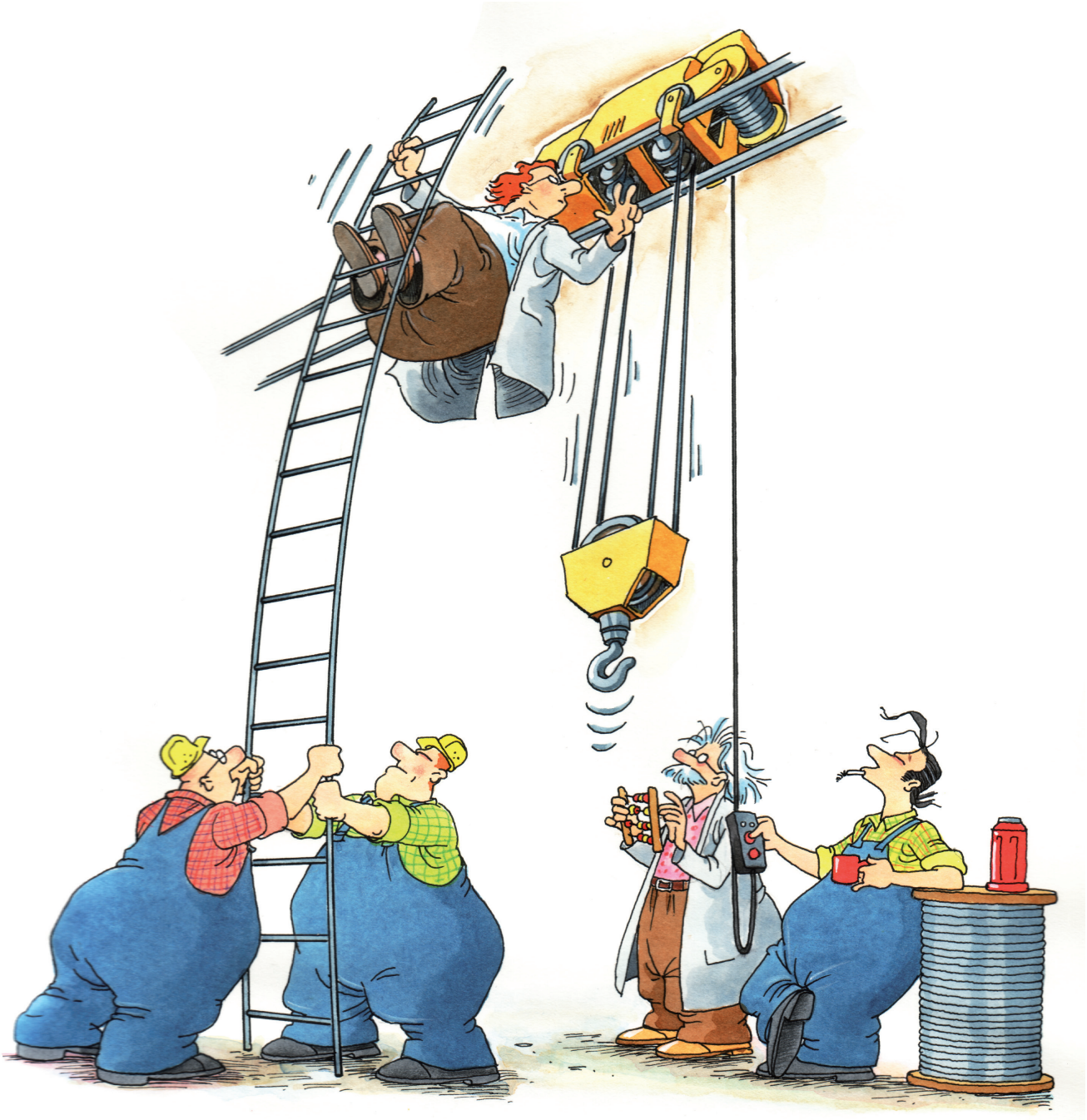
WIRE ROPE
TECHNOLOGY AACHEN



Eine Analyse der Biegewechselverteilung 1- bis 8-strängiger Hubwerke

Eine Analyse der Biegewechselverteilung 1- bis 8-strängiger Hubwerke

von Dipl.-Ing. Roland Verreet

Inhalt

1. Einleitung 4
2. Der 1- strängige Seiltrieb 6
3. Der 2- strängige Seiltrieb 8
4. Der 3- strängige Seiltrieb 10
5. Der 4- strängige Seiltrieb 12
6. Der 5 strängige Seiltrieb....14
7. Der 6-strängige Seiltrieb 16
8. Der 7-strängige Seiltrieb 18
9. Der 8-strängige Seiltrieb 20
10. Auswertung 22

© 1998, 2004, 2013, 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. Einleitung

Bei einem Hubvorgang eines Kranes werden nicht alle Zonen des aufliegenden Drahtseiles den gleichen Biegewechselbeanspruchungen ausgesetzt. Die Verteilung der Biegewechsel ist vielmehr abhängig von der Geometrie des Seiltriebes und der Arbeitsweise des Kranes.

Der Autor hat ein Programm geschrieben, mit dessen Hilfe die Biegewechselverteilung und die maximal auftretenden Biegewechselzahlen berechnet und graphisch dargestellt werden können. Als Beispiel für die Möglichkeiten einer derartigen Software wird im vorliegenden Artikel die Biegewechselverteilung einfacher 1- bis 8-strängiger Hubwerke nach Abb. 1 untersucht.

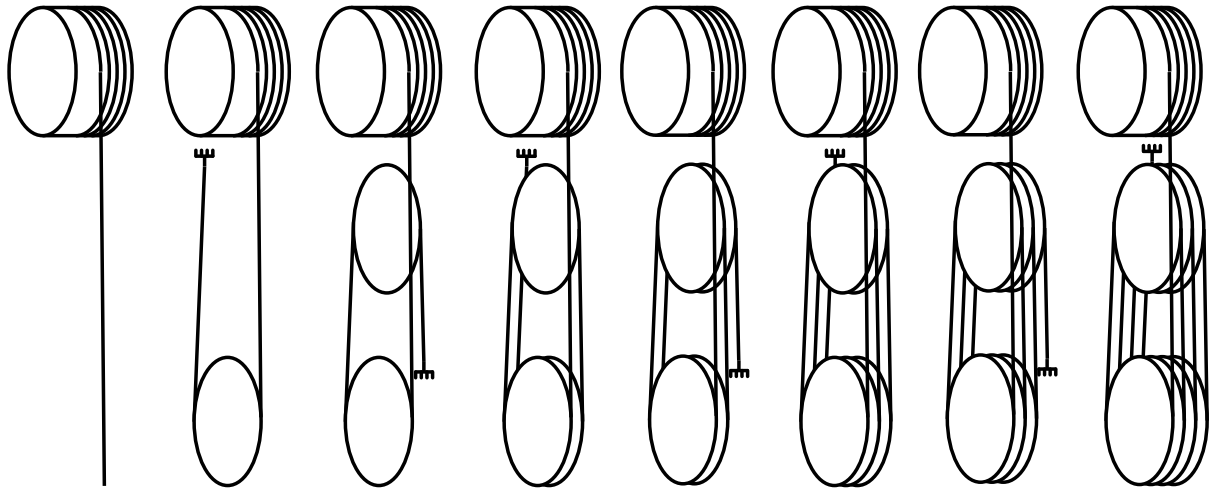


Abb. 1: Schematische Anordnung der 1- bis 8-strängigen Hubwerke

Die Hubwerke durchfahren jeweils 25%, 50%, 75% und 100% ihrer maximal möglichen Hubhöhe. Weiterhin wird eine Arbeitsweise untersucht, bei der diese 4 Hubhöhen mit gleicher Häufigkeit durchfahren werden.

Es werden Vorschläge zur Abschätzung der maximal auftretenden Biegewechselzahlen erarbeitet.

Bild 2 zeigt die Daten der 8 Seiltriebe. Die Seildurchmesser wurden zu d= 16mm gewählt, die Scheiben- und Trommeldurchmesser zu 320mm (= 20 x d). Die maximalen Abstände der Seilscheiben wurden jeweils zu 16m, die maximalen Hubhöhen zu jeweils 15m festgelegt. Zudem wurde jeweils eine Reserveseillänge auf der Seiltrommel vorgesehen.

Im folgenden sind der Auswertung der Einzelergebnisse jedes der 8 Seiltriebe jeweils 2 Seiten gewidmet.

	Strangzahl [-]	Scheibenzahl [-]	Seillänge [mm]
Seiltrieb 1	1	0	19.000
Seiltrieb 2	2	1	35.503
Seiltrieb 3	3	2	52.005
Seiltrieb 4	4	3	68.508
Seiltrieb 5	5	4	85.011
Seiltrieb 7	6	5	101.513
Seiltrieb 7	7	6	118.016
Seiltrieb 8	8	7	134.519

Abb. 2: Daten der untersuchten Seiltriebe

Die Ergebnisse werden jeweils über der Seillänge, ausgedrückt in Prozent der gesamten Seillänge nach Abb. 2, aufgetragen.

Im Anschluß an die Einzelauswertung erfolgt der Versuch einer Synthese.

2. Der 1- strängige Seiltrieb

Abb. 3 zeigt die maximale Biegewechselzahl für ein Hubspiel (= 1x Heben, 1x Senken) in Abhängigkeit von der angefahrenen Hubhöhe. Abb. 5 (nächste Seite) zeigt die Verteilung der Biegewechsel über der Seillänge (ausgedrückt in % der Gesamtlänge) für ein Hubspiel (= 1x Heben, 1x Senken) für Hubwege von 25%, 50%, 75% und 100% des maximalen Hubweges.

Abb. 4 zeigt die im Mittel auftretende Biegewechselzahl für den Fall, daß diese vier Hubwege mit der gleichen Häufigkeit durchfahren werden.

