

Dipl.-Phys. Hannes Wedemeyer

## **Einstellung einer optimierten Seilkraftverteilung im Seilschacht**

**– ein Lehrstück aus der Praxis**

Fachvortrag anlässlich der 27. internationalen Kranfachtagung 2019 in Bochum  
Der Kran – Leistungssteigerung, Leichtbau und Automatisierung

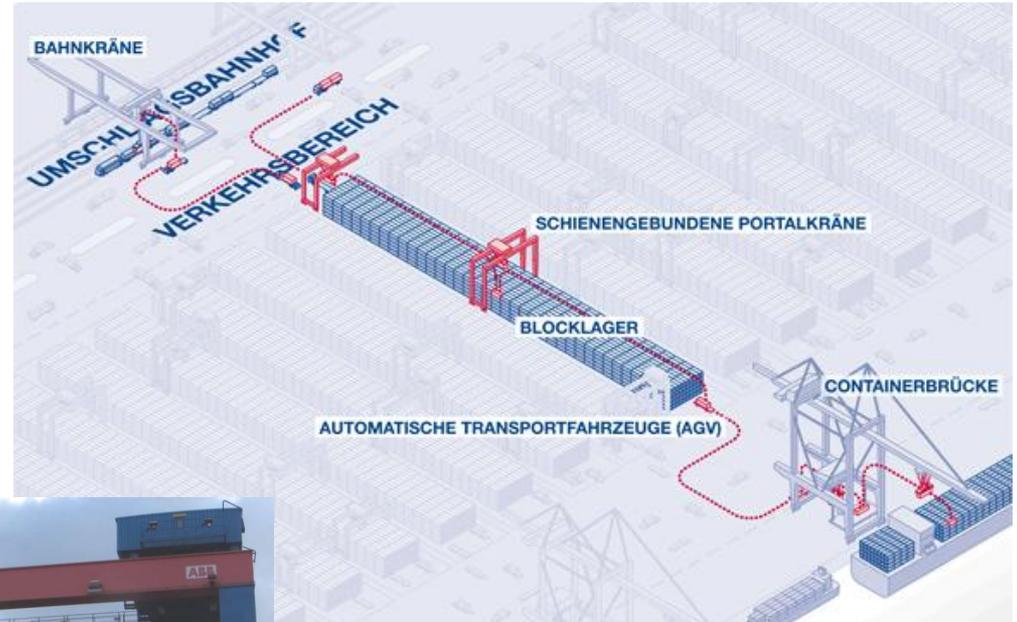
## Gliederung

1. Einleitung
2. Problemdarstellung
3. Ursachenermittlung
4. Lösungsansätze
5. Weitere Optimierungsmöglichkeiten
6. Zusammenfassung / Fazit

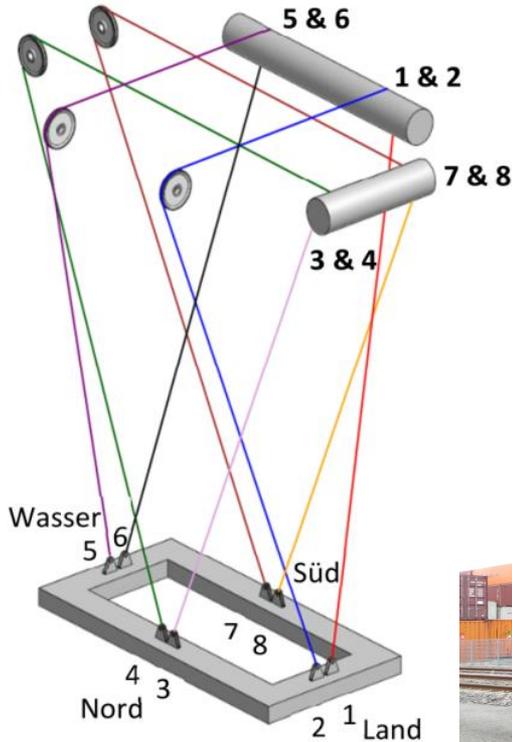


# Portallagerkrane CTA

- automatisiertes Containerlager
- 26 Blöcke
- 2 Krane pro Block
- 42t Tragfähigkeit



# Lastaufnahme



- Seilschacht mit 8 einzelnen Seilen
- Seilfestpunkte mit Spanschlössern auf dem Headblock
- Containeraufnahme- spreader

