



Kleine Innovation – Grosse Wirkung

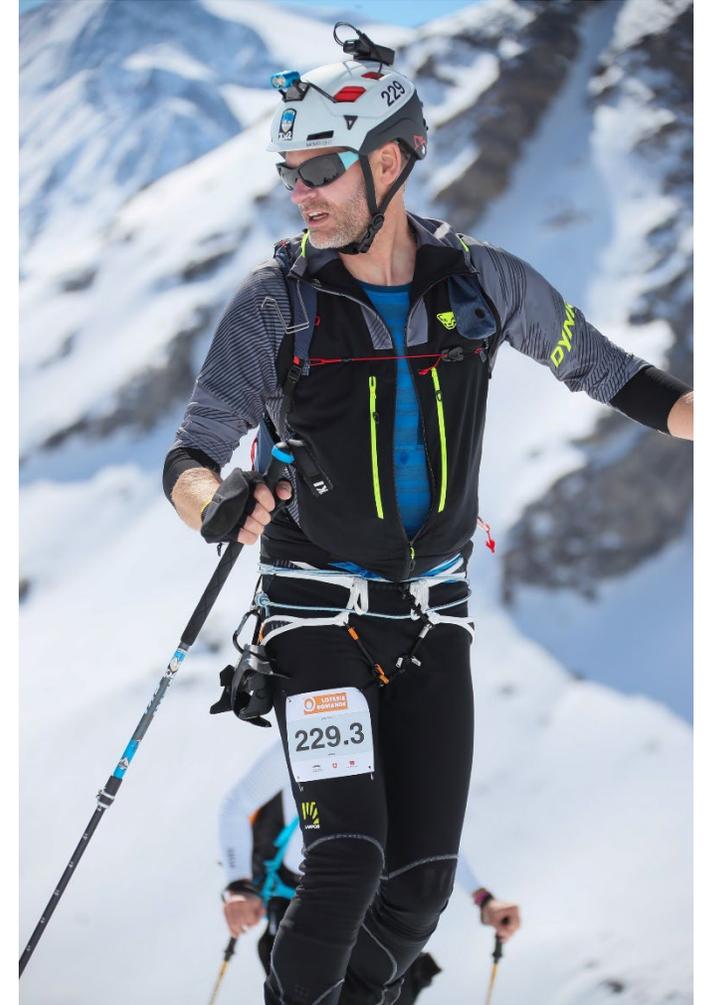
Gleislagestabilität im Bogen

Patrick Braess

Dr. sc. ETH Zürich Dipl.-Ing.

Lebenslauf

- 2007 Diplom Bauingenieurwesen RWTH Aachen
- 2009 – 2012 Sersa Group AG, Zürich
- 2013 – 2018 Promotion am IVT, ETH Zürich
- 2019 – 2022 Selbstständig (Manitou Pike's Peak Cog Railway)
- Seit 2022 Technischer Direktor TrackNet Management SA



Stosslückengleis

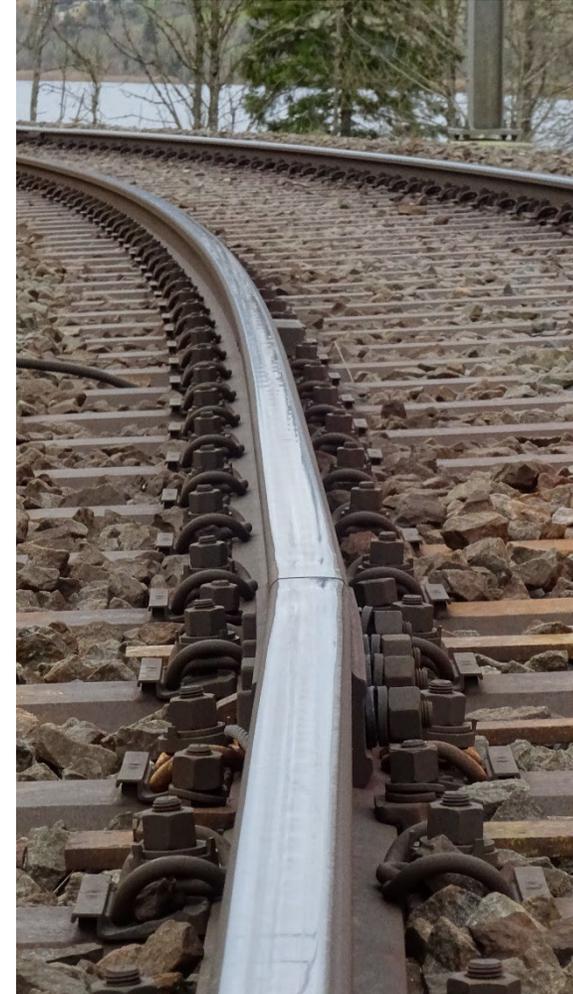


Bild: Deacademic.com

Stosslückengleis



SBB Gleis Le Pont – Le Day, Erneuerung 2018



Lückenlos verschweisstes Gleis (LVG)



Bild: Deacademic.com

Gleisverwerfung



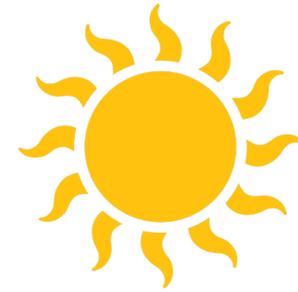
Leipzig, Bild: T. Conrad

Schienenbruch



Bild: Angertalbahn.de

Grundlagen - Kräfte



54E2 (UIC54E, SBBIV)

VIGNOLSCHIENEN, FLAT BOTTOM RAILS

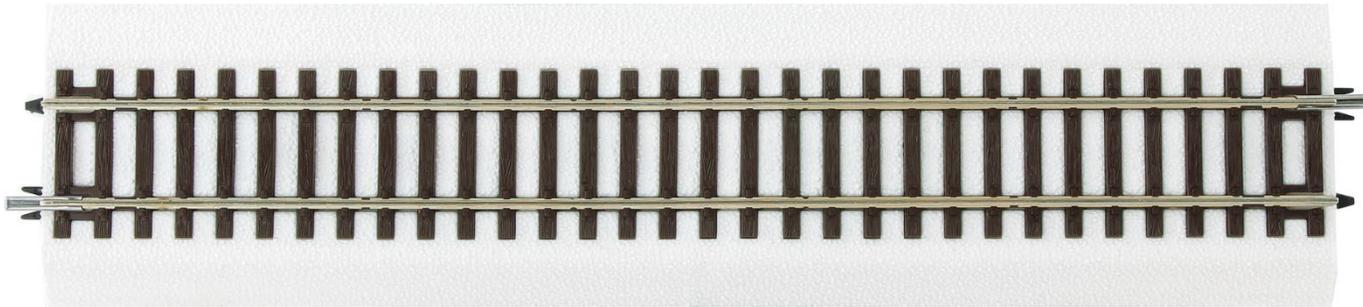


Bild: Roco

- $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$
- $A = 68,56 \text{ cm}^2$
- $\alpha = 1,15 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$
- $\Delta T = 60 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C} = 35 \text{ K}$

