



# Interaktion zwischen Tragwerk und Gleis: Eine ganzheitliche Betrachtung

Saeed KARIMI

# Einführung

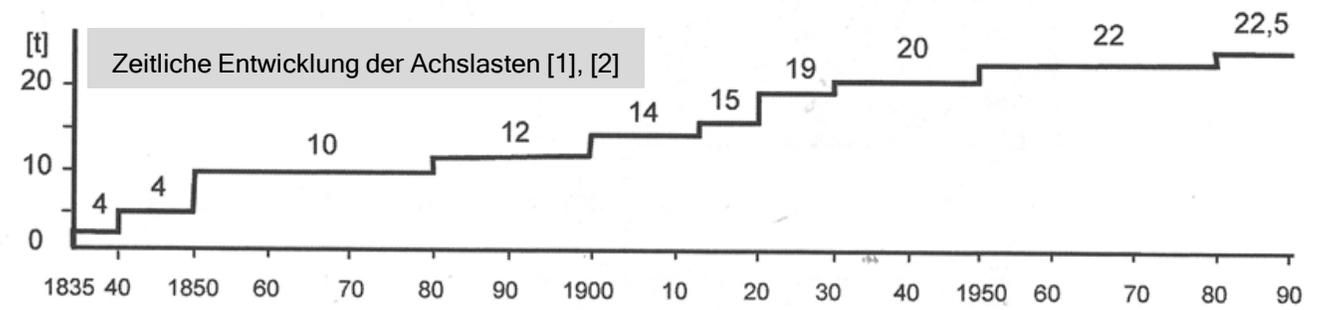
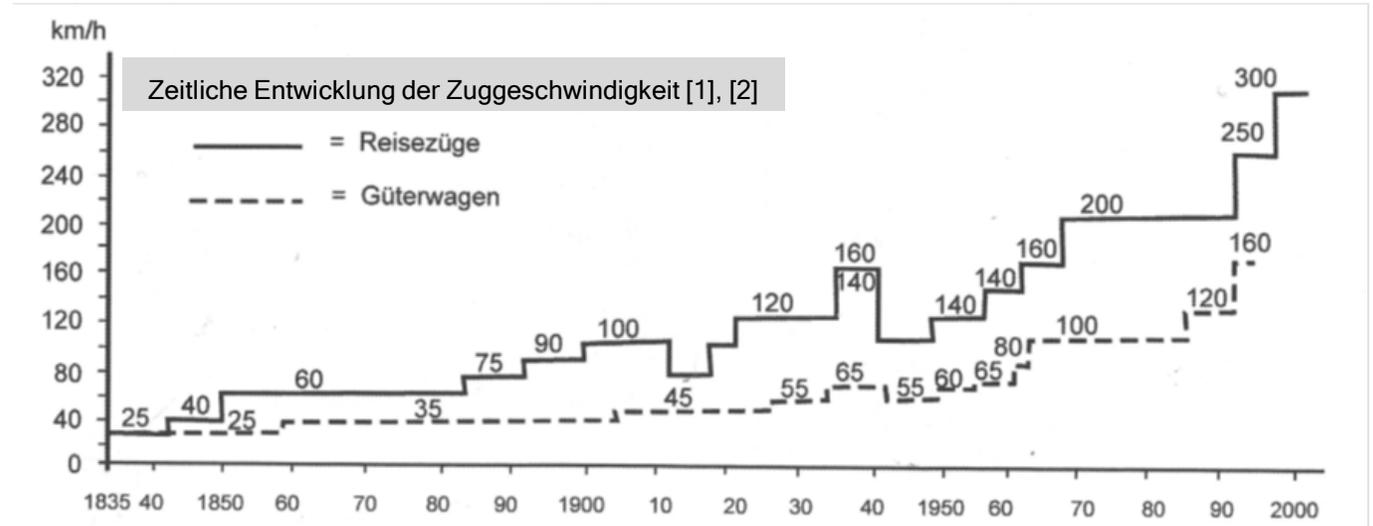
## ➤ Stoßlückengleise

- Höhere Beanspruchung des Fahrweges und der Fahrzeuge
- Kürzere Instandhaltungszyklen, höhere Instandhaltungskosten
- Höhere Lärmentwicklung und Umweltbelastung

