

# RAILplus P3 LO 1.4.2 Vorstellung Ergebnisse Simulation

DB Systemtechnik GmbH, VQ.TVP 25, VQ.TVP 22



# Nicht durch den Fahrkantenverschleiß verursachte Erweiterung der Spurweite



# SPURERWEITERUNG

## Übersicht

### Reversible Spurerweiterung:

- Entsteht durch elastische Verformung der Schienenbefestigung und des Schotterbetts durch:
  - Querkräfte (z.B. enge Bögen, hohe Geschw.)
  - Temperaturänderungen
  - Elastizität unterhalb der Schiene
- Nach Entlastung geht das Gleis in die ursprüngliche Spurweite zurück

### Irreversible Spurerweiterung:

- Belastung so groß oder so häufig, dass elastische Verformung in plastische Verformung übergeht:
  - Schotterverformung
  - Schwellenverschleiß
  - Versagen der Schienenbefestigung
  - Wiederholte hohe Querkräfte (Ermüdung)
  - Temperatur - Feuchtigkeit

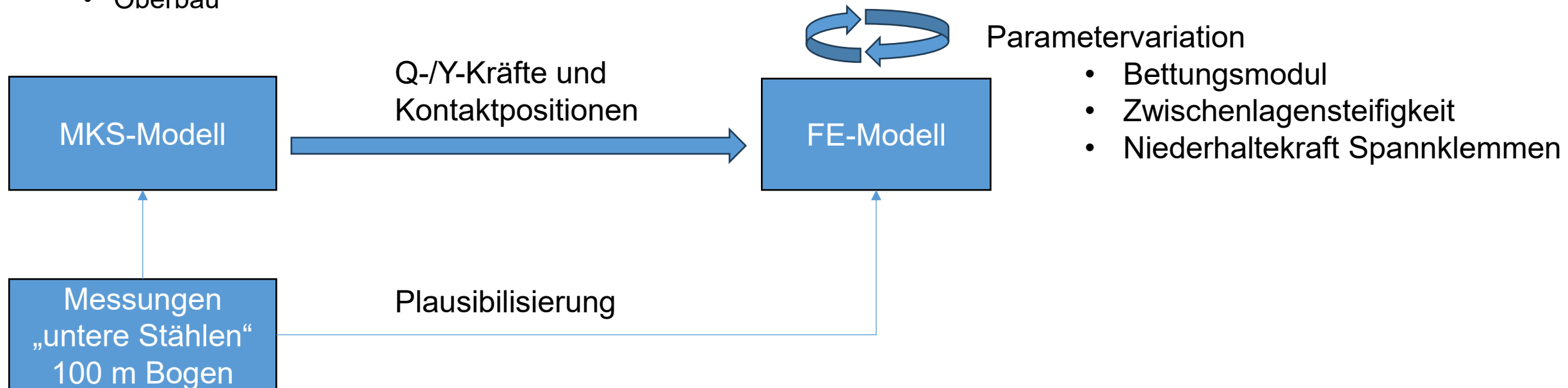
➔ Reversible Spurerweiterung wird irreversible, wenn die Beanspruchungen den Gleisaufbau so stark verändern, dass plastische Verformungen entstehen

➔ FE-Modell betrachtet die reversible Spurerweiterung

# SPURERWEITERUNG

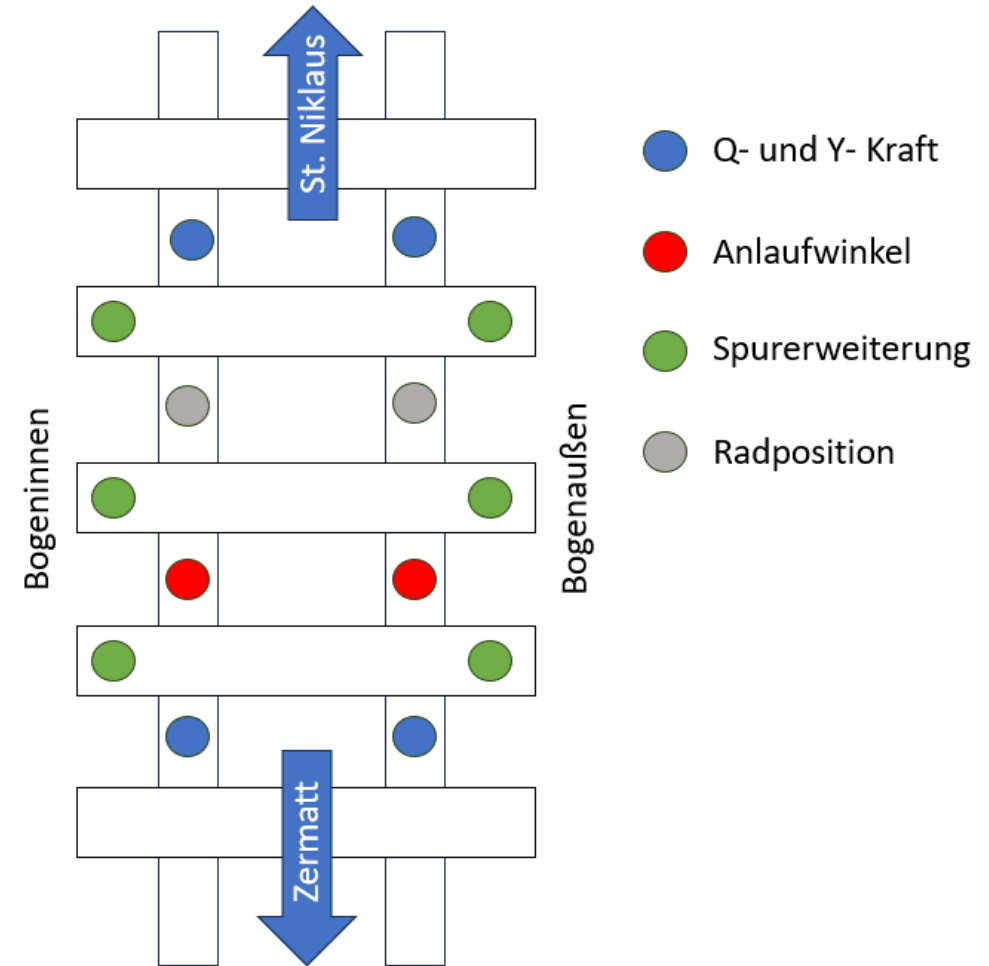
## Übersicht

- Fragestellung: Welche Phänomene beeinflussen die Spurweite neben dem Verschleiß?
  - Querkräfte
  - Schienenbefestigung
  - Oberbau



# MESSUNGEN AN DER FAHRBAHN

- Messungen an der Fahrbahn zur Validierung der Rechenmodelle
- Messung physikalisch relevanter Größen im Regelbetrieb
- Messstelle: Bogen „Untere Stählen“, Strecke 140, km 26,2

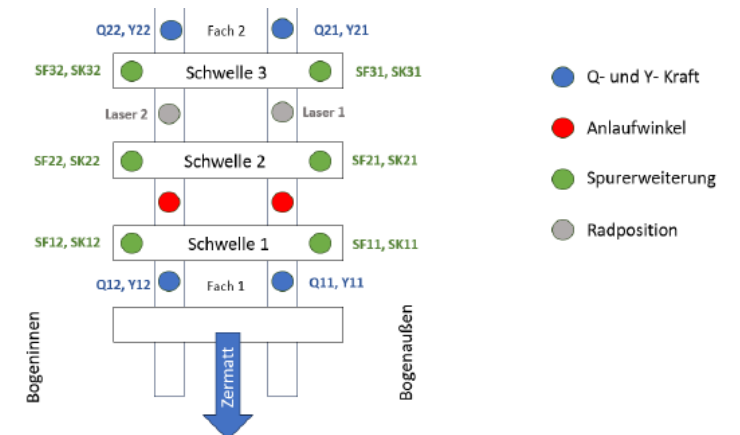


# SPURERWEITERUNG

## Übersicht

- Einsenkung SERSA-Messungen
- Messungen an der Fahrbahn
- Input aus MKS-Modell Komet (ABDeh 4/8):
  - Achsabstand: 2,54 m
  - Geschwindigkeit: 48,6 km/h
  - Gewicht pro Achse: 13,95 t
  - Schienenprofil: 46 E1 (Radsatznummerierung Richtung Zermatt)
  - Normprofile der Räder RTE 29500 Typ A / RAILplus\_v1A/28.0/27
  - Schienenneigung 1:20
  - Spurweite: 1000 mm (keine Spurerweiterung)
  - Bogenradius: 100 m
- Parameter FE-Modell:
  - Schiene: 46 E1
  - Schwelle: VöV-4 M2
  - Spannklemme: Sk14 (6-9 kN Niederhaltekraft)
  - Zwischenlage: ZW700 (700/85 kN/mm)
  - Bettungsmodul: Kies-Beton (0,15/0,35 N/mm<sup>3</sup>)
  - Schienenneigung 1:20
  - Spurweite: 1002,8 mm

Messbogen „Untere Stählen“, Strecke 140, km 26,2

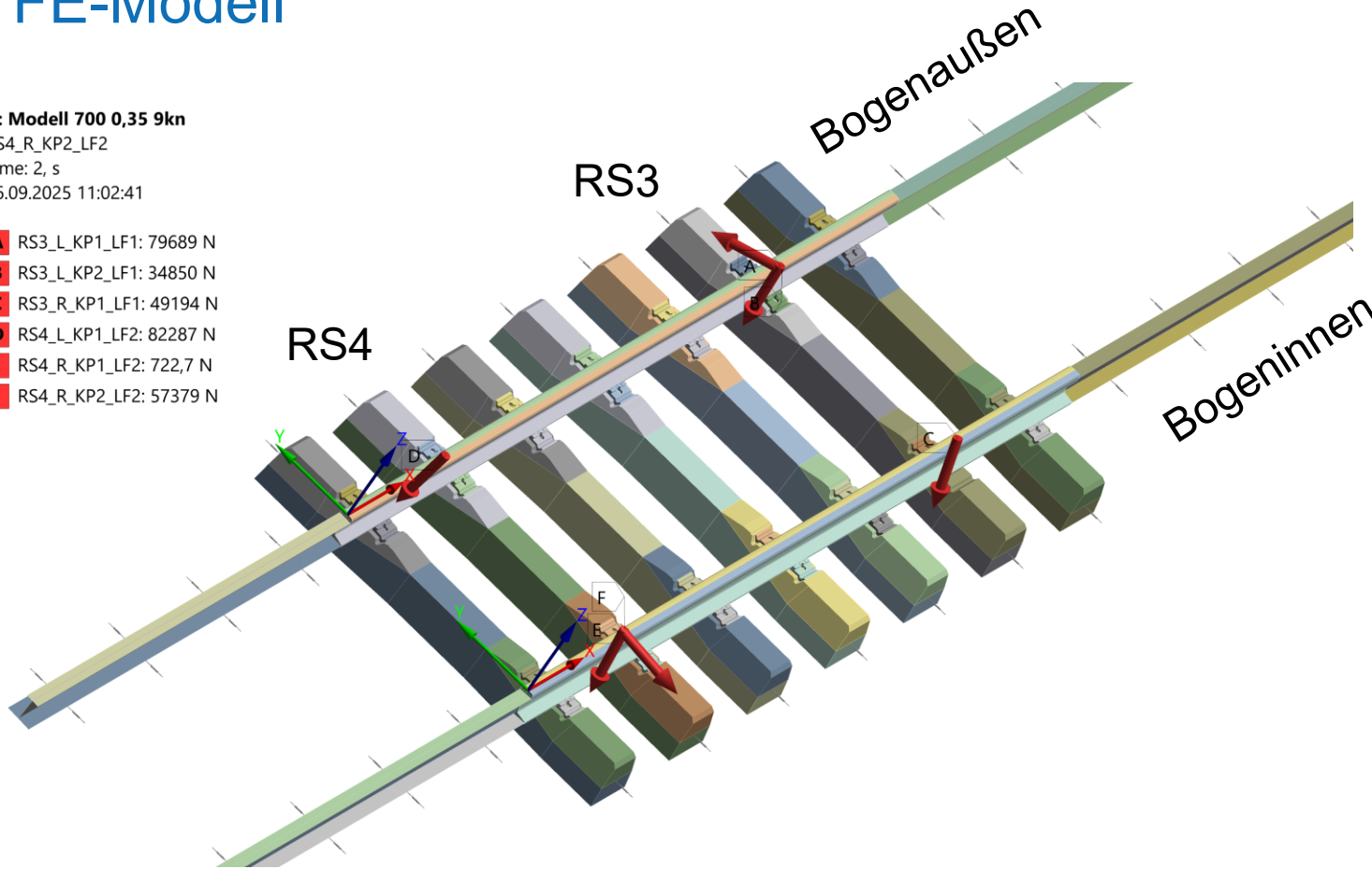


# SPURERWEITERUNG

## FE-Modell

U: Modell 700 0,35 9kn  
 RS4\_R\_KP2\_LF2  
 Time: 2, s  
 16.09.2025 11:02:41

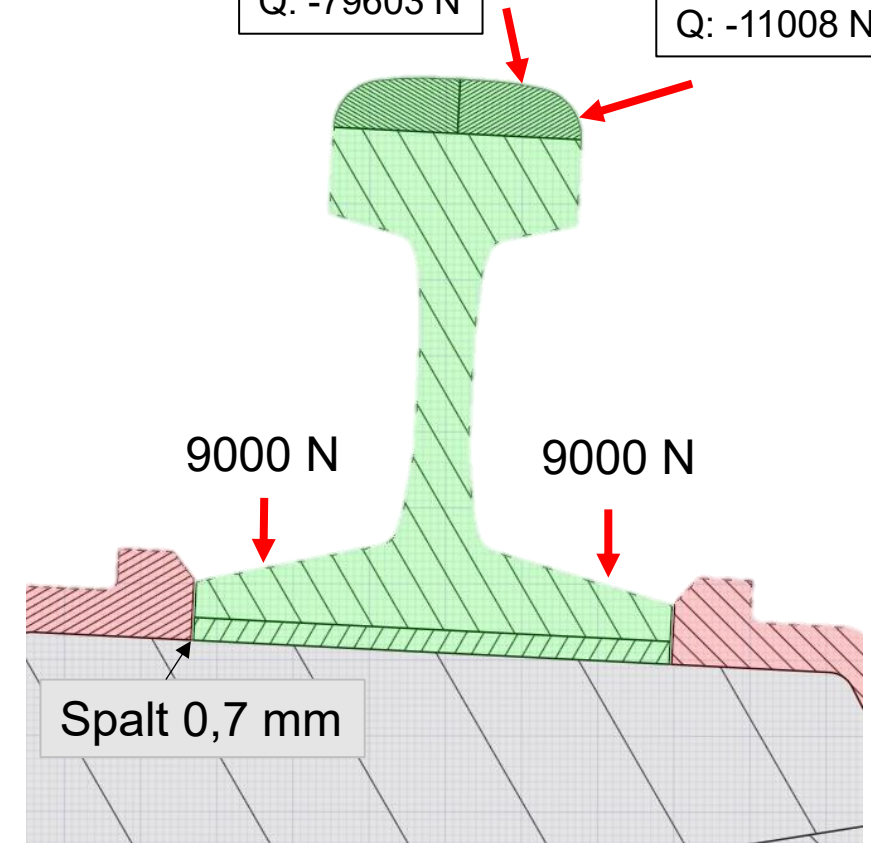
- A** RS3\_L\_KP1\_LF1: 79689 N
- B** RS3\_L\_KP2\_LF1: 34850 N
- C** RS3\_R\_KP1\_LF1: 49194 N
- D** RS4\_L\_KP1\_LF2: 82287 N
- E** RS4\_R\_KP1\_LF2: 722,7 N
- F** RS4\_R\_KP2\_LF2: 57379 N



