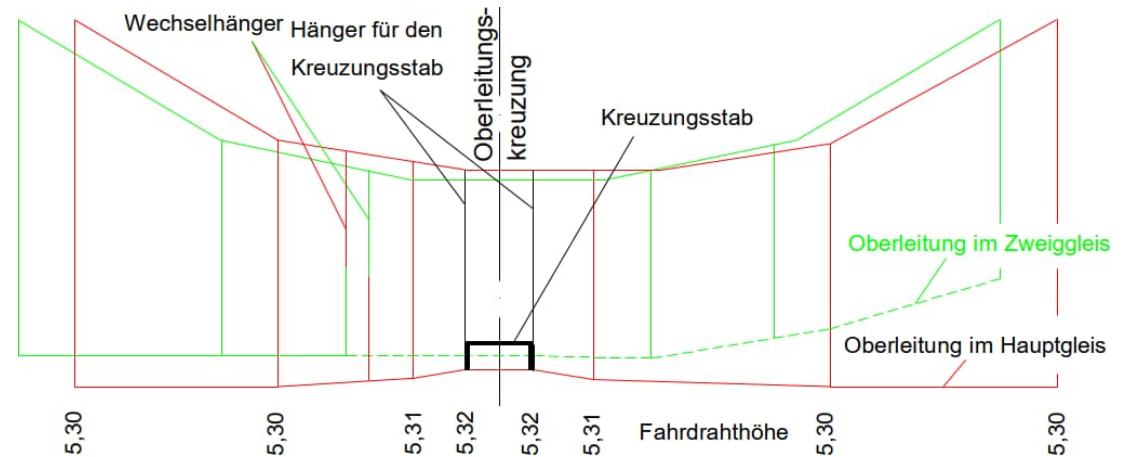
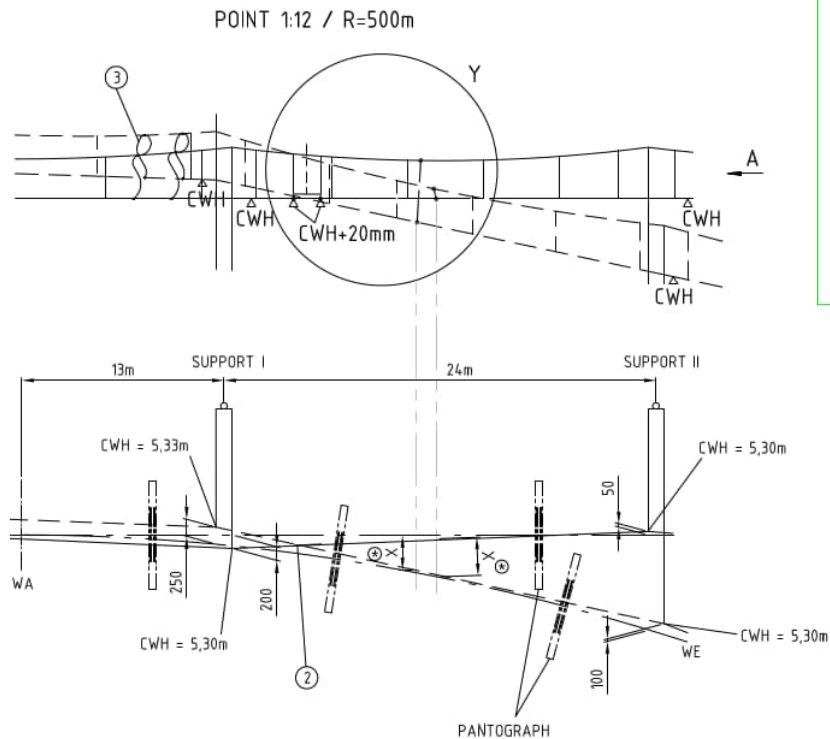


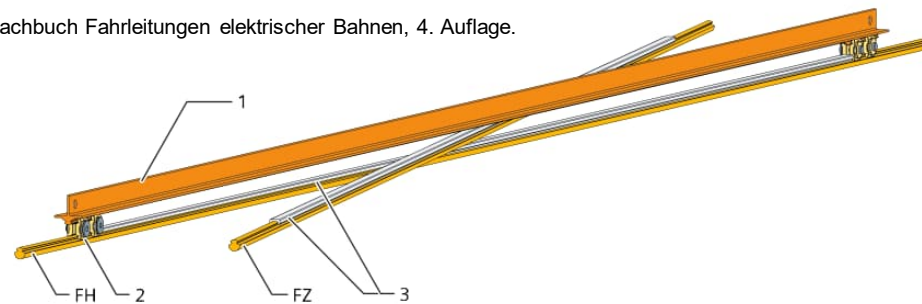
A silver hatchback car is parked on a gravel area next to railway tracks. On the roof of the car, a surveying instrument is mounted on a tripod. The instrument is a total station or similar surveying tool, with various cables and a small display on top. The car's rear hatch is open. In the background, there are railway tracks, a fence with graffiti, and some vegetation. The sky is overcast.

# Analyse und Simulation von Weichenbespannungen in Oberleitungen

# » Die Befahrqualität von Weichenbespannungen lässt sich durch die Konstruktion und Planung sowie Vorgaben zur Errichtung und Instandhaltung beeinflussen. «



Quelle: Fachbuch Fahrleitungen elektrischer Bahnen, 4. Auflage.



# Vorgaben zur Planung, Errichtung und Instandhaltung lassen sich beispielsweise gewinnen durch

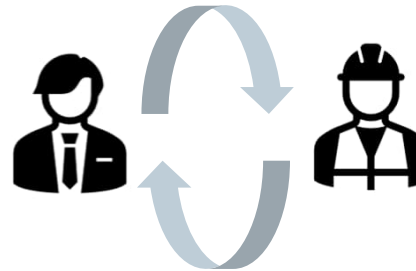
SIEMENS

Daten aus Messzügen,  
Handmessungen oder  
Videoanalysen

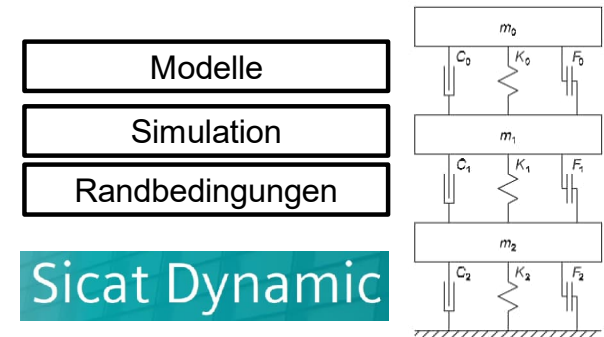


Quelle: Fachbuch Fahrleitungen elektrischer Bahnen, 3. Auflage.

Erfahrungsaustausch  
zwischen Planern und  
Instandhaltern



Simulationen



## Fazit:

- 1.) Die Mehrzahl der Weichenbespannungen funktioniert!
- 2.) Für die wenigen Schwachstellen sind Lösungen erforderlich.
- 3.) Diese Lösungen sollen einfach und verständlich sein.
- 4.) Die Anzahl der Fachbeiträge ist glücklicherweise nicht proportional zu den Problemen an Weichen.

# Beispiel 1 – Verschleißanalyse von Fahrdrähten AC-120 CuMg0,5 der Re 330/Sicat H im Bereich von Kreuzungsstäben

## Hochgeschwindigkeitsaufnahmen

- es wurde schnell klar, dass es viele Mikrolichtbögen je Zugdurchfahrt geben kann - **aber nicht bei jeder!**



1.) Stromabnehmer am Anfang Kreuzungsstab



2.) Stromabnehmer zieht Lichtbogen zw. Fahrdraht und Schleifstück (Dauer 10 ms)

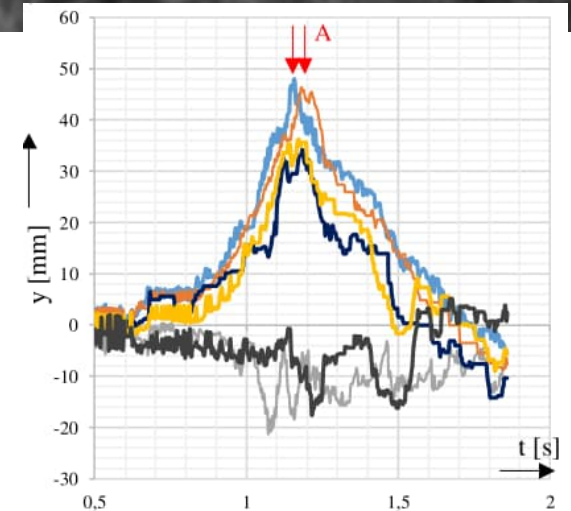
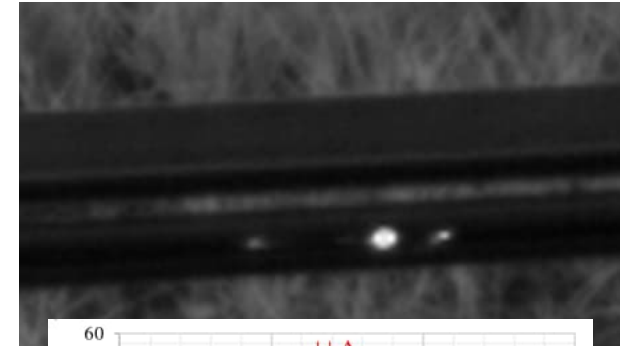