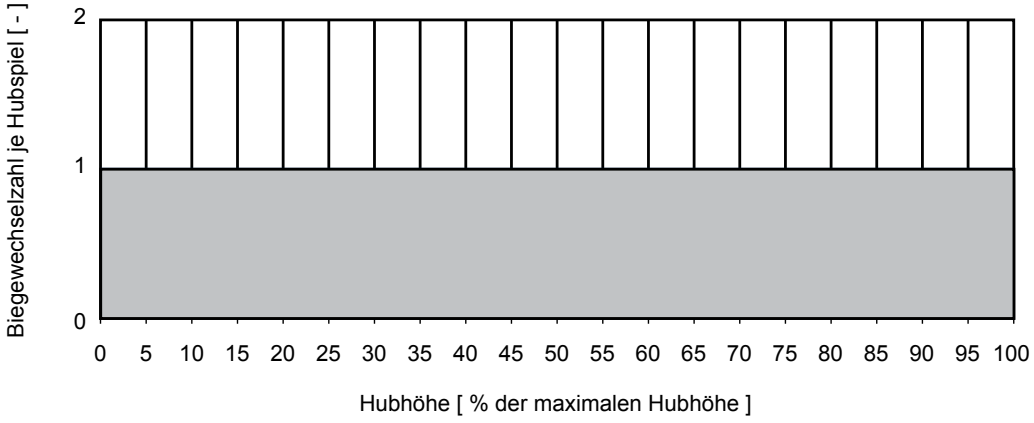


Abb. 3: Maximale Biegewechselzahl in Abhängigkeit von der Hubhöhe

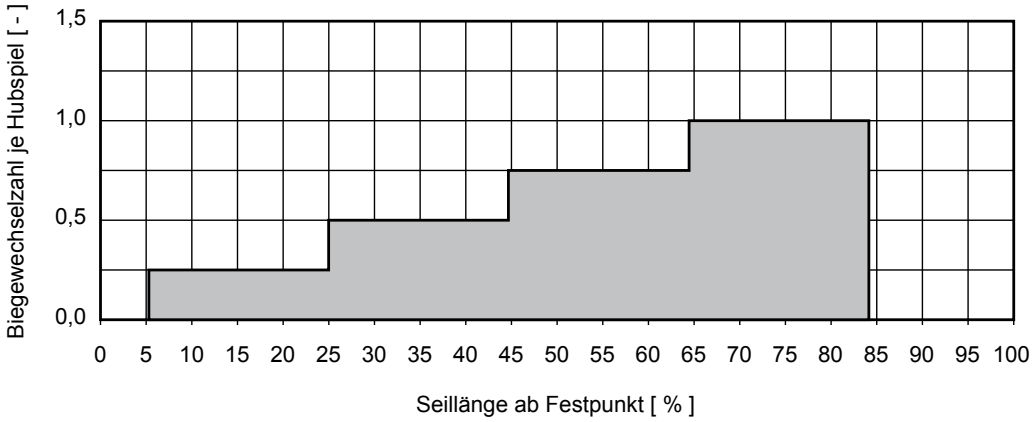


Abb. 4: Biegewechselverteilung je Hubspiel über der Seillänge bei gleich häufigem Durchfahren von 25%, 50%, 75% und 100% der max. Hubhöhe

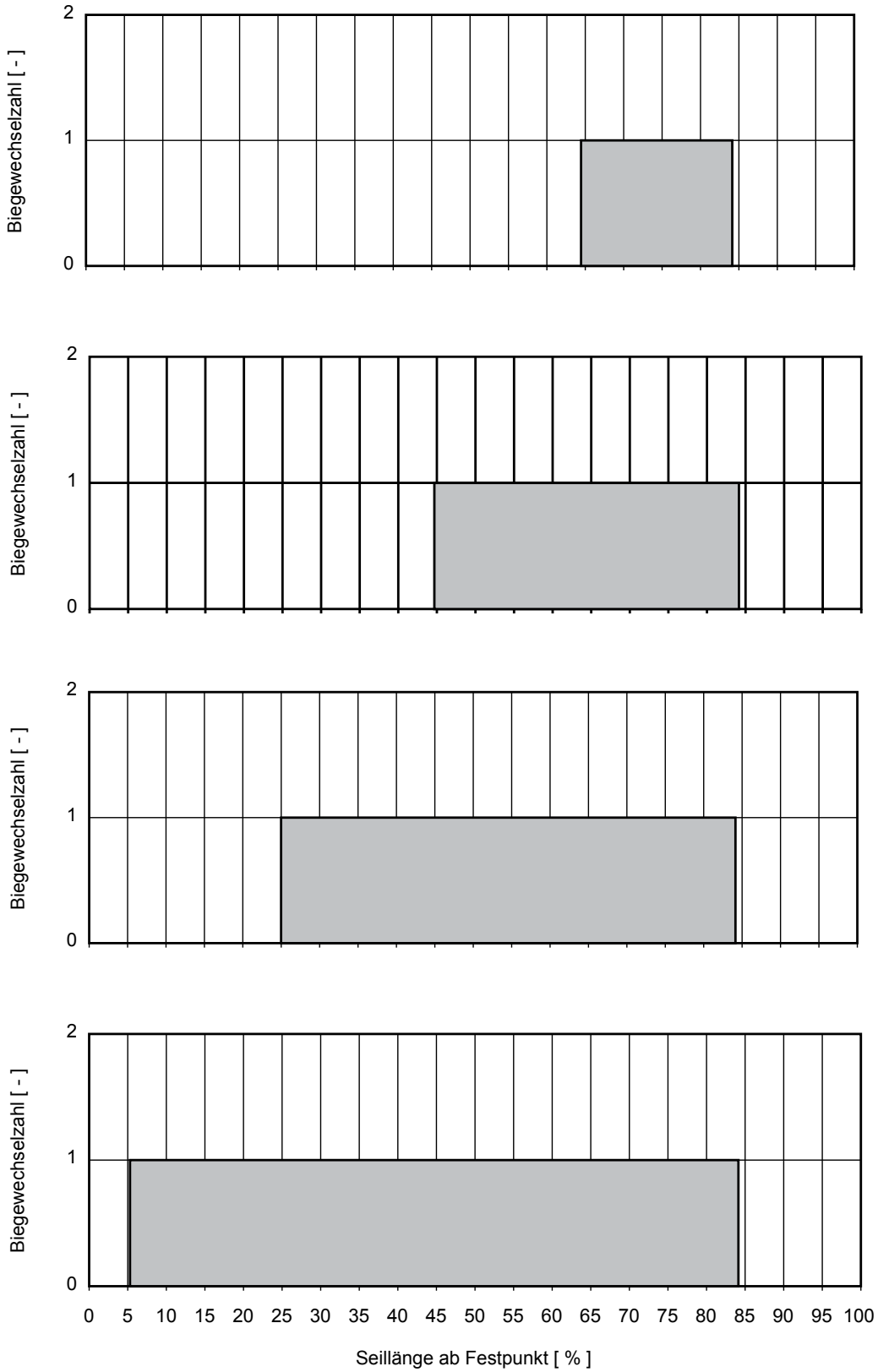


Abb. 5: Biegewechselzahl über der Seillänge bei Durchfahren von 25%, 50%, 75% und 100% der maximalen Hubhöhe (1-strängiger Seiltrieb)

3. Der 2- strängige Seiltrieb

Abb. 6 zeigt die maximale Biegewechselzahl für ein Hubspiel (= 1x Heben, 1x Senken) in Abhängigkeit von der angefahrenen Hubhöhe. Abb. 8 (nächste Seite) zeigt die Verteilung der Biegewechsel über der Seillänge (ausgedrückt in % der Gesamtlänge) für ein Hubspiel (= 1x Heben, 1x Senken) für Hubwege von 25%, 50%, 75% und 100% des maximalen Hubweges.

Abb. 7 zeigt die im Mittel auftretende Biegewechselzahl für den Fall, daß diese vier Hubwege mit der gleichen Häufigkeit durchfahren werden.

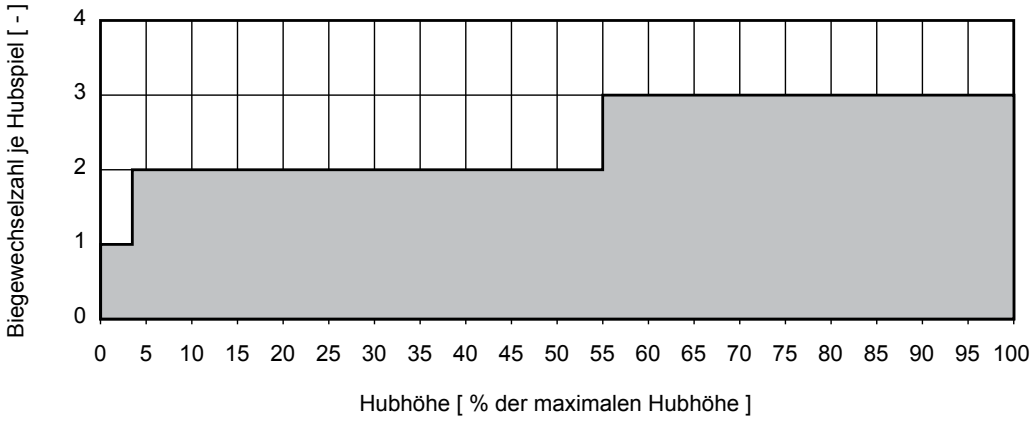


Abb. 6: Maximale Biegewechselzahl in Abhängigkeit von der Hubhöhe

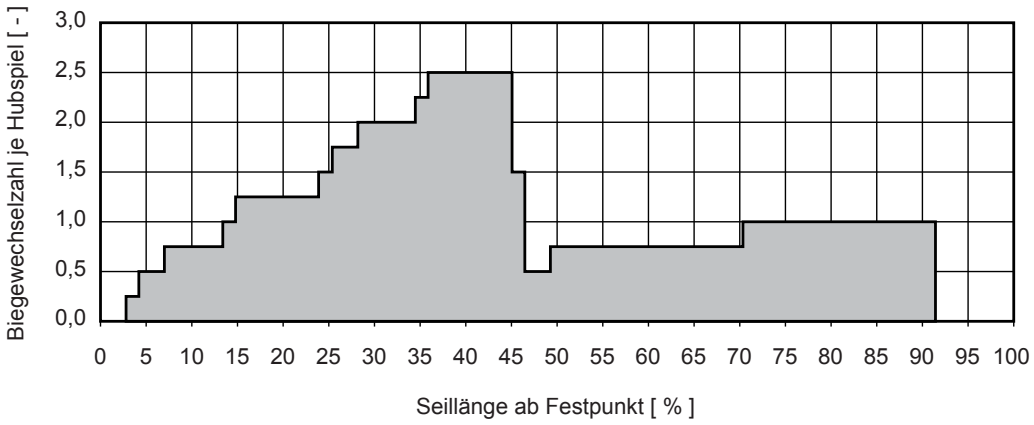


Abb. 7: Biegewechselverteilung je Hubspiel über der Seillänge bei gleich häufigem Durchfahren von 25%, 50%, 75% und 100% der max. Hubhöhe