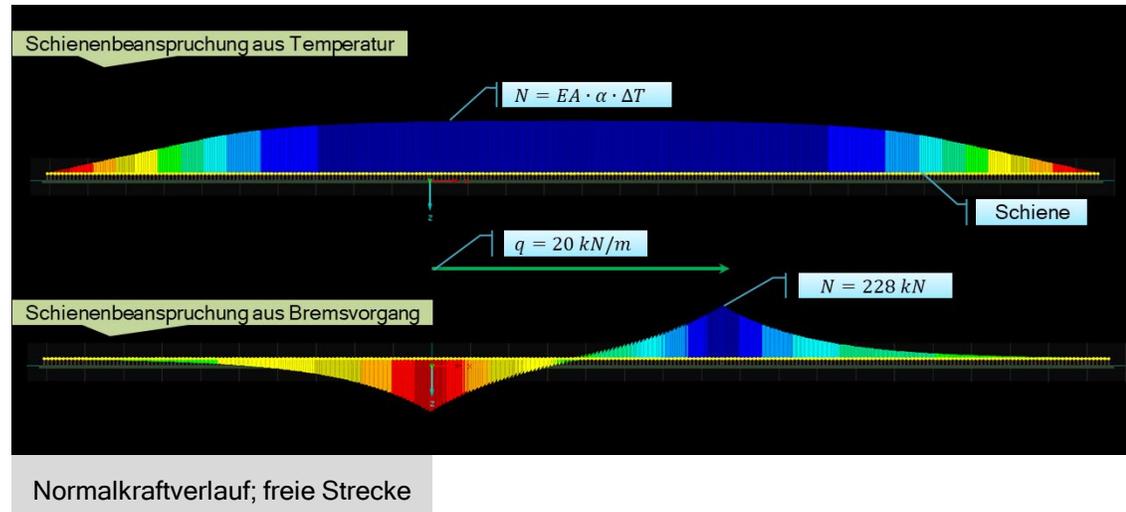
## ➤ Gleis mit lückenlos verschweißten Schienen

- Besserer Fahrzeuglauf und Fahrkomfort
- Schonende Wirkung auf Fahrweg und Fahrzeuge
- Höhere Zuggeschwindigkeiten und Achslasten
- Höhere Zugdichte und Zugfrequenz
- Reduktion der Lärmentwicklung und Umweltbelastung