3.) Nachschwingen des ZG-Fahrdrathes mit Lichtbögen zwischen den Fahrdrähten (3 ms)



4.) Nachschwingen des ZG-Fahrdrathes mit Lichtbögen zwischen den Fahrdrähten (3 ms)

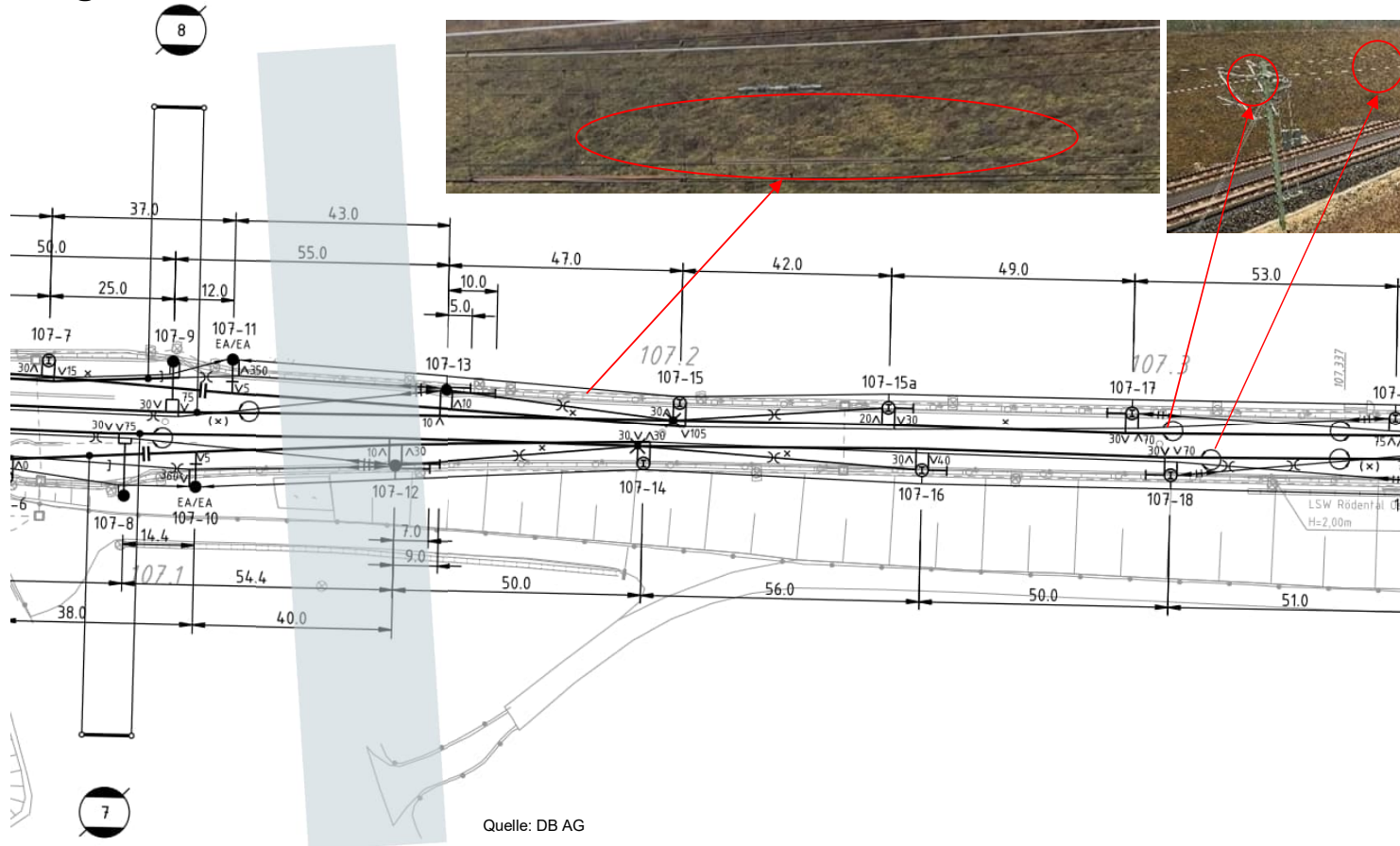
Detailansicht eines Mikrolichtbogen



Vergleichende Aufnahmen auf Re 200 / Re 200 mod oder Re 250 zeigten keine vergleichbaren Lichtbogenbildungen!

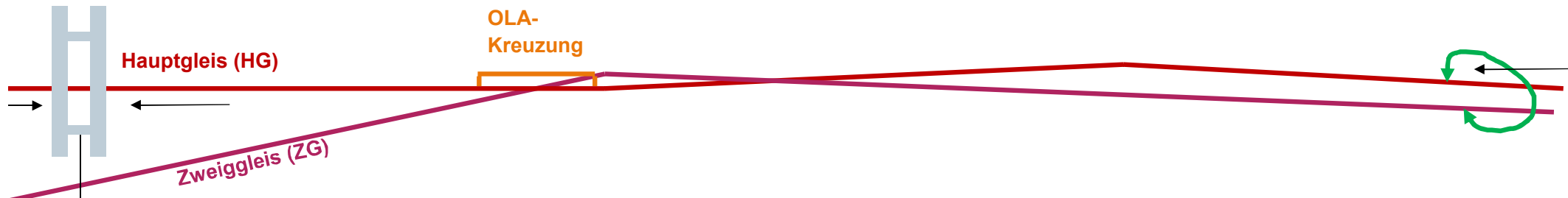
# Beispiel 1 – Verschleißanalyse von Fahrdrähten AC-120 CuMg0,5 der Re 330/Sicat H im Bereich von Kreuzungsstäben

## Lage der Stromverbinder



- Abstände zur Oberleitungskreuzung
  - Richtungsgleis Erfurt: 141 m
  - Richtungsgleis Bamberg: 125 m

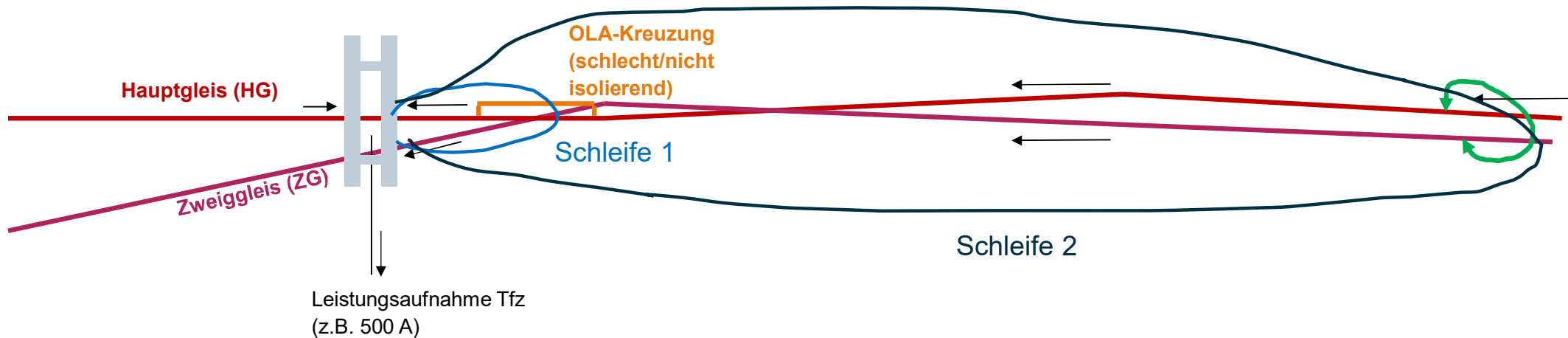
# Lage des Stromverbinders - Was passiert bei Befahrung im Zusammenspiel mit dem Kreuzungsstab?