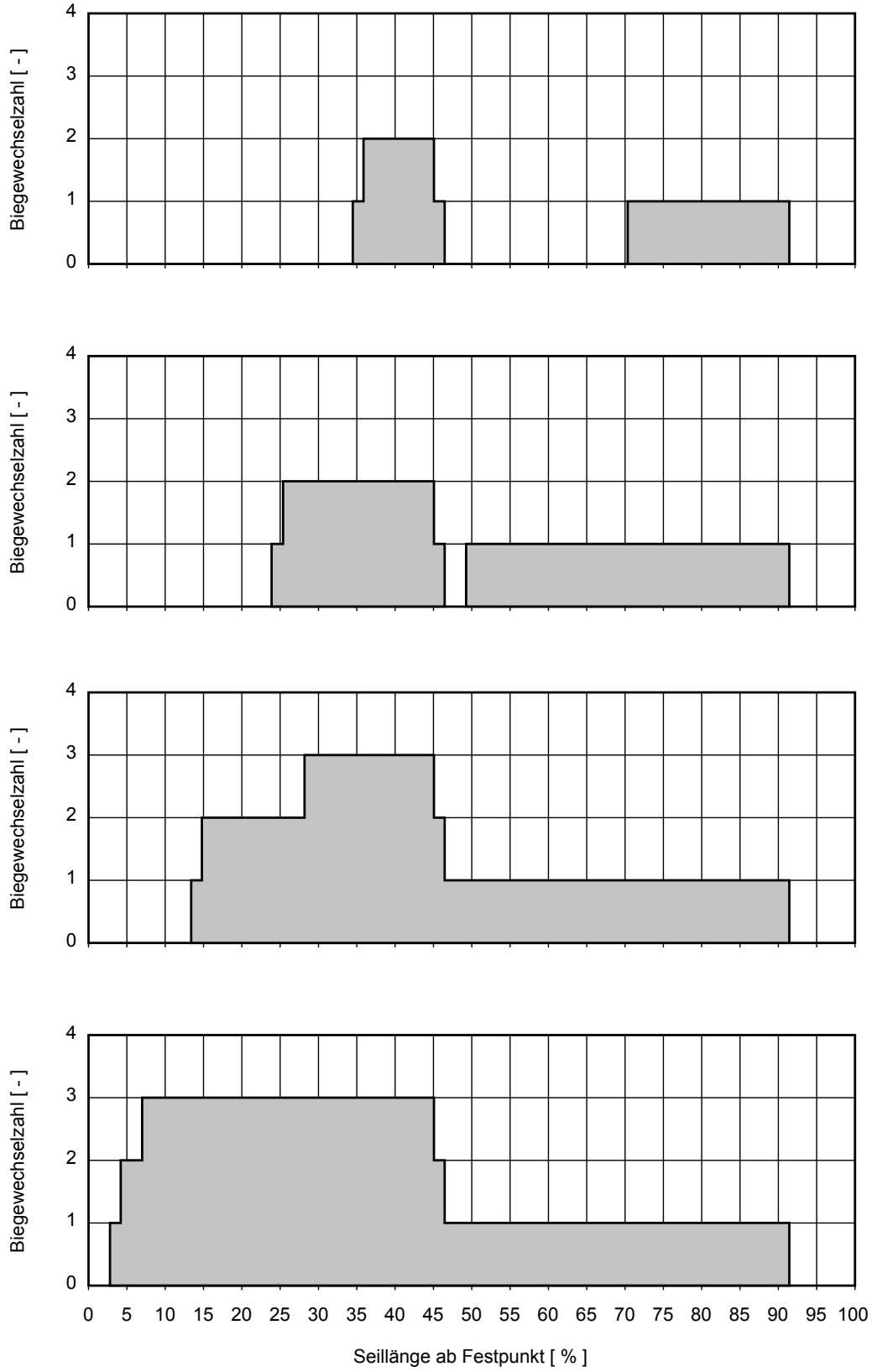


Abb. 8: Biegewechselzahl über der Seillänge bei Durchfahren von 25%, 50%, 75% und 100% der maximalen Hubhöhe (2-strängiger Seiltrieb)

4. Der 3- strängige Seiltrieb

Abb. 9 zeigt die maximale Biegewechselzahl für ein Hubspiel (= 1x Heben, 1x Senken) in Abhängigkeit von der angefahrenen Hubhöhe. Abb. 11 (nächste Seite) zeigt die Verteilung der Biegewechsel über der Seillänge (ausgedrückt in % der Gesamtlänge) für ein Hubspiel (= 1x Heben, 1x Senken) für Hubwege von 25%, 50%, 75% und 100% des maximalen Hubweges.

Abb. 10 zeigt die im Mittel auftretende Biegewechselzahl für den Fall, daß diese vier Hubwege mit der gleichen Häufigkeit durchfahren werden.

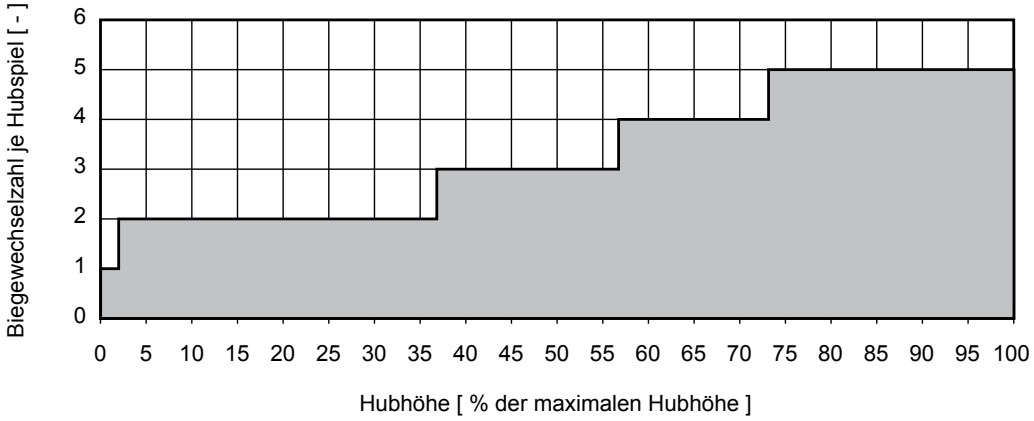


Abb. 9: Maximale Biegewechselzahl in Abhängigkeit von der Hubhöhe

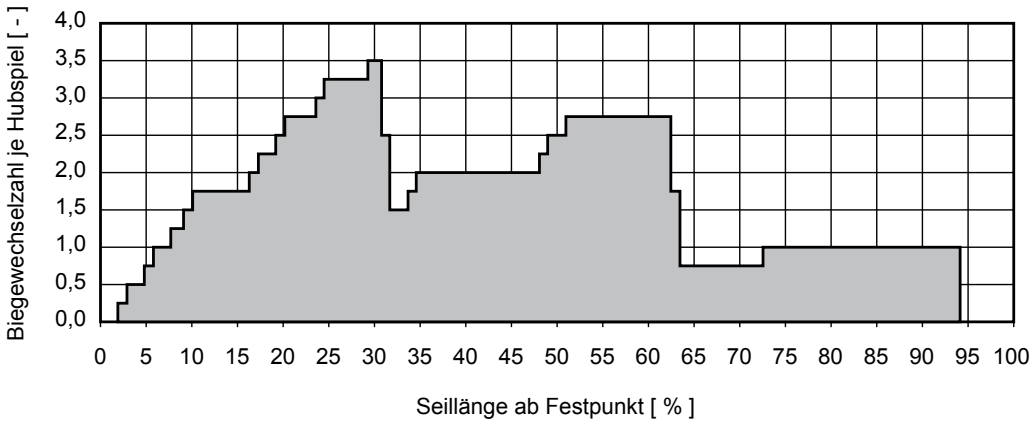


Abb. 10: Biegewechselverteilung je Hubspiel über der Seillänge bei gleich häufigem Durchfahren von 25%, 50%, 75% und 100% der max. Hubhöhe