## ❖ „Ungewollte“ Mitwirkung der Oberbaukomponenten bei der Längskraftübertragung...

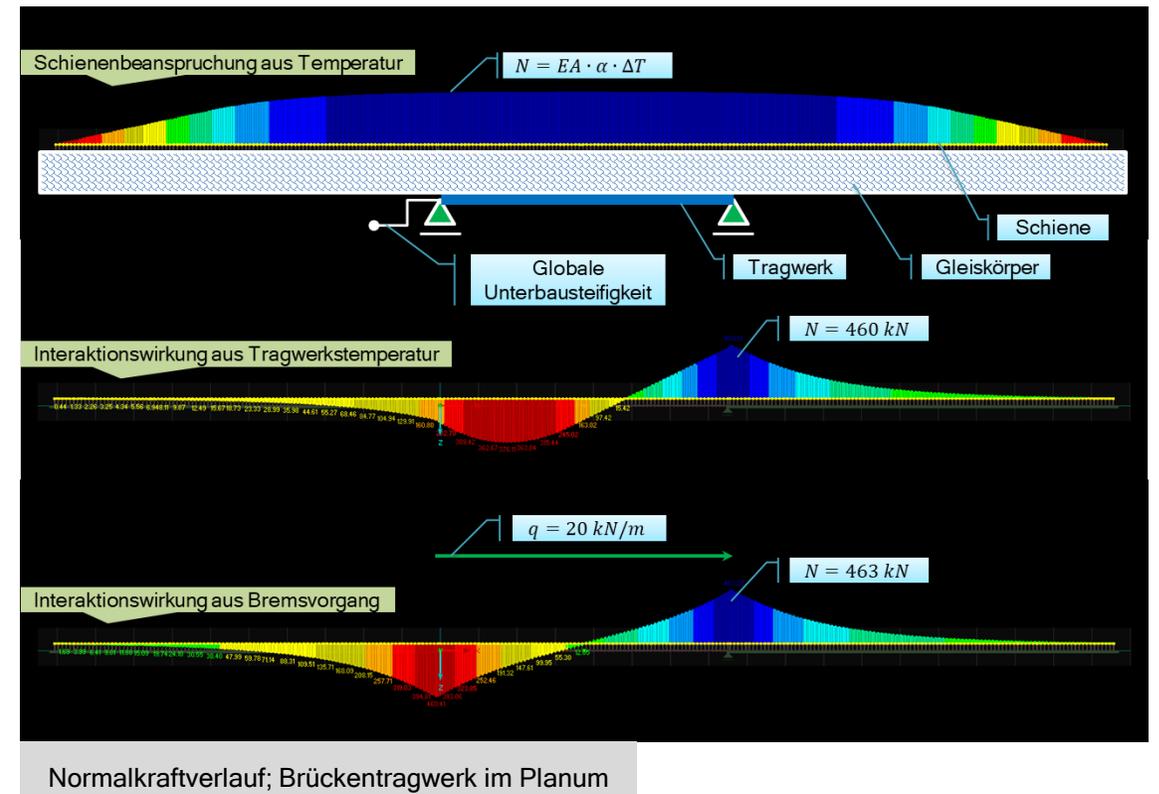


# Einführung

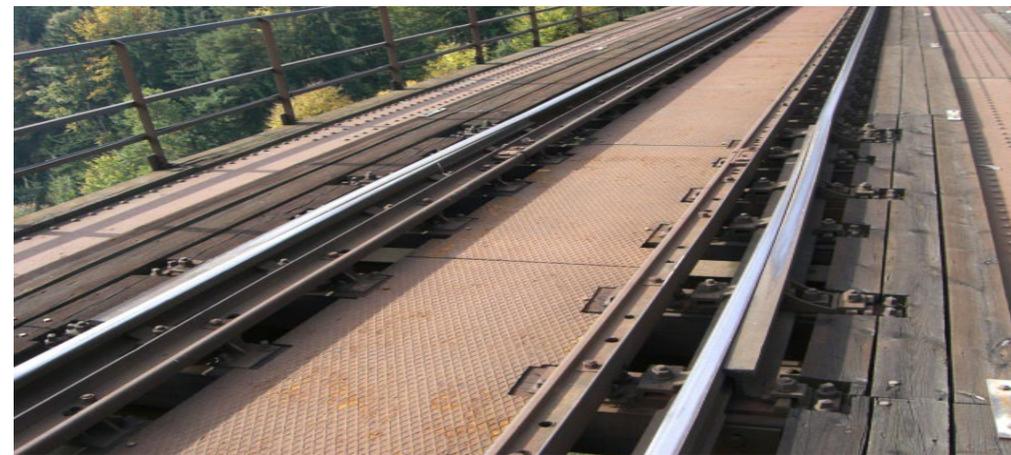


## ➤ Unstetigkeiten im Streckenverlauf > Änderung des Verformungsverhaltens

- Weichen und Kreuzungen
- Tunnelportale; Übergang freie Strecke/ Tunnel
- Wechsel in Oberbauform: Schotteroberbau, Feste Fahrbahn
- Enge Radien
- **Vorhandensein von Brückentragwerk im Planum**
- ❖ „Ungewollte“ Mitwirkung der Oberbaukomponenten bei der **Längskraftübertragung...**