- I. **Ohne Berührung von ZG und HG-Fahrdraht:**  
Laststrom fließt nur im **Hauptgleis-Kettenwerk**
- II. **mit Berührung von ZG und HG-Fahrdraht an der OLA-Kreuzung und/oder über Stromabnehmer (dauerhaft oder temporär):**  
Parallelschaltung beider Kettenwerke (**Hauptgleis** und **Zweiggleis**) → Gesamtstrom teilt sich auf beide Kettenwerke auf

Anteiliger Strom zum Triebfahrzeug (links/rechts) ergibt sich aus den Speiseverhältnissen und Abständen zum Unterwerk (siehe Folie vorher).

# Lage des Stromverbinders - Was passiert bei Befahrung im Zusammenspiel mit dem Kreuzungsstab? #2



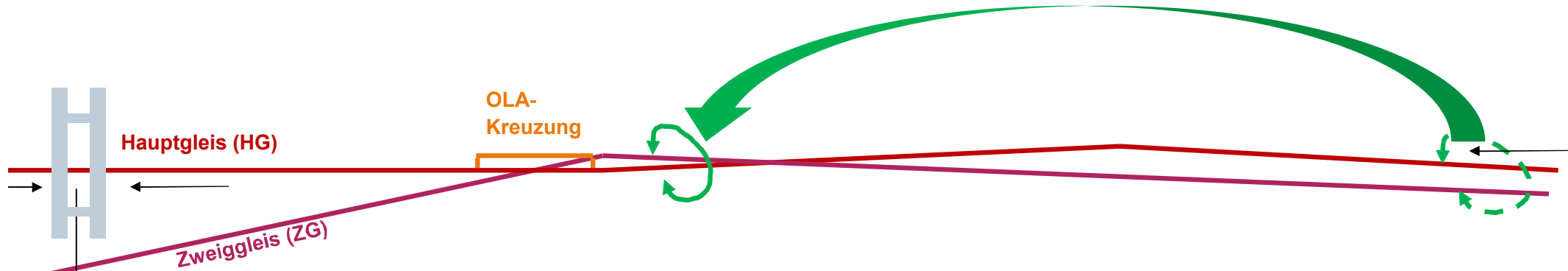
Strom fließt in Hauptgleis- und Zweiggleis(-Kettenwerk) und damit in beiden Fahrdrähten, aber über zwei Leiterschleifen (Schleife 1 und Schleife 2).

Schleife 1 besitzt die geringere Impedanz, d.h. führt den höchsten Strom (> 80 % Anteil)! Je größer der Abstand von OLA-Kreuzung zum Stromverbinder, desto mehr Strom fließt in der Schleife 1!

$$\begin{aligned} Z' &= R' + jX' \\ X' &= \omega L' \\ L' &= 0,5 \text{ mH/m} \\ Z' &= 231,5 \times 10^{-6} \\ &+ j(5,24 \times 10^{-3}) \Omega/\text{m} \\ Z' &= 5,24 \times 10^{-3} e^{-j87,5^\circ} \Omega/\text{m} \end{aligned}$$

# Welchen elektrischen Einfluss hat ein verkürzter Abstand zwischen Stromverbinder und Kreuzung?

SIEMENS



Leistungsaufnahme T<sub>fz</sub>  
(z.B. 500 A)

- verkürzt die Stromflusszeit in beiden Kettenwerken
- reduziert die Reaktanz  $X$  sowie die Impedanz  $Z$  der "Schleife 2" und verändert damit die Stromverteilungsverhältnisse
- Energie im Lichtbogen wird reduziert  $W = L * I^2 / 2$
- Fahrdrahtabbrand infolge der reduzierten Energie  $W$  sinkt
- Lichtbogenspannung ist proportional Induktivität  $L$  + Änderung Strom pro Zeit (= Schwingung der Kreuzung)  $U = R \times I + L \times dI/dt$   
Abhängig von Stromänderung /  
Stromamplitude zwischen 8 und 30 V)

1.) Kreuzende Weichenbespannungen mit geringeren Abstand des Stromverbinders sind weniger intensiv vom elektr. Verschleiß betroffen.

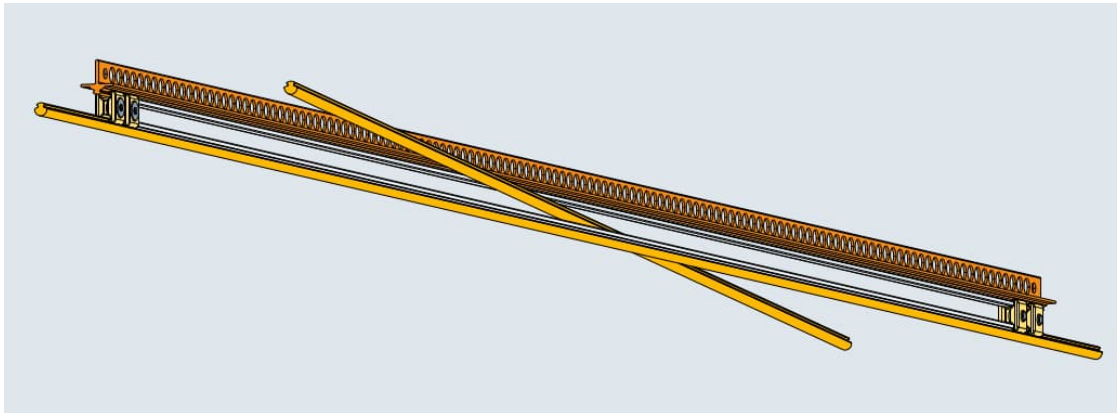
2.) Untersuchungen im Bf. Limburg bestätigen dies.



# Kreuzende Weichenbespannung - Verschleiß Fahrdrähte/Kreuzungsstab Re 330 / Sicat H – konstruktive Lösung

SIEMENS

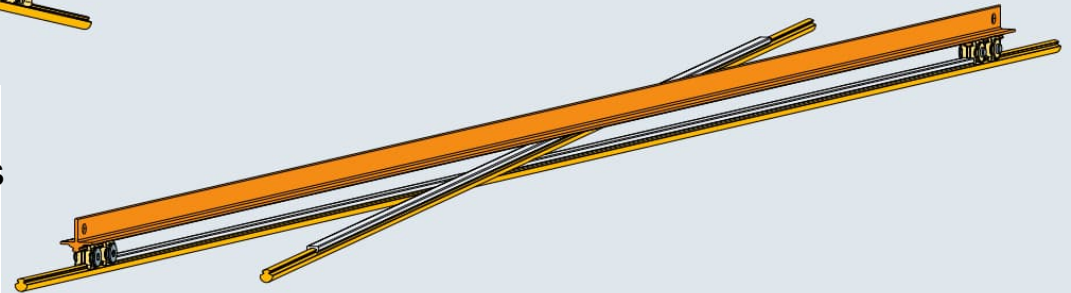
## Isolierprofil (Ebs 07.41.10-4, Sicat 8WL4637-0D/-0E)



- Gewicht bleibt unverändert, da Bohrungen oder das Abfräsen der Klemmrille am Kreuzungsstab das Mehrgewicht des Isolierprofils kompensiert
- Abstand zwischen HG-FD und Kreuzungsstab musste vergrößert werden

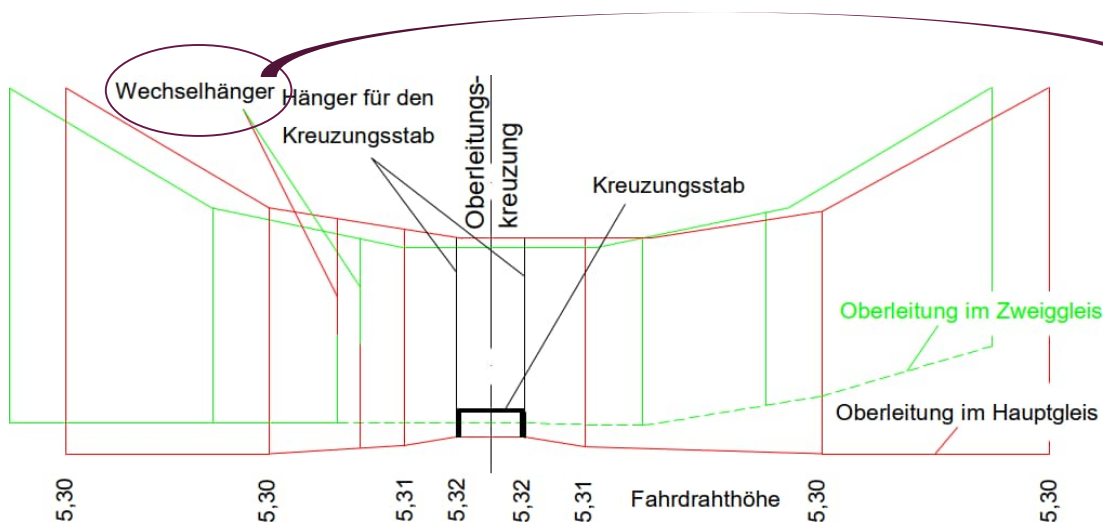
Optionen unterscheiden sich durch:

1. Aufbringen des Isolierprofils jeweils auf der „intakten“ Klemmrille des Fahrdrahtes
2. Aufbringen eines Isolierprofils auf dem Kreuzungsstab



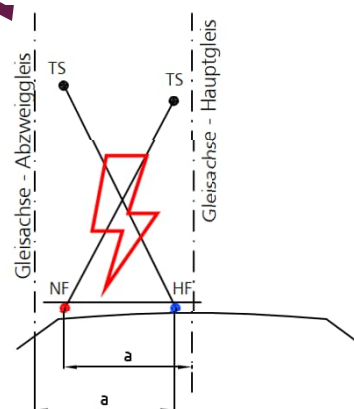
**Betriebserprobung erfolgreich abgeschlossen.  
Freigabe in 10/2022 von der DB erhalten.**

# Beispiel 2 – Regulierung von Weichen und Wechselhängern bei kreuzender Weichenbespannung



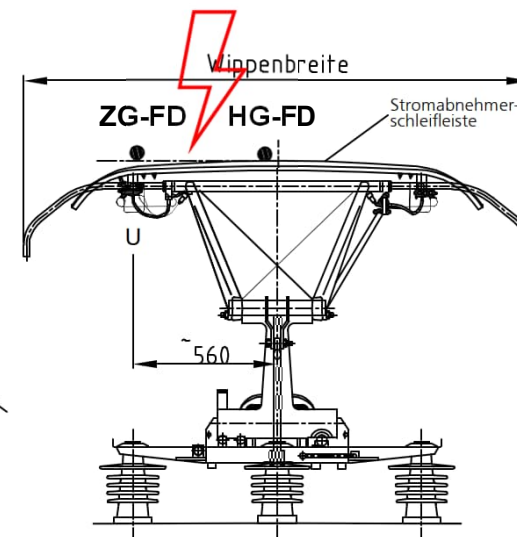
Quelle: Fachbuch Fahrleitungen elektrischer Bahnen, 4. Auflage.

Quelle: ÖBB, ED-Zeichnungswerk



Waagrecht im nicht überhöhtem Gleis, bzw. bei Überhöhung parallel zur Stromabnehmer-Schleifleiste.

a ..... Abstand Fahrdraht von der jeweiligen Gleisachse  
TS ..... Tragseil

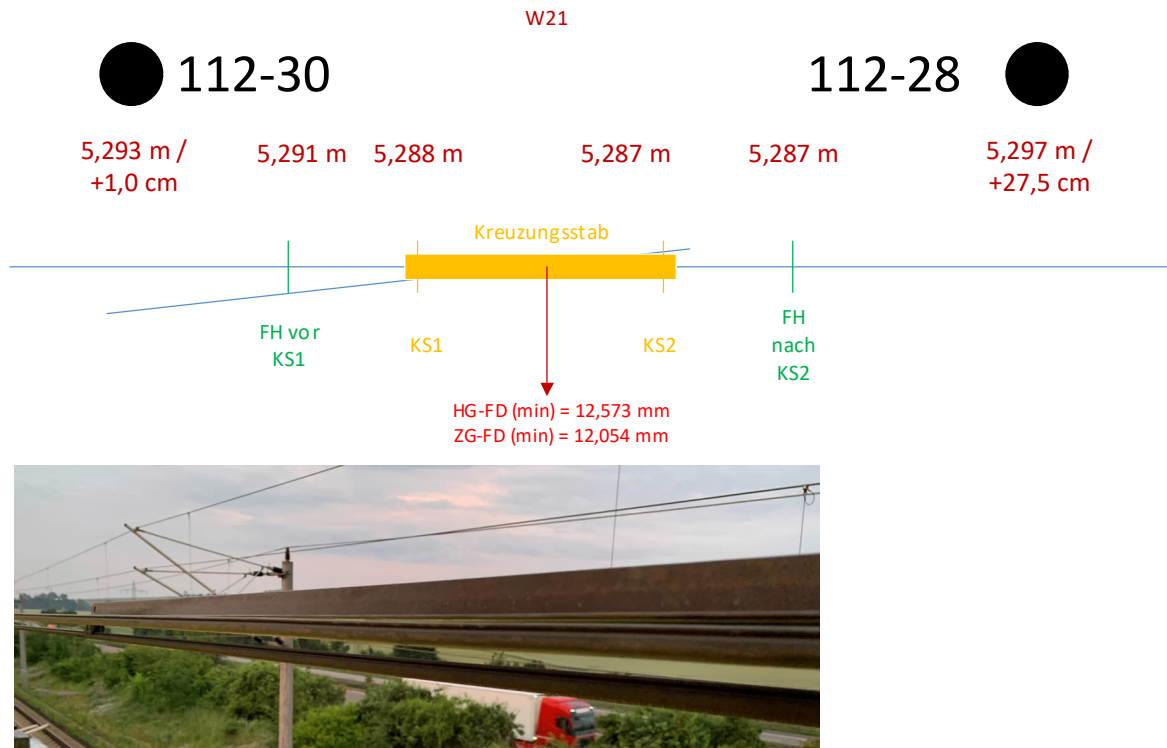


HF ..... Hauptfahrdraht (Fahrdraht des Hauptgleises)  
NF/ZG ..... Nebenfahrdraht (Fahrdraht des Abzweiggleises)  
U ..... Schleifleistenunterstützung

- Masse des Kreuzungsstabes führt zu Elastizitätsunterschieden → negativer Vordurchhang / Hochzug im **HG** abhängig von der Lage der Kreuzung!
- Kreuzungsstab beidseitig aufhängen (bei einseitiger Aufhängung „Kipprisiko“)

- Zweiggleis-Fahrdraht (**ZG**) hängt nie tiefer als am Kreuzungsstab ( $FH_{HG} + d_{FD,HG}$ )
- HG-Befahrung verbessert sich i.d.R durch zusätzlichen Hochzug des ZG-FD (0...3 cm) auf der stumpfen Seite → Einfluss auf ZG-Befahrung bis  $R = 760$  vernachlässigbar