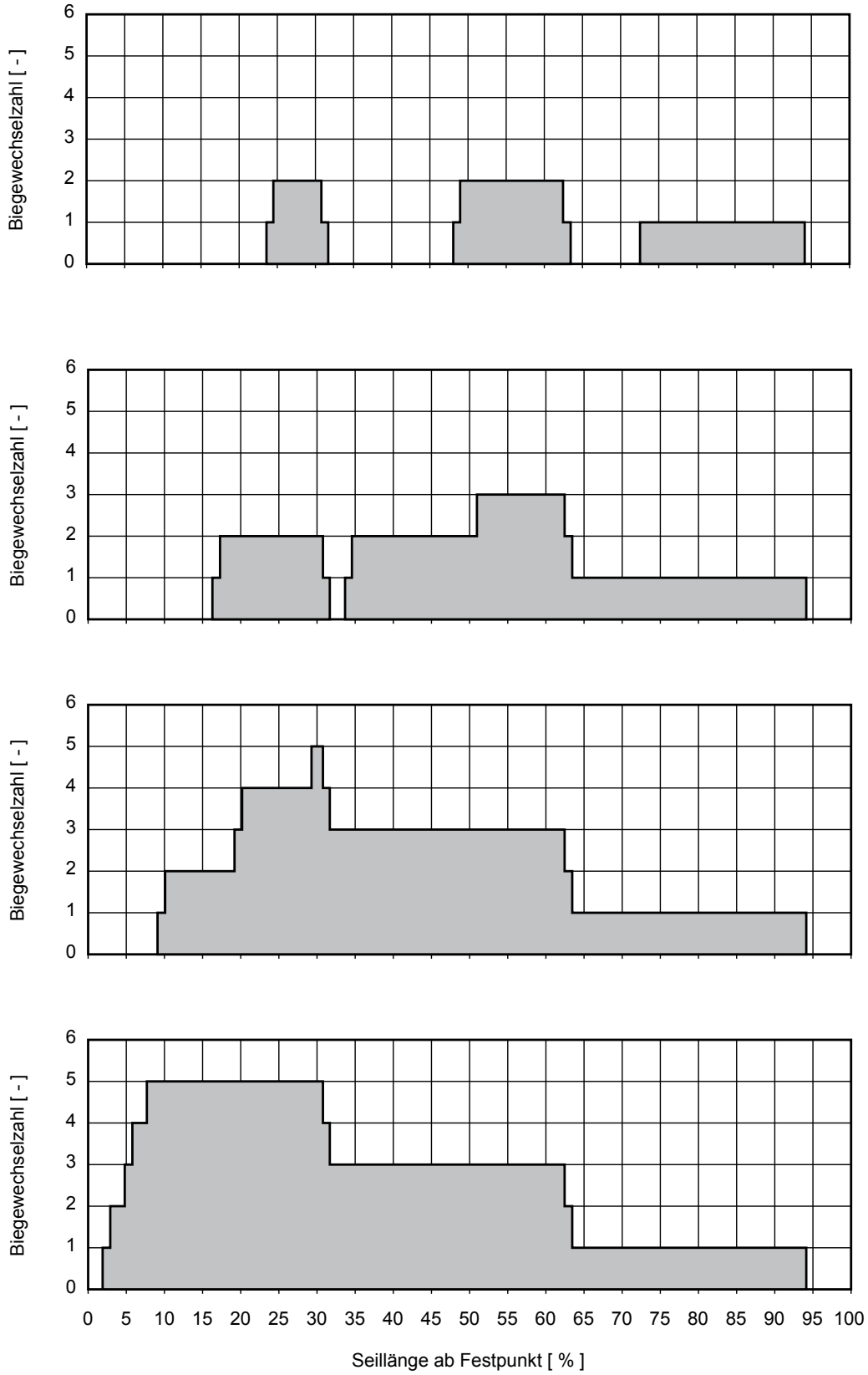


Abb. 11: Biegewechselzahl über der Seillänge bei Durchfahren von 25%, 50%, 75% und 100% der maximalen Hubhöhe (3-strängiger Seiltrieb)

5. Der 4- strängige Seiltrieb

Abb. 12 zeigt die maximale Biegewechselzahl für ein Hubspiel (= 1x Heben, 1x Senken) in Abhängigkeit von der angefahrenen Hubhöhe. Abb. 14 (nächste Seite) zeigt die Verteilung der Biegewechsel über der Seillänge (ausgedrückt in % der Gesamtlänge) für ein Hubspiel (= 1x Heben, 1x Senken) für Hubwege von 25%, 50%, 75% und 100% des maximalen Hubweges.

Abb. 13 zeigt die im Mittel auftretende Biegewechselzahl für den Fall, daß diese vier Hubwege mit der gleichen Häufigkeit durchfahren werden.

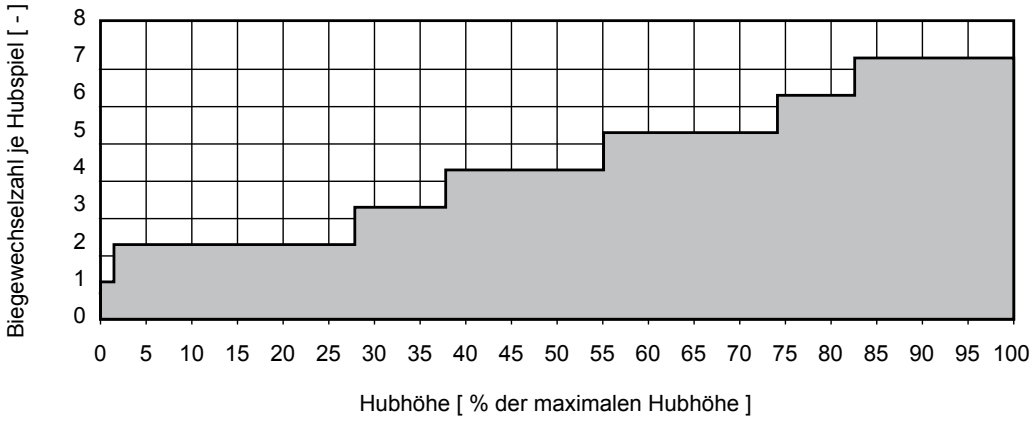


Abb. 12: Maximale Biegewechselzahl in Abhängigkeit von der Hubhöhe

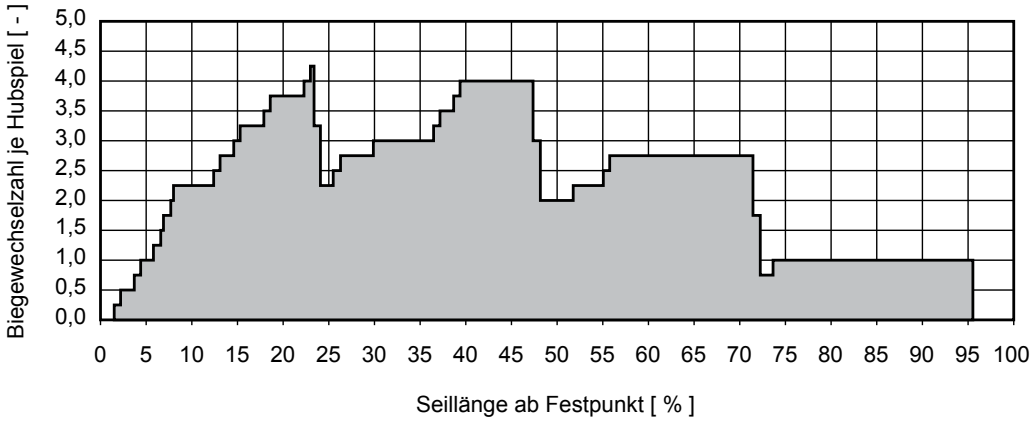


Abb. 13: Biegewechselverteilung je Hubspiel über der Seillänge bei gleich häufigem Durchfahren von 25%, 50%, 75% und 100% der max. Hubhöhe

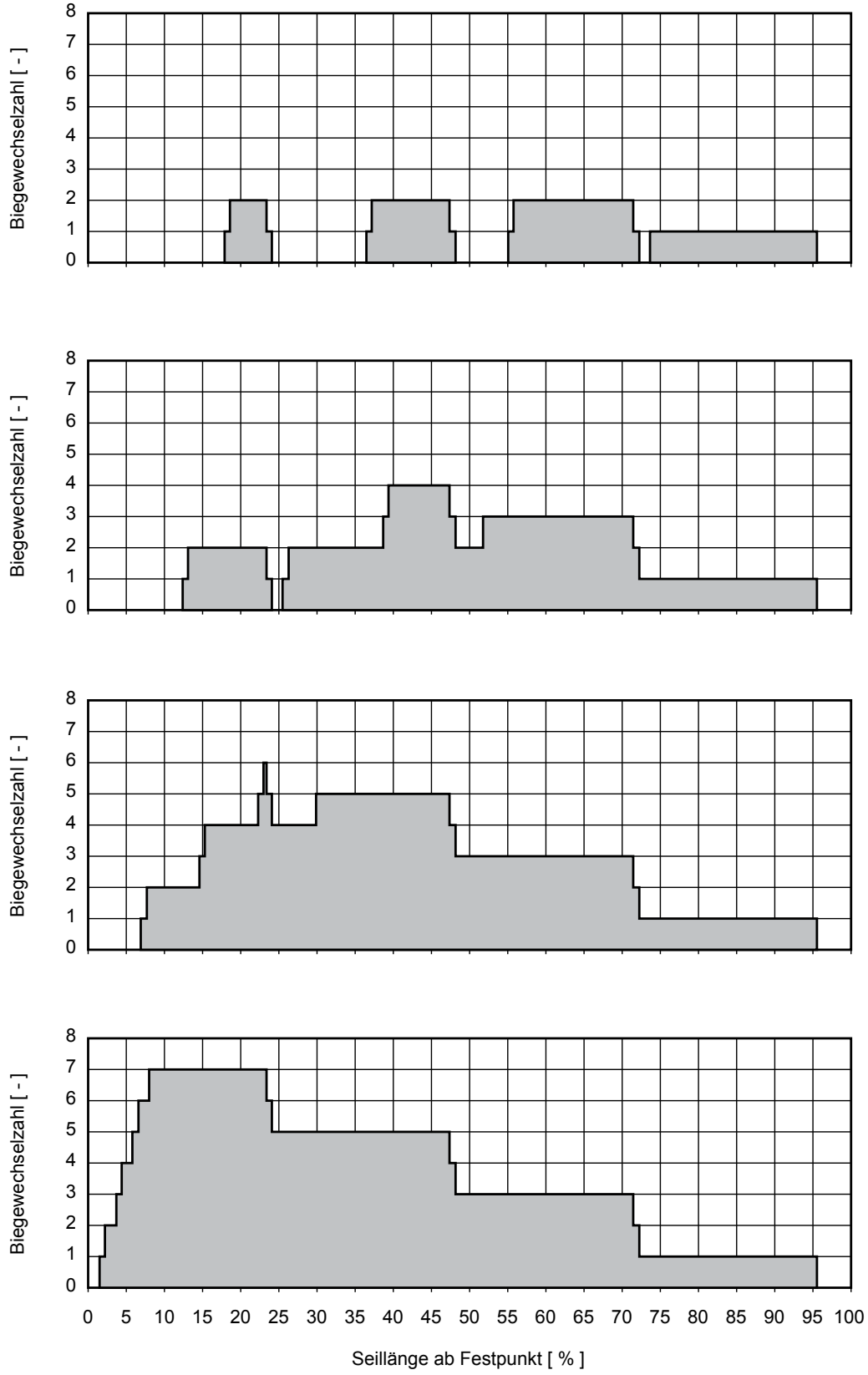


Abb. 14: Biegewechselzahl über der Seillänge bei Durchfahren von 25%, 50%, 75% und 100% der maximalen Hubhöhe (4-strängiger Seiltrieb)