RS3 Bogenaußen

KP1  
 Y: 3710 N  
 Q: -79603 N

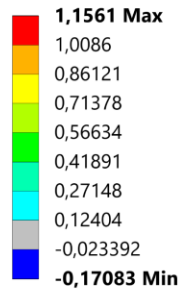
KP2  
 Y: -33066 N  
 Q: -11008 N



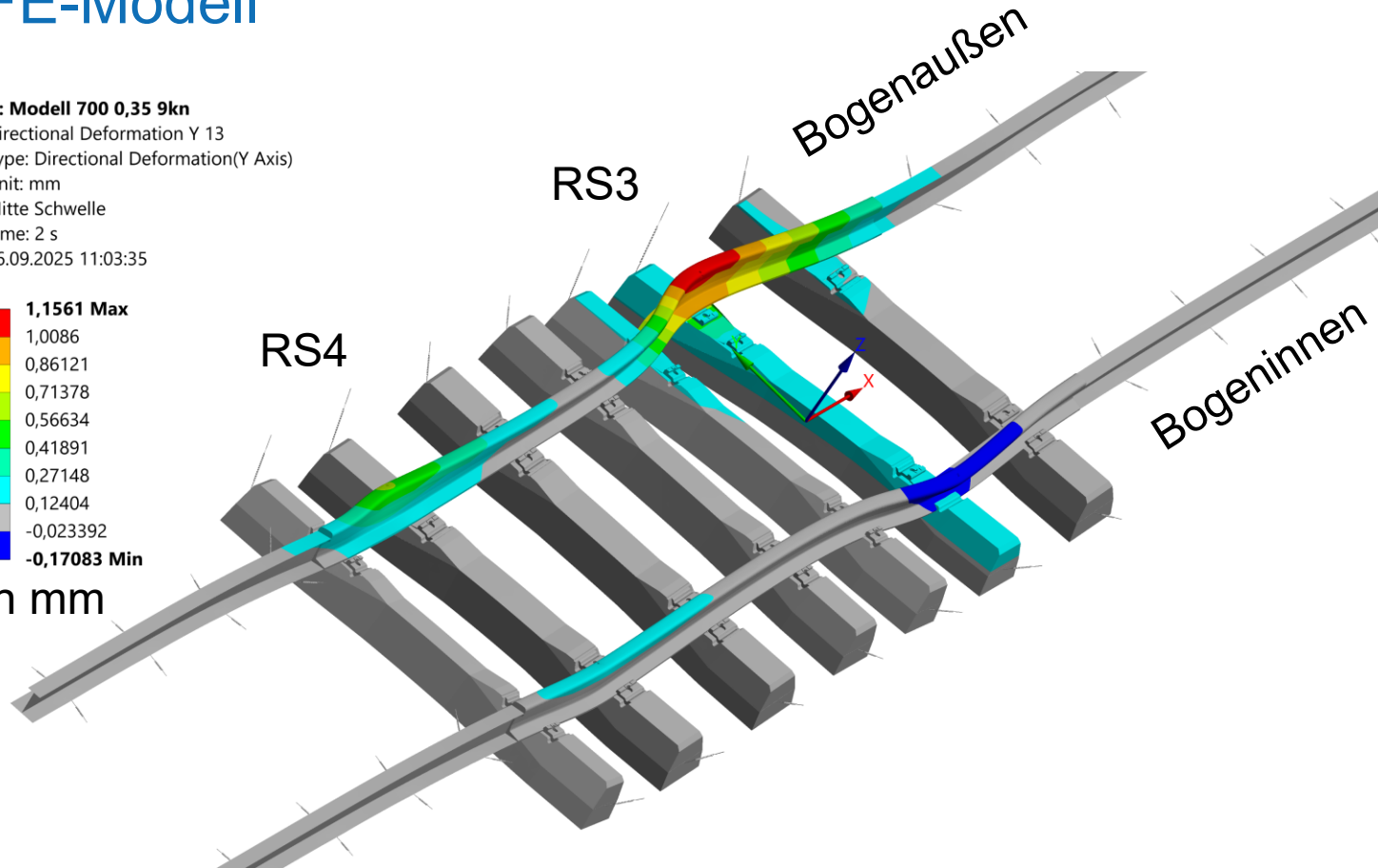
# SPURERWEITERUNG

## FE-Modell

**U: Modell 700 0,35 9kn**  
 Directional Deformation Y 13  
 Type: Directional Deformation(Y Axis)  
 Unit: mm  
 Mitte Schwelle  
 Time: 2 s  
 16.09.2025 11:03:35



in mm

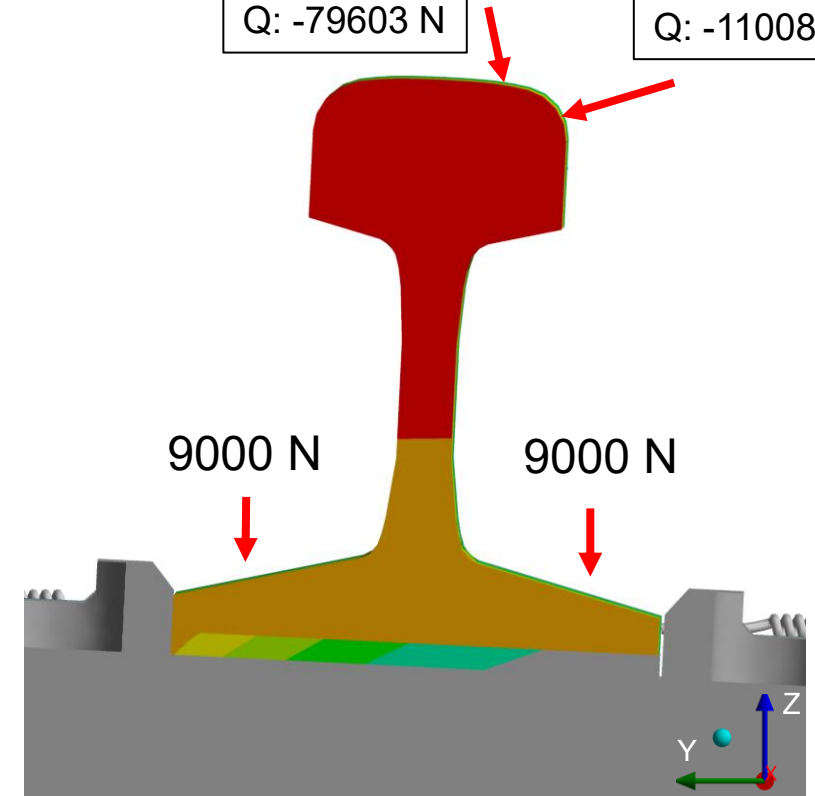


Überhöhte Darstellung der Verschiebung in y-Richtung

RS3 Bogenaußen  
Verschiebung in y-Richtung

KP1  
 Y: 3710 N  
 Q: -79603 N

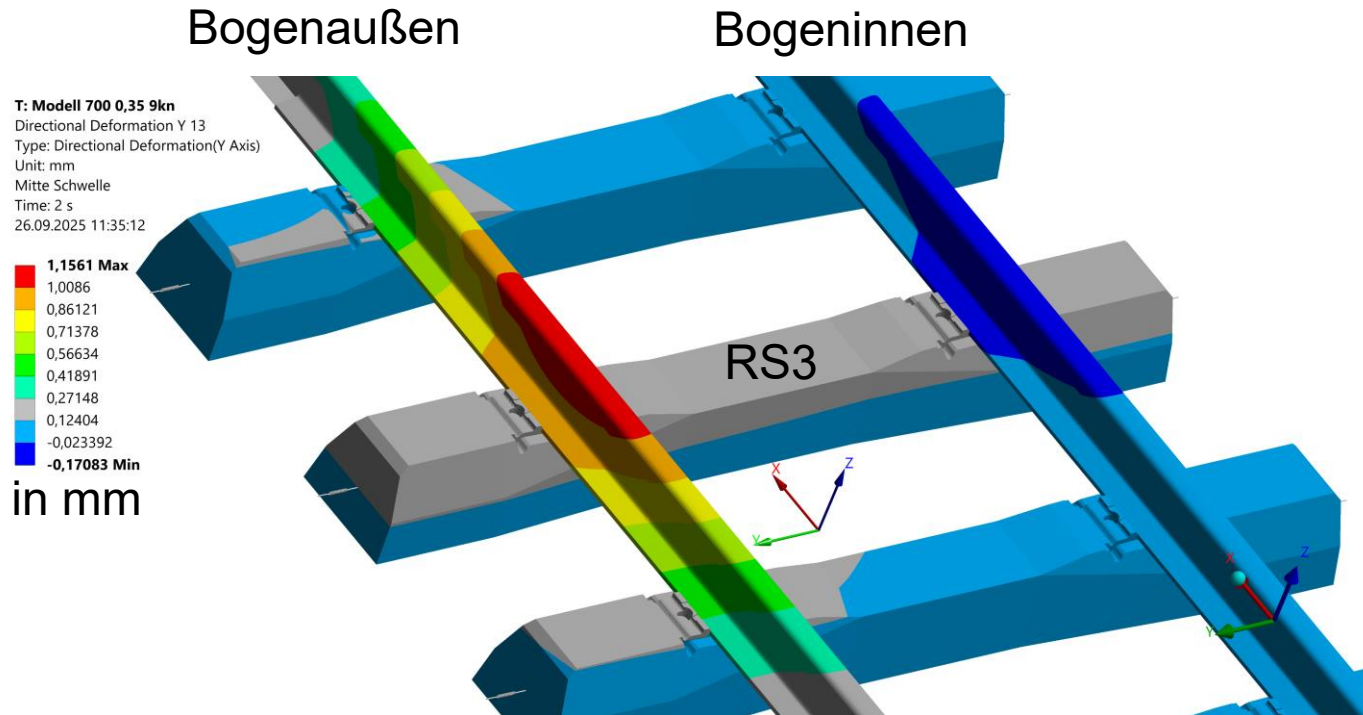
KP2  
 Y: -33066 N  
 Q: -11008 N



Verschiebung in y-Richtung (Farbskala)

# SPURERWEITERUNG

## FE-Modell und Messung im Vergleich

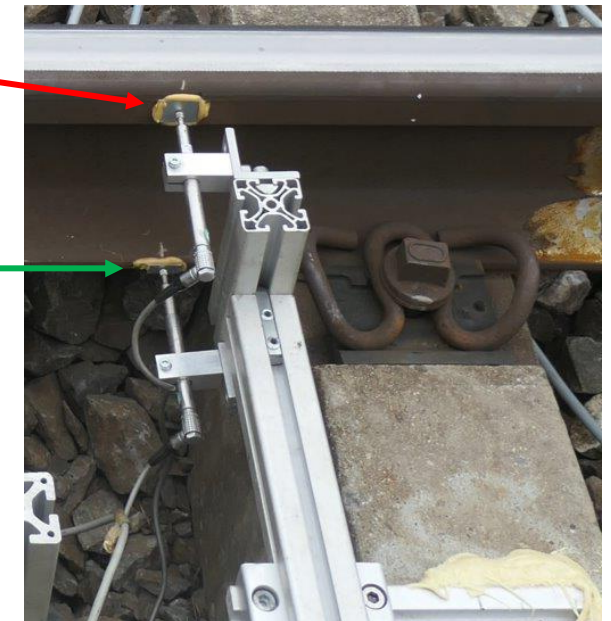


Verschiebung in y-Richtung

Messbogen „Untere Stählen“  
 Strecke 140, km 26,2

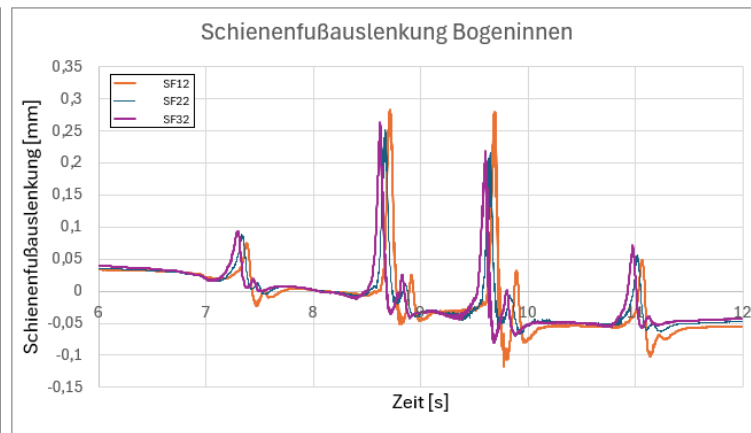
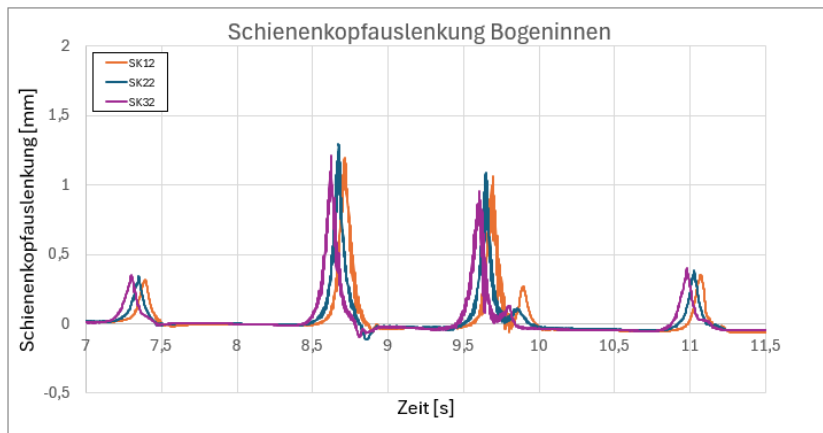
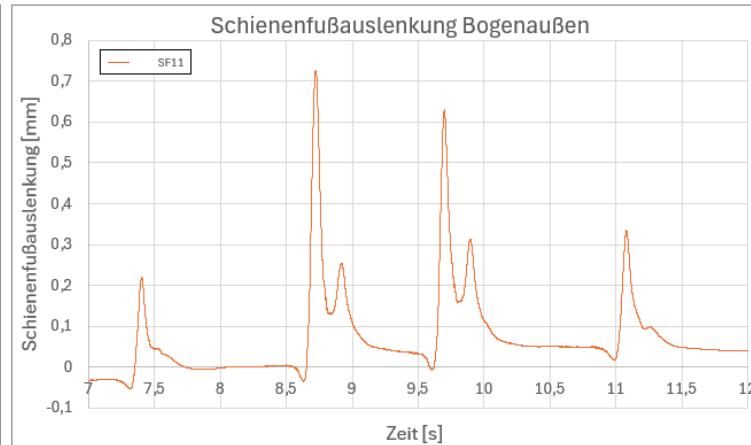
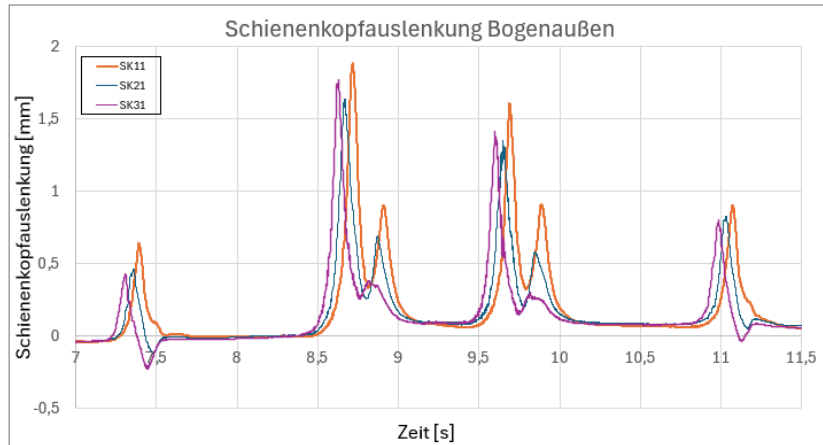
Schienenkopfauslenkung

Schienenfußauslenkung



# SPURERWEITERUNG

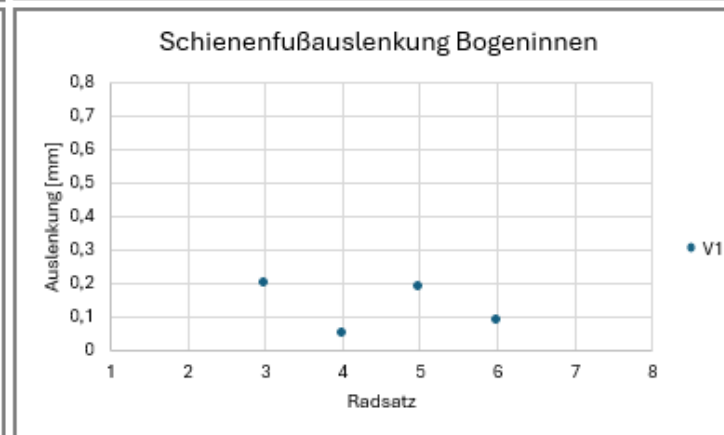
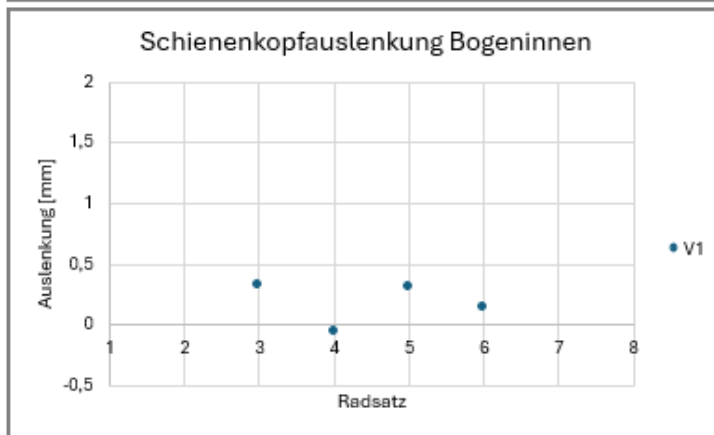
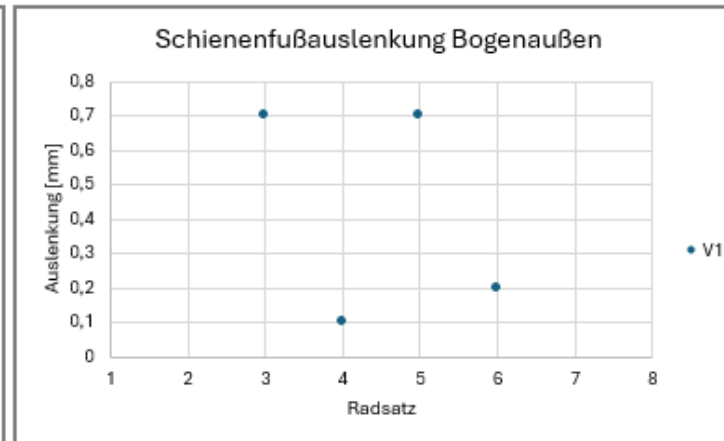
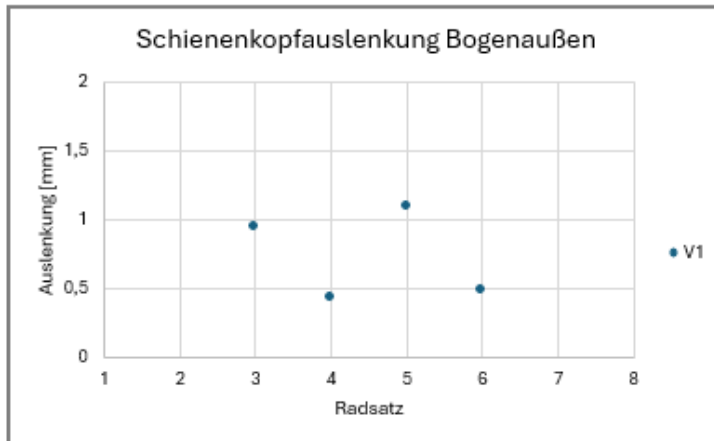
Messung 31 (11.09.2024) - Richtung Zermatt - 48,6 km/h



