

SEILENTWICKLUNG FÜR AUFZUGSANLAGEN

DR.-ING. ERNST WOLF, DR.-ING. ANDREAS FRANZ

Käufer in aller Welt erwarten heute stärker denn je Aufzugseile, die eine hohe Lebensdauer aufweisen und zugleich zu wettbewerbsfähigen Preisen angeboten werden. Die Fa. Gustav Wolf Seil- und Drahtwerke GmbH & Co. KG, Gütersloh, ist seinen Kunden seit Jahren ein verlässlicher Partner und versucht beständig, neue kostenoptimierte Seile zu entwickeln.

Gustav Wolf produziert heute in fünf Werken im In- und Ausland Stahldrähte und Drahtseile. Ein nicht unbedeutender Teil davon sind Aufzugseile. Für die Prüfung der Drähte und Seile stehen vor Ort verschiedene Prüfeinrichtungen zur Verfügung. Hierzu gehören Dauerbiegemaschinen mit bis zu sechs Prüfscheiben. Vor diesem Hintergrund wurden an verschiedenen Seilkonstruktionen Untersuchungen der Lebensdauer durchgeführt, um im Interesse der Kunden kostengünstige Alternativen zu bisherigen Installationen herauszufinden.

Aufzugseile – Stand der Technik

Im Aufzugbau werden üblicherweise Stahldrahtseile der Konstruktionen 8 x 19 Seale bzw. 8 x 19 Warrington, jeweils mit Fasereinlage, verwendet. Die Auswahl des Seiles hängt von den Einsatzbedingungen ab. Durch unterschiedliche Nennfestigkeit der Außendrähte (1180 N/mm², 1370 N/mm², 1570 N/mm² oder 1770 N/mm²) ergeben sich Variationsmöglichkeiten. Für Sondereinsatzfälle können auch Spezialseile mit neun Litzen und Vollstahleinlage oder Doppelparallelschlagseile zum Einsatz kommen.

Beim Einsatz von Aufzugseilen kann man zwei grundsätzliche Fälle unterscheiden: Die Seile dienen entweder dem Ersatz, d. h. sie werden in bestehende Anlagen eingebaut, oder sie werden für Neuanlagen verwendet. Bei letzterem kann die Konstruktion von Anlage und Seilen genau aufeinander abgestimmt und somit die Gesamtanlage optimiert werden. Bei der Ersatzbeseilung hingegen ist die durchmesserbezogene Seilzugkraft vorgegeben. Es besteht lediglich die Möglichkeit, innerhalb der festen Parameter kleine Variationen vorzunehmen.

Verdichtung von Aufzugseilen – Eine praxistaugliche Idee?

Aus Kenntnis der Tatsache, dass im Kranbau auch verdichtete Seile zum Einsatz kommen, entstand die Idee, die Eignung derselben für den Aufzugbau zu prüfen.

Es ist allgemein bekannt, dass sowohl komplette Seile als auch nur die Litzen mittels verschiedener Verfahren, wie Ziehen, Hämmern oder Walzen, verdichtet werden können. Beim Verdichten verändert sich die Form der Drähte, der metallische Querschnitt bleibt jedoch erhalten. Das Seil bzw. die Litze wird komprimiert.

Um nach der Verdichtung den geforderten Seildurchmesser nicht zu unterschreiten, werden als Ausgangsmaterial Außendrähte mit größerem Durchmesser eingesetzt. Daraus ergibt sich zugleich, dass das verdichtete Seil einen höheren metallischen Querschnitt gegenüber einem vergleichbaren, nicht verdichteten Seil hat. Außerdem bewirken die beim Verdichten auftretenden Druckkräfte, dass die Oberfläche der einzelnen Litzen geglättet wird.