6. Der 5 strängige Seiltrieb

Abb. 15 zeigt die maximale Biegewechselzahl für ein Hubspiel (= 1x Heben, 1x Senken) in Abhängigkeit von der angefahrenen Hubhöhe. Abb. 17 (nächste Seite) zeigt die Verteilung der Biegewechsel über der Seillänge (ausgedrückt in % der Gesamtlänge) für ein Hubspiel (= 1x Heben, 1x Senken) für Hubwege von 25%, 50%, 75% und 100% des maximalen Hubweges.

Abb. 16 zeigt die im Mittel auftretende Biegewechselzahl für den Fall, daß diese vier Hubwege mit der gleichen Häufigkeit durchfahren werden.

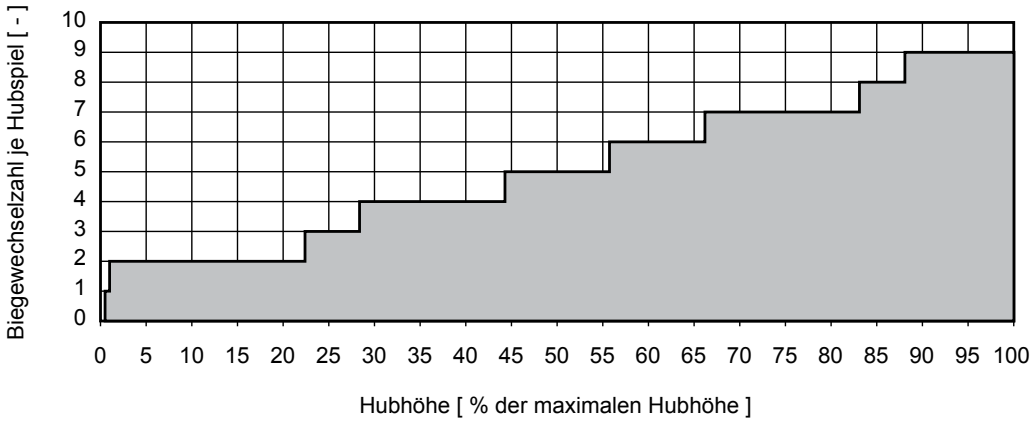


Abb. 15: Maximale Biegewechselzahl in Abhängigkeit von der Hubhöhe

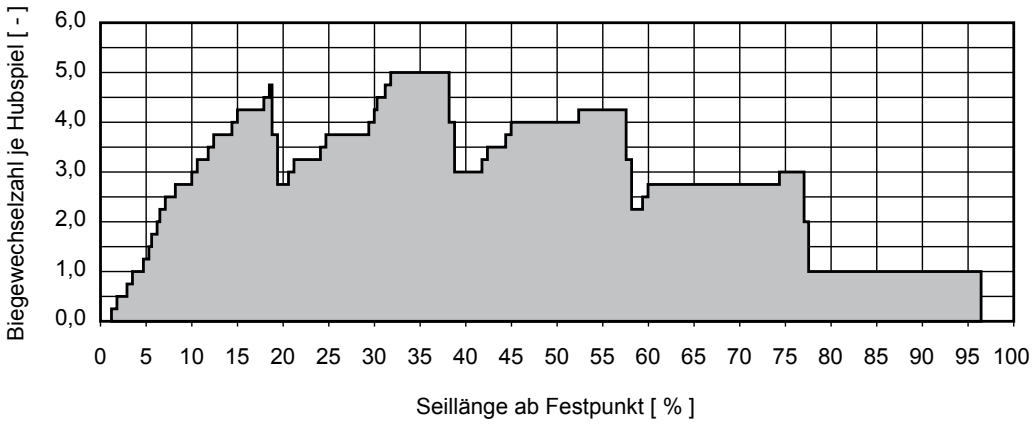


Abb. 16: Biegewechselverteilung je Hubspiel über der Seillänge bei gleich häufigem Durchfahren von 25%, 50%, 75% und 100% der max. Hubhöhe

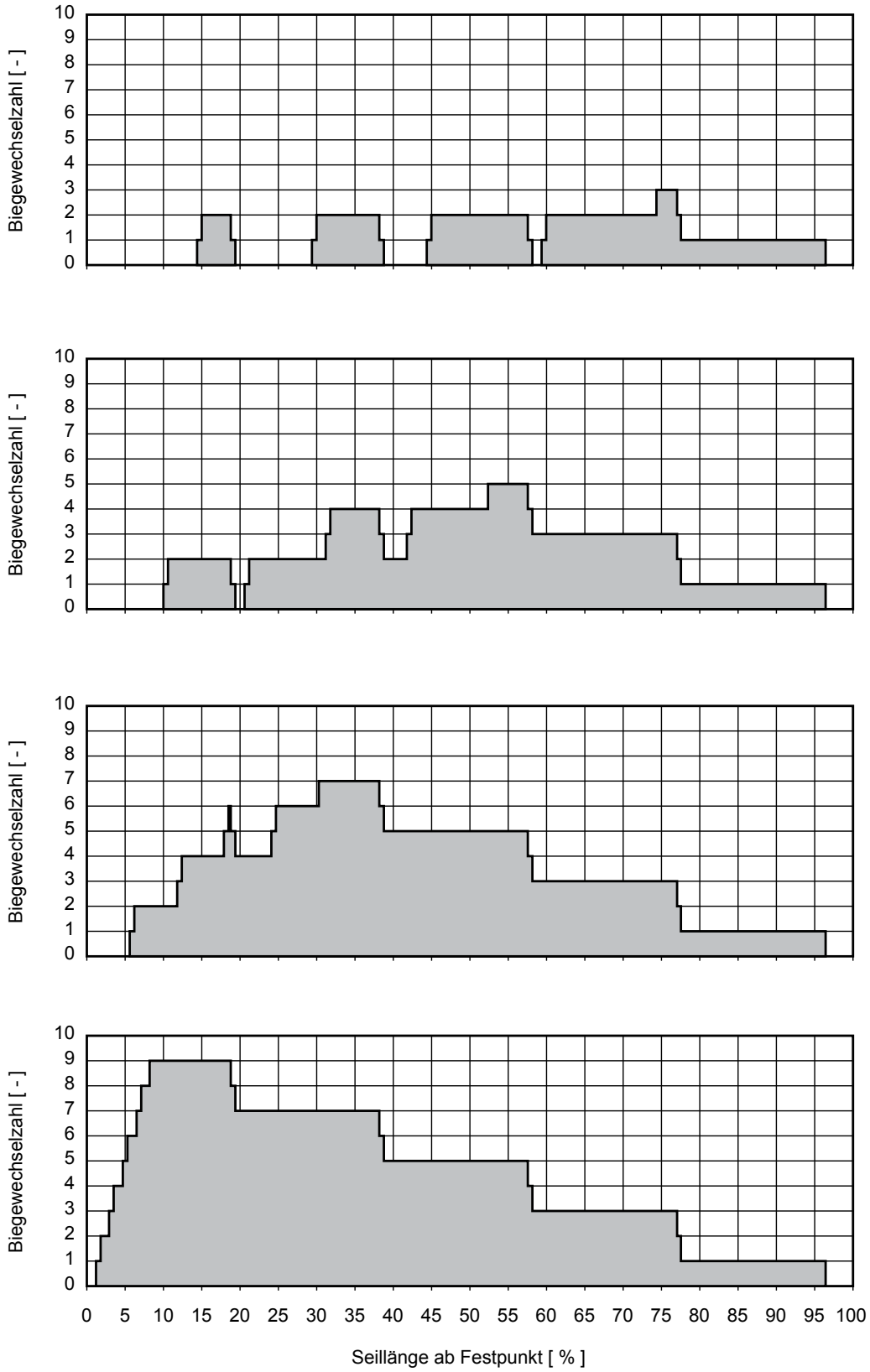


Abb. 17: Biegewechselzahl über der Seillänge bei Durchfahren von 25%, 50%, 75% und 100% der maximalen Hubhöhe (5-strängiger Seiltrieb)

7. Der 6-strängige Seiltrieb

Abb. 18 zeigt die maximale Biegewechselzahl für ein Hubspiel (= 1x Heben, 1x Senken) in Abhängigkeit von der angefahrenen Hubhöhe. Abb. 20 (nächste Seite) zeigt die Verteilung der Biegewechsel über der Seillänge (ausgedrückt in % der Gesamtlänge) für ein Hubspiel (= 1x Heben, 1x Senken) für Hubwege von 25%, 50%, 75% und 100% des maximalen Hubweges.