- Werte sind nicht gefiltert und vor Radsatz 3 genullt
- Insgesamt geringe Spurerweiterung
- Streuung bereits über 3 Schwellen → sensitiv
- Weitere Messungen zeigen ein größeres Streuband

# SPURERWEITERUNG

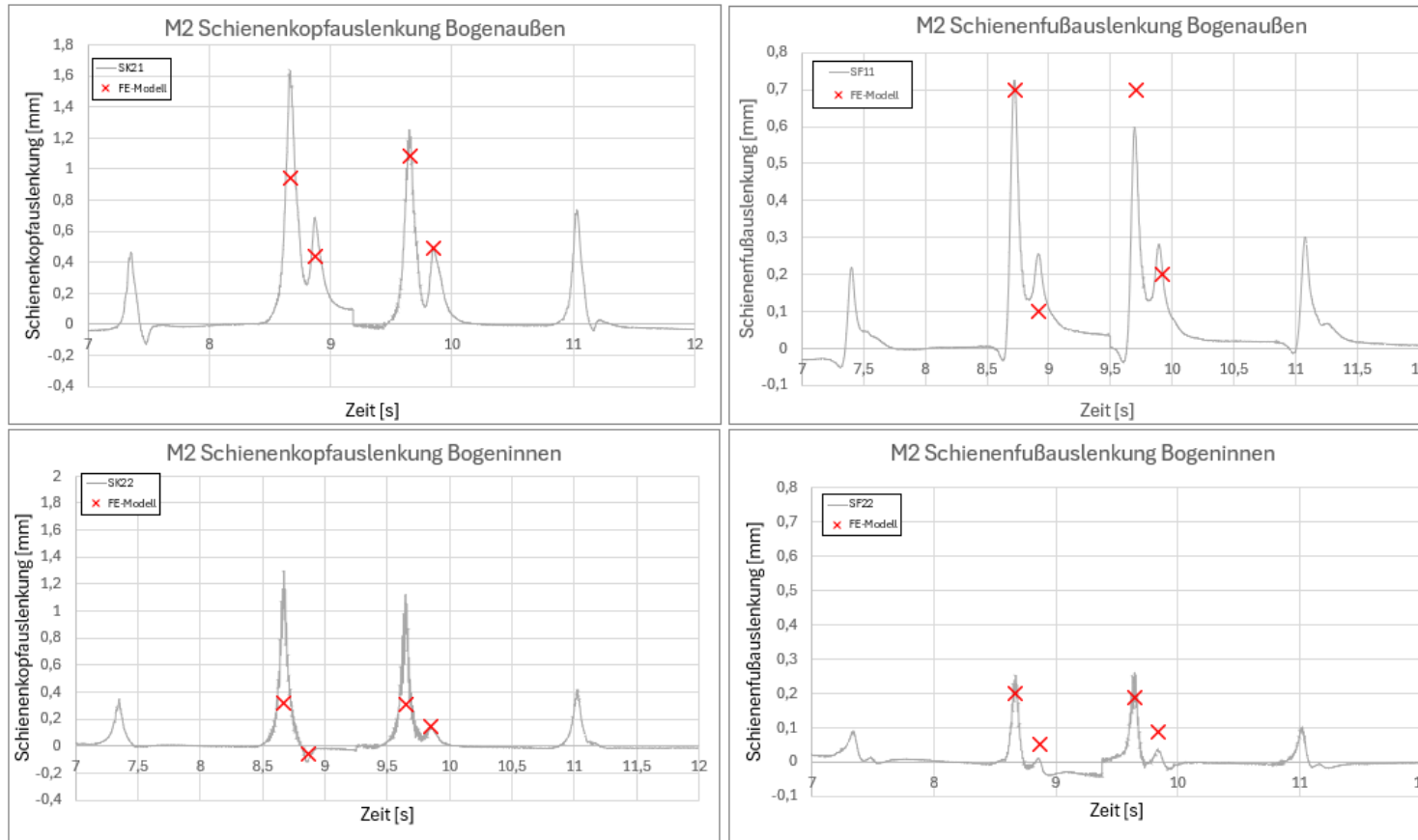
## FE-Modell Variante 1



	Zwischenlagensteifigkeit [kN/mm]	Bettungsmodul Untergrund [N/mm <sup>3</sup> ]	Niederhaltekraft SkI14 [kN]
<b>Variante 1</b>	700	0,35	9
<b>Variante 2</b>	700	0,15	9
<b>Variante 3</b>	700	0,35	6
<b>Variante 4</b>	700	0,15	6
<b>Variante 5</b>	85	0,35	9
<b>Variante 6</b>	85	0,15	9
<b>Variante 7</b>	85	0,35	6
<b>Variante 8</b>	85	0,15	6

# SPURERWEITERUNG

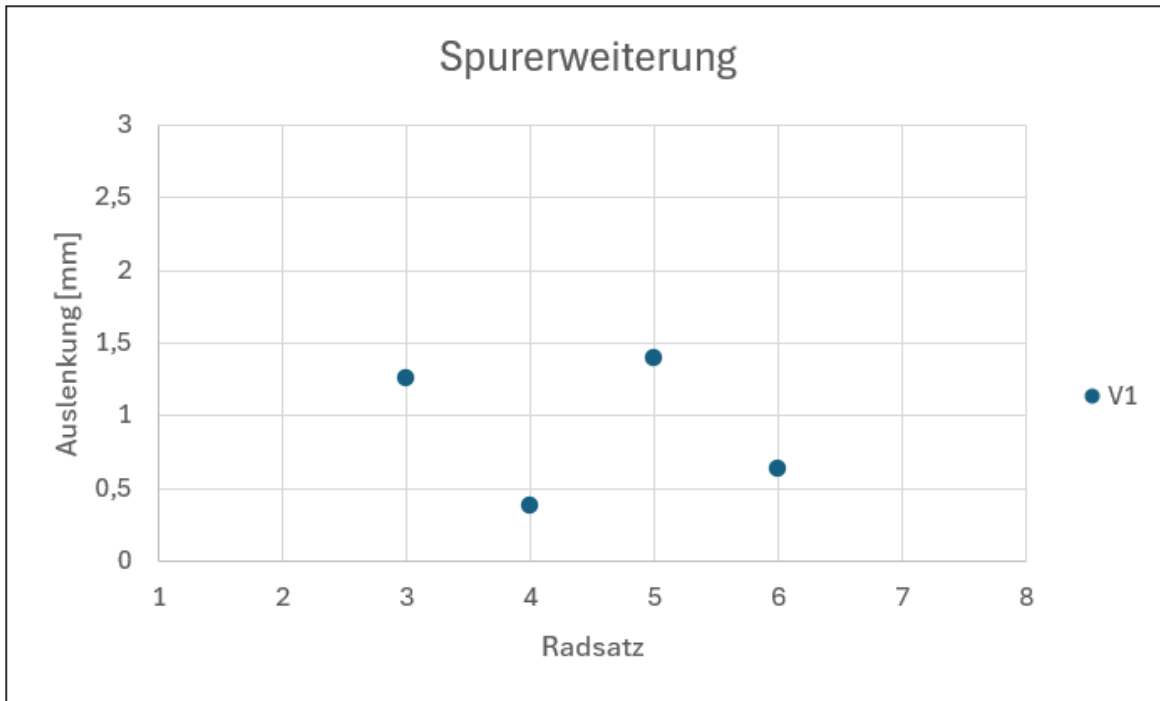
## Vergleich Messung – FE-Modell



- Messung 31 (11.09.2024) - 14:25 Uhr - Richtung Zermatt - 48,6 km/h
  - Modell und Messung unterliegen unterschiedlichen Randbedingungen
- Qualitativ vergleichbar

# SPURERWEITERUNG

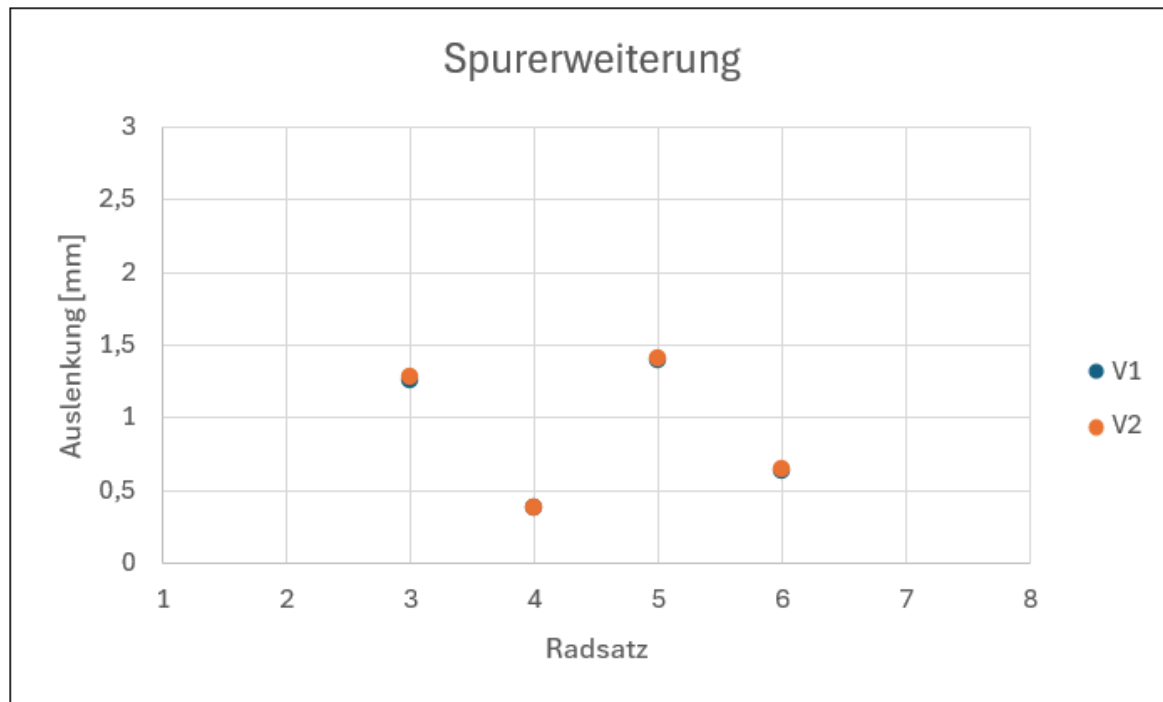
## FE-Modell Parametervariation



	Zwischenlagensteifigkeit [kN/mm]	Bettungsmodul Untergrund [N/mm <sup>3</sup> ]	Niederhalte kraft SkI14 [kN]
Variante 1	700	0,35	9

# SPURERWEITERUNG

## FE-Modell Parametervariation



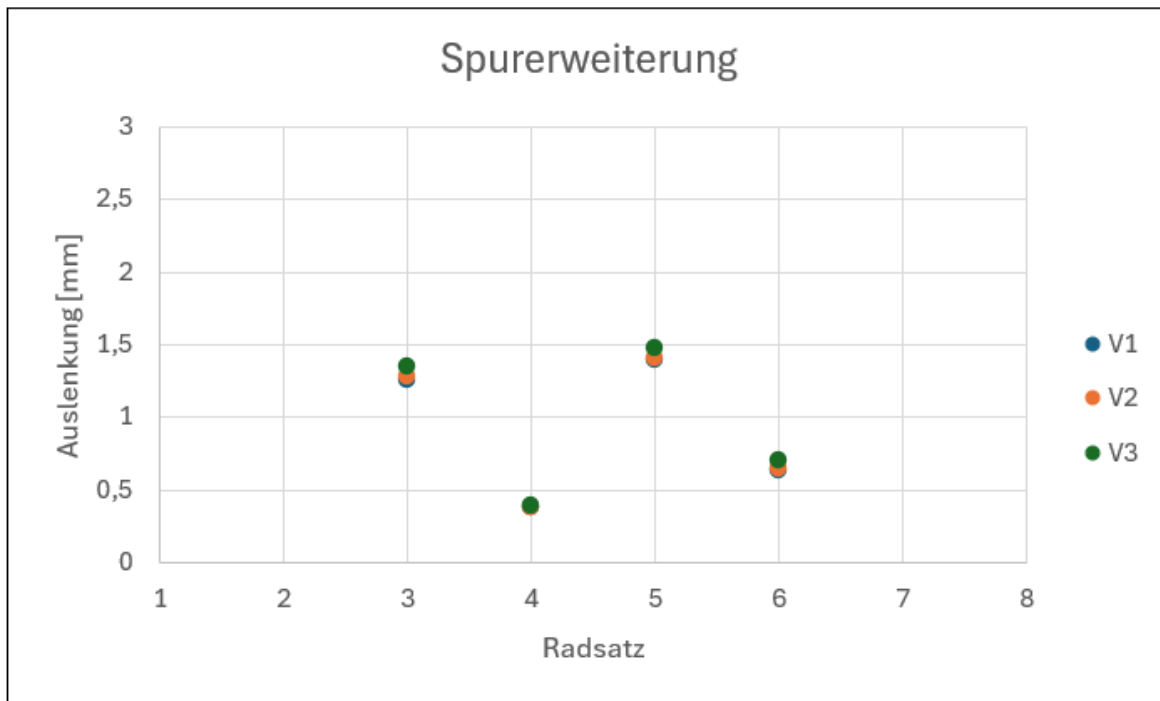
	Zwischenlagensteifigkeit [kN/mm]	Bettungsmodul Untergrund [N/mm <sup>3</sup> ]	Niederhalterkraft SkI14 [kN]
<b>Variante 1</b>	700	0,35	9
<b>Variante 2</b>	700	0,15	9

Bettungsmodul reduziert



# SPURERWEITERUNG

## FE-Modell Parametervariation



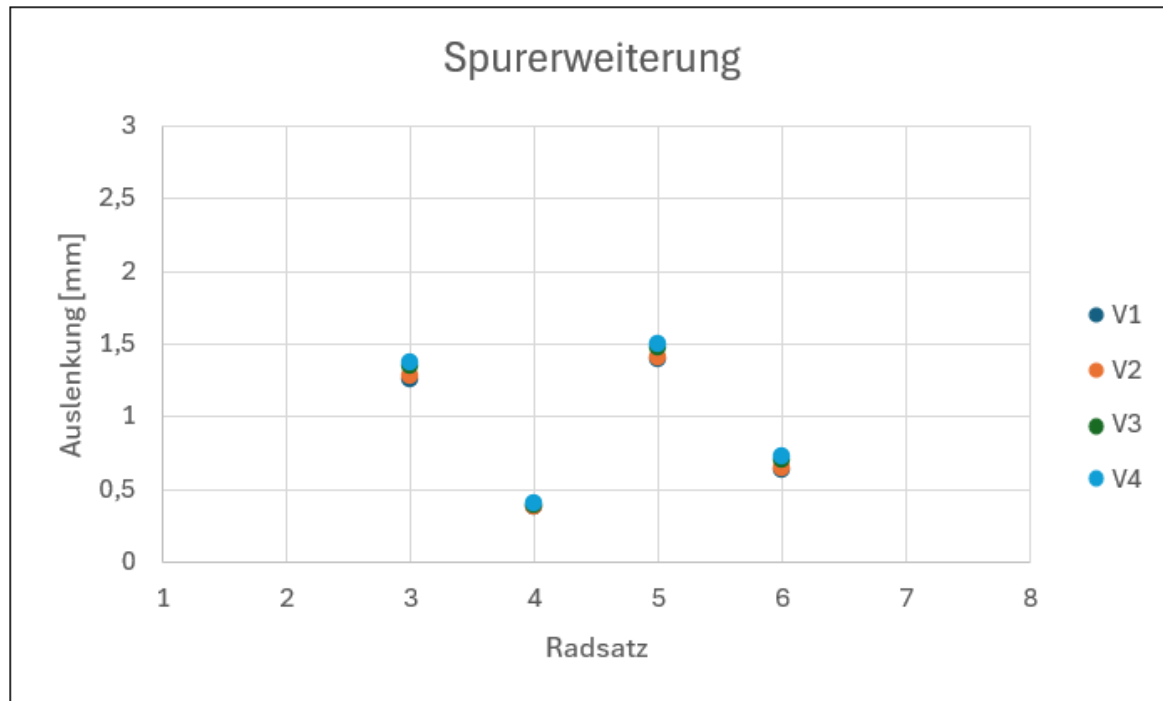
	Zwischenlagensteifigkeit [kN/mm]	Bettungsmodul Untergrund [N/mm <sup>3</sup> ]	Niederhalte kraft SkI14 [kN]
<b>Variante 1</b>	700	0,35	9
<b>Variante 2</b>	700	0,15	9
<b>Variante 3</b>	700	0,35	6