Ziel der Untersuchungen

Für Seile mit Fasereinlagen sollte geklärt werden, ob allein die Verdichtung von Litzen die Lebensdauer der Seile im Betrieb erhöht. Weitere Aspekte der Prüfung betrafen das Dehnungsverhalten und den Einfluss des höheren metallischen Querschnitts auf die Lebensdauer. Außerdem galt es zu klären, ob die Litzen infolge der Verdichtung widerstandsfähiger gegen Querdruckkräfte sind?

Auswahl der Versuchsseile

Für die Untersuchungen wurden drei Seiltypen ausgewählt. Neben dem Standardseil 8x19 Seale mit Fasereinlage (8x19S-NFC) wurde die gleiche Konstruktion mit Stahleinlage (8x19S-IWRC) sowie ein verdichtetes Seil mit Fasereinlage (8xK19S-NFC) geprüft. Die genauen Seilparameter sind in Abb. 1 aufgeführt.

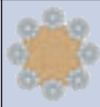

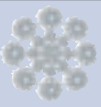
			
Seiltyp	8x19S-NFC	8xK19S-NFC	8x19S-IWRC
Drahtzahl	152	152	227
Nenn Durchmesser d [mm]	10	10	10
Gemessener Durchmesser d _m [mm]	10,55	10,12	10,18
Fettung	Standard	Standard	Standard
Festigkeit R _t [N/mm ²]	1570	1570	1570
Metallischer Querschnitt A _c [mm ²]	34,86	39,22	47,44
Mindestbruchkraft F _{min} [kN]	46,50	51,7	59,60
Metallischer Querschnitt A _c [%]	100	112	136

Abb. 1: Versuchsreihe

Die Begrenzung der Seilauswahl auf Standard-Konstruktionen erfolgte bewusst, um die Kosten der Herstellung nicht aus den Augen zu verlieren.

Beschreibung der durchgeführten Prüfungen

Dauerbiegeprüfung

Die Dauerbiegeprüfung wurde entsprechend der Versuchsmethode des Instituts für Fördertechnik und Logistik (IFT) der Universität Stuttgart durchgeführt. Die Biegezonen wurden entsprechend den Prüfregeln der OIPEEC (Organisation Internationale Pour L'etude De L'endurance Des Cables) festgelegt. Alle Versuchsseile wurden mit dem gleichen Seilzug je Prüfhorizont belastet. Die Prüfung erfolgte auf drei verschiedenen Prüfscheiben (Rundrille, unterschrittene Sitzrille, Keilrille) bei einem D/d-Verhältnis von 25 mit fünf verschiedenen Seilzugkräften (Abb. 2). Die Seile wurden mit Herstellerfettung aufgelegt und nicht nachgeschmiert.

Seildurchmesser

Es wurde die Entwicklung des Seildurchmessers während eines Biegeversuchs verfolgt. Die Bestimmung des Durchmessers er-

	Versuchsbedingungen					
	Einfachbiegung					
	1 Kurbelumdrehung = 2 Biegungen					
	Kurbelumdrehungen: 39 U/min					
	Biegelänge l: 660 cm					
	Raumtemperatur: ca. 21 °C					
	Umschlingungswinkel: 155°					
	keine Seilnachschröierung					
Prüfscheiben 240 mm im Rillengrund Härte HRC 60	Seilzugkraft [kN]	5,9	11,7	17,55	23,4	27,3
	Rundrille $r/d = 0,53$	X	X		X	X
	Unterschnittene Sitzrille $\alpha = 90^\circ$		X		X	X
	Keilrille $\gamma = 35^\circ$		X	X	X	

Abb. 2: Dauerbiegeprüfung – Versuchsparameter

folgte jeweils nach einer bestimmten, zuvor festgelegten Anzahl von Biegewechsel.

Seildehnung

Die Dehnungsprüfung erfolgte zwischen 7,3 % und 8,3 % der Mindestbruchkraft. Damit wurden die im Aufzug auftretenden Belastungen des Be- und Entlastens simuliert. Es wurde die 1., 2. und 10. Belastung aufgenommen.