Abb. 19 zeigt die im Mittel auftretende Biegewechselzahl für den Fall, daß diese vier Hubwege mit der gleichen Häufigkeit durchfahren werden.

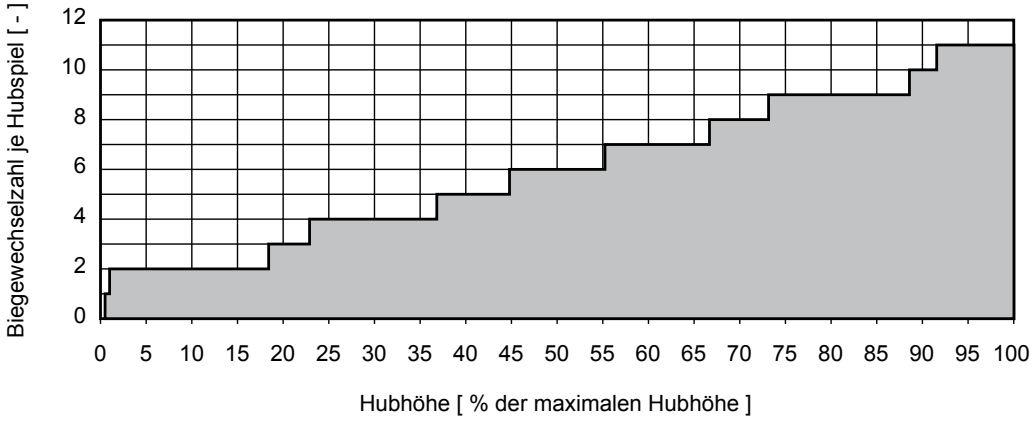


Abb. 18: Maximale Biegewechselzahl in Abhängigkeit von der Hubhöhe

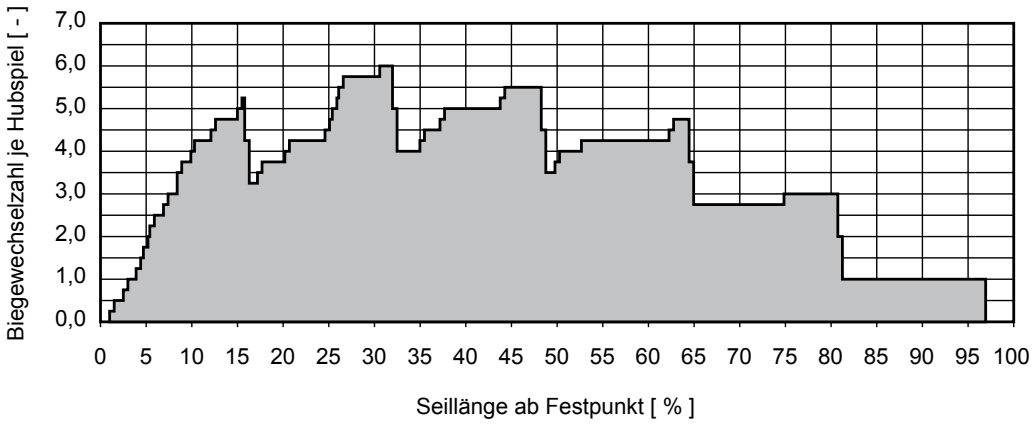


Abb. 19: Biegewechselverteilung je Hubspiel über der Seillänge bei gleich häufigem Durchfahren von 25%, 50%, 75% und 100% der max. Hubhöhe

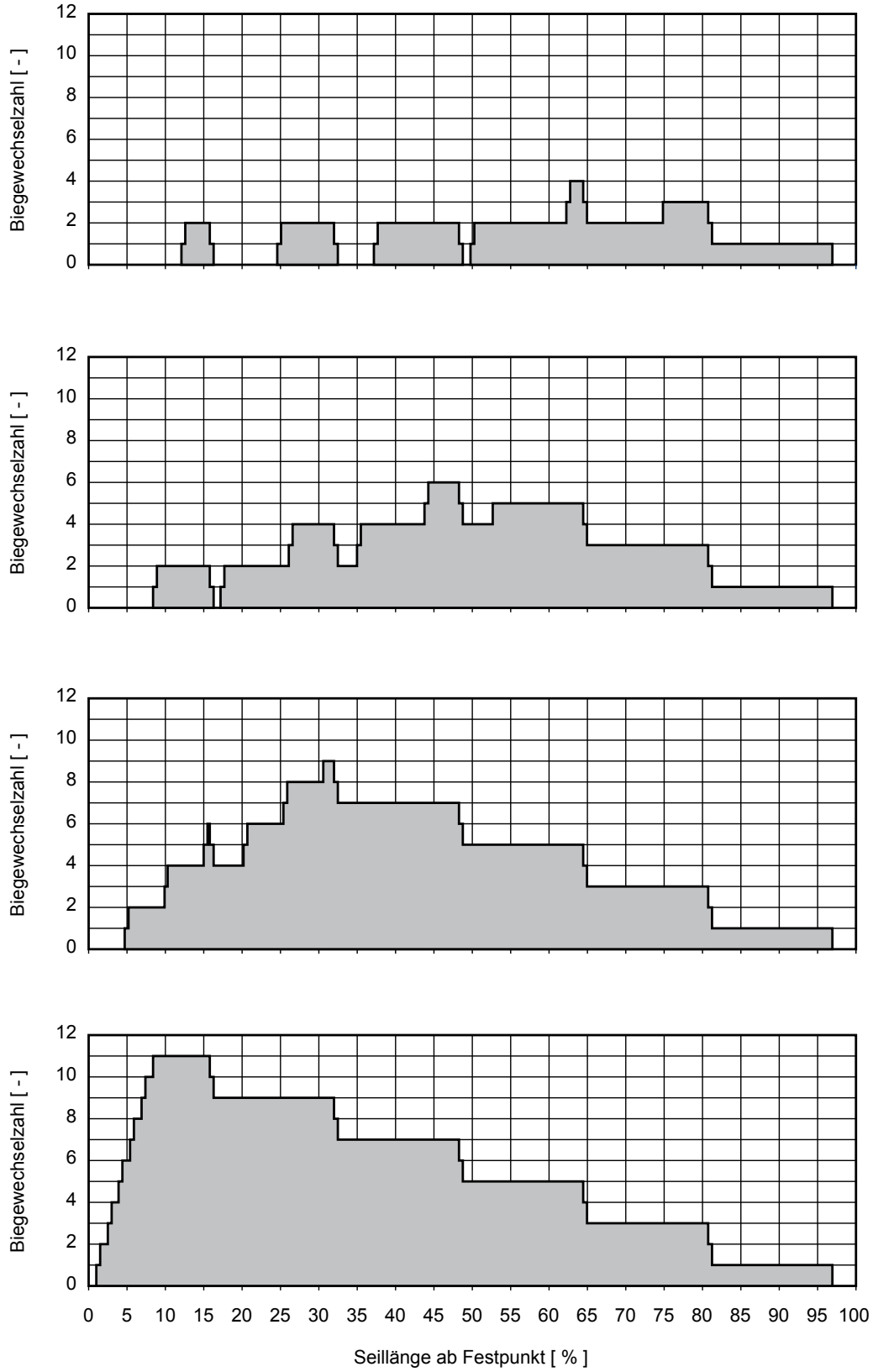


Abb. 20: Biegewechselzahl über der Seillänge bei Durchfahren von 25%, 50%, 75% und 100% der maximalen Hubhöhe (6-strängiger Seiltrieb)

8. Der 7-strängige Seiltrieb

Abb. 21 zeigt die maximale Biegewechselzahl für ein Hubspiel (= 1x Heben, 1x Senken) in Abhängigkeit von der angefahrenen Hubhöhe. Abb. 23 (nächste Seite) zeigt die Verteilung der Biegewechsel über der Seillänge (ausgedrückt in % der Gesamtlänge) für ein Hubspiel (= 1x Heben, 1x Senken) für Hubwege von 25%, 50%, 75% und 100% des maximalen Hubweges.

Abb. 22 zeigt die im Mittel auftretende Biegewechselzahl für den Fall, daß diese vier Hubwege mit der gleichen Häufigkeit durchfahren werden.

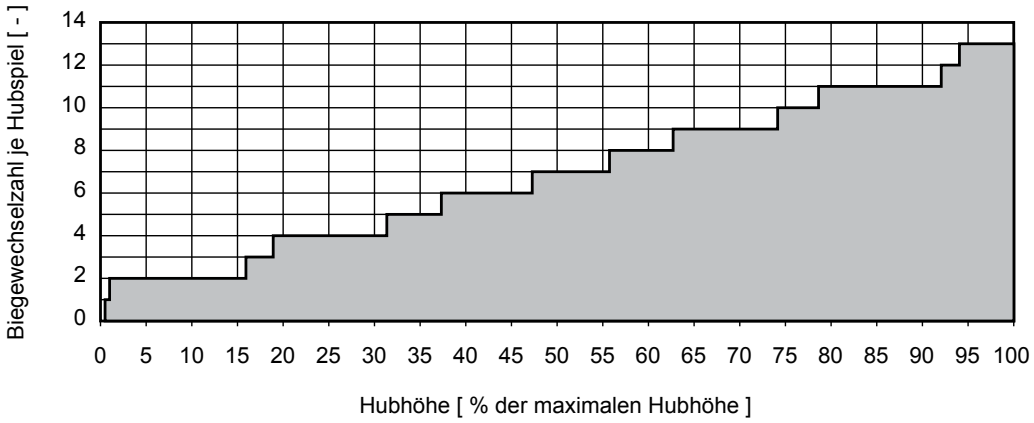


Abb. 21: Maximale Biegewechselzahl in Abhängigkeit von der Hubhöhe

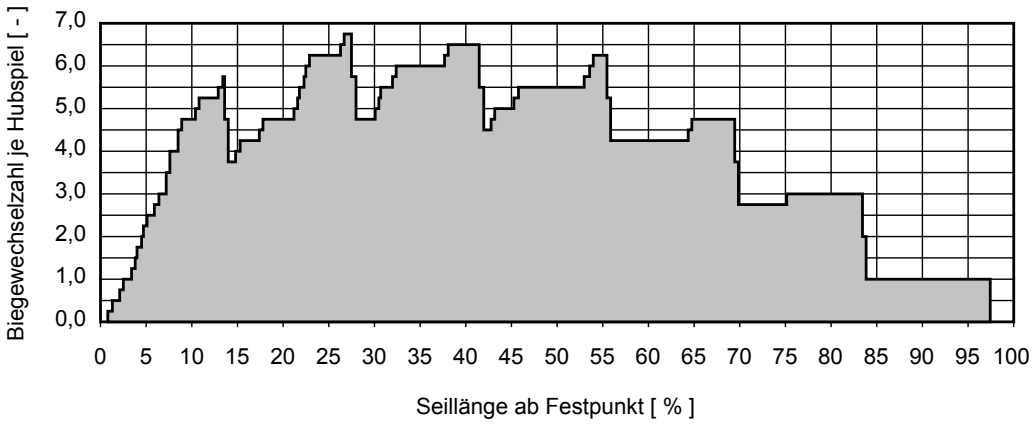


Abb. 22: Biegewechselverteilung je Hubspiel über der Seillänge bei gleich häufigem Durchfahren von 25%, 50%, 75% und 100% der max. Hubhöhe