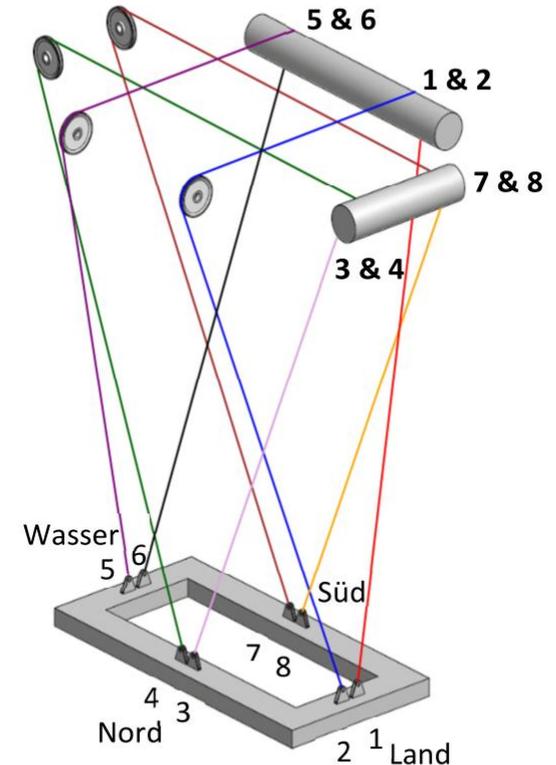


zusätzlich Micro-Motion-System zur Feinpositionierung



# Seilschacht

- soll pendelfreie Führung der Last ermöglichen
- soll Rotationen um alle Achsen sperren
  - ➔ Gegeneinander verspannte Horizontalkräfte
  - ➔ statisch überbestimmtes System
- reagiert empfindlich auf Seillängenänderungen
- Seilkräfte verändern sich mit der Hubhöhe



## Hubseile und deren Lebensdauer

- Seil im Hubwerk ist ein ‚Verschleißteil‘
- erhöhte Seilkräfte bewirken starke Lebensdauerverkürzung, insbesondere bei häufigen oder engen Umlenkungen
- Standzeiten der Seile zeigen extreme Varianzen
- im Schnitt ca. ein Seilwechsel pro Woche
- ca. zwei Schichten Stillstand pro Seilwechsel



Optimierungsaufgabe:

großes Potential zur Einsparung und zur Verbesserung des Betriebsablaufes



## Vorgehen

- geometrische Analyse des Seilschachtes
  - Messung der Seilkräfte
  - Analyse des Einstellprozesses
- ⇒ Lösungsvorschläge zur Verbesserung des Einstellprozesses der Seilkraftverteilung



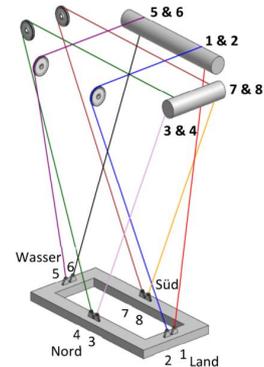
## Geometrische Analyse

Ergebnis: Summe der Seilwinkel ist nicht konstant über die Hubhöhe

- Horizontaldrift über Hubhöhe
- Seilkraftumverteilung über Hubhöhe
- aufgrund der Bauart eine sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Seillängenunterschieden

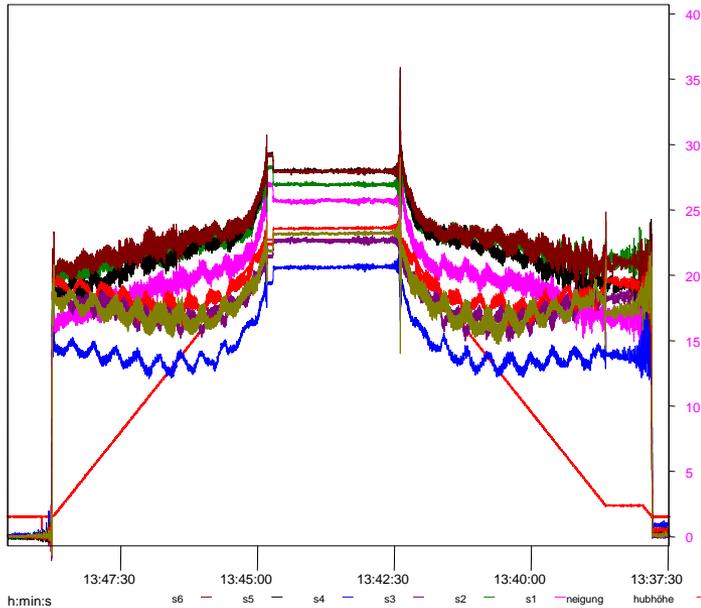
➔ konstruktive Lösung nicht wirtschaftlich

➔ sauberes Einstellen der Seilkräfte um so wichtiger!