=> $Längskraft F = E \cdot A \cdot \alpha \cdot \Delta T$

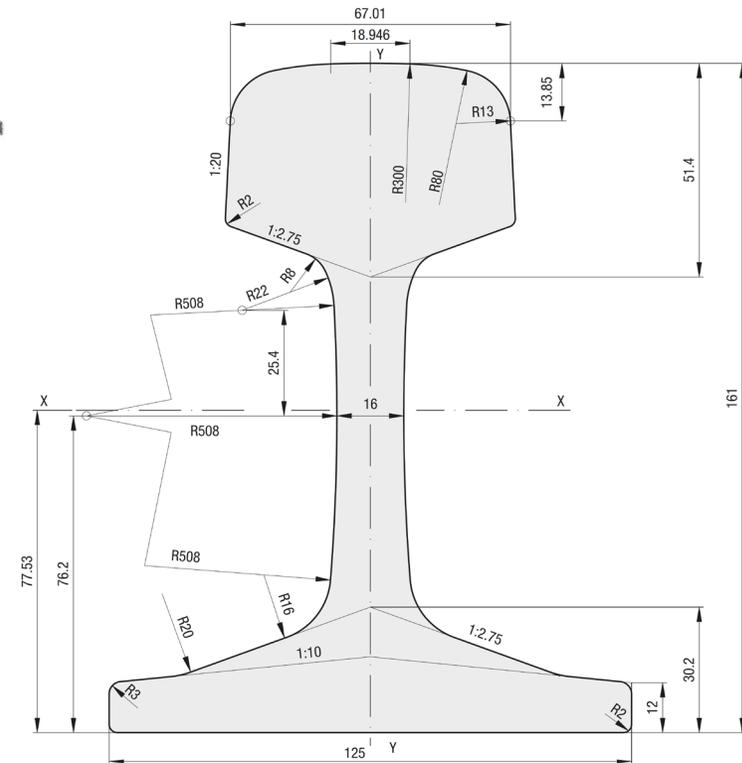
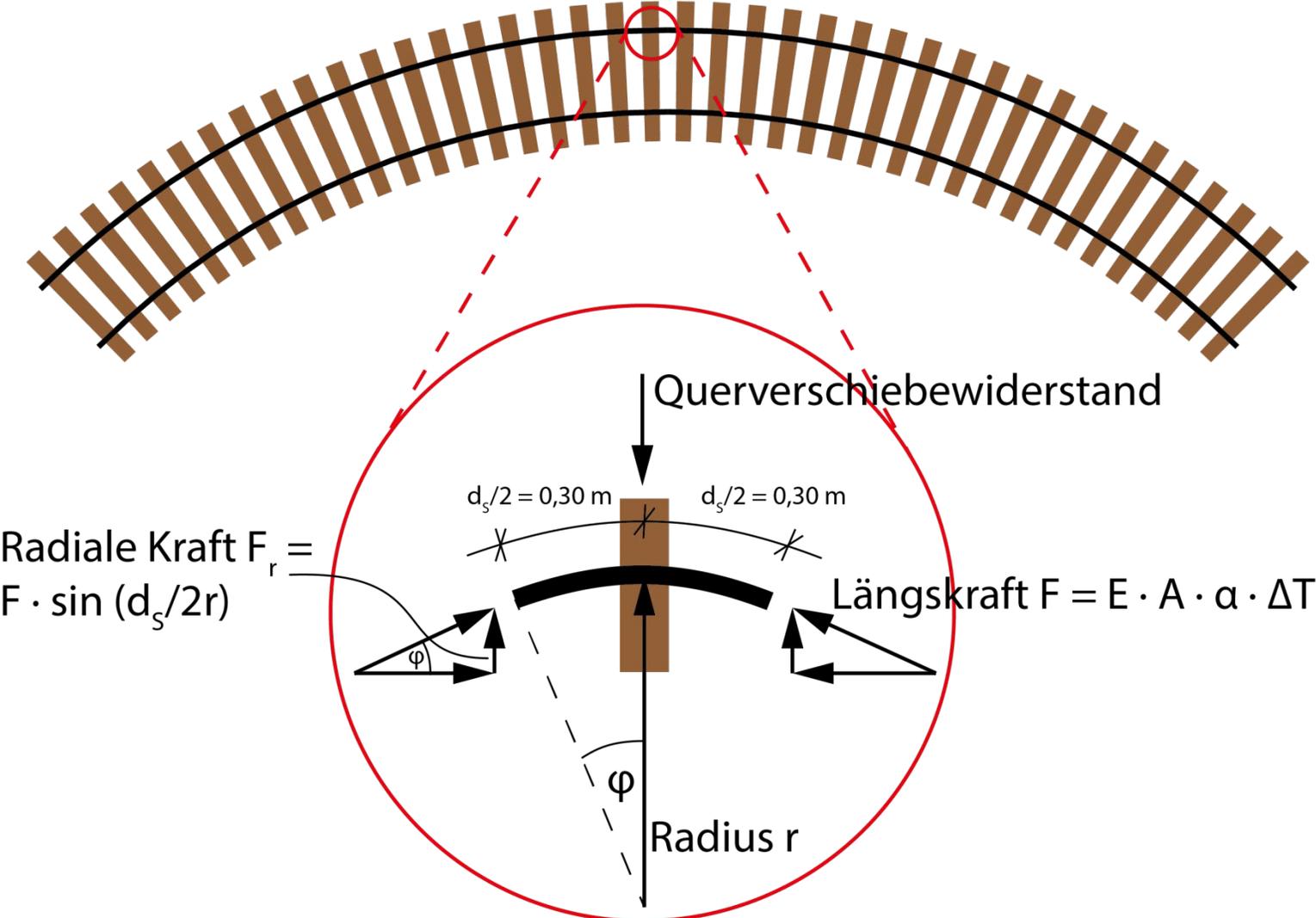