Versuchsergebnisse

Bruchbiegewechselzahl im Vergleich zu früheren Versuchen

Es wurden insgesamt 47 Dauerbiegeversuche durchgeführt. In den Abb. 3–5 werden die Prüfergebnisse mit rechnerisch ermittelten Werten nach der Feyrer-Formel [1] verglichen. Die Berechnung erfolgte für die mittlere Bruchbiegewechselzahl N_m .

Die Abb. 3a und 3b zeigen die Messergebnisse für die Rundrille. In Abb. 4 erfolgt die Darstellung der Ergebnisse für die Keilrille, in Abb. 5 für die unterschnittene Sitzrille.

Erwartungsgemäß liegen die Prüfergebnisse der untersuchten Seile deutlich über den rechnerisch ermittelten Bruchbiegewechselzahlen nach Feyrer. Grund dafür ist, dass der Feyrer-Formel eine Vielzahl von Versuchen zugrunde liegt, deren Grundgesamtheit auch Seile mit sehr geringen Biegewechseln umfasste.

In der unterschnittenen Sitzrille scheint das Belastungsniveau von 280 N/mm^2 bereits jenseits des Donandt-Punktes zu liegen.

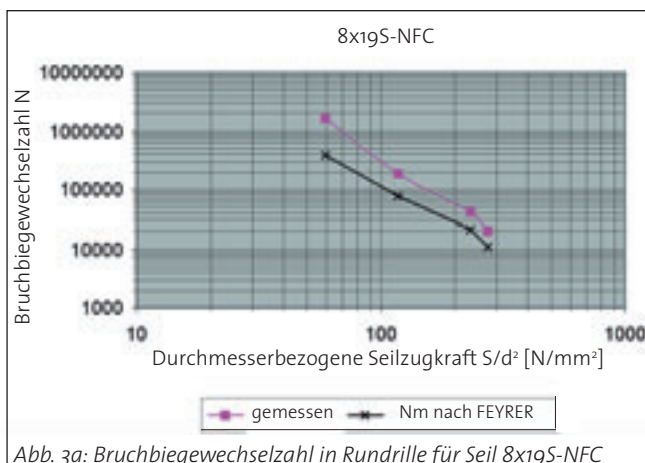


Abb. 3a: Bruchbiegewechselzahl in Rundrille für Seil 8x19S-NFC