Niederhalte kraft reduziert

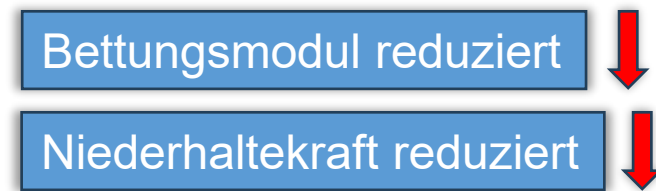


# SPURERWEITERUNG

## FE-Modell Parametervariation

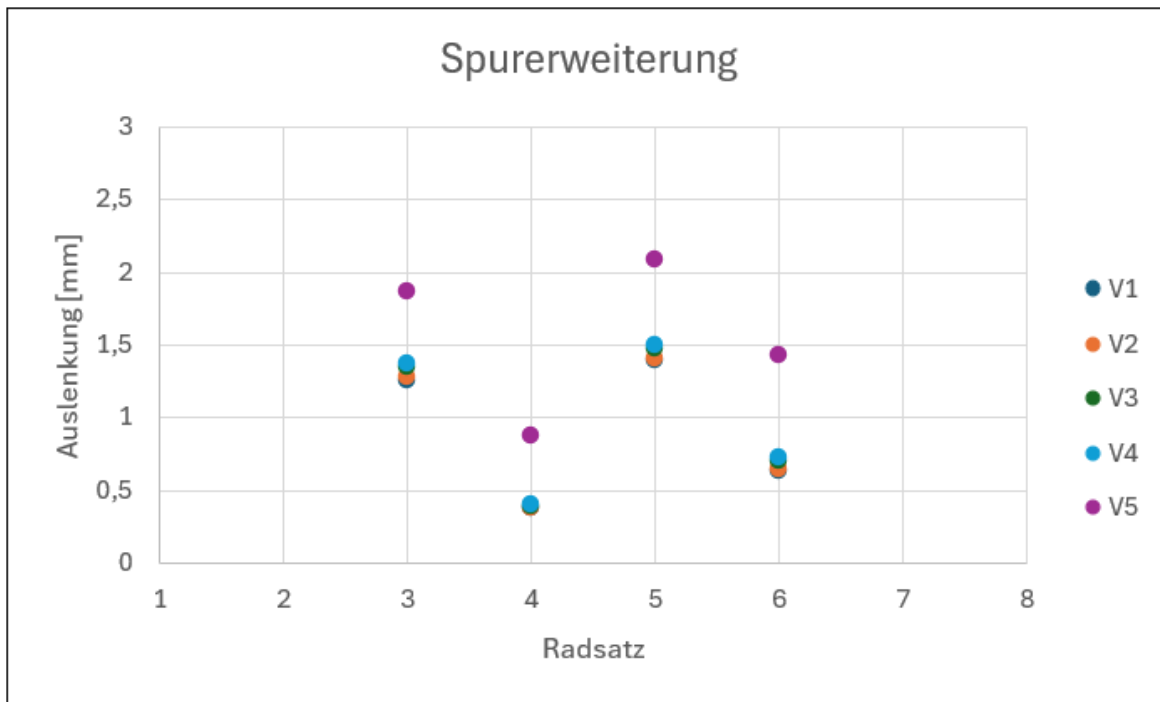


	Zwischenlagensteifigkeit [kN/mm]	Bettungsmodul Untergrund [N/mm <sup>3</sup> ]	Niederhalte kraft SkI14 [kN]
<b>Variante 1</b>	700	0,35	9
<b>Variante 2</b>	700	0,15	9
<b>Variante 3</b>	700	0,35	6
<b>Variante 4</b>	700	0,15	6



# SPURERWEITERUNG

## FE-Modell Parametervariation



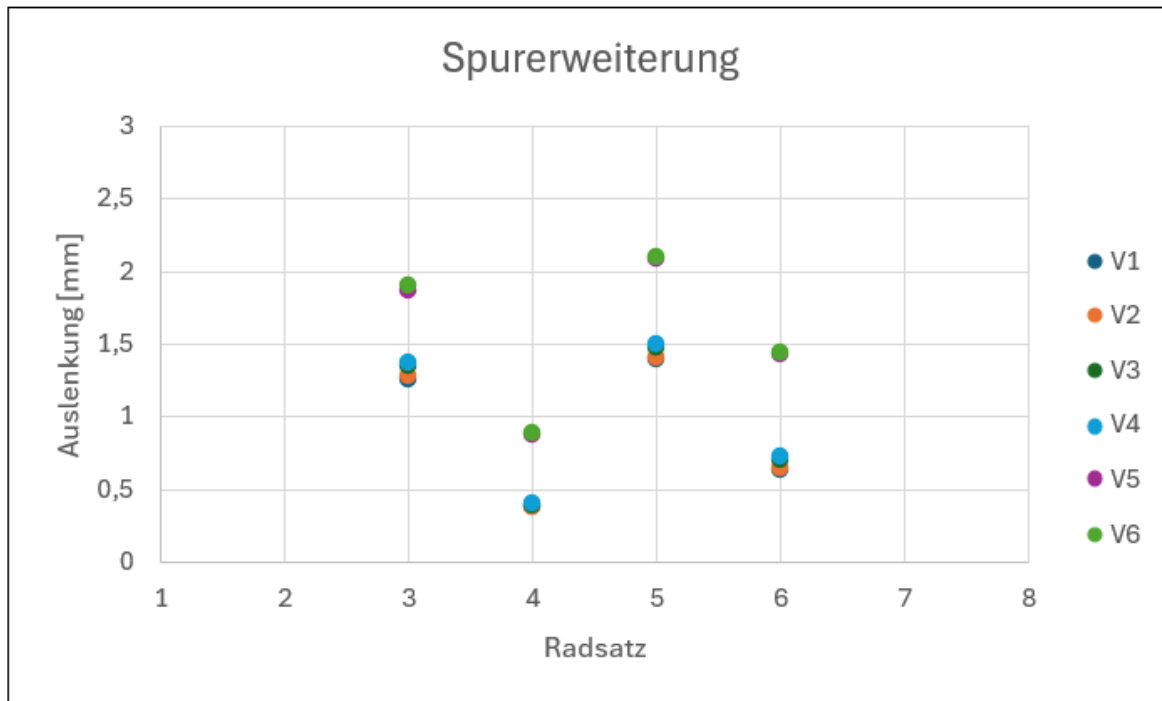
	Zwischenlagensteifigkeit [kN/mm]	Bettungsmodul Untergrund [N/mm <sup>3</sup> ]	Niederhaltekraft SkI14 [kN]
<b>Variante 1</b>	700	0,35	9
<b>Variante 2</b>	700	0,15	9
<b>Variante 3</b>	700	0,35	6
<b>Variante 4</b>	700	0,15	6
<b>Variante 5</b>	85	0,35	9

Zw.-steifigkeit reduziert

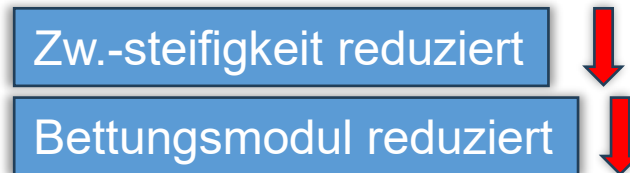


# SPURERWEITERUNG

## FE-Modell Parametervariation

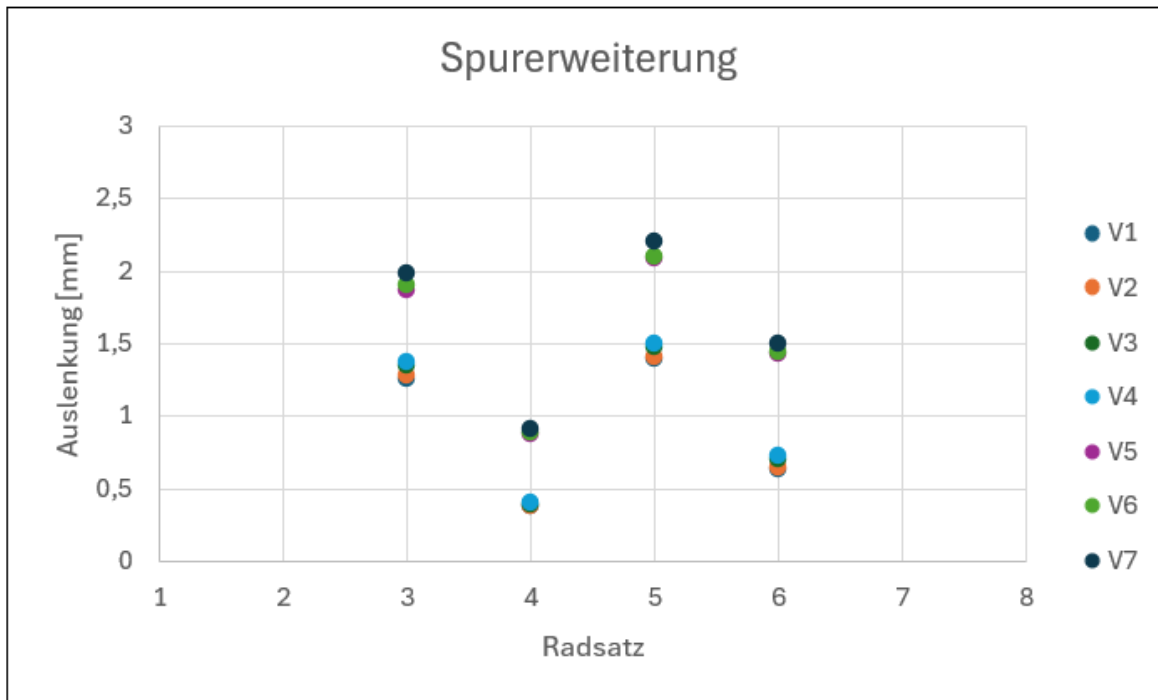


	Zwischenlagensteifigkeit [kN/mm]	Bettungsmodul Untergrund [N/mm <sup>3</sup> ]	Niederhaltekraft SkI14 [kN]
<b>Variante 1</b>	700	0,35	9
<b>Variante 2</b>	700	0,15	9
<b>Variante 3</b>	700	0,35	6
<b>Variante 4</b>	700	0,15	6
<b>Variante 5</b>	85	0,35	9
<b>Variante 6</b>	85	0,15	9

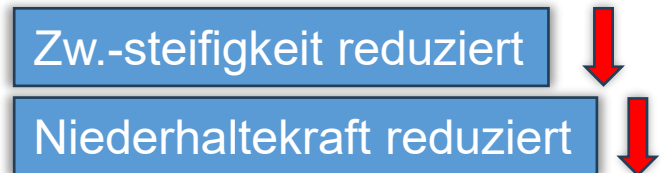


# SPURERWEITERUNG

## FE-Modell Parametervariation

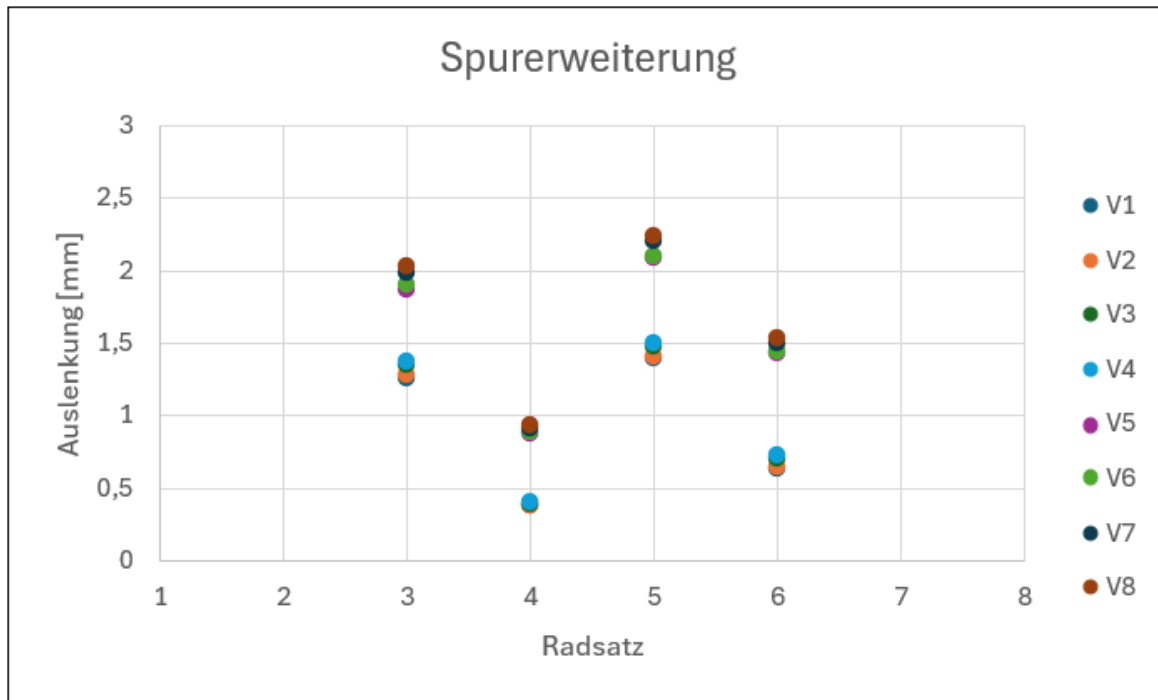


	Zwischenlagensteifigkeit [kN/mm]	Bettungsmodul Untergrund [N/mm <sup>3</sup> ]	Niederhalte kraft SkI14 [kN]
<b>Variante 1</b>	700	0,35	9
<b>Variante 2</b>	700	0,15	9
<b>Variante 3</b>	700	0,35	6
<b>Variante 4</b>	700	0,15	6
<b>Variante 5</b>	85	0,35	9
<b>Variante 6</b>	85	0,15	9
<b>Variante 7</b>	85	0,35	6



# SPURERWEITERUNG

## FE-Modell Parametervariation

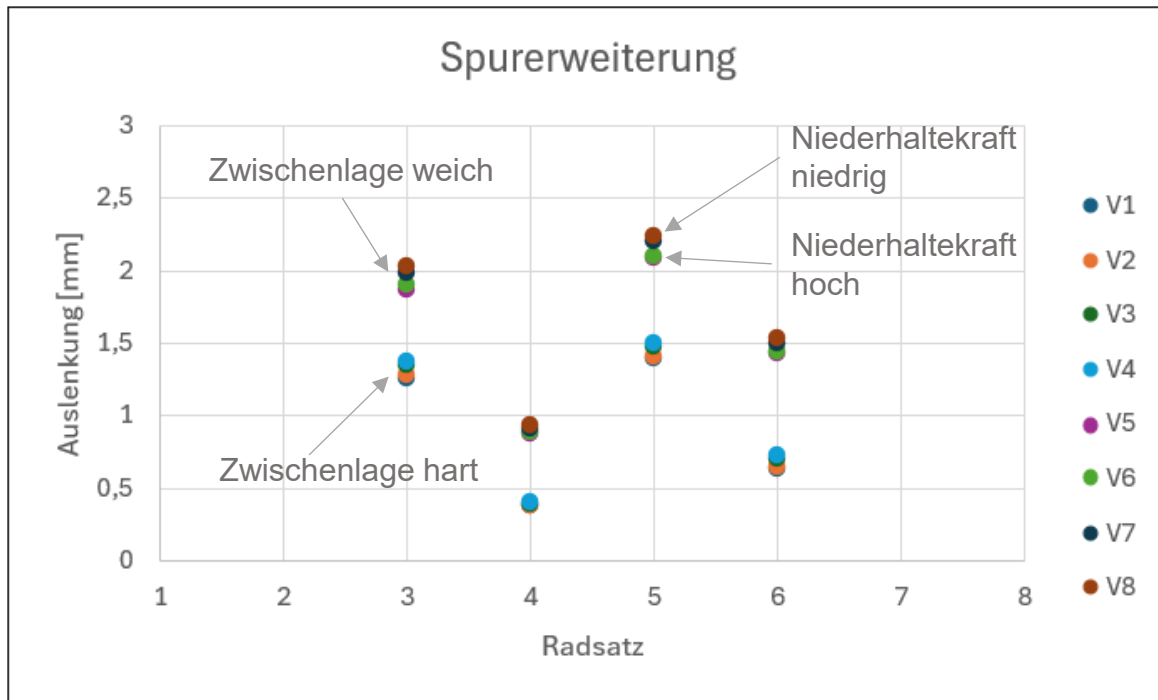


	Zwischenlagensteifigkeit [kN/mm]	Bettungsmodul Untergrund [N/mm <sup>3</sup> ]	Niederhalte kraft SkI14 [kN]
<b>Variante 1</b>	700	0,35	9
<b>Variante 2</b>	700	0,15	9
<b>Variante 3</b>	700	0,35	6
<b>Variante 4</b>	700	0,15	6
<b>Variante 5</b>	85	0,35	9
<b>Variante 6</b>	85	0,15	9
<b>Variante 7</b>	85	0,35	6
<b>Variante 8</b>	85	0,15	6