Bild: Voestalpine

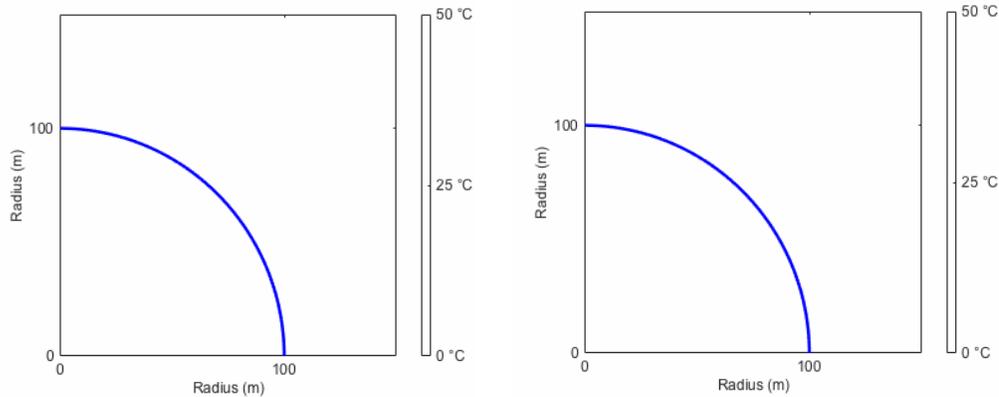
Grundlagen - Kräfte



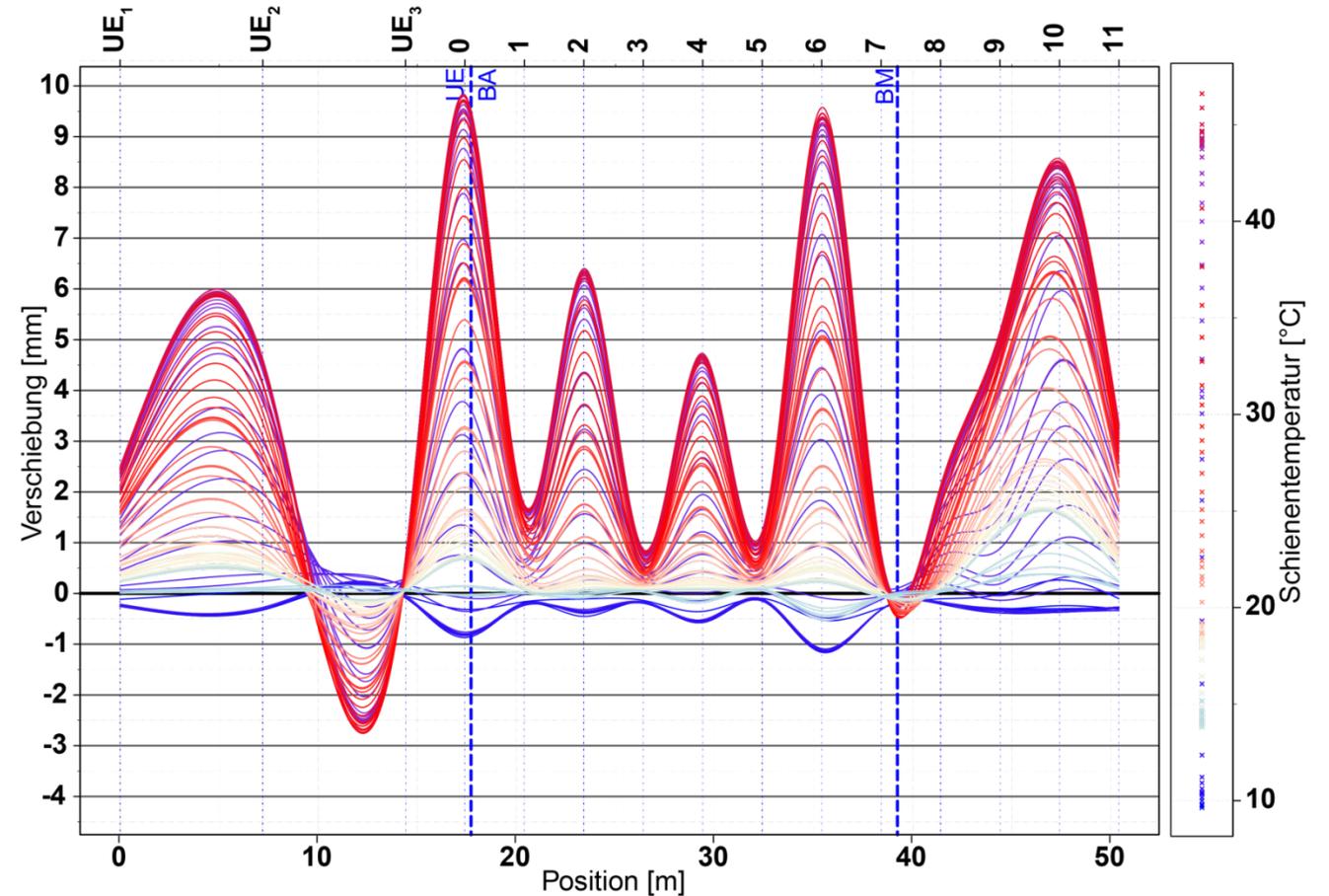
Bogenatmung im lückenlos verschweissten Gleis (LVG)

Anforderungen LVG [RTE 22541]

- Gleichmässige Atmung **X**
- Maximal 20 mm **X**
- Keine Bewegungen unter Zug **X**
- Überwachung **X**