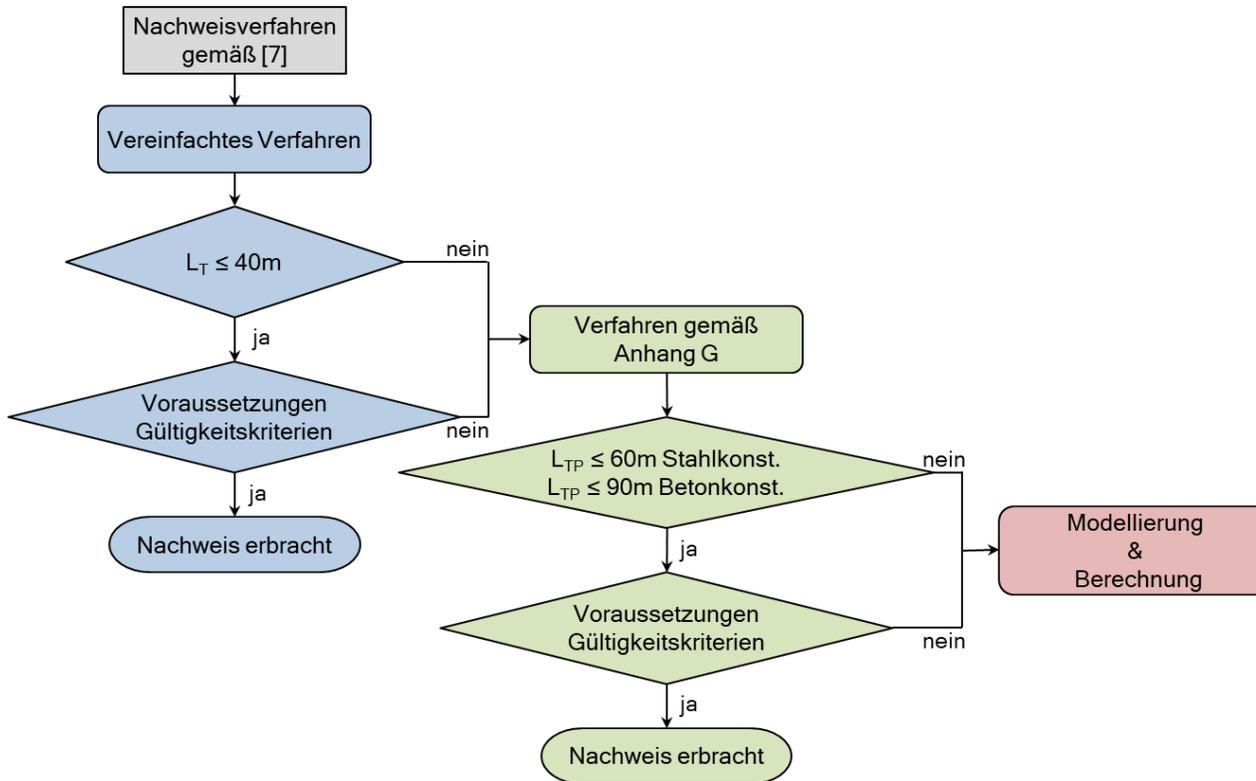


# Einführung



# Normative Vorgaben und Verfahren

➤ Ablaufdiagramm zur Berücksichtigung und Bewertung der Interaktion zwischen Tragwerk und Gleis gemäß ÖNORM EN 1991-2



## Vereinfachtes Bemessungsverfahren

- Voraussetzungen**
- Ausreichende Unterbausteifigkeit zur Begrenzung der Überbau- Längsverschiebung zufolge Anfahren/ Bremsen auf 5 mm
  - Begrenzung der Überbau- Längsverschiebung zufolge vertikaler Verkehrseinwirkung auf 5 mm
  - Begrenzung der Auszugslänge  $L_T$  auf 40 m

- Gültigkeitsgrenzen**
- Einhaltung der Voraussetzungen gemäß oberbauspezifischen Entwurfskriterien
  - Längsverschiebewiderstand 20-40 kN/m für unbelastetes Gleis bzw. 60 kN/m für belastetes Gleis
  - Vertikale Verkehrseinwirkung LM71 bzw. SW/2
  - Bremsen 20 kN/m für LM71 bzw. 35 kN/m für SW/2
  - Anfahren 33 kN/m, auf 1000 kN begrenzt
  - Temperaturänderung des Überbaues  $\leq 35$  K
  - Temperaturänderung der Schiene  $\leq 50$  K
  - Temperaturdifferenz zwischen Schiene und Überbau  $\leq 20$  K

## Berechnungsverfahren gemäß Anhang G

„Bestimmung der zulässigen Auszugslänge  $L_{TP}$ “

- Voraussetzungen**
- Auszugslänge  $L_T \leq 60$  m bei Stahlkonstruktionen
  - Auszugslänge  $L_T \leq 90$  m bei Beton- und Verbundkonstruktionen

- Gültigkeitsgrenzen**
- Einhaltung der Voraussetzungen gemäß oberbauspezifischen Entwurfskriterien
  - Längsverschiebewiderstand 20-40 kN/m für unbelastetes Gleis bzw. 60 kN/m für belastetes Gleis
  - Vertikale Verkehrseinwirkung LM71 bzw. SW/2
  - Bremsen 20 kN/m für LM71, begrenzt auf 6000 kN bzw. 35 kN/m für SW/2
  - Anfahren 33 kN/m, auf 1000 kN begrenzt
  - Temperaturänderung des Überbaues  $\leq 35$  K
  - Temperaturänderung der Schiene  $\leq 50$  K
  - Temperaturdifferenz zwischen Schiene und Überbau  $\leq 20$  K