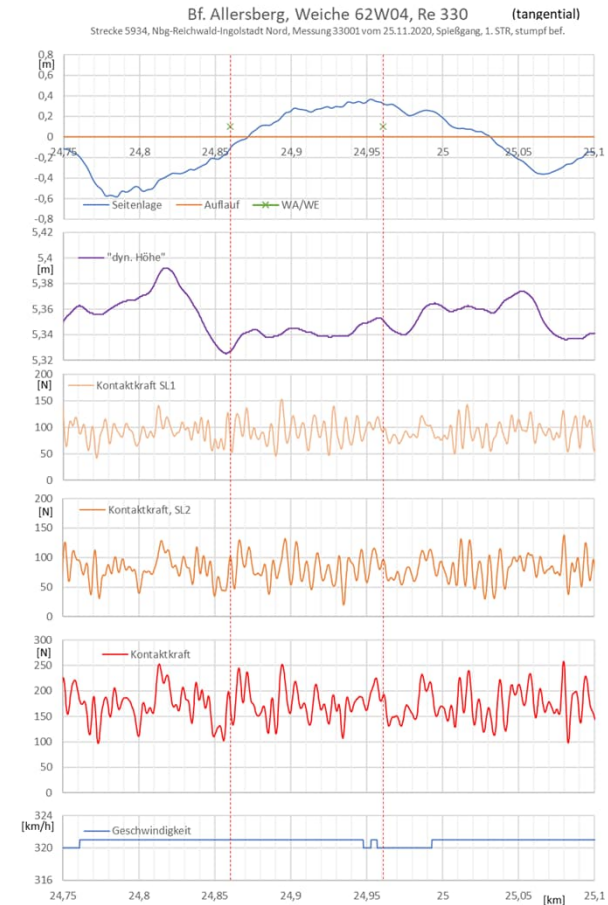
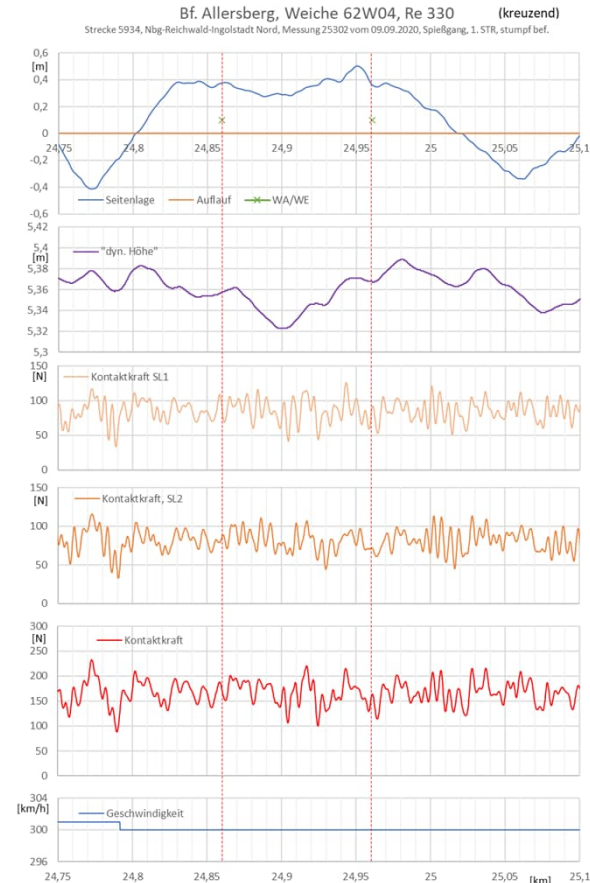
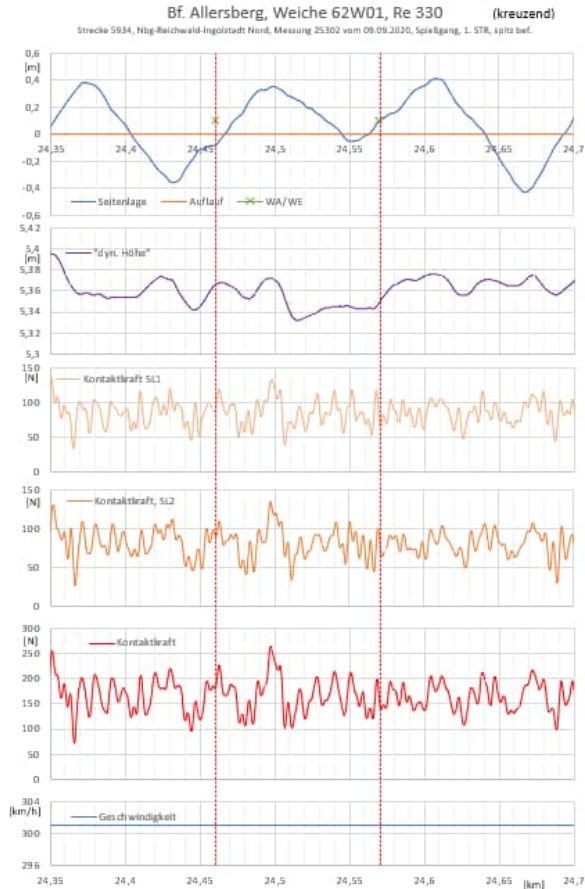
# Beispiel 2 – Regulierung von Weichen und Wechselhängern bei kreuzender Weichenbespannung – Status quo



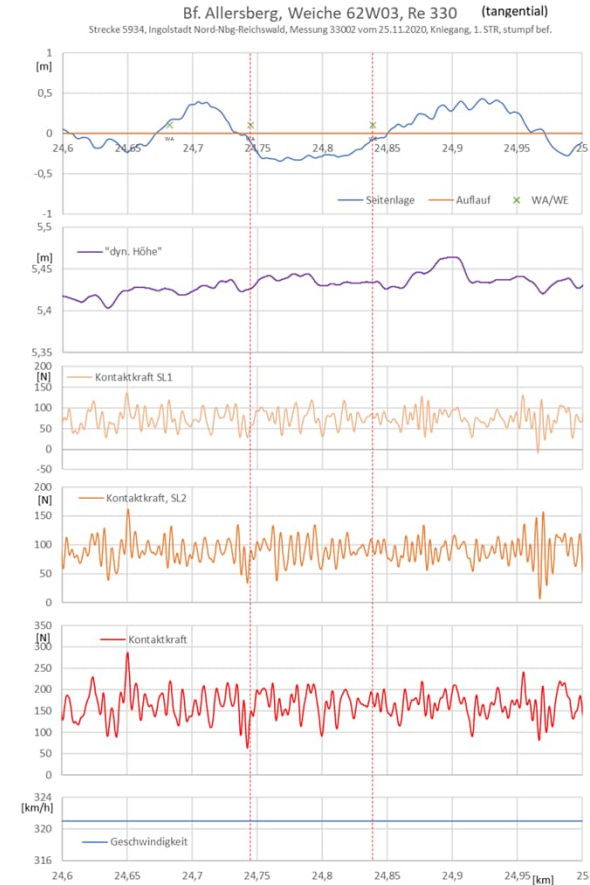
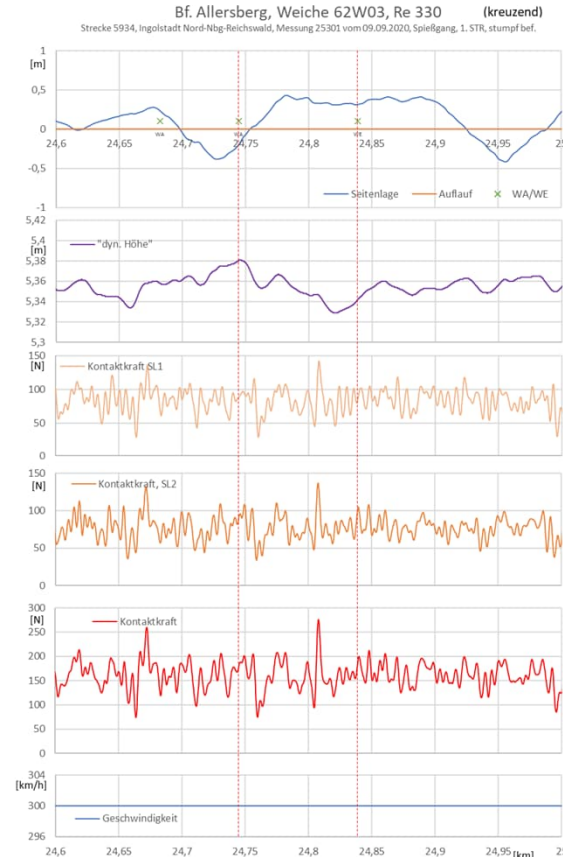
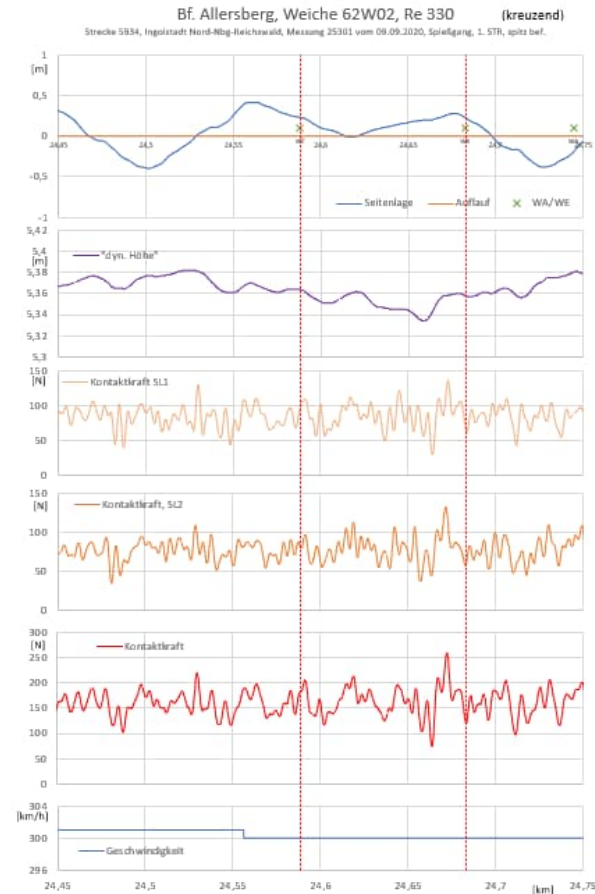
- auf Basis des untersuchten Stichprobenumfangs ist der Kreuzungsstab mehrheitlich tiefer als die Fahrdrathöhe am Stützpunkt / benachbarter Feldhänger.
- Kreuzungsstäbe sind teilweise willkürlich ohne, mit 1 oder 2 Kreuzungsstabhängern aufgehängt
- Die Wechselhänger sind mehrheitlich auf gleicher Höhe des Hauptgleisfahrdrabtes
- Unter Berücksichtigung allgemeiner Oberleitungstoleranzen wären die vorgefundenen Regulierungen aber OK

Die zuvor genannten Empfehlungen sind heute mehrheitlich nicht anzutreffen.