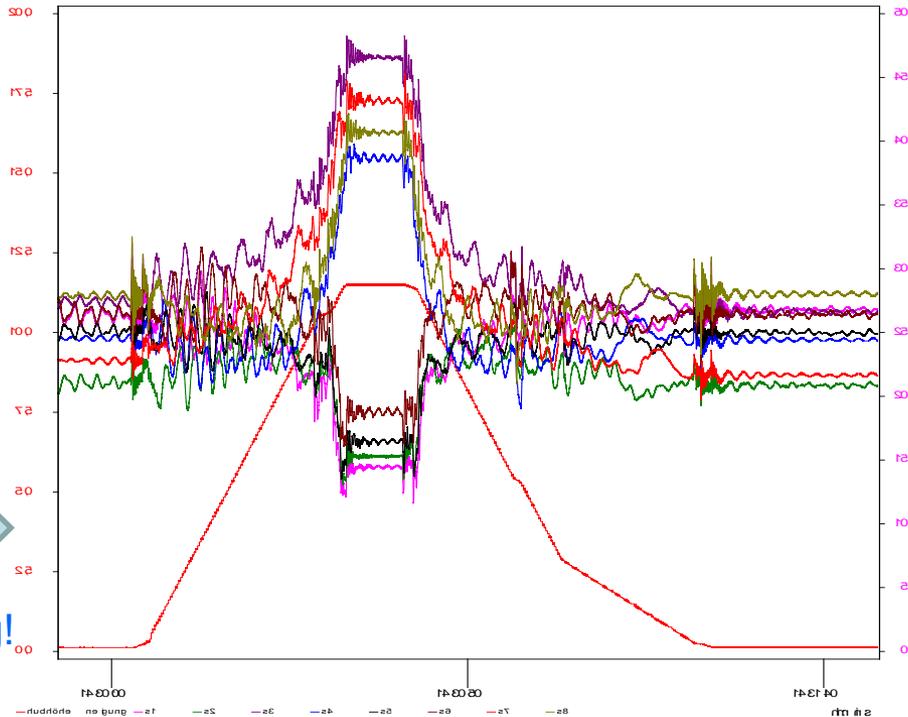


# Messung der Seilkräfte

## Veränderung der Seilkräfte über die Hubhöhe



← Positivbeispiel



→ Negativbeispiel

Initiale Einstellung der Seilkräfte sehr wichtig!

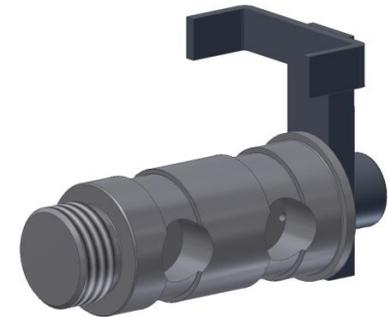


## Analyse des Einstellprozesses

Verwendete Technik zum Einstellen der Seilkräfte:



herkömmliche IFF Technik  
(Seilklemmen oder Messbolzen  
verkabelt zu zentraler Funkeinheit,  
Anzeige auf PC oder Tablet)



Probleme:

- Bolzen mechanisch anfällig (Vorschlaghammer)
- Verkabelung anfällig (mech., Witterung, Fehlbedienung)
- Software zu kompliziert

➔ Prozess sehr fehleranfällig



## Analyse des Einstellprozesses

Verwendete Technik zum Einstellen der Seilkräfte:

„Armbrust“ (PIAB RTM 20d)

Probleme:

- Montage- und Demontage für jede Seilmessung
- keine direkte Rückmeldung beim Verstimmen
- Messung nur in Bodennähe und ohne Last
- Einbau verfälscht Kraftverteilung
- Doku auf Handprotokoll, das später abgetippt wird