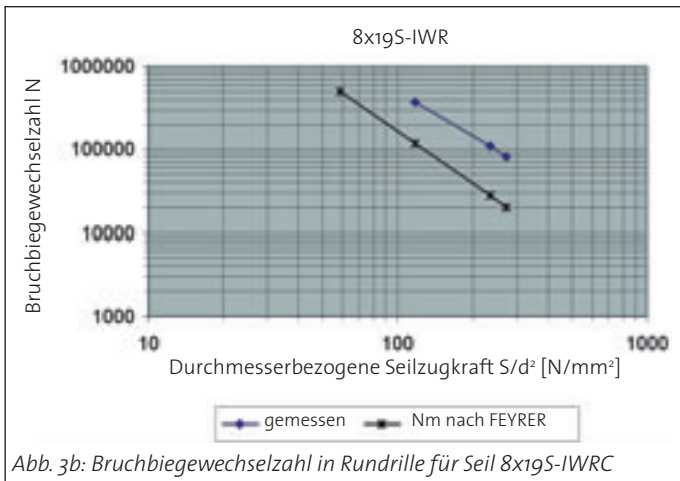


Abb. 3b: Bruchbiegewechselzahl in Rundrille für Seil 8x19S-IWRC

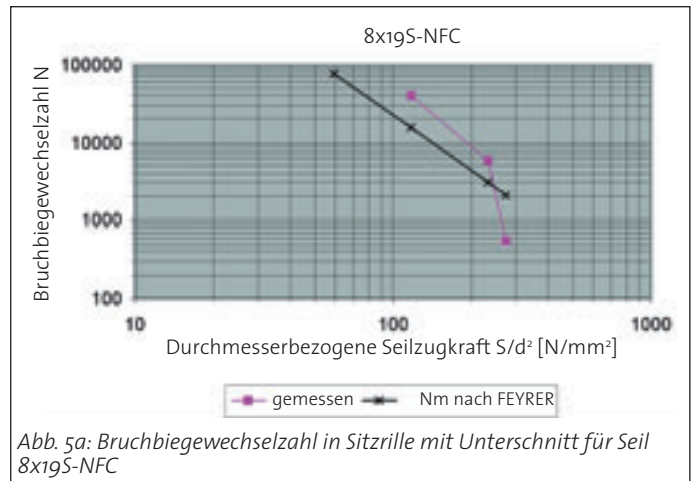


Abb. 5a: Bruchbiegewechselzahl in Sitzrille mit Unterschnitt für Seil 8x19S-NFC

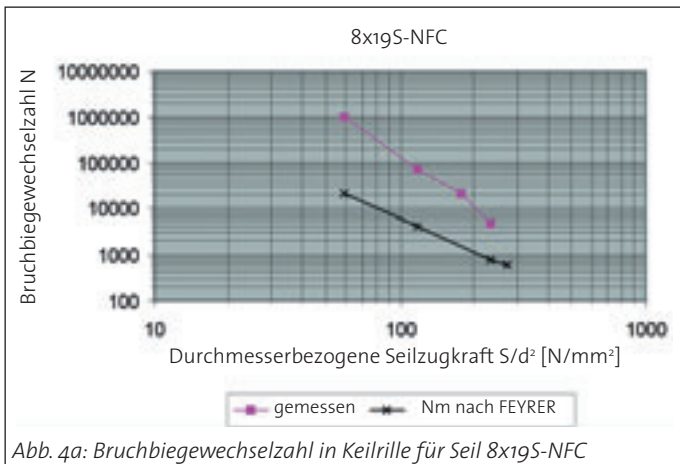


Abb. 4a: Bruchbiegewechselzahl in Keilrille für Seil 8x19S-NFC

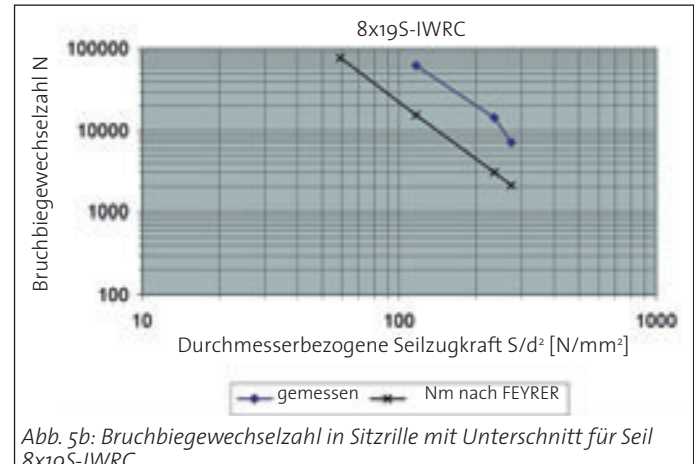


Abb. 5b: Bruchbiegewechselzahl in Sitzrille mit Unterschnitt für Seil 8x19S-IWRC

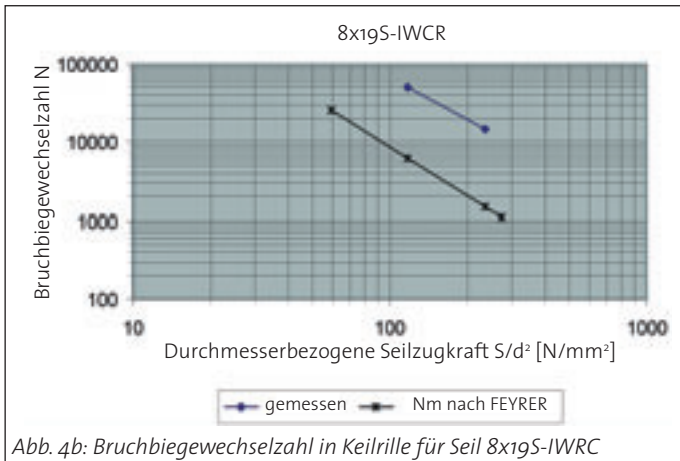


Abb. 4b: Bruchbiegewechselzahl in Keilrille für Seil 8x19S-IWRC

Bruchbiegewechselzahl in Abhängigkeit von den Scheibenparametern

Das unverdichtete Seil mit Fasereinlage (8x19S-NFC) zeigt in der Sitzrille mit Unterschnitt und der Keilrille deutlich schlechtere Dauerbiegeergebnisse als in der Rundrille (Abb. 6). Die Lebensdauer in der Keilrille und der Sitzrille mit Unterschnitt fällt auf $\frac{1}{4}$ bzw. auf bis zu $\frac{1}{6}$ der Lebensdauer in der Rundrille. Ähnliche Ergebnisse hat auch Woernle bei relativ hoher Seilzugspannung ermittelt [1].