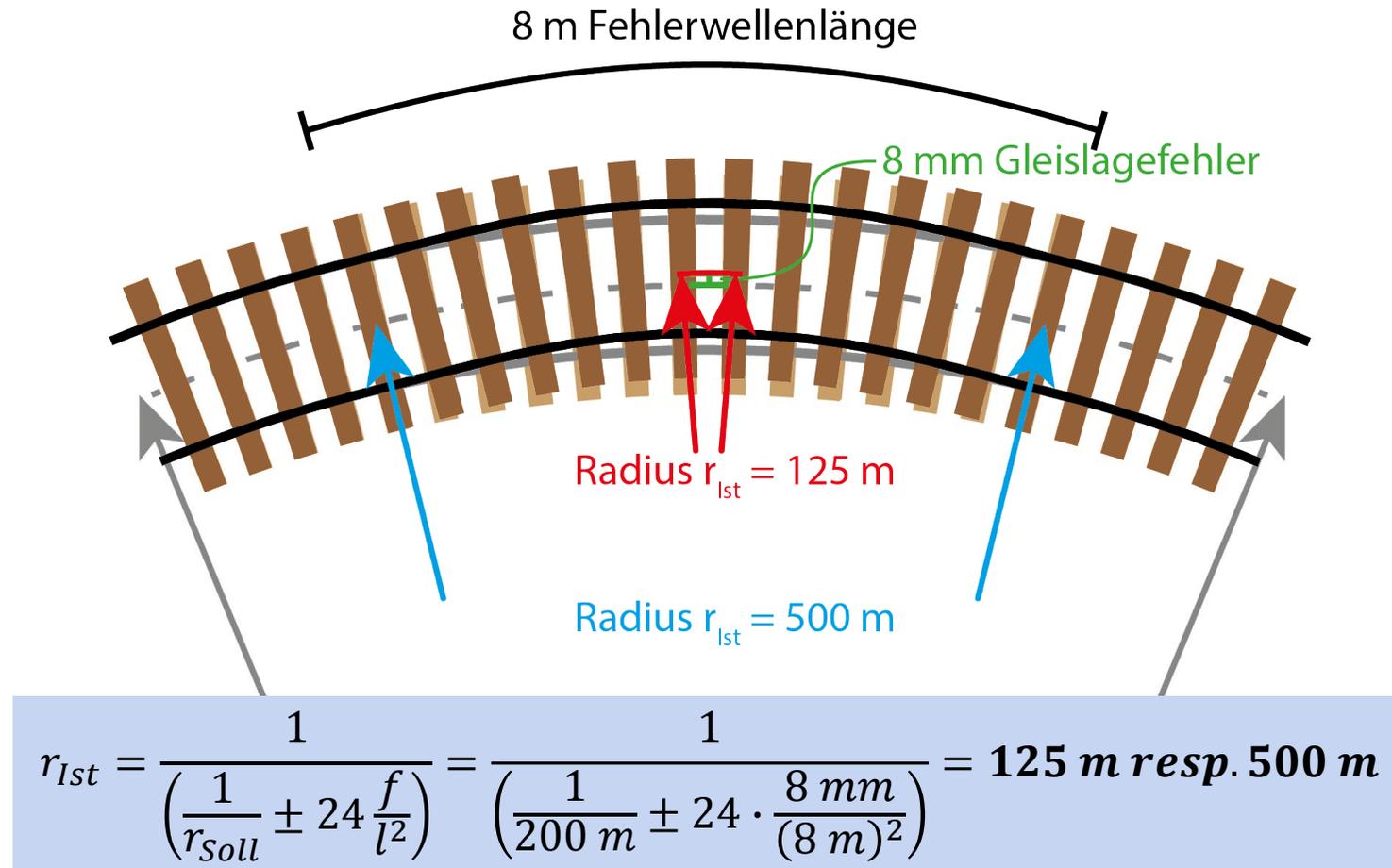


Zimmermann [2016]



Bopp [2014]

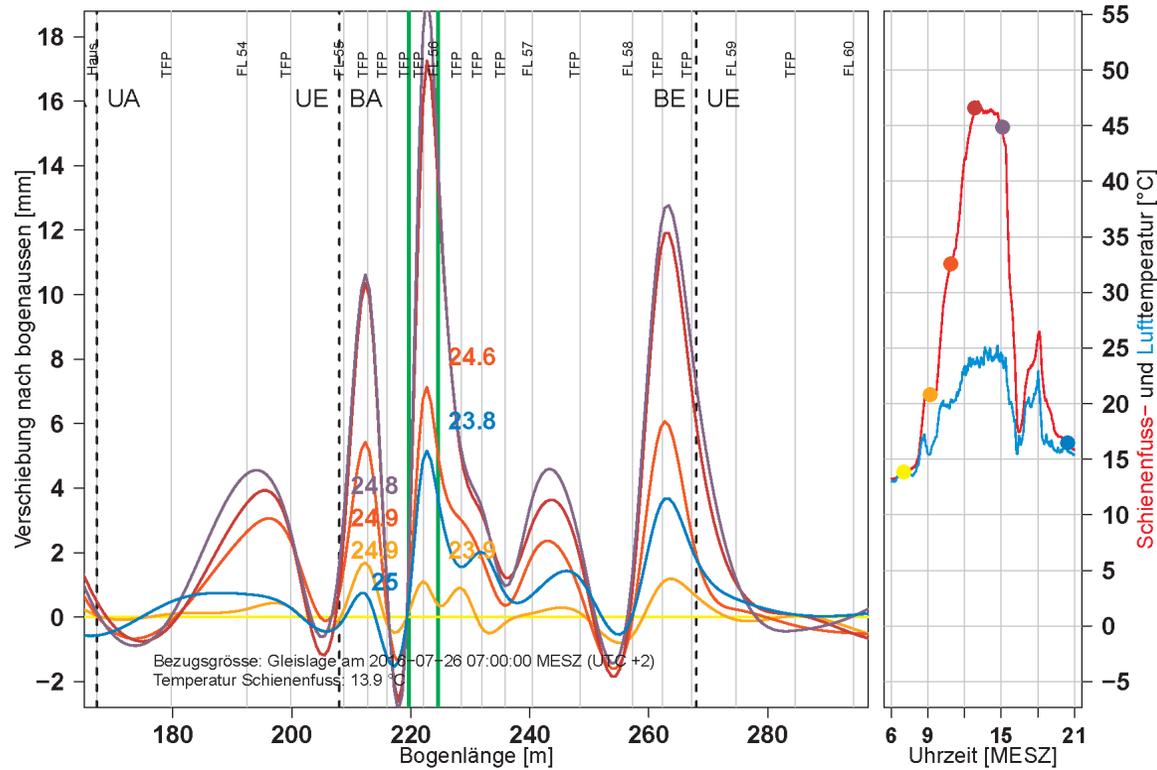
Einfluss von Gleislagefehlern



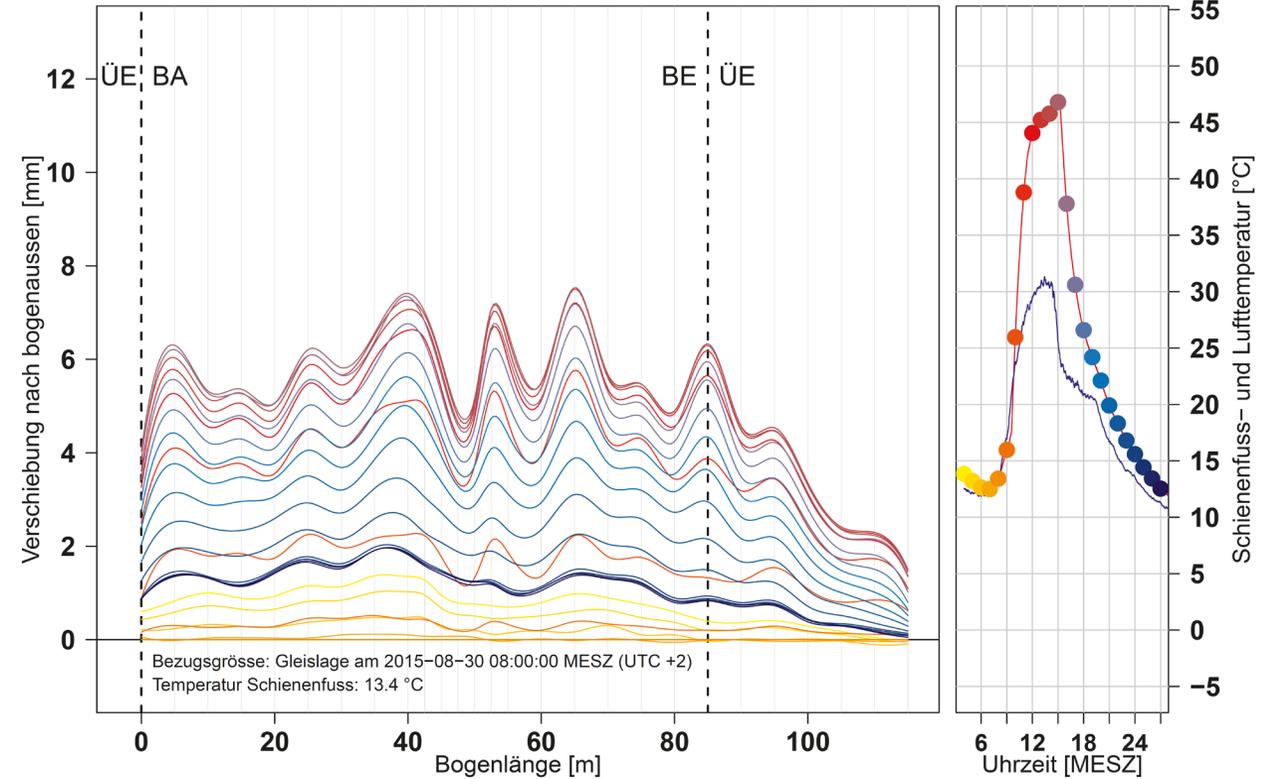
Rahmensteifer Oberbau (Y-Schwellen)