# Analyse des Einstellprozesses

	Messungen mit der Technik von SCA								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S1 [kN]	24,5	22,5	24,0	22,5	22,0	21,0	21,0	21,0	21,5
S2 [kN]	27,5	21,0	24,0	23,5	23,0	22,0	22,5	21,5	26,1
S3 [kN]	26,4	17,0	17,0	22,0	21,5	23,0	21,8	19,5	22,6
S4 [kN]	12,4	23,0	18,0	19,0	19,0	19,5	18,0	20,0	18,1
S5 [kN]	25,5	25,0	26,0	24,0	23,5	22,0	22,5	23,0	24,1
S6 [kN]	29,3	21,0	26,0	25,0	24,0	23,0	24,0	23,0	25,1
S7 [kN]	20,5	19,0	20,0	22,0	22,0	23,0	26,0	22,5	24,5
S8 [kN]	17,2	28,0	22,0	23,0	23,0	24,0	22,0	24,0	22,6
Summe [kN]	<b>183,3</b>	<b>176,5</b>	<b>177,0</b>	<b>181,0</b>	<b>178,0</b>	<b>177,5</b>	<b>177,8</b>	<b>174,5</b>	<b>184,6</b>
min [kN]	12,4	17,0	17,0	19,0	19,0	19,5	18,0	19,5	18,1
max [kN]	29,3	28,0	26,0	25,0	24,0	24,0	26,0	24,0	26,1
Delta [kN]	<b>16,9</b>	<b>11,0</b>	<b>9,0</b>	<b>6,0</b>	<b>5,0</b>	<b>4,5</b>	<b>8,0</b>	<b>4,5</b>	<b>8,0</b>
Änderungen									
Seilnummern [-]		4, 8	4, 8	3, 4	4	6	7	4	8
[Umdrehungen]									
- verkürzen		-1/2		- 1/8	- 1/8	- 1/8		- 1/4	
+ verlängern			+ 1/4				+ 1/4		+ 1/4

Ab Schritt 7 zusätzliche Optimierung nach geometrischen Parametern



## Analyse des Einstellprozesses

### Ergebnisse:

- Anleitung des Herstellers zum Einstellen der Seilkräfte führt nicht zu befriedigenden Ergebnissen
- kein einheitliches Vorgehen, jeder Trupp entwickelt eigenes Verfahren, dass für ihn funktioniert
- Technik wird nicht beherrscht; Verwendung ungeeigneter Messmittel
- Seilkrafteinstellung bedeutet viel „Herumprobieren“, dauert lange
- geometrische Optimierung hat in der Praxis oft Vorrang
- Dokumentation macht systematische Auswertung schwierig



## Lösungsansatz

- 1. Neue Messachsen**  
Funk und Batterie in jeder Achse
- 2. Neue Software**  
Maximal intuitiv zu bedienen
- 3. Einheitliche Arbeitsanweisung**  
Für nachvollziehbare Ergebnisse



## Entwicklung neuer Sensoren

- komplette Neuentwicklung angepasst an die Aufgabe
- Jeder Sensor eine Einheit mit eigener Batterie und Funkübertragung
- Reinstecken, Anschalten, messen
- Montagekappe zum sicheren Handling und zum Schutz bei der Montage

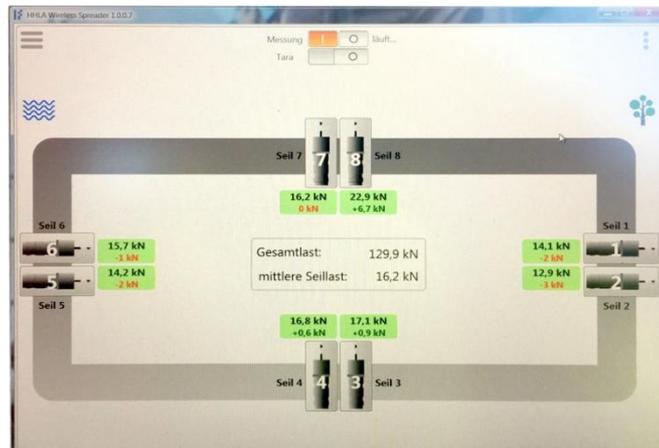
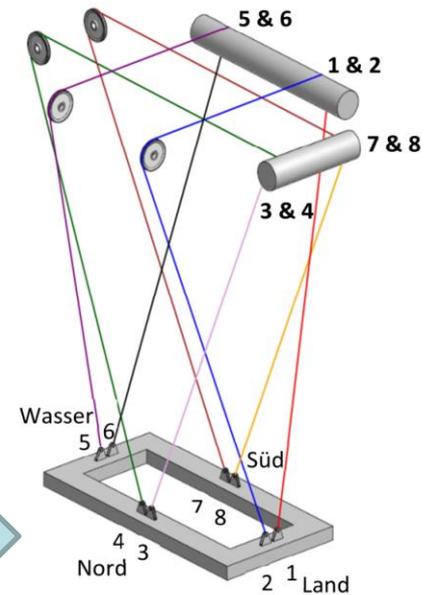