# SPURERWEITERUNG

## FE-Modell Parametervariation



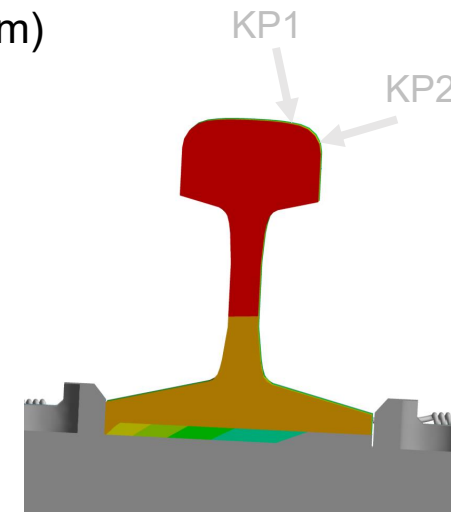
	Zwischenlagensteifigkeit [kN/mm]	Bettungsmodul Untergrund [N/mm <sup>3</sup> ]	Niederhaltekraft SkI14 [kN]
<b>Variante 1</b>	700	0,35	9
<b>Variante 2</b>	700	0,15	9
<b>Variante 3</b>	700	0,35	6
<b>Variante 4</b>	700	0,15	6
<b>Variante 5</b>	85	0,35	9
<b>Variante 6</b>	85	0,15	9
<b>Variante 7</b>	85	0,35	6
<b>Variante 8</b>	85	0,15	6

- Insgesamt geringe reversible Spurerweiterung (<2,3 mm)
- Untergrundbeschaffenheit zeigt nur eine minimale Veränderung (<0,04 mm)
- Reduzierte Niederhaltekraft ergibt insbesondere Bogeninnen RS3/5 und Bogenaußen RS6 eine größere Schienenfußauslenkung (<0,12 mm)
- Zwischenlagensteifigkeit hat den größten Einflussfaktor (0,5-0,8 mm)

# ZUSAMMENFASSUNG

## Nicht durch Verschleiß verursachte Spurerweiterung

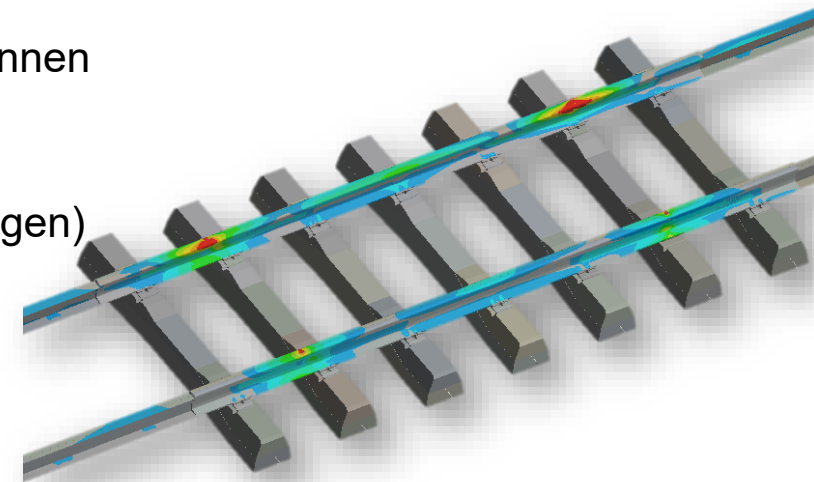
- Untergrundbeschaffenheit: kein signifikanter Einfluss auf die reversible Spurerweiterung ( $<0,04$  mm)
- Niederhaltezeit: geringer Einfluss auf die reversible Spurerweiterung ( $<0,12$  mm)
- Zwischenlagensteifigkeit: größter Einflussfaktor (0,5-0,8 mm)
- Die reversible Spurerweiterung ist unter den definierten Bedingungen aus dem FE-Modell und der Messung gering (0,4~3 mm)
  - 100 m Bogen / Komet / 48 km/h / MKS-Modell
  - Dabei handelt es sich jedoch um eine monotone Beanspruchung. Die irreversiblen Spurerweiterungen sind jedoch eine Folge von zyklischen Beanspruchungen.



# FAZIT UND EMPFEHLUNG

## Nicht durch Verschleiß verursachte Spurerweiterung

- Es steht nun ein Modell zur Verfügung:
  - Mit dem die Einflüsse (Tendenzen) weiterer Parameter untersucht werden können
  - Mit dem Grundlagen geschaffen wurden, die für die Beanspruchung der Komponenten am Fahrweg genutzt werden können
  - Mit dem andere Fahrzeuge (Radsatzlasten, Achsabstände, Radsatzanlenkungen) betrachtet werden können
- Empfehlung
  - Erweiterte Auswertung der Messergebnisse für verschiedene Fahrzeuge
  - FE-Modell als „Werkzeug“ für die Fzg.-beschaffung und die Instandhaltung wertvoll:
    - Fzg.-beschaffung: Betrachtung anderer RS-Lasten (Q-/Y-Kräfte), Fahrwerke (Kontaktpunkte)
    - Instandhaltung: Beanspruchung des Oberbaus, z.B. Belastung der Schwellen durch geänderte Zwischenlagen



# VERTIEFUNGSSSESSION

## Spurerweiterung

### Inhalt:

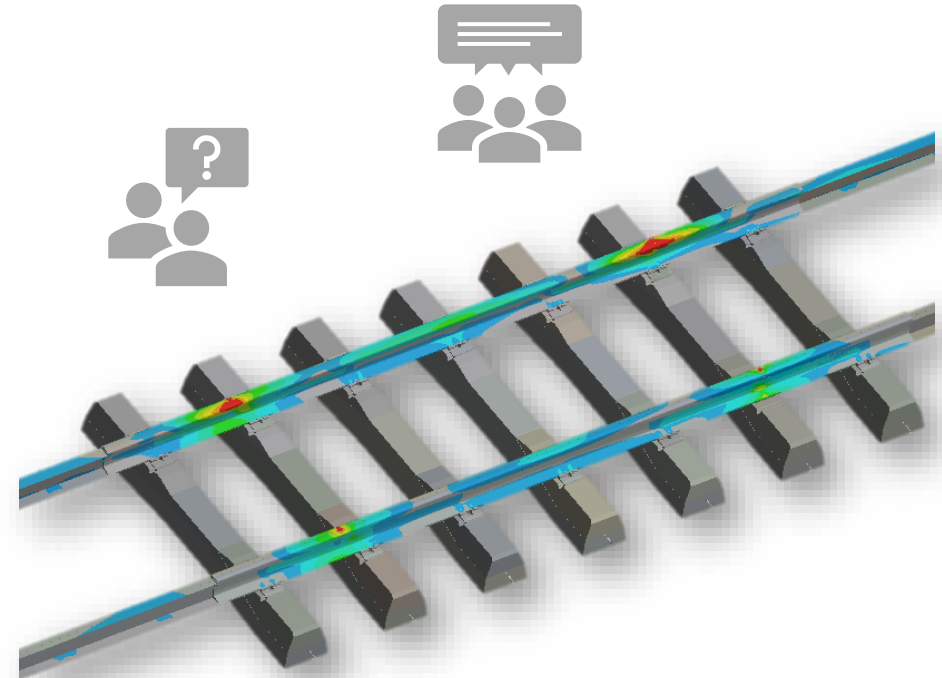
- Aufbau des Simulationsmodell
- Eingangsgrößen für das FE-Modell
- Spurerweiterung anhand von SERSA-Messungen

### Zeit / Ort:

- 13:55 Uhr – 14:25 Uhr, Raum 1
- 14:40 Uhr – 15:10 Uhr, Raum 1

### Vortragende:

- Yannic Jöring, DB Systemtechnik
- Timo Tegtmeier, DB Systemtechnik



# ABSCHLUSS – HERZLICHEN DANK!

Yannic Jöring  
DB Systemtechnik GmbH  
VQ.TVP 25 – Simulation Gesamtfahrzeug  
Yannic.Joering@deutschebahn.com



**VERTIEFUNG**

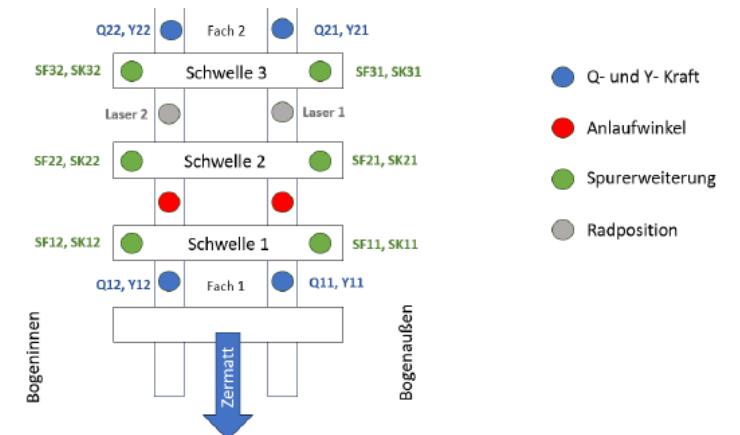


# SPURERWEITERUNG

## Übersicht

- Einsenkung SERSA-Messungen
- Messungen an der Fahrbahn
- Input aus MKS-Modell Komet (ABDeh 4/8):
  - Achsabstand: 2,54 m
  - Geschwindigkeit: 48,6 km/h
  - Gewicht pro Achse: 13,95 t
  - Schienenprofil: 46 E1 (Radsatznummerierung Richtung Zermatt)
  - Normprofile der Räder RTE 29500 Typ A / RAILplus\_v1A/28.0/27
  - Schienenneigung 1:20
  - Spurweite: 1000 mm (keine Spurerweiterung)
  - Bogenradius: 100 m
- Parameter FE-Modell:
  - Schiene: 46 E1
  - Schwelle: VöV-4 M2
  - Spannklemme: SK14 (6-9 kN Niederhaltekraft)
  - Zwischenlage: ZW700 (700/85 kN/mm)
  - Bettungsmodul: Kies-Beton (0,15/0,35 N/mm<sup>3</sup>)
  - Schienenneigung 1:20
  - Spurweite: 1002,8 mm

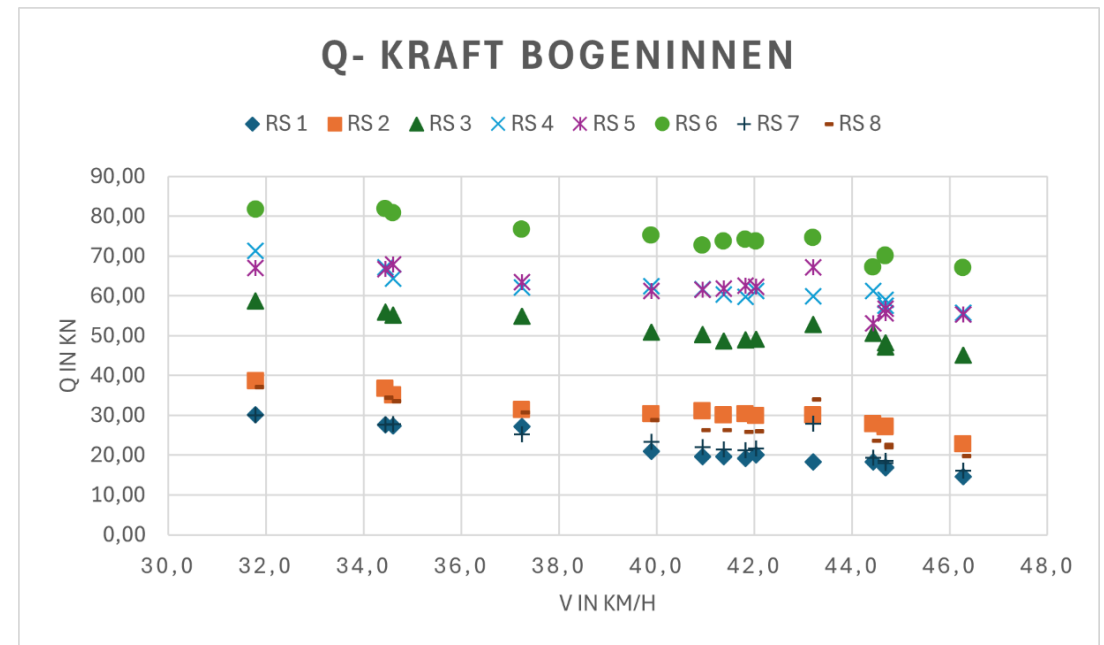
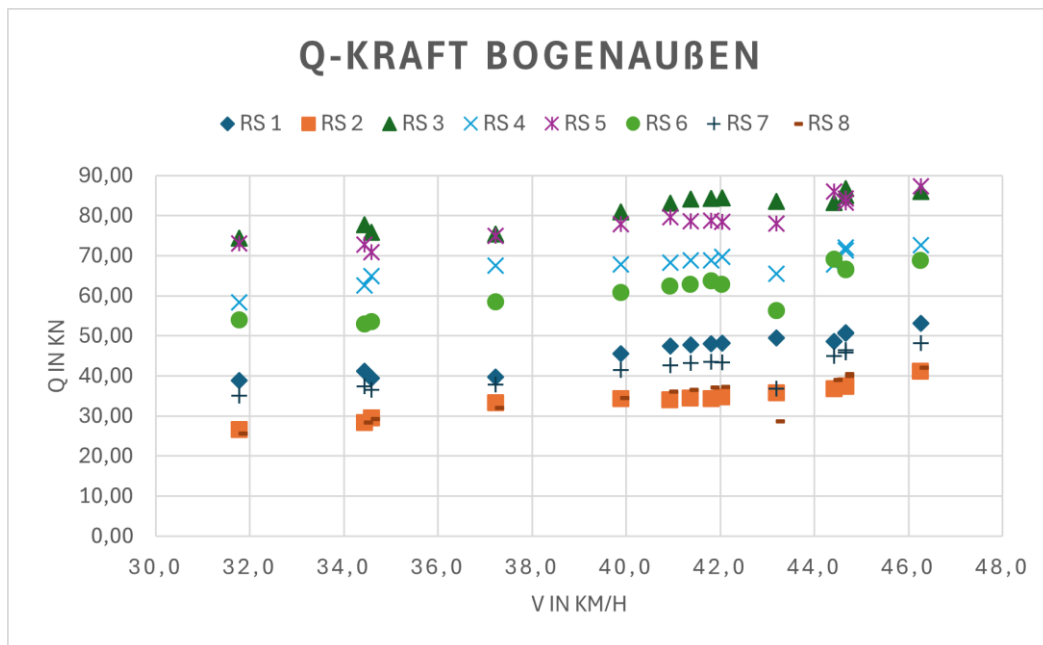
Messbogen „Untere Stählen“, Strecke 140, km 26,2