Bogenatmungsmessung verschiedene Oberbauarten



RhB, Filisur, $r = 100$ m, Betonschwellen

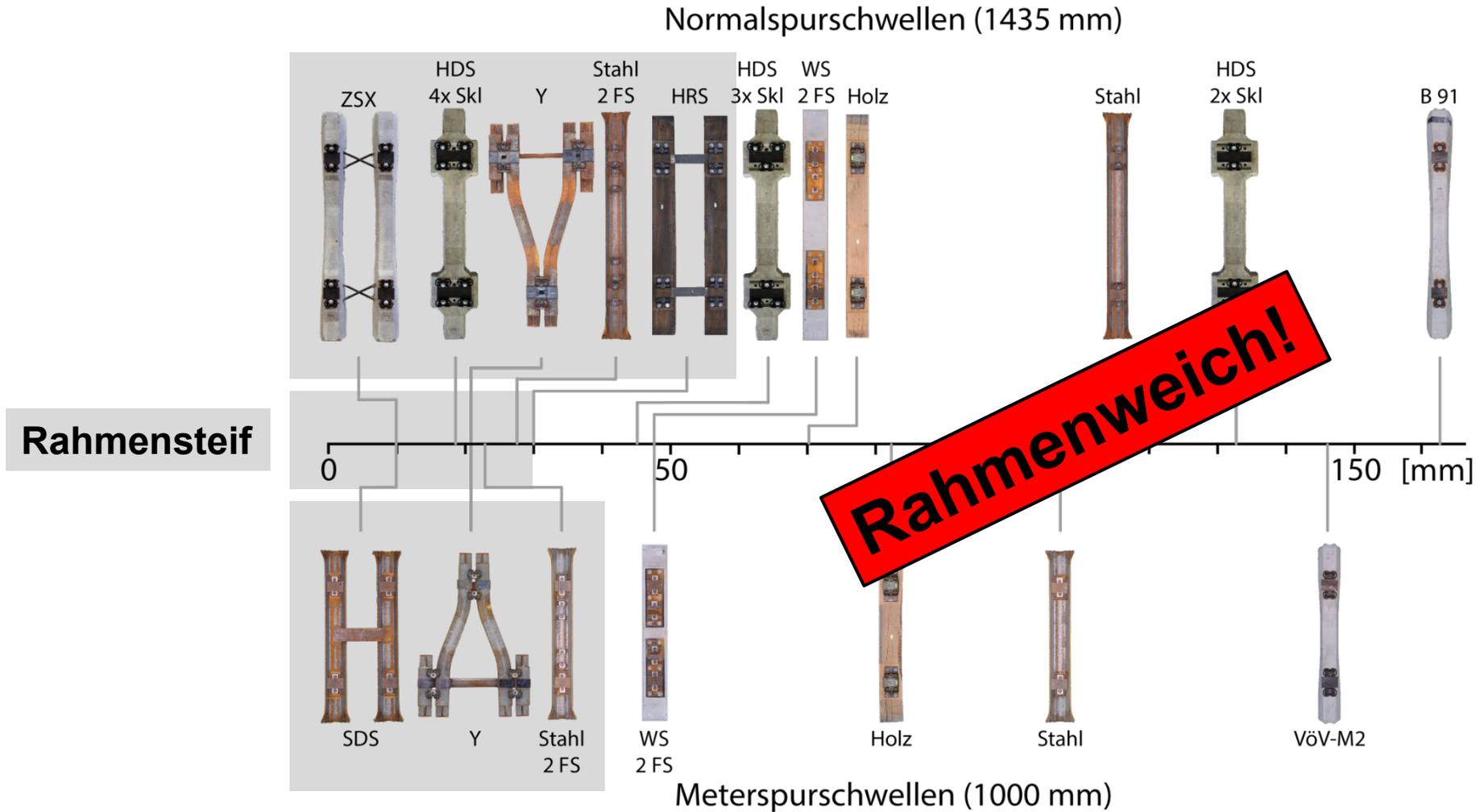


SOB, Einsiedeln, $r = 174$ m, Y-Schwellen

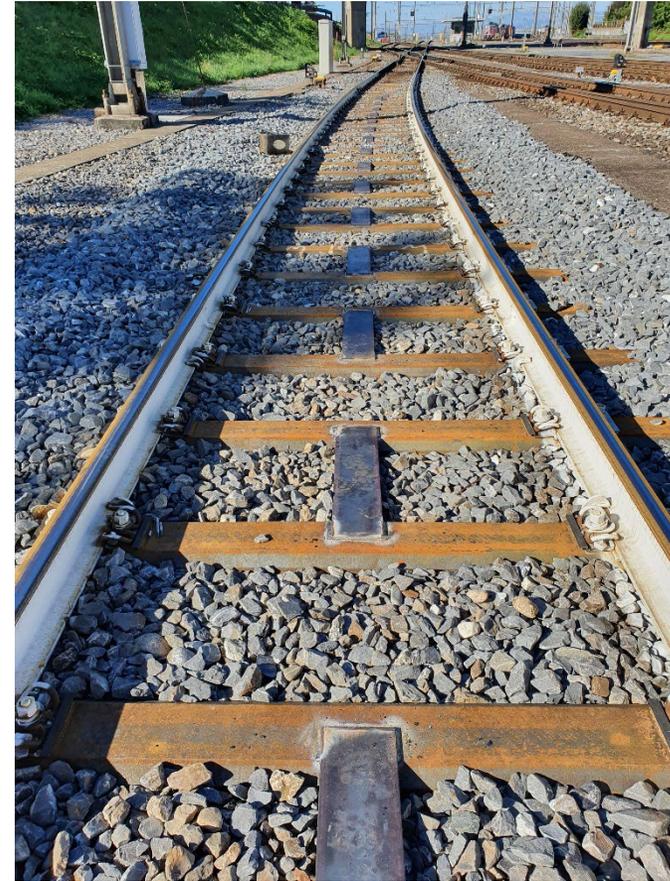
Ermittlung der Rahmensteifigkeit



Rahmensteifigkeit – äquivalente Verformung [mm]



Innovation: Rahmensteifes Stabschwelengleis!