## Entwicklung neuer Sensoren

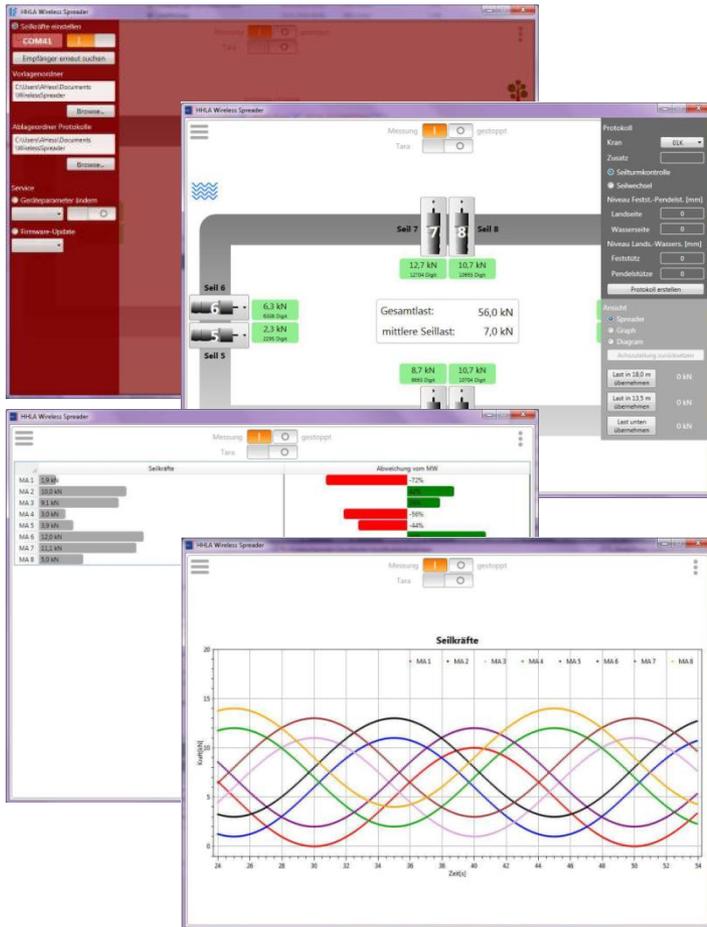


# neue Software

- Funktionsumfang auf das benötigte beschränkt
- automatische Erkennung und Zuordnung der Sensoren
- intuitive Benutzeroberfläche: Visualisierung so, wie der Headblock vor einem liegt
- Standardansicht mit Messwerten und Mittelwert-Deltas



# Lösung: neue Software



- simples, optionales Konfigurations-Menü
- Protokollerstellung mit wenigen Klicks
- Ansichten für dynamische Messung und Seilkraftabweichung vom Soll
- automatische Protokollerstellung