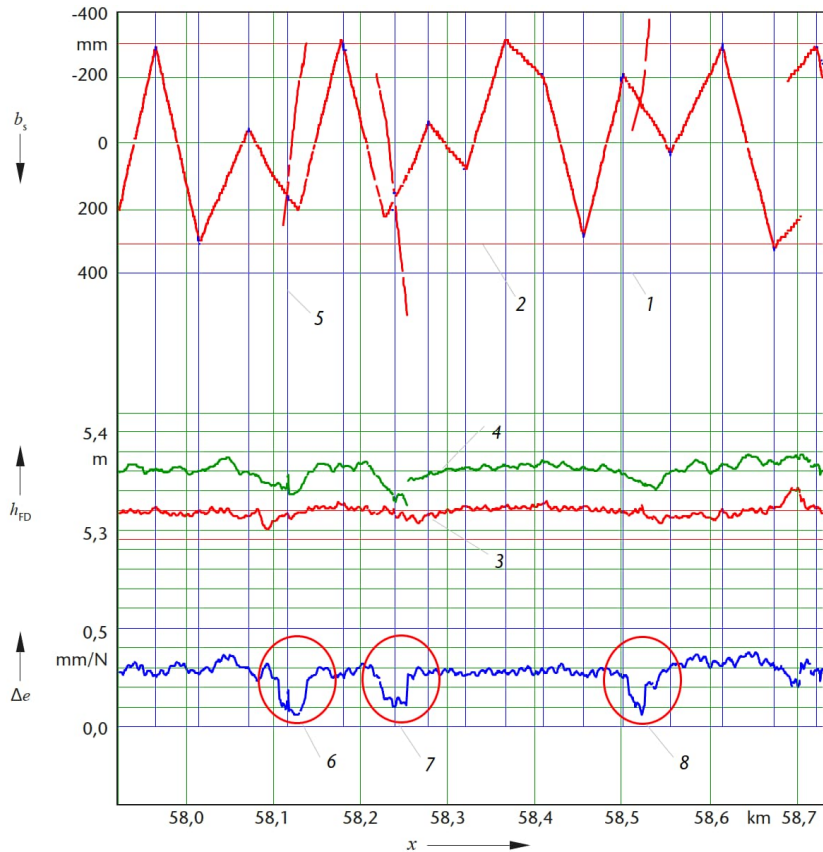
# Welchen Einfluss hat die Bespannung / Regulierung auf die Kontaktkraft?



# Welchen Einfluss hat die Bespannung / Regulierung auf die Kontaktkraft? #2

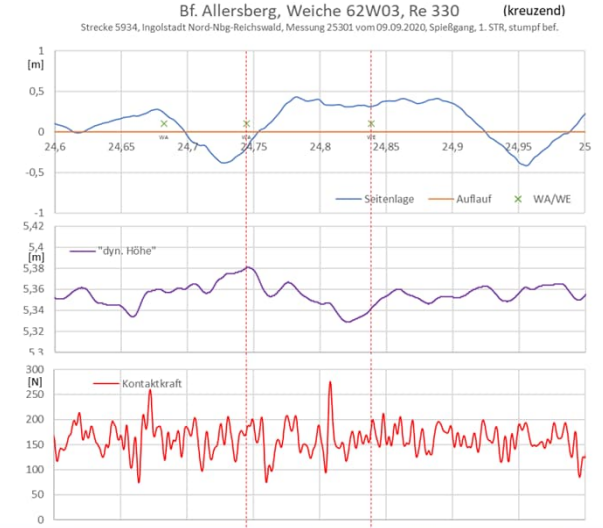
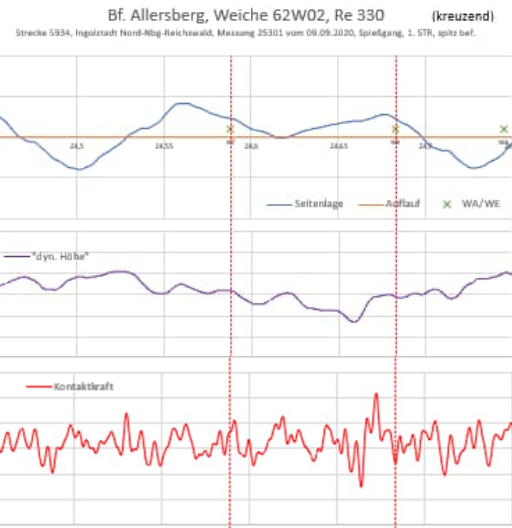


# Welchen Einfluss hat die Bespannung / Regulierung auf die Elastizität?



Elastizitätsverlauf mit starken Änderungen der Elastizität an drei kreuzenden Weichenüberbespannungen mit der statischen Fahrdratseitenlage  $b_s$ , Fahrdrathöhe  $h_{FD}$  und Änderung der Elastizität  $\Delta\epsilon$ .

- 1 maximale Fahrdratseitenlage am Stützpunkt
- 2 ~~nutzbare Fahrdratseitenlage des~~ Stromabnehmers
- 3 Fahrdrathöhe in Ruhelage
- 4 Fahrdrathöhe in Anhublage
- 5 Maststandort (blaue vertikale Linie)
- 6 Weiche 2
- 7 Weiche 3
- 8 Weiche 6



**Absolute Elastizitätszahlen geben keinen Rückschluss auf die zu erwartende Kontaktkraft; starke Elastizitätsgradienten ( $d\epsilon/dx$ ) sind zu vermeiden!**

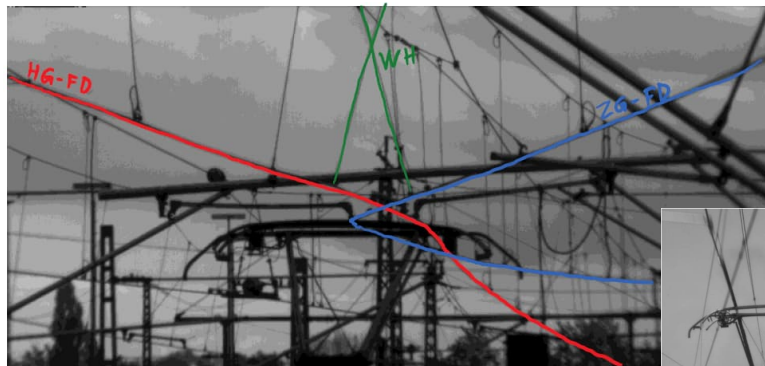
Quelle: Fachzeitschrift elektrische Bahnen, Heft 2-3/2019, FD-Verschleiß auf HGV-Strecken

# Kann die Bespannung Probleme auflaufender Zweiggleis-fahrdrähte an einzelnen Stromabnehmerausführungen mildern?

**Verschleiß des ZG-Fahrdrhtes im Bereich Wechselhänger**  
(Weichen der Re 200, Re 200 mod)



**Hochgeschwindigkeitsaufnahmen zur Ursachenermittlung**



**Vermutung:** Windleitblechhalter ragt in nicht kontinuierliches Stromabnehmerprofil ein



Quelle: DB AG

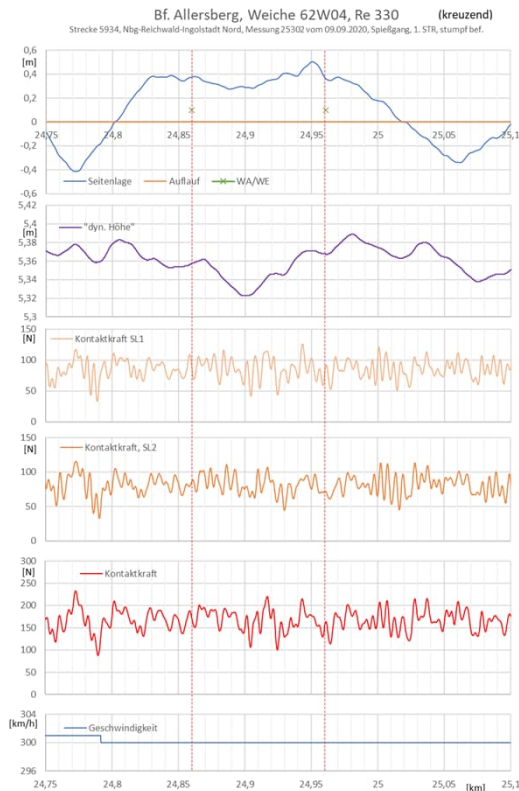


**Zwischenlösung:** Änderung der Regulierung des Wechselhängers

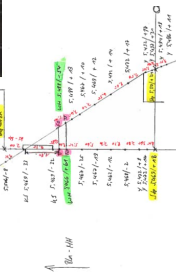
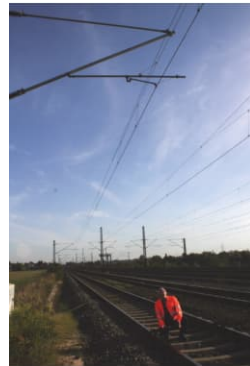
**Endlösung:** Modifikation des Stromabnehmers & Vorschlag zur Anpassung der EN 50367