Bilder: David Rumo, SBB

Gleislagestabilitätsphilosophie

$$F_{E,d} \leq QVW_{R,d}$$

keine Gleislage-
veränderungen durch
thermische Belastung

$$F_{E,d} > QVW_{R,d}$$

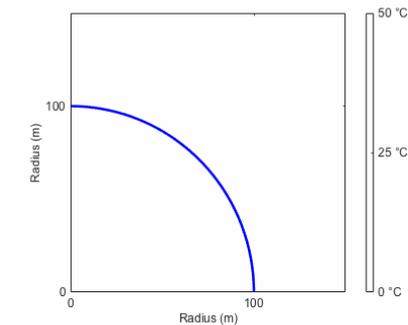
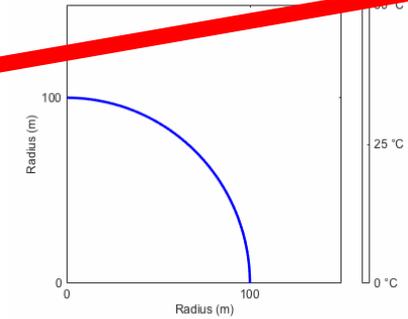
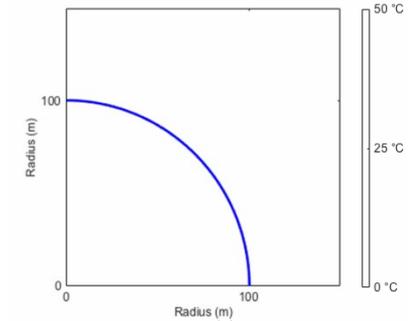
+
rahmenweicher Oberbau