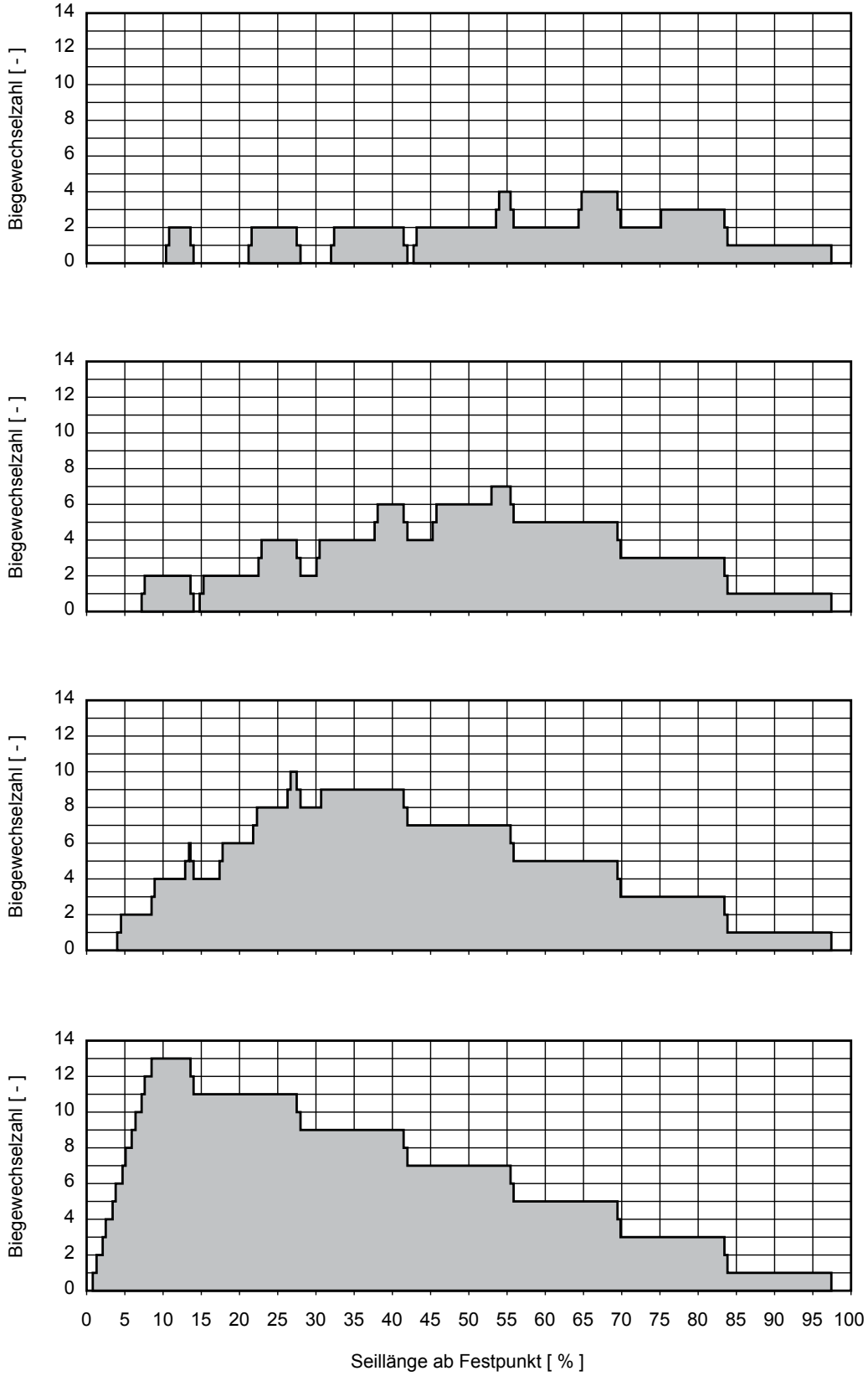


Abb. 23: Biegewechselzahl über der Seillänge bei Durchfahren von 25%, 50%, 75% und 100% der maximalen Hubhöhe (7-strängiger Seiltrieb)

9. Der 8-strängige Seiltrieb

Abb. 24 zeigt die maximale Biegewechselzahl für ein Hubspiel (= 1x Heben, 1x Senken) in Abhängigkeit von der angefahrenen Hubhöhe. Abb. 26 (nächste Seite) zeigt die Verteilung der Biegewechsel über der Seillänge (ausgedrückt in % der Gesamtlänge) für ein Hubspiel (= 1x Heben, 1x Senken) für Hubwege von 25%, 50%, 75% und 100% des maximalen Hubweges.

Abb. 25 zeigt die im Mittel auftretende Biegewechselzahl für den Fall, daß diese vier Hubwege mit der gleichen Häufigkeit durchfahren werden.

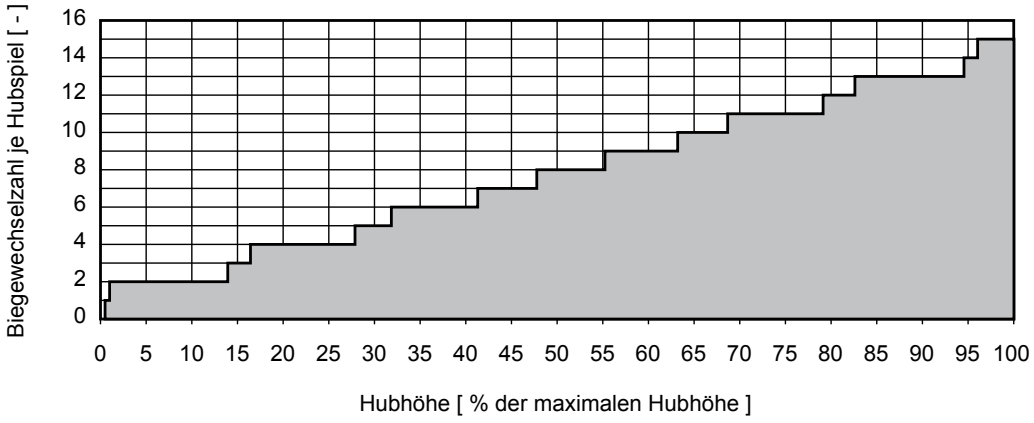


Abb. 24: Maximale Biegewechselzahl in Abhängigkeit von der Hubhöhe

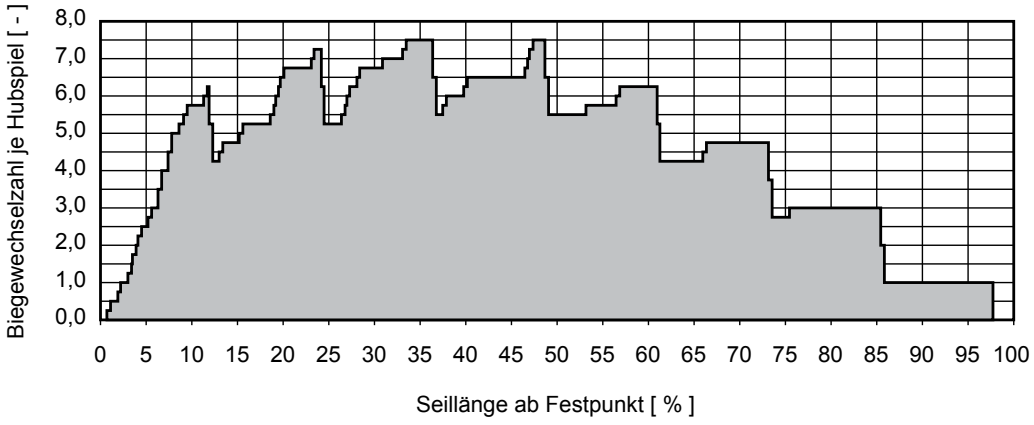


Abb. 25: Biegewechselverteilung je Hubspiel über der Seillänge bei gleich häufigem Durchfahren von 25%, 50%, 75% und 100% der max. Hubhöhe