# Was unterstützt die Instandhalter bei der Suche von Störstellen bei der Kontaktkraftmessung?

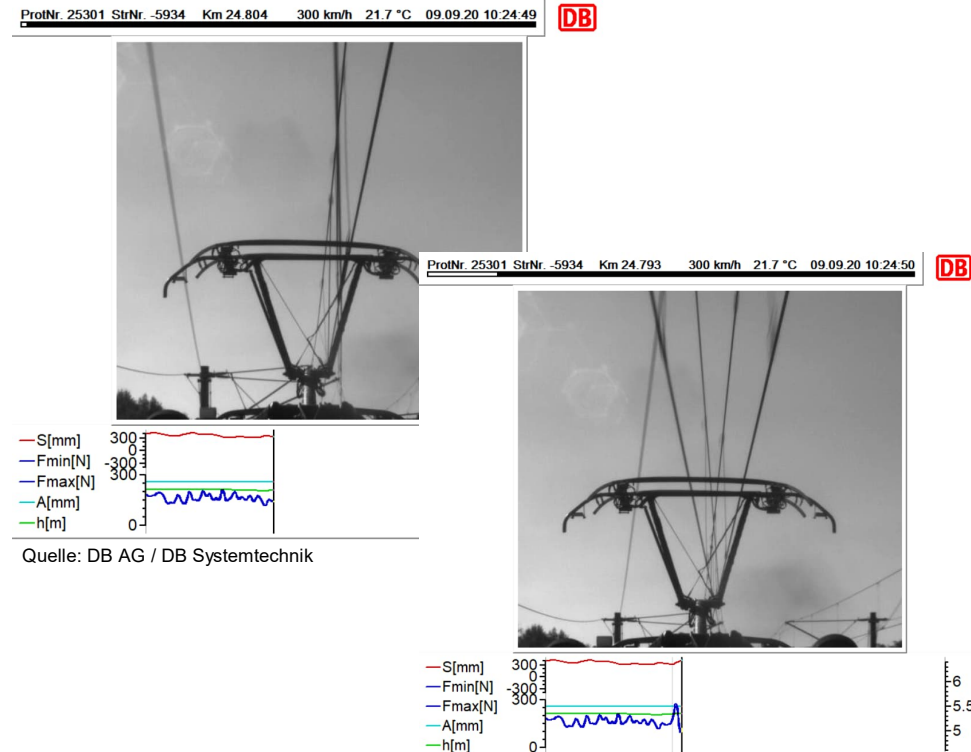
1.) Kontaktkraftmessungen – aber skaliert und mit Angabe von Stützstellen



2.) Handaufmessungen

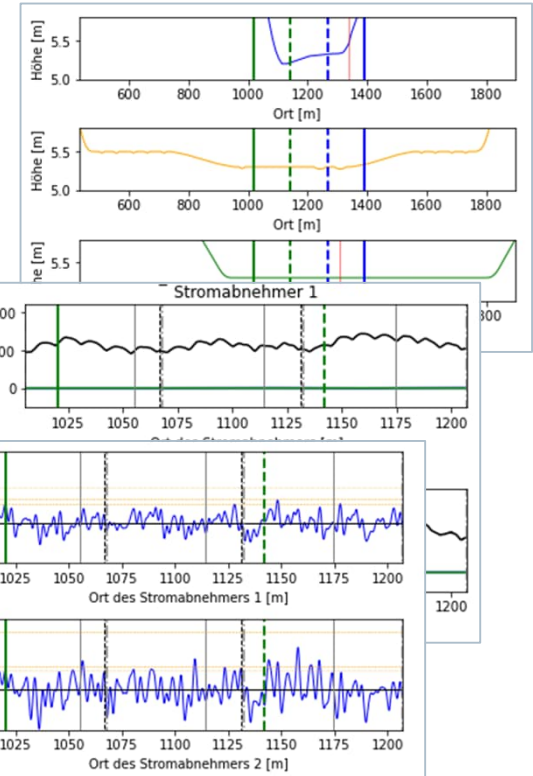
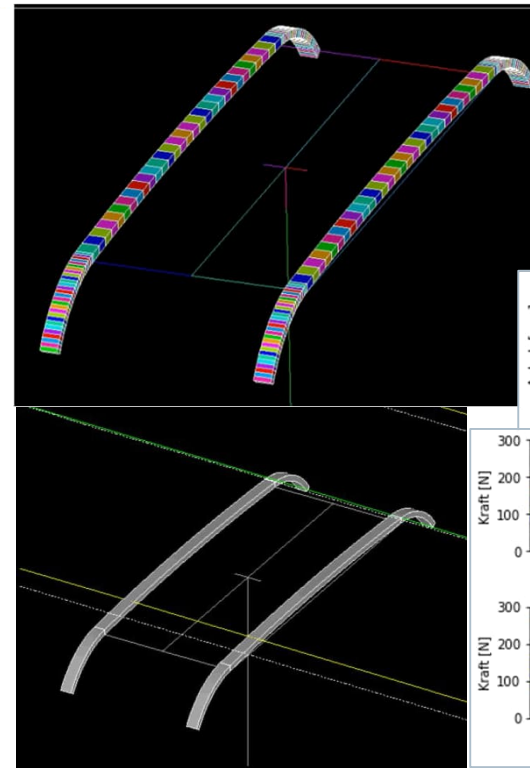
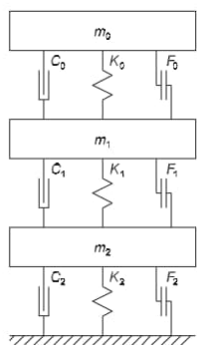
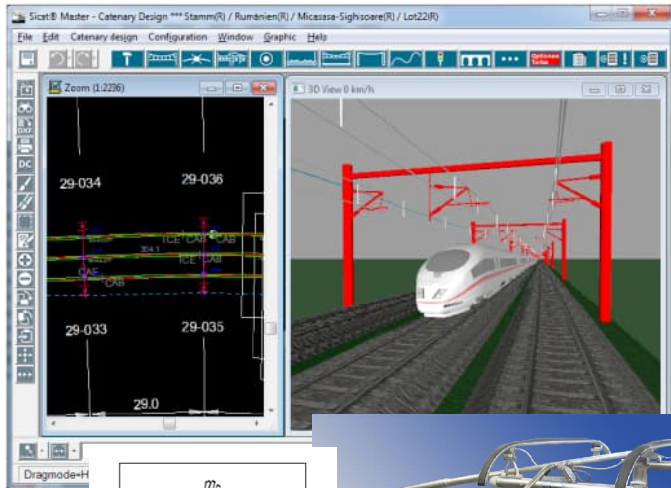


3.) Videos der Messzüge (mit unterlagerten Messwerten)



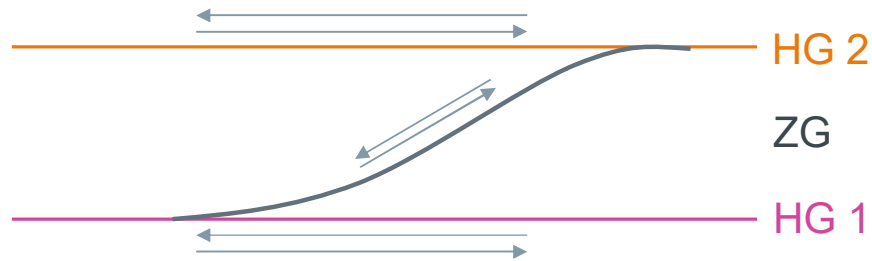


# »Aber woher können all die notwendigen Empfehlungen für die Konstruktion, Planung und Instandhaltung von Weichenbespannungen ohne jahrelange Erprobungen kommen?«



**Aus Studien mit Hilfe von FEM-Simulationen**

# Was lässt sich mit der FEM-Simulation des Zusammenwirkens Oberleitung-Stromabnehmer untersuchen?



1 verschiedene Gleislagen / Weichen-anordnungen / Weichengeometrien sowie Befahrgeschwindigkeiten und -richtungen in Haupt- und Zweiggleisen