⇒ Polygon
⇒ Verdrückungen
⇒ Verwerfungen

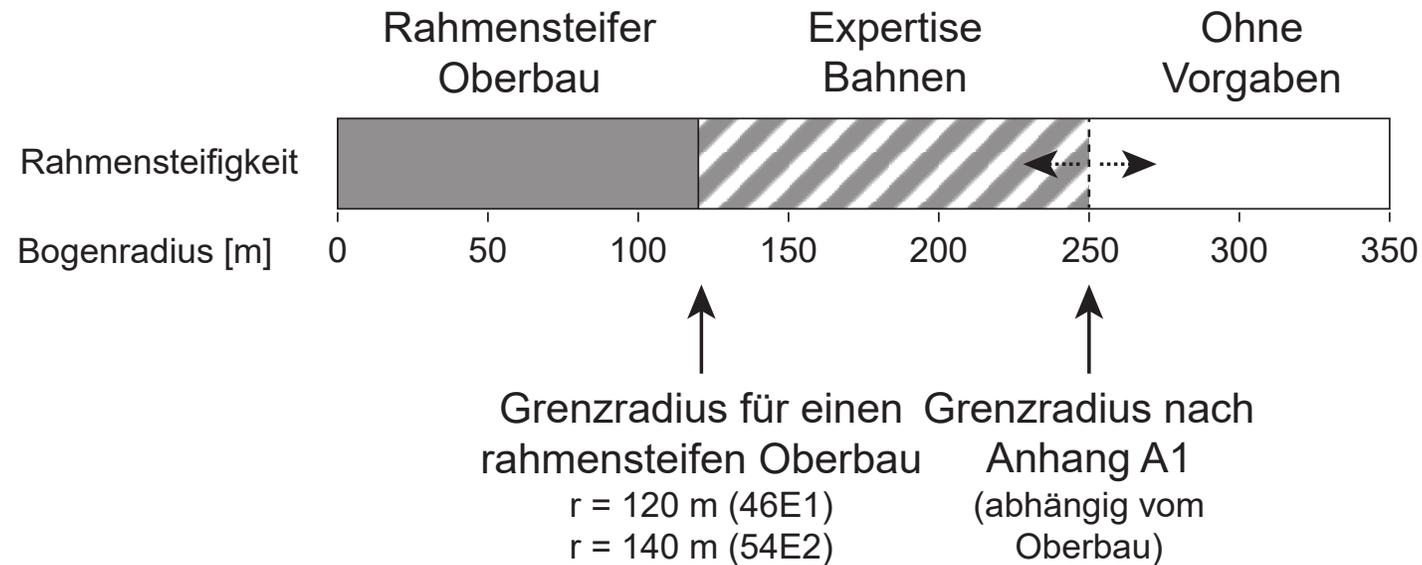
$$F_{E,d} > QVW_{R,d}$$

+
rahmensteifer Oberbau

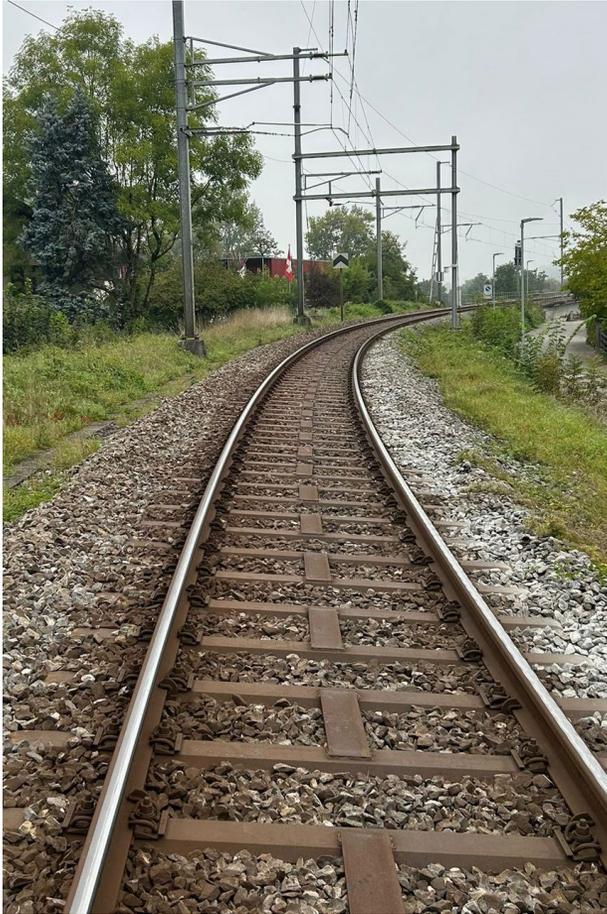
gleichmässige
Bogenatmung



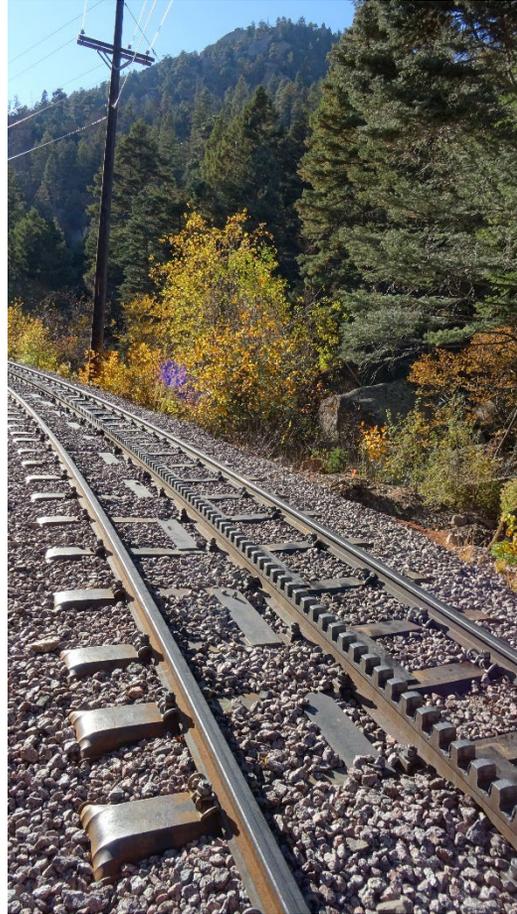
Stabilitätsphilosophie RTE 22541 neu (Auflage 2024)



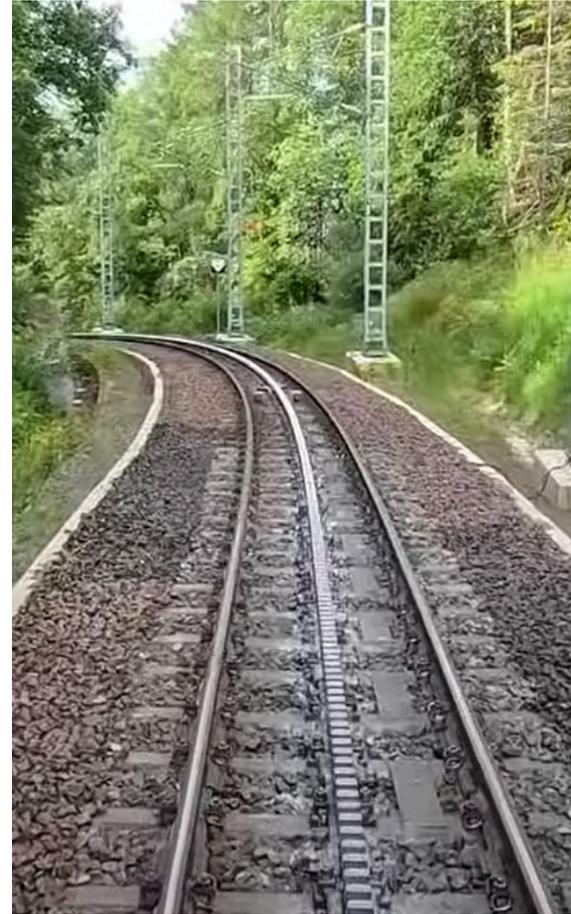
Umsetzung



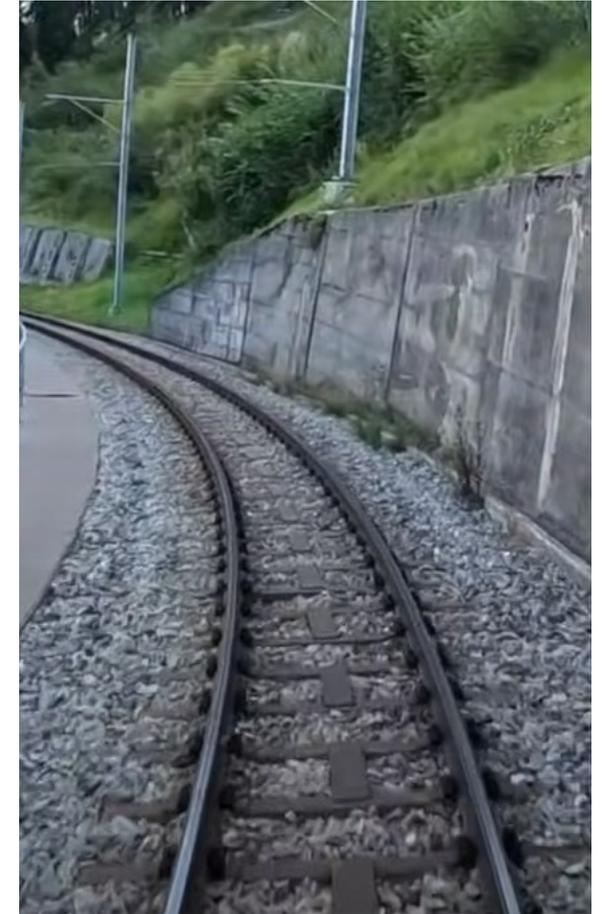
SBB: Turgi



MPPR, USA



Štrba - Štrbské Pleso,
Slowakei



RhB: Chur-Arosa

«Mikroklima» für Folgeinnovationen



RhB: Filisur, $r = 123 \text{ m}$



Verkehrsbetriebe Zwickau

Vossloh Fastening Systems

Take-Home Messages

1. Sämtliche Bögen können und sollen nun lückenlos verschweisst werden, durch Verwendung eines geeigneten Oberbaus
2. Gleise sollen ENTWEDER
 - nie Bogenatmung haben, oder
 - eine gleichmässige Bogenatmung muss durch einen rahmensteifen Oberbau sichergestellt werden

Allseits gute Fahrt!



Contact information and credits

Patrick Braess

Dr. sc. ETH Zürich Dipl.-Ing.

Technischer Direktor

Patrick.Braess@tracknet.ch

TrackNet Management SA

Route de la Maillarde 21-22

CH-1680 Romont

Images: All by author if not mentioned differently

Und was ist mit weissen Schienen?