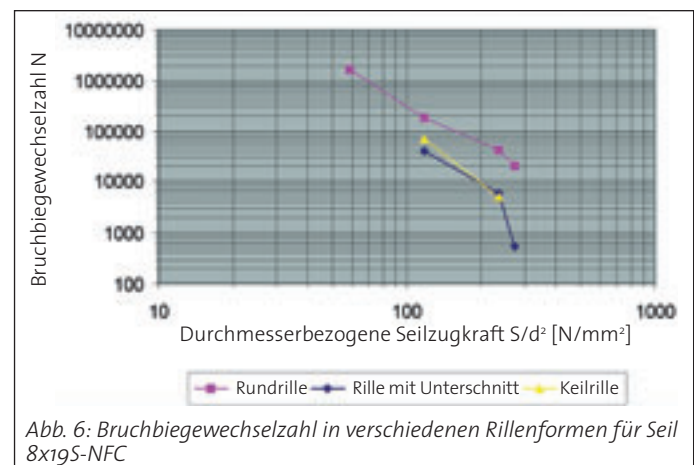


Abb. 6: Bruchbiegewechselzahl in verschiedenen Rillenformen für Seil 8x19S-NFC

Auch das Seil mit Stahleinlage (8x19S-IWRC) zeigt in der Rundrille die besten Ergebnisse (Abb. 7). Die absolute Biegewechselzahl liegt in der Rundrille für das Belastungsniveau von 117 N/mm^2 mit $N = 380\,000 \text{ BW}$ deutlich über dem Wert des Seiles mit Fasereinlage (ca. $N = 200\,000 \text{ BW}$). Sie fällt in Keil-

und unterschrittener Sitzrille ebenfalls auf $\frac{1}{6}$ des Wertes in der Rundrille ab.

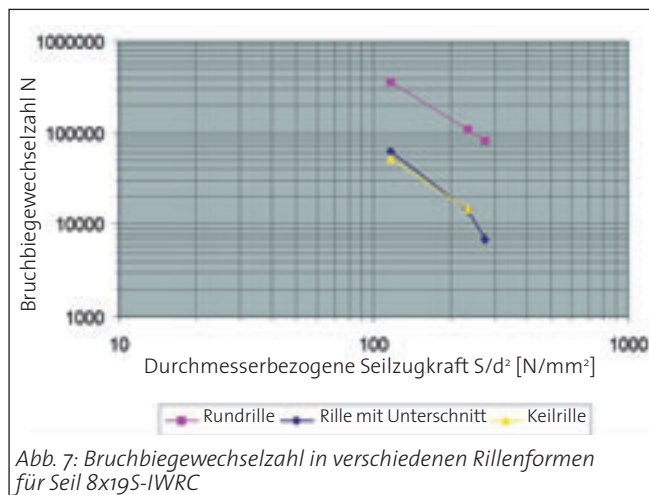


Abb. 7: Bruchbiegewechselzahl in verschiedenen Rillenformen für Seil 8x19S-IWRC

Das verdichtete Seil mit Fasereinlage (8K19S-NFC) erreicht in der Rundrille mit ca. $N = 280\,000$ BW bei einer Belastung von 117 N/mm^2 gleichfalls einen höheren Lebensdauerwert als das Seil 8x19S-NFC (Abb. 8). Der Lebensdauerabfall auf anderen Rillenprofilen ist ebenfalls groß.