2 Bespannungsoptionen (kreuzend, tangential mit / ohne Berührung des ZG-Fahrdrahtes)

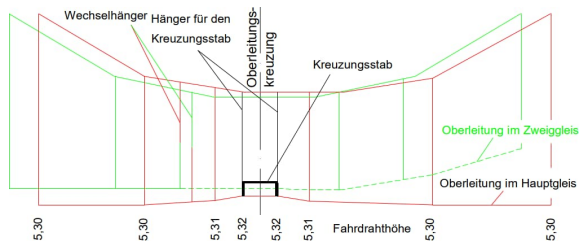
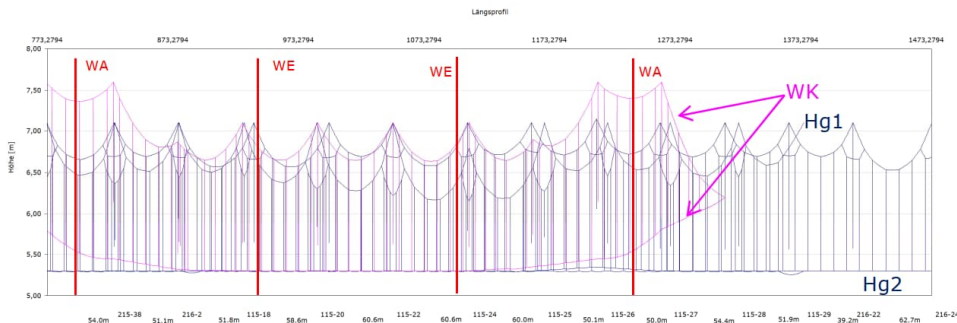
3 Kombinationen von Oberleitungsbauarten in Haupt- und Zweiggleisen

4 Auflauf von Fahrdrähten auf den/die Stromabnehmer und damit die Wirksamkeit von Vorgaben (z.B. Wechselhänger und dessen Lage)

5 Effekte von Bauteilen, z.B. dem Kreuzungsstab, auf die Befahrqualität

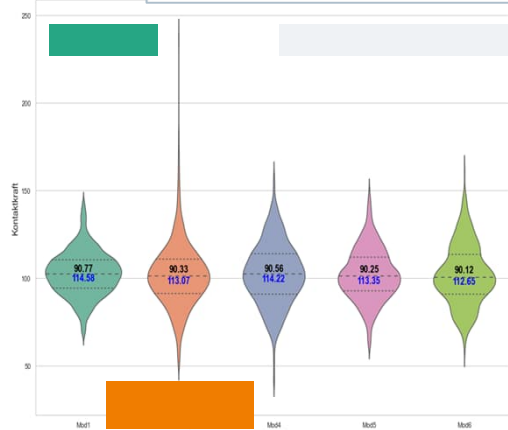
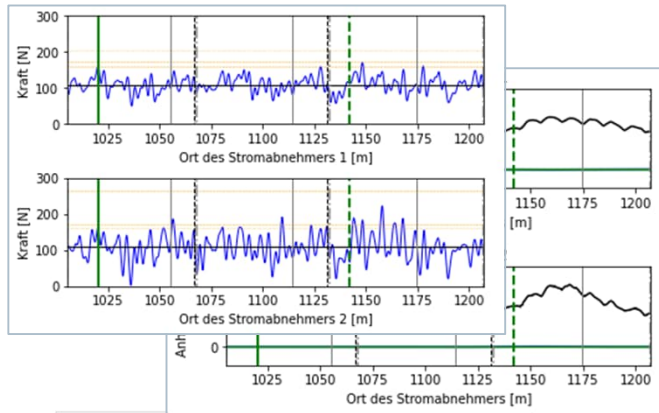
6 Regulierungs- und Instandhaltungsempfehlungen

7 Qualität der Stromabnahme mit Hilfe von Kontaktkräften, Anhuben, Elastizitäten und Kontaktpunkthöhen

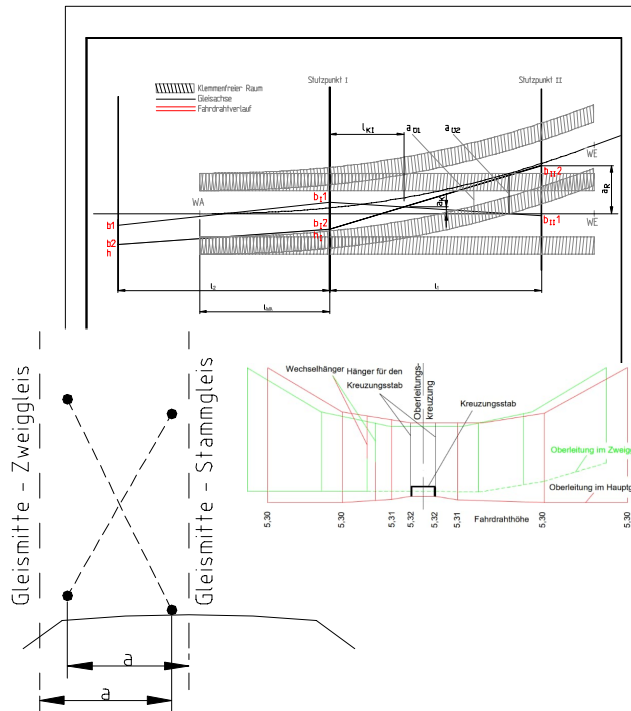


# Was sind Ergebnisse der FEM-Simulationen des Zusammenwirkens Oberleitung-Stromabnehmer?

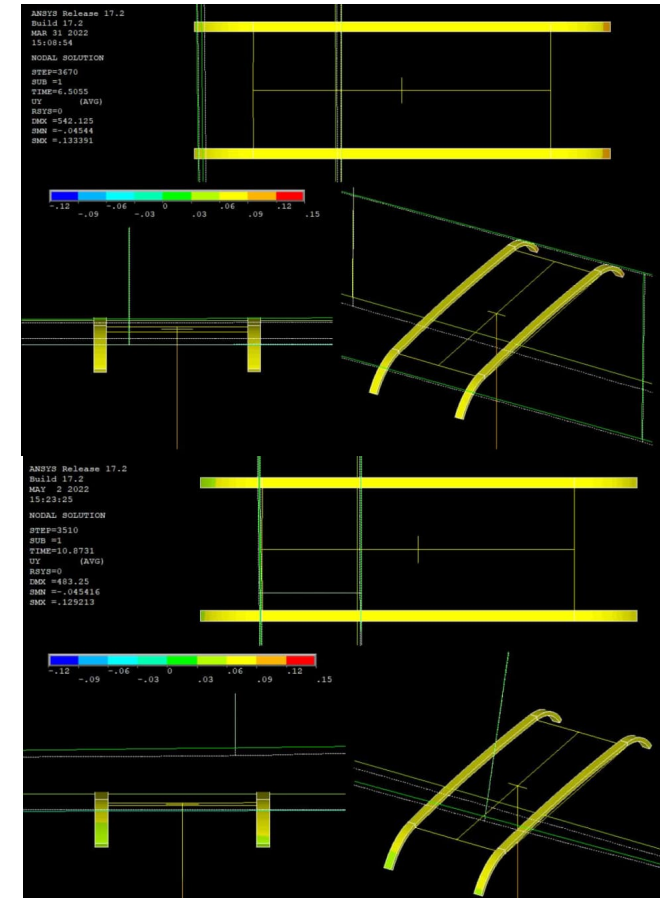
## 1.) Kontaktkraftsimulationen und -vergleiche



## 2.) Indirekt: Ableitung von Bespannungsempfehlungen und Anpassung von Richtlinien



## 3.) Videos zur Auflaufanalyse





» Präzise **Vorgaben** und **Toleranzen** für Bespannungsoptionen von Weichen sichern die Funktion bei minimalem Aufwand für Errichtung und Instandhaltung und langer Lebensdauer. «

» **Probleme** an bestehenden Weichenbespannungen gilt es vor Wechsel zu neuen Bespannungsoptionen gründlich zu untersuchen, um Maßnahmen für Bestand/Neubau festzulegen. «

» **Analysewerkzeuge** in Bestandsanlagen sind beispielsweise Hochgeschwindigkeitskameras, Messtechnik der Fahrdrahlage, des Fahrdrahtverschleißes sowie der Kontaktkraft und Simulationen. «

» **Bespannungsoptionen** sollten mit Hilfe von **FEM-Simulationen** im Rahmen der Erstellung der Anlagenauslegung und zugehöriger Zeichnungen und Richtlinien validiert werden. «

» Die zu untersuchenden **Bespannungsoptionen** sollten die **Varianz** in der Realität auftretenden **Einflussfaktoren** wie Überlappungen, Festpunkte, Gleislage... im Umfeld der Weichen abbilden. «

# Analyse und Simulation von Weichenbespannungen in Oberleitungen

**SIEMENS**



**Dr. Andre Dölling**

OCL Principal Key Expert, Consultant and Trainer  
SMO RI EL CoC COL

Mozartstrasse 33 b  
91052 Erlangen

Mobile: +49 152 09026336

E-mail: [andre.doelling@siemens.com](mailto:andre.doelling@siemens.com)

Die größte Energie,  
die uns antreibt neue Wunder zu entdecken,  
ist immer die Neugier.

**[siemens.de/rail-electrification](https://www.siemens.de/rail-electrification)**