„Eine weisse Lackierung der Schienen reduziert die maximale Schienentemperatur um ca. 5 - 10 °C und limitiert damit insbesondere an sehr heissen Tagen die Spannungsspitzen. Durch Korrosion sowie Verschmutzungen durch Staub und Schmiermittel reduziert sich dieser Effekt jedoch bereits nach kurzer Zeit. Somit ist die weisse Lackierung **kein geeignetes Mittel**, um Bögen mit einer instabilen Gleislage oder einer ungleichmässigen Bogenatmung nachhaltig zu stabilisieren.“

Nichtsdestotrotz kann gerade bei **Neulage, Stopfung** oder **Schotterreinigung** eine weisse Lackierung der Schienen dazu beitragen, dass sich keine grösseren Gleislageveränderungen in der Konsolidierungsphase des Schotters ergeben, bis sich ein ausreichender Querverschiebewiderstand gebildet hat.“



Ermittlung der Rahmensteifigkeit

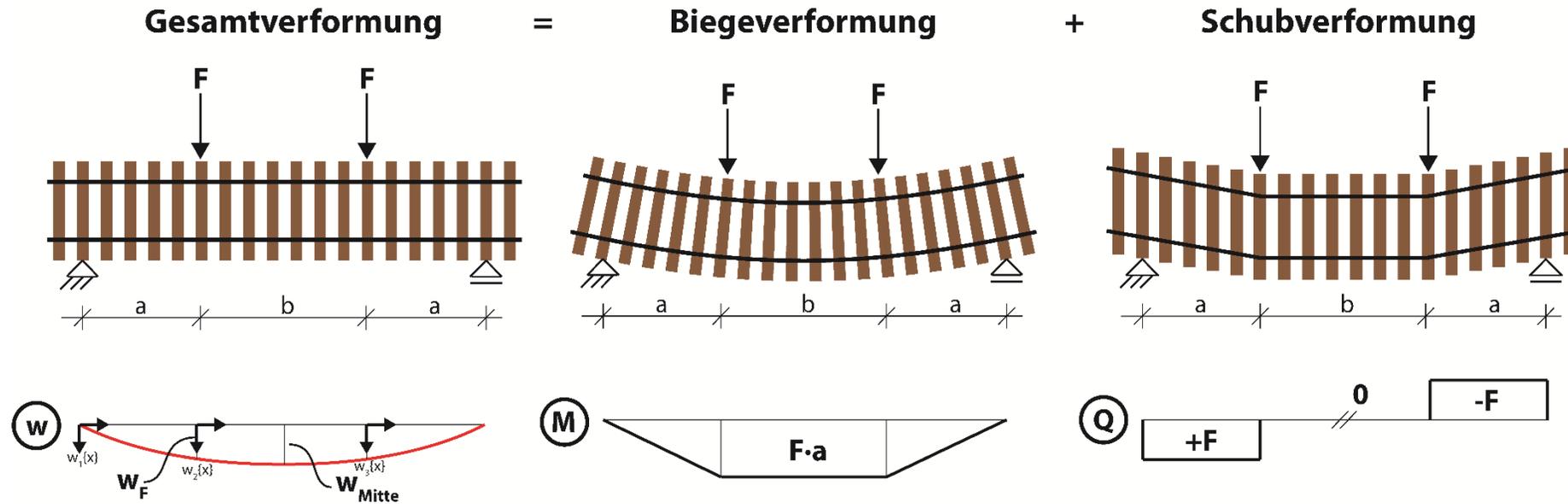


Abbildung 8-1:

4-Punkt Biegeversuch [Braess et al., 2018], w = Verformungsdiagramm, M = Biegemomentdiagramm, Q = Querkraftdiagramm

Ermittlung der Rahmensteifigkeit

Biegesteifigkeit: $EI = \frac{a \cdot b^2}{8} \cdot \left(\frac{F}{w_{\text{Mitte}} - w_F} \right)$

Schubsteifigkeit: $GA_v = \frac{F \cdot a}{w_{\text{Mitte}} - \frac{F \cdot a}{EI} \left(\frac{a^2}{3} + \frac{a \cdot b}{2} + \frac{b^2}{8} \right)}$

Mit $F = 10 \text{ kN}$, $a = 3 \text{ m}$, $b = 4.2 \text{ m}$:

$$w_{\text{äquivalent}} = \frac{345.15 \text{ kNm}^3}{EI} + \frac{30 \text{ kNm}}{GA_v}$$

Anhang A1 R RTE 22541

R RTE 22541 A1 Lückenlose und verlaschte Gleise und Weichen Meterspur	Minimalradien für lückenlose Gleise	VÖV UTP
---	--	--------------------

Radius	Zuggleise										Rangiergleise									
	Freie Strecke					Tunnel														
R ≥ 400 m																				
350 m ≤ R < 400 m																				
300 m ≤ R < 350 m																				
250 m ≤ R < 300 m																				
200 m ≤ R < 250 m																				
185 m ≤ R < 200 m																				
140 m ≤ R < 185 m																				
120 m ≤ R < 140 m																				
R < 120 m																				

Schienenprofil [kg/m]	46	54	46	54	46	54	46	54	46	54	46	54	46	54	46	54	46	54	46	54
Schwellenart	Rahmensteifer Oberbau		Stahl Holz		Stahl		Beton		Rahmensteifer Oberbau		Stahl Holz		Beton		Rahmensteifer Oberbau		Stahl ⁴⁾ Holz ⁴⁾		Beton ⁴⁾	
Schwellentyp	Y-Stahlschwelle, Stahldoppelschwelle oder ähnlich		Typ 140 ³⁾ Holz		Typ 220		VöV-E M2/M4 B 07 FS		Y-Stahlschwelle, Stahldoppelschwelle oder ähnlich		Typ 140 Typ 220 Holz		VöV-E M2/M4 B 07 FS		Y-Stahlschwelle, Stahldoppelschwelle oder ähnlich		Typ 140 Typ 220 Holz		VöV-E M2/M4	
Besohlung	-		-		-		unbesohlt steif ¹⁾ mittelsteif ²⁾		-		-		unbesohlt steif ¹⁾ mittelsteif ²⁾		-		-		unbesohlt	

- Darf verschweisst werden
- Expertise Bahnen
- Darf nicht verschweisst werden

- 1) Bettungsmodul: $0.25 \leq C_{stat} < 0.45$ [N/mm³]
- 2) Bettungsmodul: $0.15 \leq C_{stat} < 0.25$ [N/mm³]
- 3) Auslaufmodell, darf im Regelfall nicht mehr neu eingebaut werden
- 4) In solchen Verhältnissen kann im Bereich der kleinen Radien bei Schienentemperaturen über ca. 50 °C eine Gleisverdrückung nicht ausgeschlossen werden.