# Erinnerung: Einstellprozess

	Messungen mit der Technik von SCA								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S1 [kN]	24,5	22,5	24,0	22,5	22,0	21,0	21,0	21,0	21,5
S2 [kN]	27,5	21,0	24,0	23,5	23,0	22,0	22,5	21,5	26,1
S3 [kN]	26,4	17,0	17,0	22,0	21,5	23,0	21,8	19,5	22,6
S4 [kN]	12,4	23,0	18,0	19,0	19,0	19,5	18,0	20,0	18,1
S5 [kN]	25,5	25,0	26,0	24,0	23,5	22,0	22,5	23,0	24,1
S6 [kN]	29,3	21,0	26,0	25,0	24,0	23,0	24,0	23,0	25,1
S7 [kN]	20,5	19,0	20,0	22,0	22,0	23,0	26,0	22,5	24,5
S8 [kN]	17,2	28,0	22,0	23,0	23,0	24,0	22,0	24,0	22,6
<b>Summe [kN]</b>	<b>183,3</b>	<b>176,5</b>	<b>177,0</b>	<b>181,0</b>	<b>178,0</b>	<b>177,5</b>	<b>177,8</b>	<b>174,5</b>	<b>184,6</b>
min [kN]	12,4	17,0	17,0	19,0	19,0	19,5	18,0	19,5	18,1
max [kN]	29,3	28,0	26,0	25,0	24,0	24,0	26,0	24,0	26,1
<b>Delta [kN]</b>	<b>16,9</b>	<b>11,0</b>	<b>9,0</b>	<b>6,0</b>	<b>5,0</b>	<b>4,5</b>	<b>8,0</b>	<b>4,5</b>	<b>8,0</b>
Änderungen									
Seilnummern [-]		4, 8	4, 8	3, 4	4	6	7	4	8
[Umdrehungen]									
- verkürzen		-1/2		- 1/8	- 1/8	- 1/8		- 1/4	
+ verlängern			+ 1/4				+ 1/4		+ 1/4

Einstellung sehr Zeitaufwändig



Softwareunterstützung!



## rechnergestützte Seilkraftoptimierung

- Seilkraftänderungen zu komplex, um diese zu „überblicken“, eine Längenänderung verstimmt alle Seilkräfte
- Verhalten ist aber mess- und berechenbar

⇒ Vorhersagen möglich!

1. Verstimmung jedes Seils um eine bekannte Länge  $v$  und Messung der Reaktionen der verbliebenen Seile,  $\Delta R$
2. Berechnung der Übertragungsmatrix  $K$  des Systems

$$\Delta R = K \times v$$

3. Computergestützte Berechnung der optimalen Längenänderung für jedes Seil

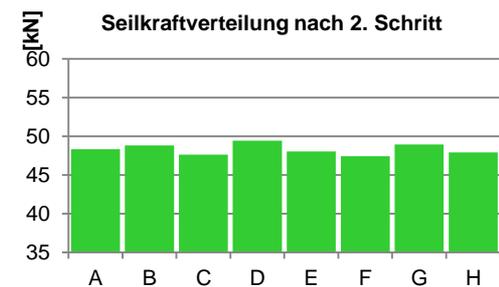
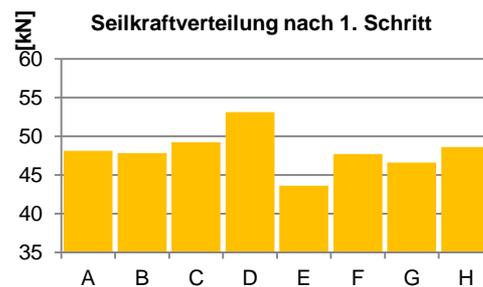
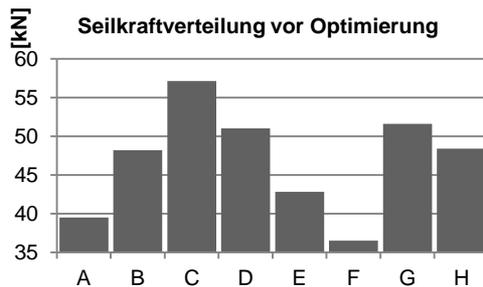
⇒ Ausgabe der optimalen Längenänderung für jedes Seil

⇒ Zeitintensives „Herumprobieren“ entfällt



# rechnergestützte Seilkraftoptimierung

- Lösung von IFF E&C als separate Software erhältlich
- Effektivität des Optimierungsprogramms am Beispiel eines 80t Brückenkrans:



➡ Zeitaufwand für das Einstellen wird planbarer



## Zusammenfassung

- konstruktive Lösung im vorliegenden unwirtschaftlich
- empfindliches System des Seilschachtes durch Messungen bestätigt
- Verfahren und Technik für den Einstellprozess der Seilkräfte stellten sich als unzureichend heraus.
  - ➔ Neue Funkmessachsen und Software, angepasst speziell an die Bedürfnisse des tatsächlichen Arbeitsablaufes vor Ort
  - ➔ Die Seilstandzeiten streuen weniger und konnten deutlich verlängert werden.
  - ➔ weitere Verbesserung des Prozesses durch Optimierungsprogramm



Vielen Dank für  
Ihre Aufmerksamkeit!