# MESSUNGEN AN DER FAHRBAHN

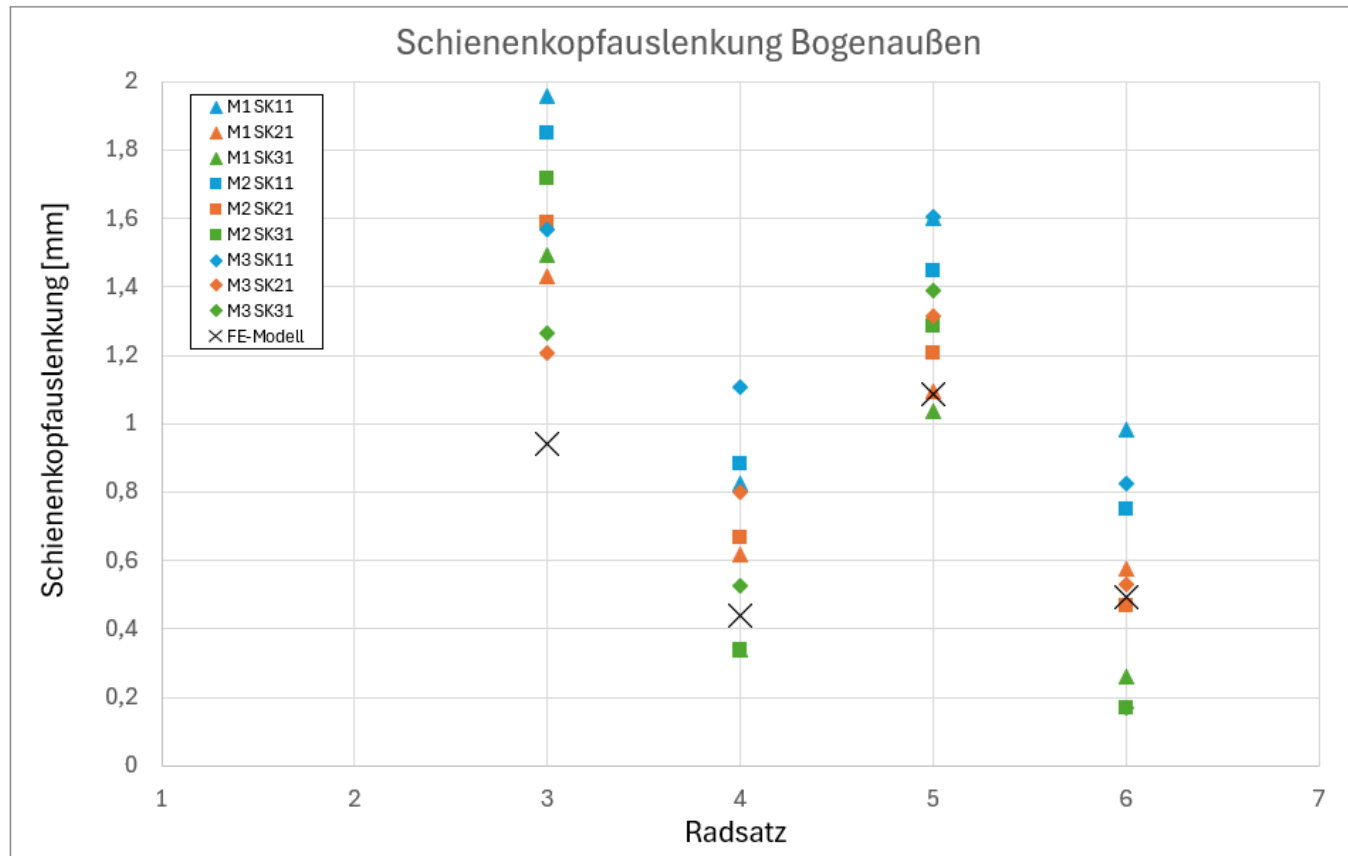
- Radaufstandskraft nimmt bogenaußen mit steigender Geschwindigkeit zu

- Radaufstandskraft nimmt bogeninnen mit steigender Geschwindigkeit ab



# SPURERWEITERUNG

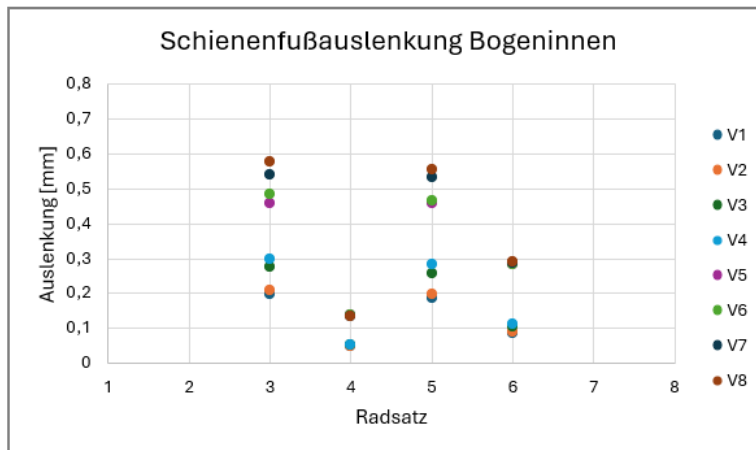
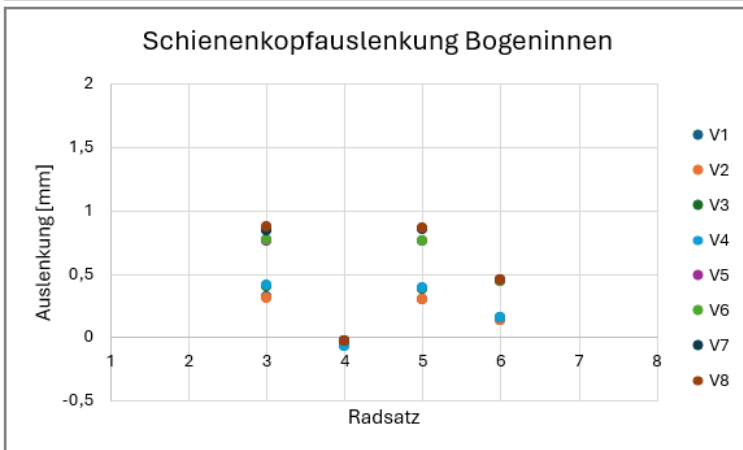
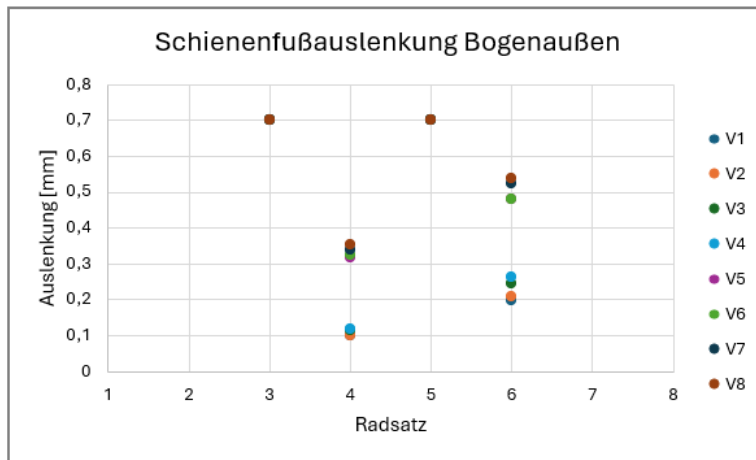
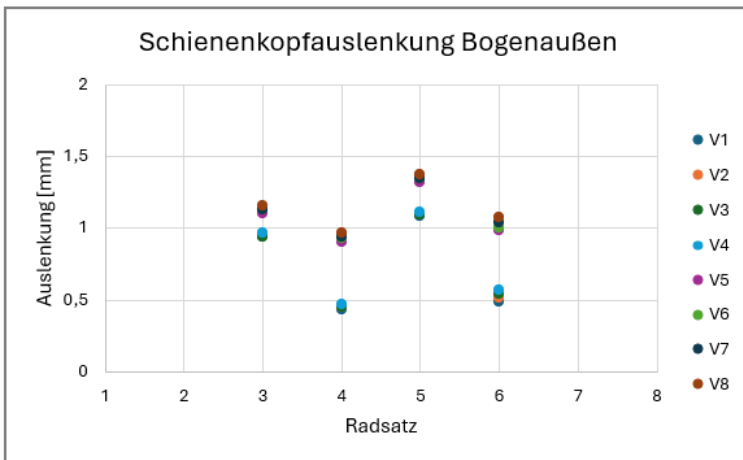
## Vergleich Messung – FE-Modell



- Streuband der Messungen
- Modell und Messung unterliegen unterschiedlichen Randbedingungen
- Qualitativ vergleichbar
- Vollumfängliche Auswertung aller Messungen sinnvoll

# SPURERWEITERUNG

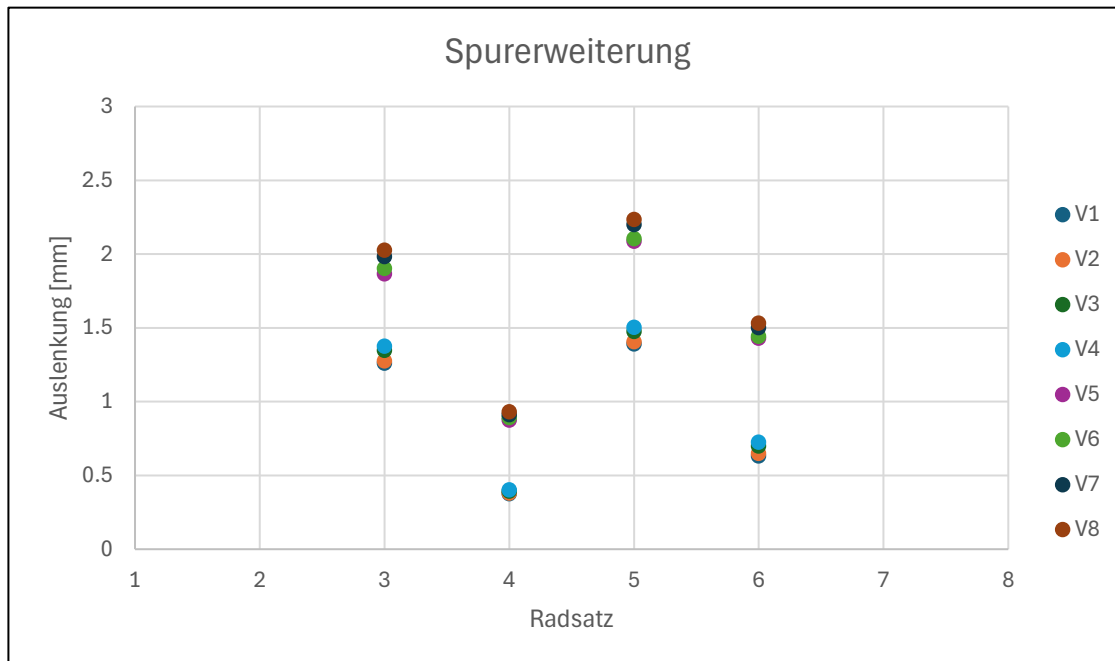
## FE-Modell Parametervariation



	Zwischenlagensteifigkeit [kN/mm]	Bettungsmodul Untergrund [N/mm <sup>3</sup> ]	Niederhaltekraft Sk14 [kN]
<b>Variante 1</b>	700	0,35	9
<b>Variante 2</b>	700	0,15	9
<b>Variante 3</b>	700	0,35	6
<b>Variante 4</b>	700	0,15	6
<b>Variante 5</b>	85	0,35	9
<b>Variante 6</b>	85	0,15	9
<b>Variante 7</b>	85	0,35	6
<b>Variante 8</b>	85	0,15	6

# SPURERWEITERUNG

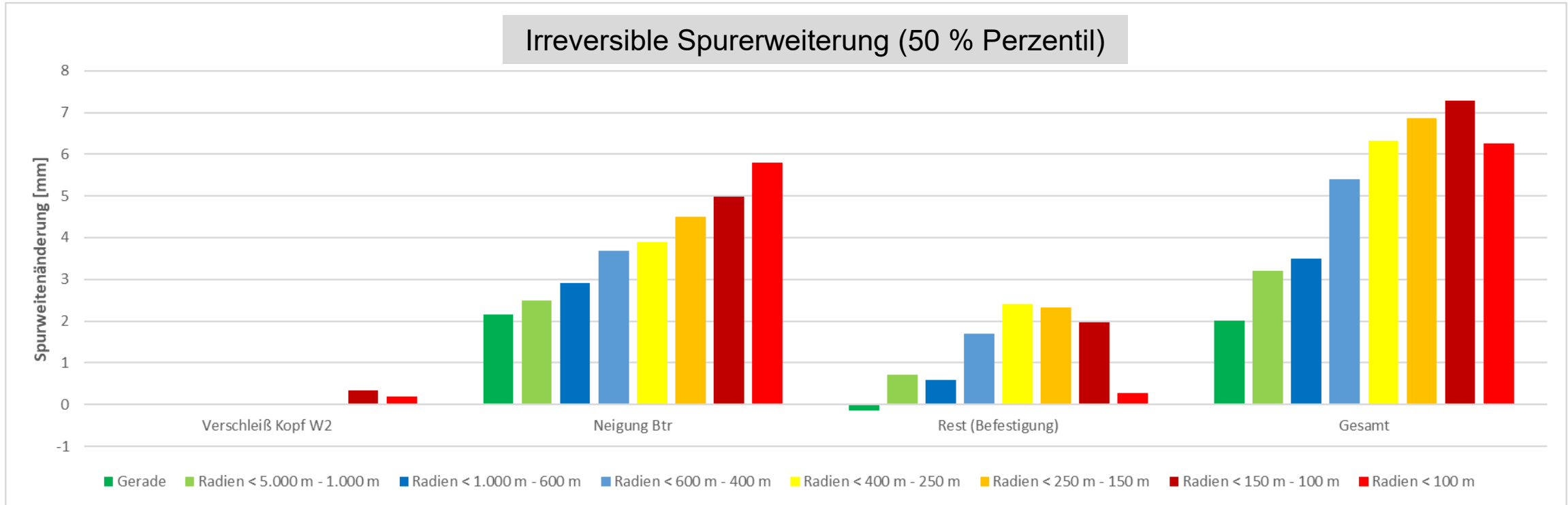
## FE-Modell Parametervariation



	Zwischenlagensteifigkeit [kN/mm]	Bettungsmodul Untergrund [N/mm <sup>3</sup> ]	Niederhaltekraft SkI14 [kN]
<b>Variante 1</b>	700	0,35	9
<b>Variante 2</b>	700	0,15	9
<b>Variante 3</b>	700	0,35	6
<b>Variante 4</b>	700	0,15	6
<b>Variante 5</b>	85	0,35	9
<b>Variante 6</b>	85	0,15	9
<b>Variante 7</b>	85	0,35	6
<b>Variante 8</b>	85	0,15	6

- Insgesamt geringe Spurerweiterung (<2,3 mm)
- Untergrundbeschaffenheit zeigt nur eine minimale Veränderung (<0,04 mm)
- Reduzierte Niederhaltekraft ergibt insbesondere Bogeninnen RS3/5 und Bogenaußen RS6 eine größere Schienenfußauslenkung (<0,12 mm)
- Zwischenlagensteifigkeit hat den größten Einflussfaktor (0,5-0,8 mm)

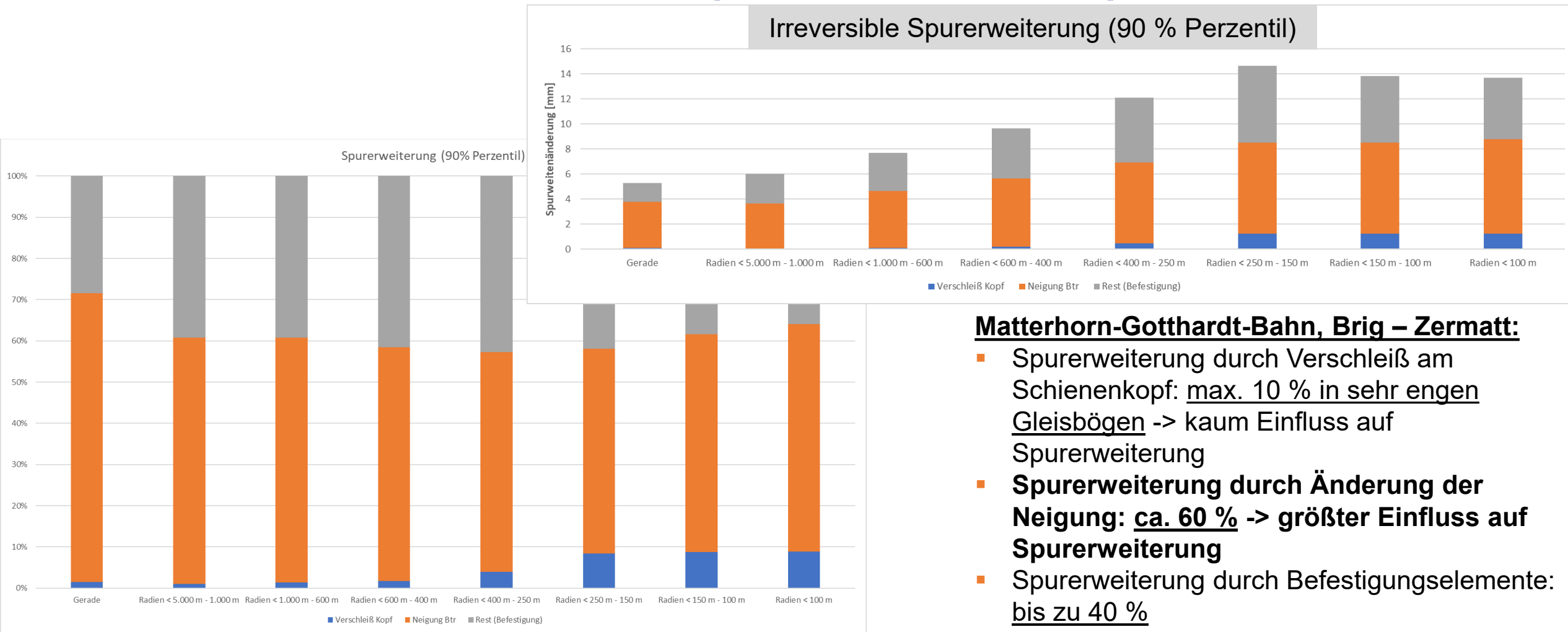
# SPURERWEITERUNG (MESSUNGEN)



