Seiltriebe und die Betriebsdauer der Drahtseile. Begleitband zur 15. Internationalen Kranfachtagung 2007 in Bochum. Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Maschinenelemente und Fördertechnik.
- [11] Thelen, G.: Hinweise zur Anwendung der TGL 34022/03 (12/79) „Fördertechnik, Seiltriebe, Berechnung“, ausgehend von den Grundlagen. Hebezeuge und Fördermittel, Berlin 21 (1981) 1, S. 31/32.
- [12] DIN EN 12 385-1 bis -5:2003 – Stahldrahtseile; Sicherheit. Vorhergehend DIN 3051: 1972-03 Blatt 1-4 – Drahtseile aus Stahldrähten.
- [13] Feyrer, K.: Einfache Berechnung der Seiltriebe von Hebezeugen, (I) und (II). Hebezeuge und Fördermittel, Berlin 36 (1996) 4, S. 186-188; 5, S. 242-243.
- [14] Kolarow, I; Bopp, W.: Über die Berechnung von Seiltrieben. Hebezeuge und Fördermittel, Berlin 34 (1994) 12, S. 551-553.
- [15] BG-Vorschriften (BGV) D 8: Winden, Hub- und Zugeräte (bislang VBG 8). Köln: Carl Heymanns Verlag 1996.
- [16] ISO 4309 – Cranes -Wire ropes- Third Edition 2004-08-01; care [Pflege], maintenance [Erhaltung], installation [Einbau], examination [Prüfung, Untersuchung] and discard [Ablegen].
- [17] Sicherheitsrichtlinie Seilrollen aus Kunststoff. Berlin: Carl Heymanns Verlag 1986.
- [18] Fuchs, D.: Rückblick auf 20 Jahre Forschung an Förderseilen. Seil-Kolloquium am 15. November 1996, DMT FP, IFT Bochum.
- [19] Scheffler, M.: Grundlagen der Fördertechnik. Elemente und Triebwerke. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn 1994.

**Dipl.-Ing.
Gerhard Steinbach**
ist Vorstandsmitglied
im Verein für Technische
Sicherheit und Umwelt-
schutz (TSU) e.V. Gotha