# Normative Vorgaben und Verfahren

- Berechnungs- und Bemessungsverfahren / Voraussetzungen und Gültigkeitsgrenzen gemäß ÖNORM EN 1991-2

## Berechnungs- und Nachweisformate zur Berücksichtigung der Interaktionswirkung

### Vereinfachtes Bemessungsverfahren

- Überprüfung der Schienenspannungen nicht erforderlich, wenn  $L_T < 40\text{m}$ !

### Berechnungsverfahren gemäß Anhang G

- Ermittlung der zulässigen Auszugslänge  $L_{TP}$ !

### Modellierung und Berechnung des gesamten Gleis-/ Tragwerkssystems

- Berücksichtigung von Last-/ Verformungsverhalten des gesamten Systems

## Entwurfskriterien, Oberbau

### Voraussetzungen

- Schotteroberbau mit schweren Betonschwellen, Schwellenabstand  $\leq 65\text{cm}$
- Schotterbetthöhe unter den Schwellen  $\geq 30\text{cm}$
- Schiene UIC 60 mit  $900\text{N/mm}^2$  Mindestzugfestigkeit
- Gerades Gleis oder Gleisradius  $\geq 1500\text{m}$

### Grenzwerte

- Zulässige zusätzliche Schienenzugspannungen:  $92\text{N/mm}^2$
- Zulässige zusätzliche Schienendruckspannungen:  $72\text{N/mm}^2$

## Entwurfskriterien, Brückenbau

### Grenzwerte für Verformungen aus Bremsen/ Anfahren

Relative Längsverschiebung zwischen Überbauende und angrenzendem Widerlager oder zwischen zwei aufeinander folgenden Überbauten

- Ohne Schienenauszug oder mit einem Schienenauszug  $\leq 5\text{mm}$
- Schienenauszüge an beiden Überbauenden  $\leq 30\text{mm}$

### Grenzwerte für Verformungen aus vertikaler Verkehrseinwirkung

Längsverschiebung am Überbauende aus Überbau- Endverdrehung

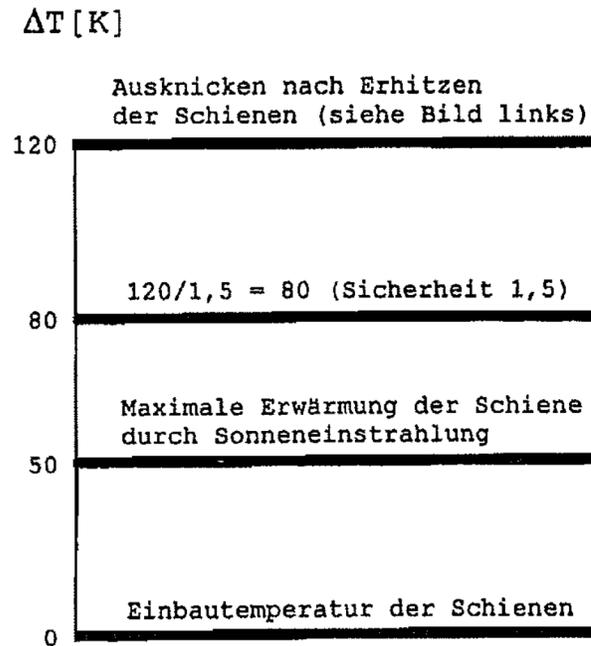
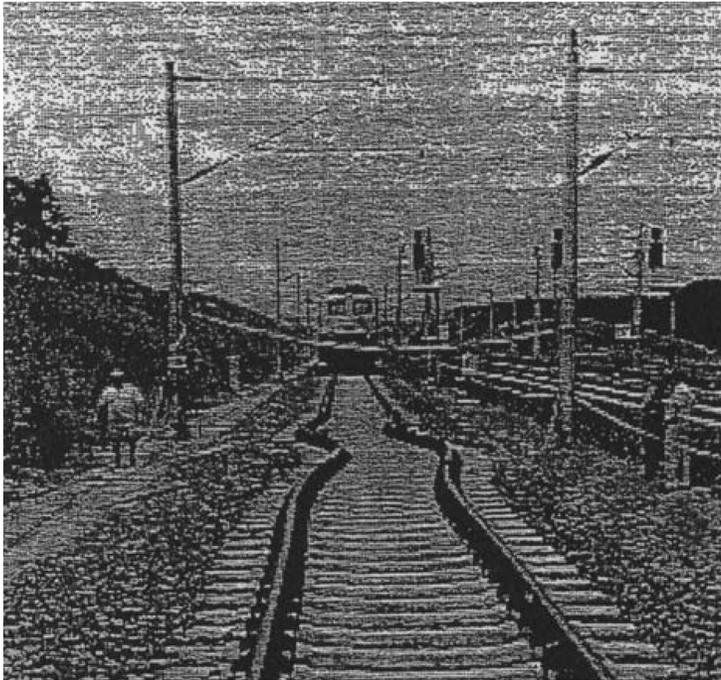
- Mit Berücksichtigung des Kombinationsverhaltens von Gleis und Bauwerk und ohne Schienenauszug oder mit einem Schienenauszug  $\leq 8\text{mm}$
- Ohne Berücksichtigung des Kombinationsverhaltens von Gleis und Bauwerk  $\leq 10\text{mm}$