## Matterhorn-Gotthardt-Bahn, Strecke 140, Brig - Zermatt

- Spurerweiterung durch Verschleiß am Schienenkopf: bis zu 0,3 mm -> kaum Einfluss auf Spurerweiterung
- **Spurerweiterung durch Änderung der Neigung: 2 bis 6 mm -> größter Einfluss auf Spurerweiterung**
- Spurerweiterung durch Befestigungselemente: bis zu 2 mm

# SPURERWEITERUNG (MESSUNGEN)

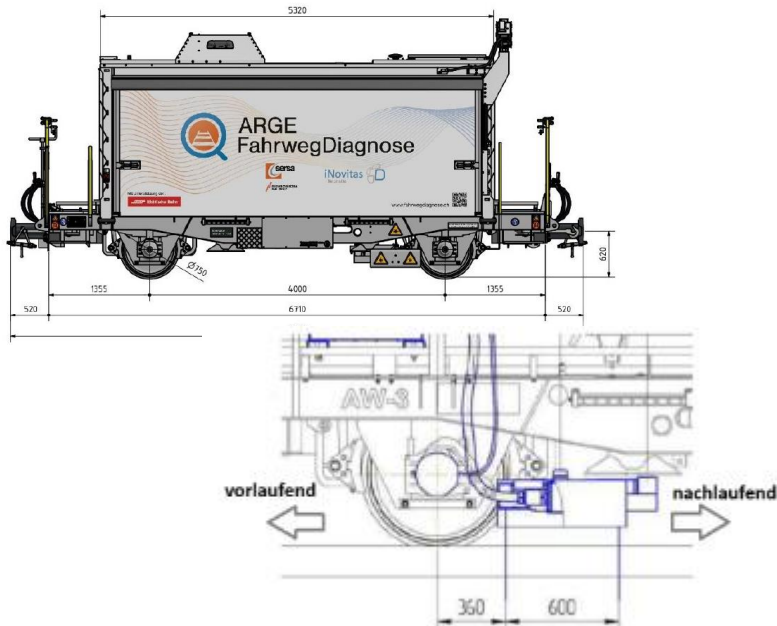


## Matterhorn-Gotthardt-Bahn, Brig – Zermatt:

- Spurerweiterung durch Verschleiß am Schienenkopf: max. 10 % in sehr engen Gleisbögen -> kaum Einfluss auf Spurerweiterung
- Spurerweiterung durch Änderung der **Neigung: ca. 60 %** -> **größter Einfluss auf Spurerweiterung**
- Spurerweiterung durch Befestigungselemente: bis zu 40 %

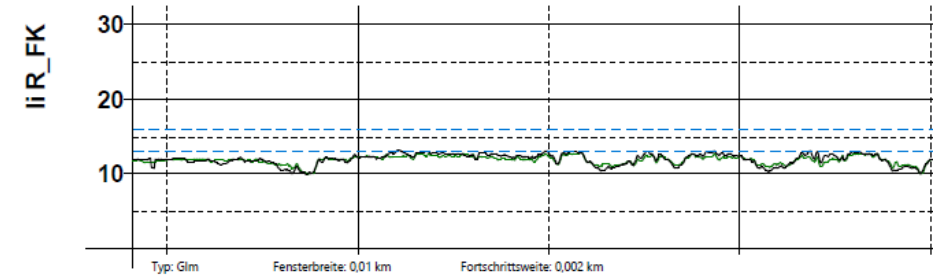
# SPURERWEITERUNG (MESSUNGEN)

## Einfluss der Messrichtung des Sersa-Messwagens



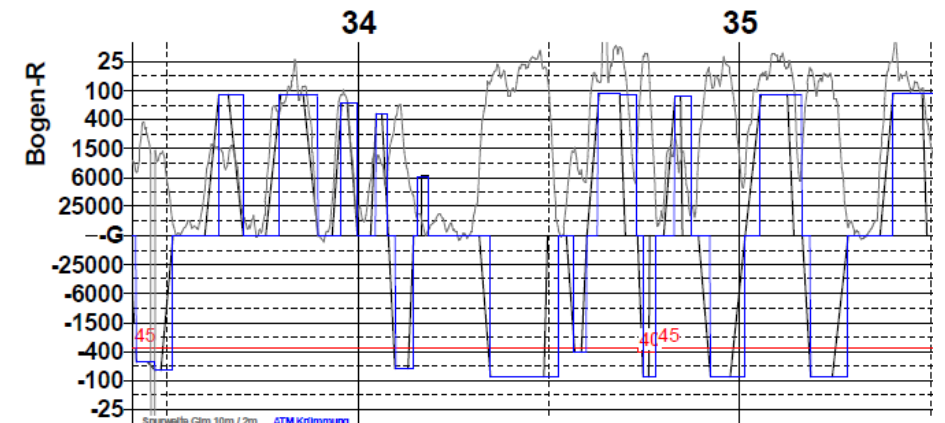
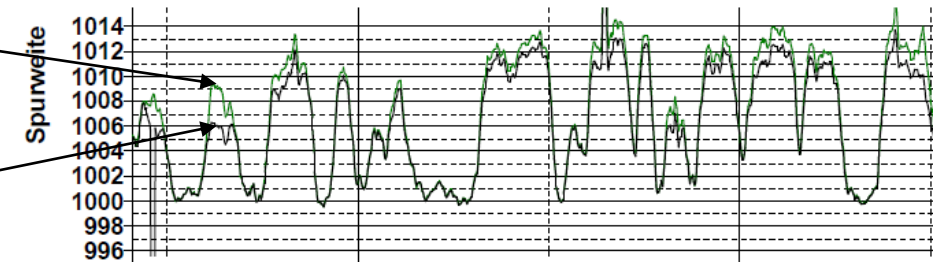
- In den Gleisbögen wird die Spurweite der vorlaufenden Messrichtung um etwa 1-2 mm größer gemessen als bei der nachlaufenden Messrichtung.
- Im geraden Gleis zeigt sich praktisch kein Einfluss der Messrichtung.

Messung Giswil-Meiringen vom 09./10.04.2024

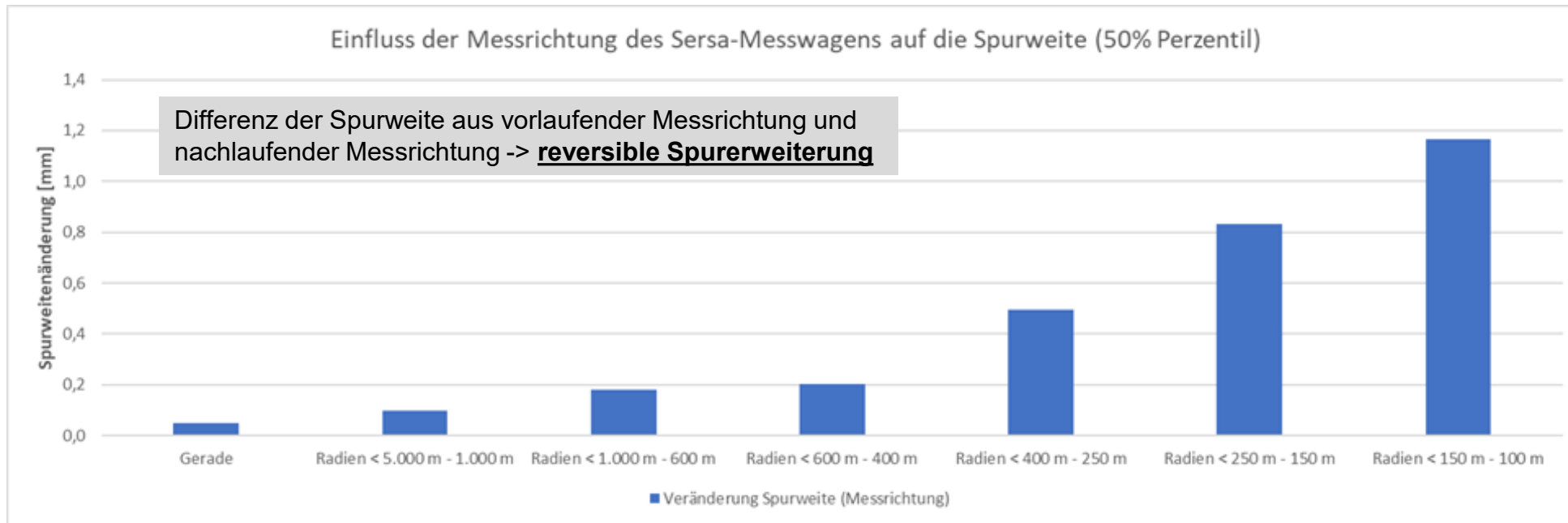


Grün:  
vorlaufende  
Messrichtung

schwarz:  
nachlaufende  
Messrichtung



# SPURERWEITERUNG (MESSUNGEN)



## Messung Giswil-Meiringen vom 09./10.04.2024 (50%-Perzentil (Median))

- Der Einfluss der Messrichtung liegt im geraden Gleis und bis zu Gleisbögen mit Radien > 400 m lediglich bei ca. 0,2 mm
- Mit sinkendem Bogenradius nimmt der Einfluss der Messrichtung auf bis zu 1,2 mm zu.

# ABSCHLUSS – HERZLICHEN DANK!

Timo Tegtmeier  
DB Systemtechnik GmbH  
VQ.TVP 22 – Prüfungen Fahrzeug-Fahrweg-  
Wechselwirkung  
Timo.Tegtmeier@deutschebahn.com

Yannic Jöring  
DB Systemtechnik GmbH  
VQ.TVP 25 – Simulation Gesamtfahrzeug  
Yannic.Joering@deutschebahn.com

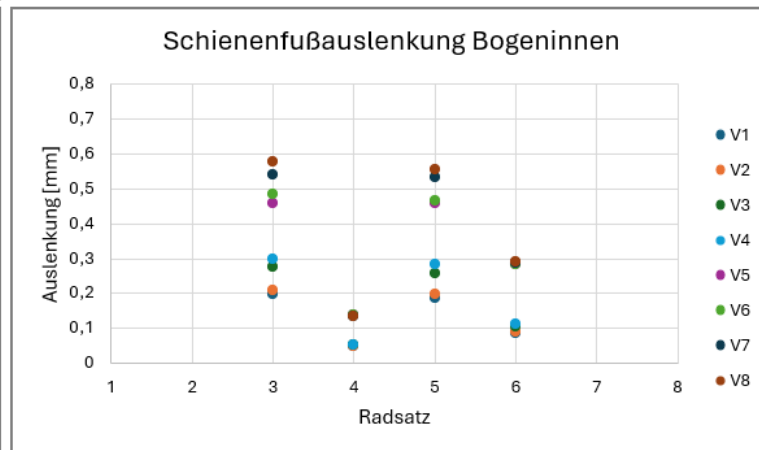
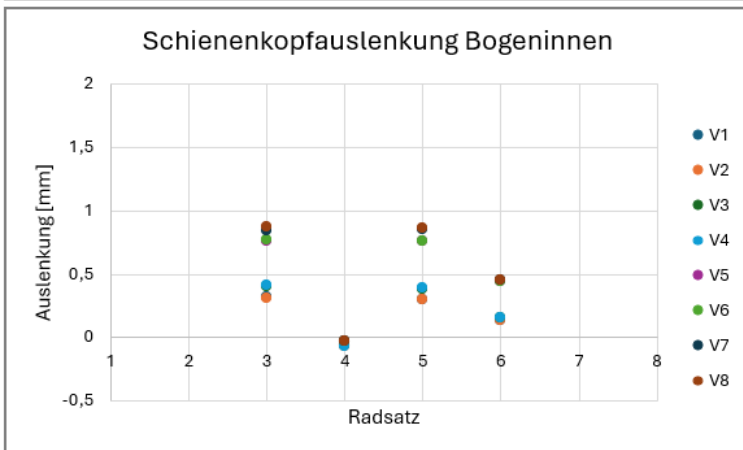
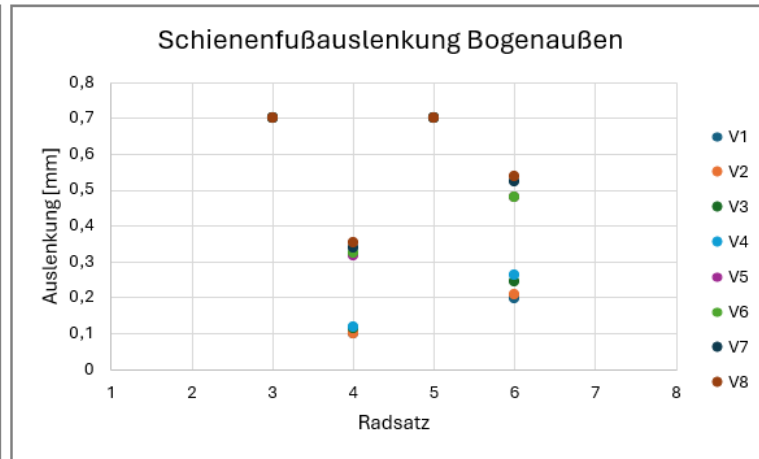
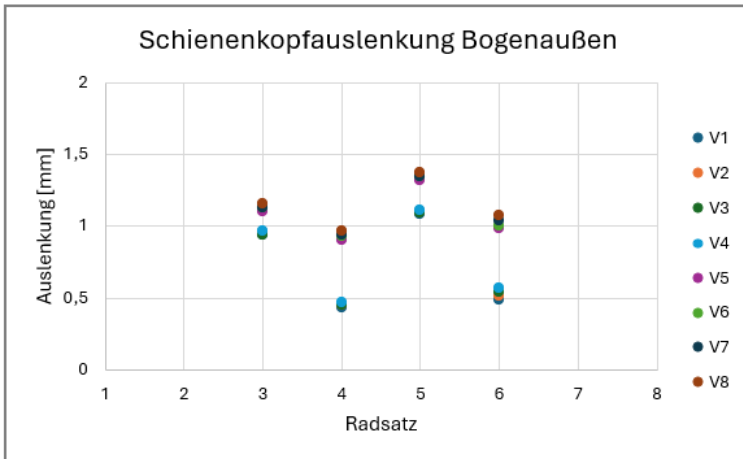