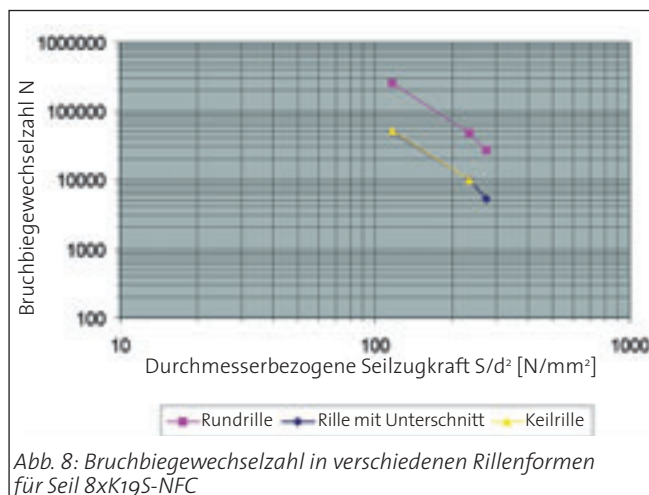


Abb. 8: Bruchbiegewechselzahl in verschiedenen Rillenformen für Seil 8xK19S-NFC

Den Abfall der Lebensdauer in Keil- und unterschrittener Sitzrille gegenüber der Rundrille beschreiben bereits Feyrer [2] und Holeschak [3]. Feyrer hat hierzu detaillierte Korrekturfaktoren angegeben.

Bruchbiegewechselzahl in Abhängigkeit von der Seilkonstruktion

In Abb. 9 werden für alle geprüften Seilkonstruktionen die Bruchbiegewechselzahlen in der Rundrille gegenübergestellt. Bei gleicher Seilzugkraft erreicht das Seil mit der Stahleinlage (8x19S-IWRC), d. h. dem im Vergleich höchsten metallischen Querschnitt, die größte Bruchbiegewechselzahl. Dieser Tatsache wird heute schon in der Aufzugsindustrie Rechnung getragen, indem in zunehmendem Maße Stahlseelenseile verwendet werden. Das verdichtete Seil mit Fasereinlage (8xK19S-NFC), welches gegenüber dem unverdichteten Seil (8x19S-NFC) einen um 12 % vergrößerten metallischen Querschnitt aufweist, erreicht eine Verbesserung der Lebensdauer um etwa 30 %.