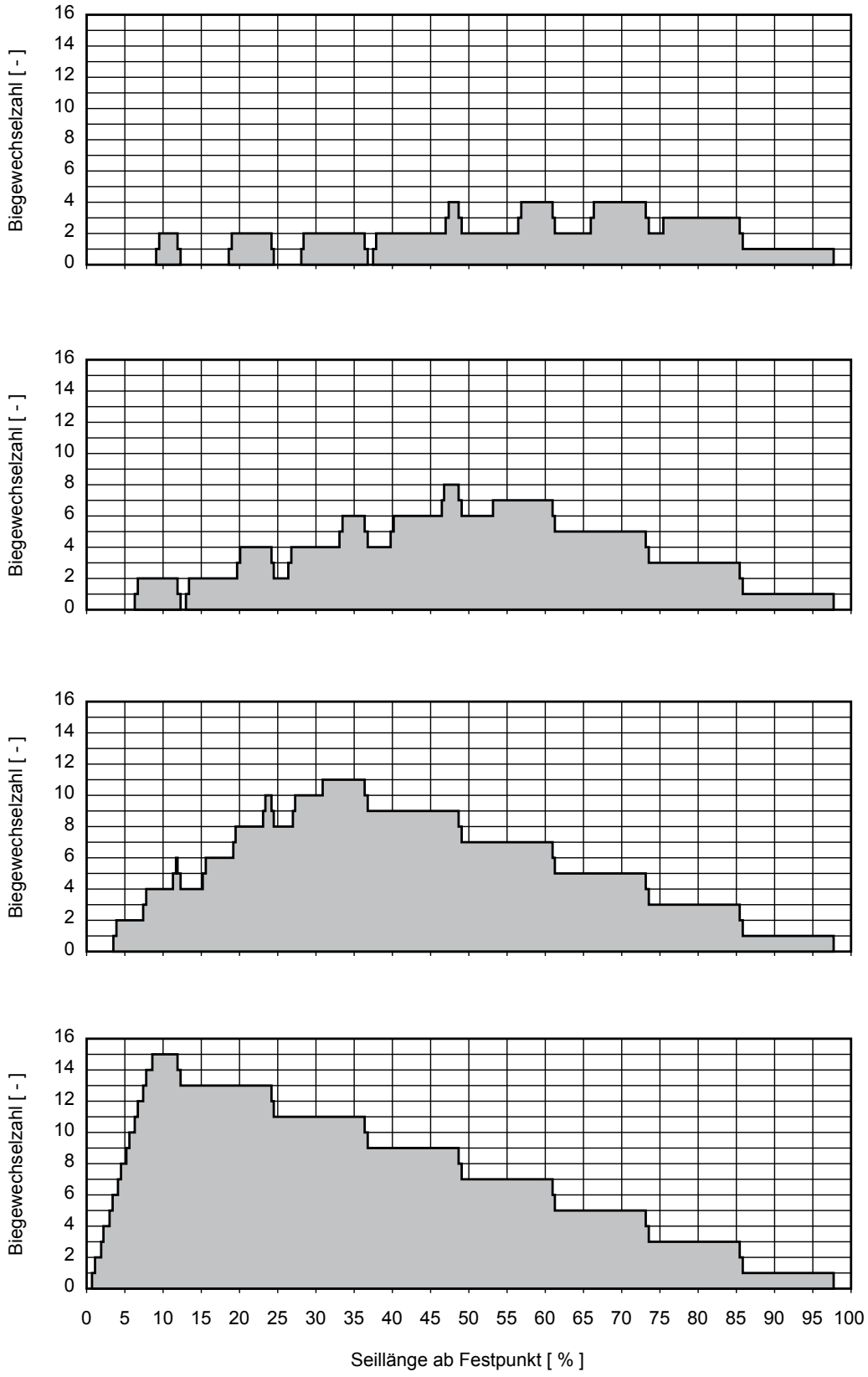


Abb. 26: Biegewechselzahl über der Seillänge bei Durchfahren von 25%, 50%, 75% und 100% der maximalen Hubhöhe (8-strängiger Seiltrieb)

10. Auswertung

Bei jedem Hubvorgang kann das höchstbeanspruchte Seilstück maximal jede Seilscheibe einmal überlaufen (= je 1 Biegewechsel) und auf die Trommel auflaufen (= 1/2 Biegewechsel), bei jedem Senkvorgang kann es maximal von der Trommel ablaufen (= 1/2 Biegewechsel) und jede Seilscheibe einmal überlaufen (= je 1 Biegewechsel). Insgesamt kann also je Hubspiel maximal eine Biegewechselzahl erzeugt werden, die zweimal der Zahl der Seilscheiben plus eins entspricht.

$$\text{Maximale Biegewechselzahl} = 2 \bullet \text{Zahl der Scheiben} + 1$$

Abb. 27 zeigt die maximalen Biegewechselzahlen, die beim Durchfahren von 25%, 50%, 75% und 100% der maximalen Hubhöhe in den acht Seiltrieben erzeugt werden. Wie man sieht, wird die maximal mögliche Zahl der Biegewechsel bei einem Hubspiel mit Durchfahren von 100% der Hubhöhe von allen acht Seiltrieben erreicht. Bei einem Hubspiel mit Durchfahren von lediglich 50% der Hubhöhe erzeugen alle Seiltriebe eine Biegewechselzahl, die der Zahl der Seilstränge entspricht.

Zahl der Stränge [-]	Zahl der Scheiben [-]	BW bei 25% Hubweg [-]	BW bei 50% Hubweg [-]	BW bei 75% Hubweg [-]	BW bei 100% Hubweg [-]
1	0	1	1	1	1
2	1	2	2	3	3
3	2	2	3	5	5
4	3	2	4	6	7
5	4	3	5	7	9
6	5	4	6	9	11
7	6	4	7	10	13
8	7	4	8	11	15

Abb. 27: Maximale Biegewechselzahlen in Abhängigkeit von der Hubhöhe

Abb. 28 zeigt die im Mittel je Hubspiel erzeugten Biegewechselzahlen, wenn 25%, 50%, 75% und 100% der maximalen Hubhöhe mit gleicher Häufigkeit angefahren werden. Die Biegewechselzahlen pro Hubspiel können mit den in der Tabelle ausgewiesenen Fehlern mit folgender Gleichung approximiert werden:

$$\text{Maximale Biegewechselzahl} = 1.2 + 0.8 \bullet \text{Strangzahl}$$

Zahl der Stränge [-]	Zahl der Scheiben [-]	Biegewechsel-zahl [-]	Approxi-mation [-]	Fehler [%]
1	0	1.00	2.00	100
2	1	2.50	2.80	12
3	2	3.50	3.60	2.9
4	3	4.25	4.40	3.5
5	4	5.00	5.20	4.0
6	5	6.00	6.00	0.0
7	6	6.75	6.80	0.7
8	7	7.50	7.60	1.3

Abb. 28: Maximale Biegewechselzahlen je Hubspiel bei gleich häufigem Durchfahren von 25%, 50%, 75% und 100% der maximalen Hubhöhe

Für alle Seiltriebe mit Seilscheiben, also für alle Systeme mit Ausnahme des einsträngigen, ist die Näherung sehr gut. Sie berechnet die Biegewechselzahlen exakt oder geringfügig zu hoch und liegt somit immer auf der sicheren Seite. Abb. 29 zeigt die tatsächlich auftretenden Biegewechselzahlen und die Approximationen als Grafik.

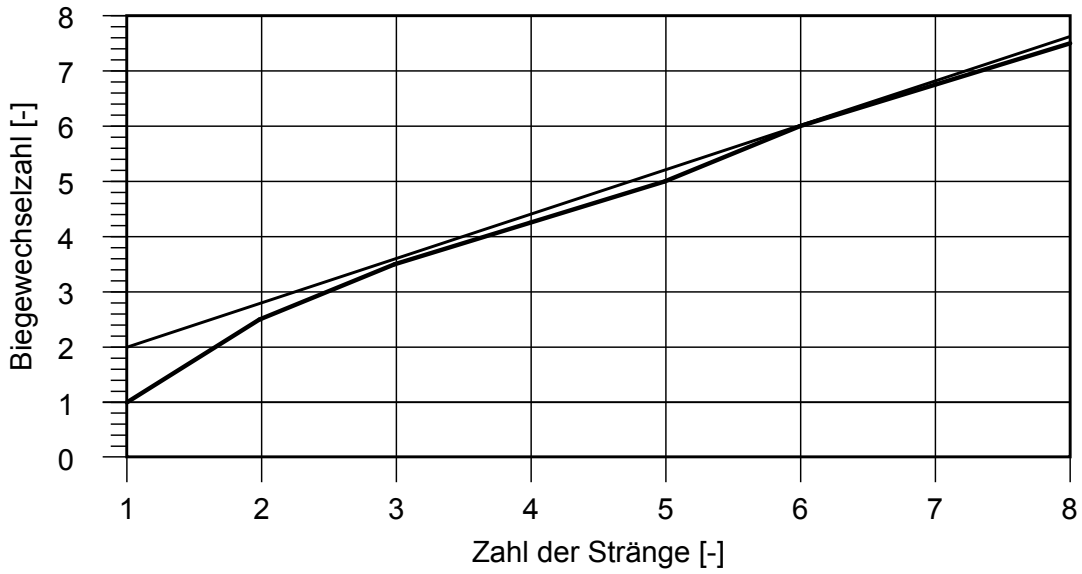


Abb. 29: Tatsächlich auftretende Biegewechsel (dicke Linie) und Approximation

Für die vorliegende Analyse waren die Seiltriebe bewußt so ausgelegt worden, daß die Einscherung relativ nahe an der Seiltrommel angeordnet war. Mit größerer Entfernung der Seiltrommel können die maximal auftretenden Biegewechselzahlen nur abnehmen. Die nach der vorgeschlagenen Gleichung berechneten Biegewechselzahlen liegen also auch für diese Fälle auf der sicheren Seite.

Analoge Auswertungen lassen sich natürlich auch für Ihren konkreten Seiltrieb durchführen. Die Ergebnisse sind natürlich erheblich aussagekräftiger, wenn die genauen Hubbewegungen bekannt sind. Zögern Sie nicht, den Autor anzusprechen:

Dipl.-Ing. Roland Verreet
Ingenieurbüro für Fördertechnik
Grünenthaler Str. 40a • 52 072 Aachen
Tel. 0241- 173147 • Fax 0241- 12982
E-mail: R.Verreet@t-online.de

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