**BACKUP**



# SPURERWEITERUNG

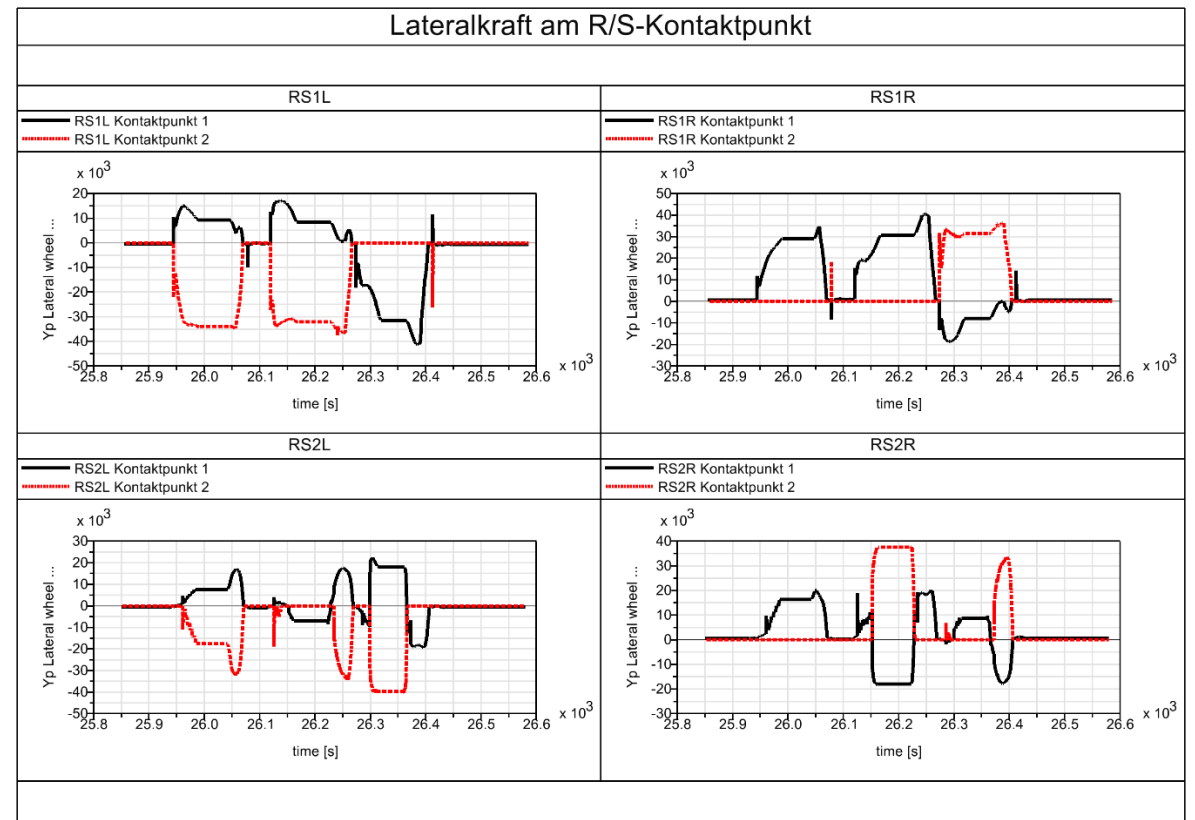
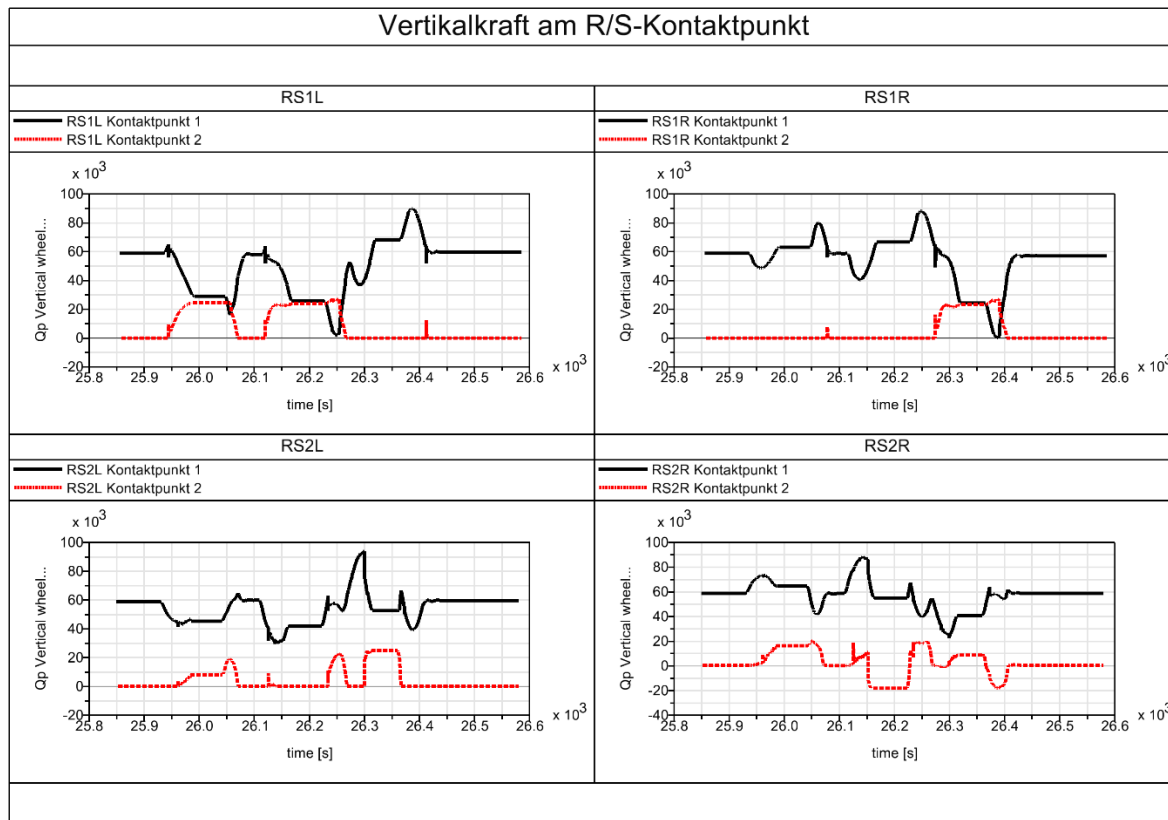
## FE-Modell Parametervariation



	Zwischenlagensteifigkeit [kN/mm]	Bettungsmodul Untergrund [N/mm <sup>3</sup> ]	Niederhaltekraft Sk14 [kN]
<b>Variante 1</b>	700	0,35	9
<b>Variante 2</b>	700	0,15	9
<b>Variante 3</b>	700	0,35	6
<b>Variante 4</b>	700	0,15	6
<b>Variante 5</b>	85	0,35	9
<b>Variante 6</b>	85	0,15	9
<b>Variante 7</b>	85	0,35	6
<b>Variante 8</b>	85	0,15	6

# SPURERWEITERUNG

Output MKS-Modell → Input FE-Modell (Einsenkungsmessung)



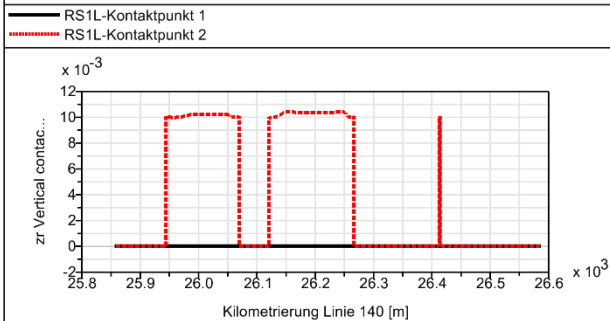
# SPURERWEITERUNG

Output MKS-Modell → Input FE-Modell (Einsenkungsmessung)

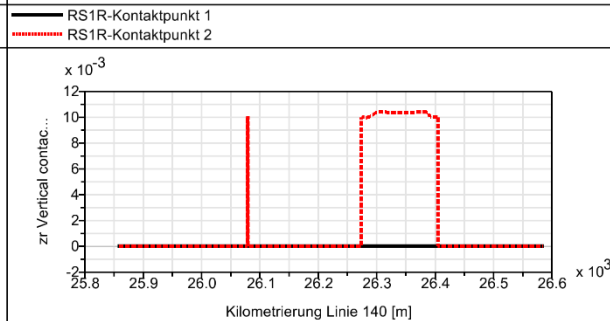
Kontaktpunktpositionen an allen R/S-Kontaktpunkten (z)

v = 10.8000001907349 km/h

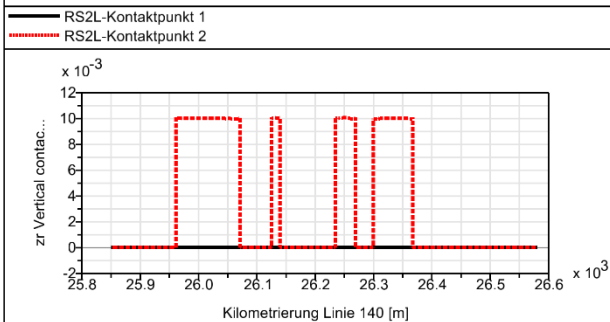
RS1L z



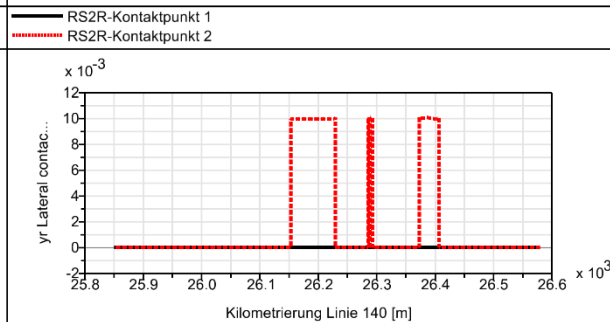
RS1R z



RS2L z



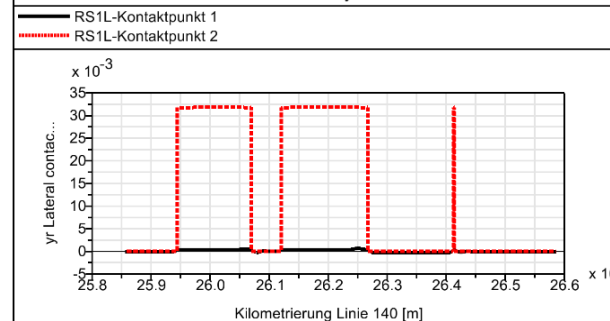
RS2R z



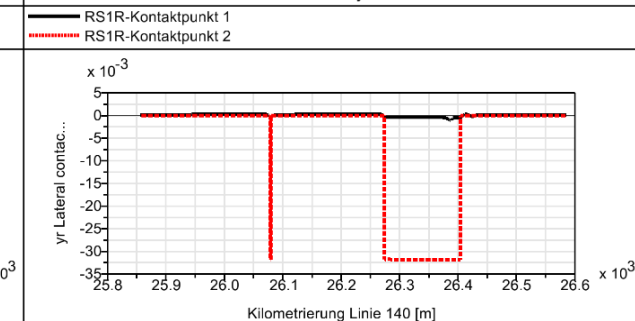
Kontaktpunktpositionen an allen R/S-Kontaktpunkten (y)

v = 10.8000001907349 km/h

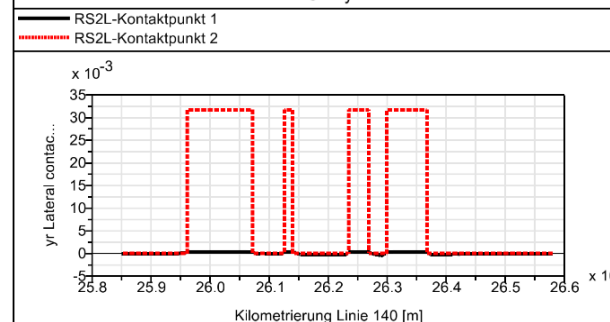
RS1L y



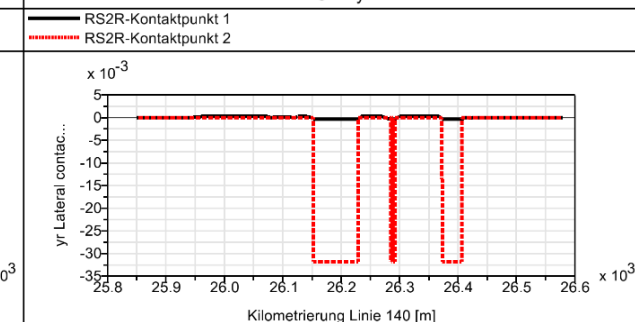
RS1R y



RS2L y

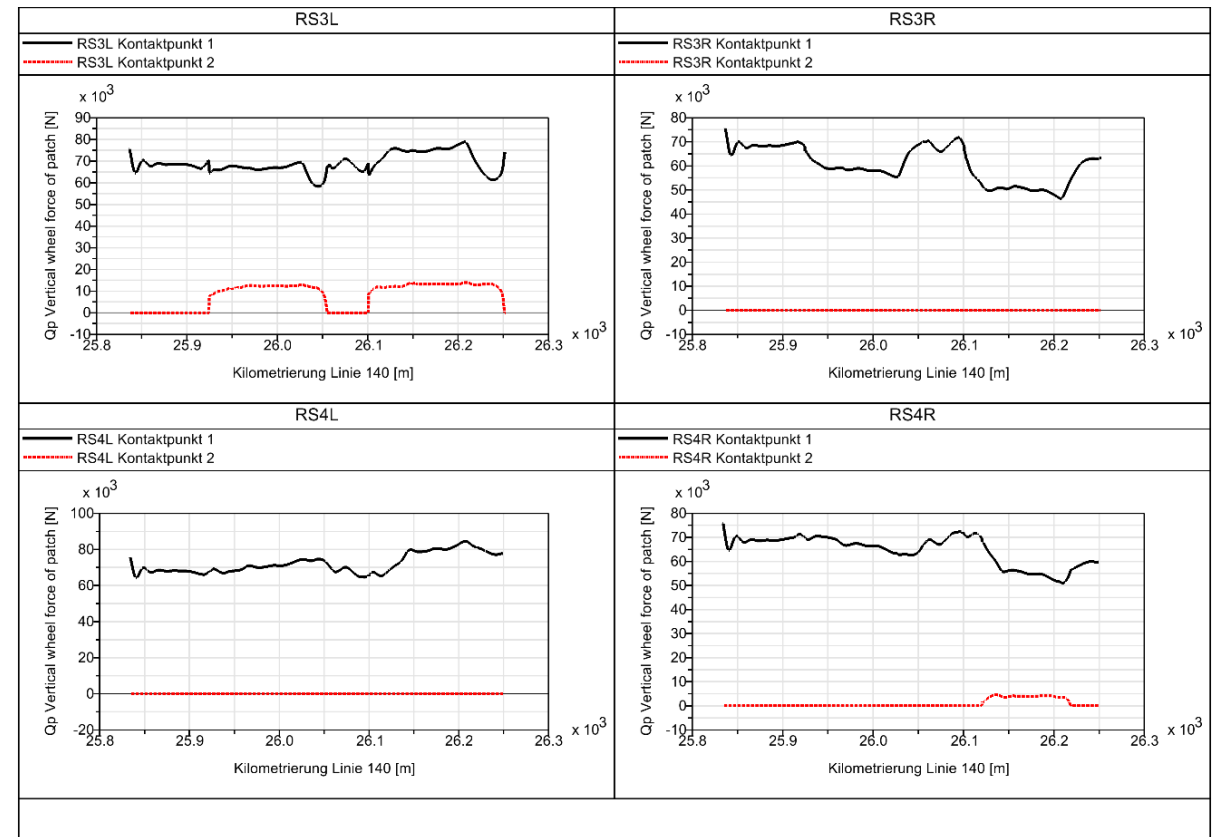
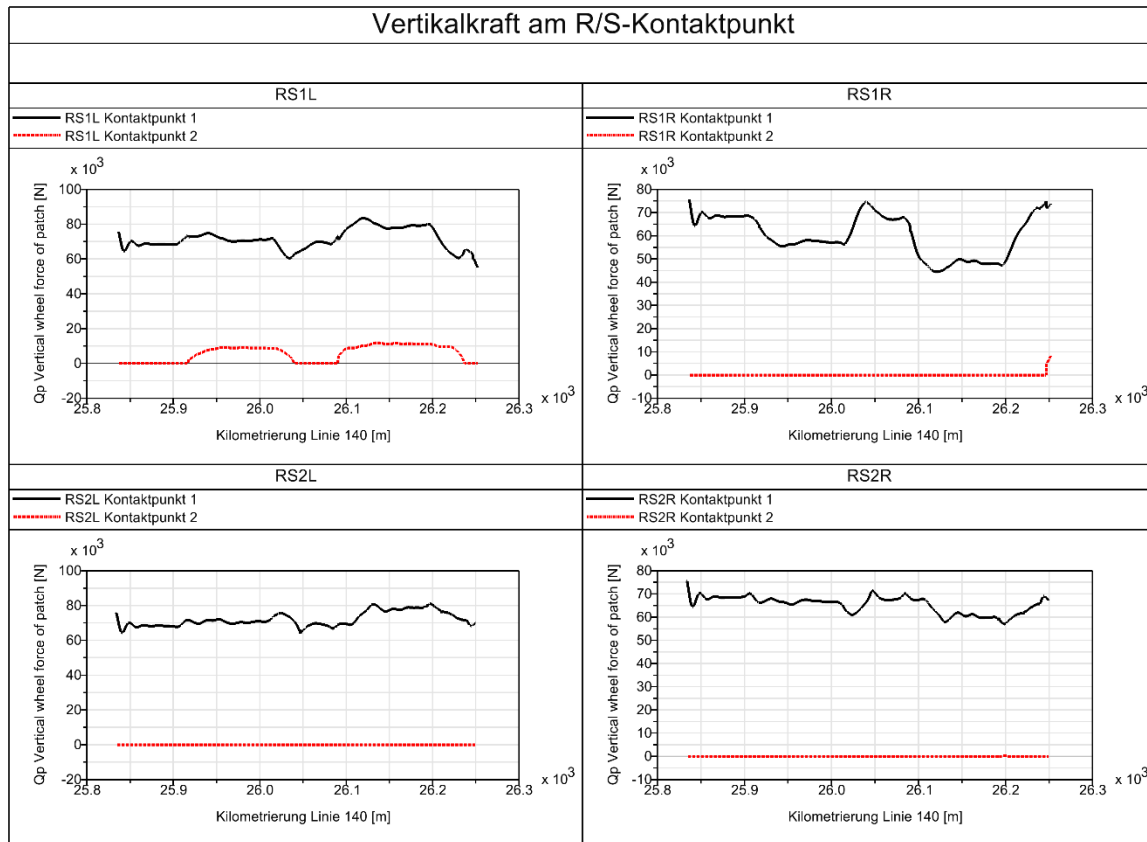


RS2R y



# SPURERWEITERUNG

Output MKS-Modell → Input FE-Modell (MGB-Messung)



# SPURERWEITERUNG

Output MKS-Modell → Input FE-Modell (MGB-Messung)

Kontaktpunktpositionen an allen R/S-Kontaktpunkten (y)