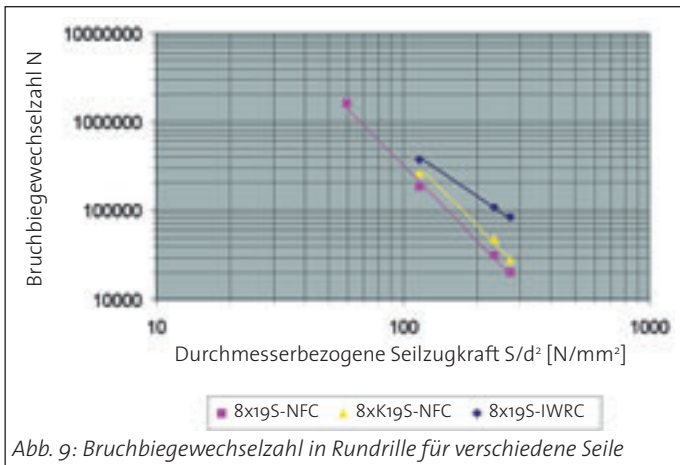


Abb. 9: Bruchbiegewechselzahl in Rundrille für verschiedene Seile

Durchmesserentwicklung und Querdruckstabilität

Läuft ein Seil regelmäßig über eine Scheibe, so bilden sich an der Berührungsfläche Verschleißzonen. Diese sind für Seile mit Stahleinlage und Seile mit Fasereinlage (Abb. 10) unterschiedlich. Das Stahleinlageseil verformt sich beim Lauf über die Scheibe durch die Querdruckstabilität nicht so stark wie ein Seil mit Fasereinlage. Letztere erfahren beim Lauf über Keilrillen eine quasi birnenförmige Verformung, die insbesondere zu sekundären Biegespannungen führt.

Das Einsinken der Seile in die Keilrille wurde über die Lebensdauer aufgenommen (Abb. 11).

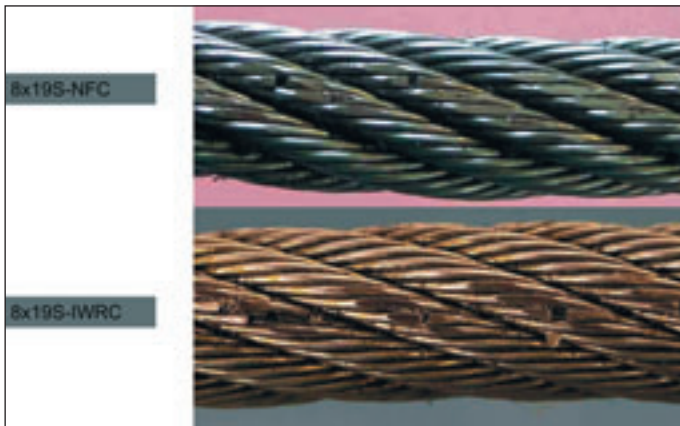


Abb. 10: Verschleißzonen von Seilen mit Fasereinlage (8x19S-NFC) und Seilen mit Stahleinlage (8x19S-IWRC)

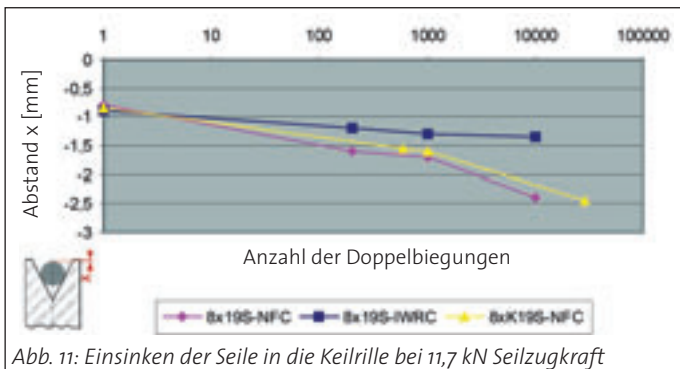


Abb. 11: Einsinken der Seile in die Keilrille bei 11,7 kN Seilzugkraft

Thiemann [4] beschreibt, dass die Seile beim Seillauf durch die Keilrille hohen Querpressungen und einer daraus resultierenden Verformung unterliegen. Seile mit Stahleinlage sind laut Thiemann dagegen unempfindlich. Die Versuche bestätigten diese These. Das Seil 8x19S-IWRC zeigt die erwartete Stabilität bereits nach 2000 BW.

Seile mit Fasereinlage (8x19S-NFC, 8xK19S-NFC) hingegen rutschen auch nach rund 10 000 bzw. 20 000 BW weiter in die Scheibe ein.

Dehnungsverhalten

Bei gleicher Seilzugkraft zeigt das Seil mit Stahleinlage (8x19S-IWRC) die geringste Dehnung aller drei Seilkonstruktionen (Abb. 12). Das unverdichtete Seil mit Fasereinlage (8x19S-NFC) hat die höchste Dehnung und somit den kleinsten E-Modul. Im Vergleich zum unverdichteten Seil erreicht das verdichtete Seil mit Fasereinlage (8xK19S-NFC) einen deutlich höheren E-Modul.

Daraus ergibt sich, dass sich die einzukürzende Seillänge bei Ersatzbeseilungen in Aufzügen, d. h. dem Austausch von unverdichteten Seilen mit Fasereinlage gegen verdichtete Seile oder Seile mit Stahlseele, verringert.

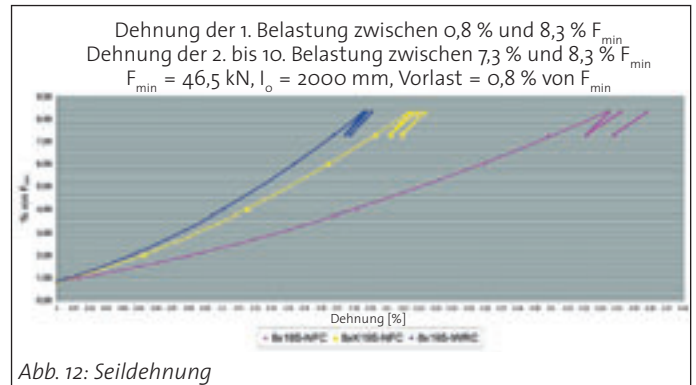


Abb. 12: Seildehnung

Zusammenfassung

Seile mit Fasereinlage sind stark verbreitet und werden weltweit im Aufzugbau eingesetzt. Werden diese Seile verdichtet, erreicht man eine Lebensdauerverbesserung. Seile mit Stahleinlage besitzen bei gleich großem Seilzug eine noch höhere Lebensdauer als verdichtete Seile mit Fasereinlage. Dies resultiert aus dem größeren metallischen Querschnitt. Ein weiterer Vorteil ist die geringere Seildehnung, die im Servicebereich Kosten spart.

Die Querdruckstabilität wird bei Seilen mit Fasereinlage durch das Verdichten nicht signifikant verbessert. Hingegen weisen Seile mit Stahlseele eine deutlich höhere Querdruckstabilität auf.

Für verdichtete Seile wurde eine geringere Dehnung im Vergleich zu unverdichteten Seilen ermittelt. In der Verwendung verdichteter Seile liegt folglich ein Sparpotenzial.

Aus den Versuchen kann geschlossen werden, dass verdichtete Seile eine mögliche Alternative für den Einsatz im Aufzugbau darstellen. Sie zeigen in allen Bereichen ein ähnlich gutes Verhalten wie Stahlseele. Zur Absicherung und Bestätigung der Versuchsergebnisse sind Erprobungen im Feldversuch erforderlich.

Literatur:

- [1] Feyrer, Klaus: Drahtseile – Bemessung, Betrieb, Sicherheit Berlin: Springer Verlag, 2. überarb. und erweiterte Auflage, 2000
- [2] Feyrer, Klaus: Laufende Drahtseile, Benennung und Überwachung. Renningen – Malsheim: Expert Verlag, 2. völlig überarb. Auflage, 1998
- [3] Holeschak, Wolfgang: Die Lebensdauer von Aufzugseilen und Treibscheiben im Drahtseil. Dissertation, TU Stuttgart, Institut für Fördertechnik, 1987
- [4] Thiemann, Hans: Aufzüge – Betrieb, Wartung und Revision Berlin: Verlag Technik, 6. durchgesehene Auflage, 1982

Autoreninfo

Dr.-Ing. Ernst Wolf ist Geschäftsführer der Gustav Wolf Seil- und Drahtwerke GmbH & Co. KG. Dr.-Ing. Andreas Franz ist seit 1998 bei der Gustav Wolf Seil- und Drahtwerke GmbH & Co. KG als Technischer Leiter verantwortlich für den Bereich Stahldrahtseile. Er ist Mitglied in der Technischen Kommission des DSV und des EWRIS.