Vertikalverschiebung der Überbau- Oberkante (Höhenversatz) relativ zum Widerlager oder einem anderen Überbau

- Bei örtlich zulässiger Geschwindigkeit bis  $160\text{km/h} \leq 3\text{mm}$
- Bei örtlich zulässiger Geschwindigkeit über  $160\text{km/h} \leq 2\text{mm}$

# Normative Vorgaben und Verfahren

➤ Grenzwerte der zulässigen zusätzlichen Schienenspannungen [10]

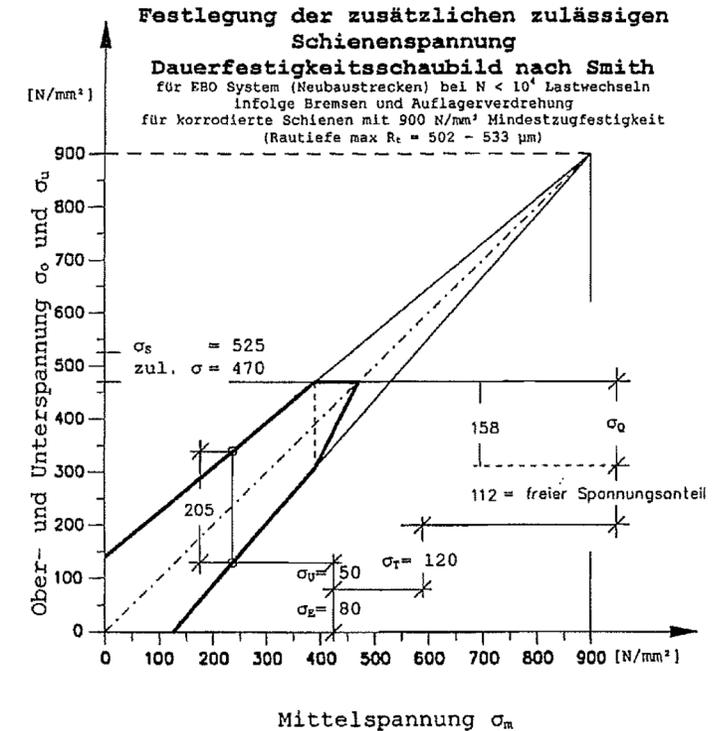


$\Delta\sigma = E \times \Delta T \times \alpha = 72,45 \text{ N/mm}^2$  ... zulässige zusätzliche Schienendruckspannung

$E$  ... Elastizitätsmodul des Schienenstahls  $2,1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

$\Delta T$  ... Differenztemperatur  $30,0 \text{ [}^\circ\text{C]}$

$\alpha$  ... Wärmeausdehnungskoeffizient der Schiene  $1,15 \times 10^{-5} \text{ [1/}^\circ\text{C]}$



• Materialparameter und Werkstoffeigenschaften:

*UIC60* ... Schienenprofil

Zugfestigkeit ...  $900,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

Streckgrenze ...  $470,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

Gestaltfestigkeit ...  $205,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

• Eingangsparameter und Beanspruchungen:

Schienenzugspannung ...  $80,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

Unterspannung ...  $50,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

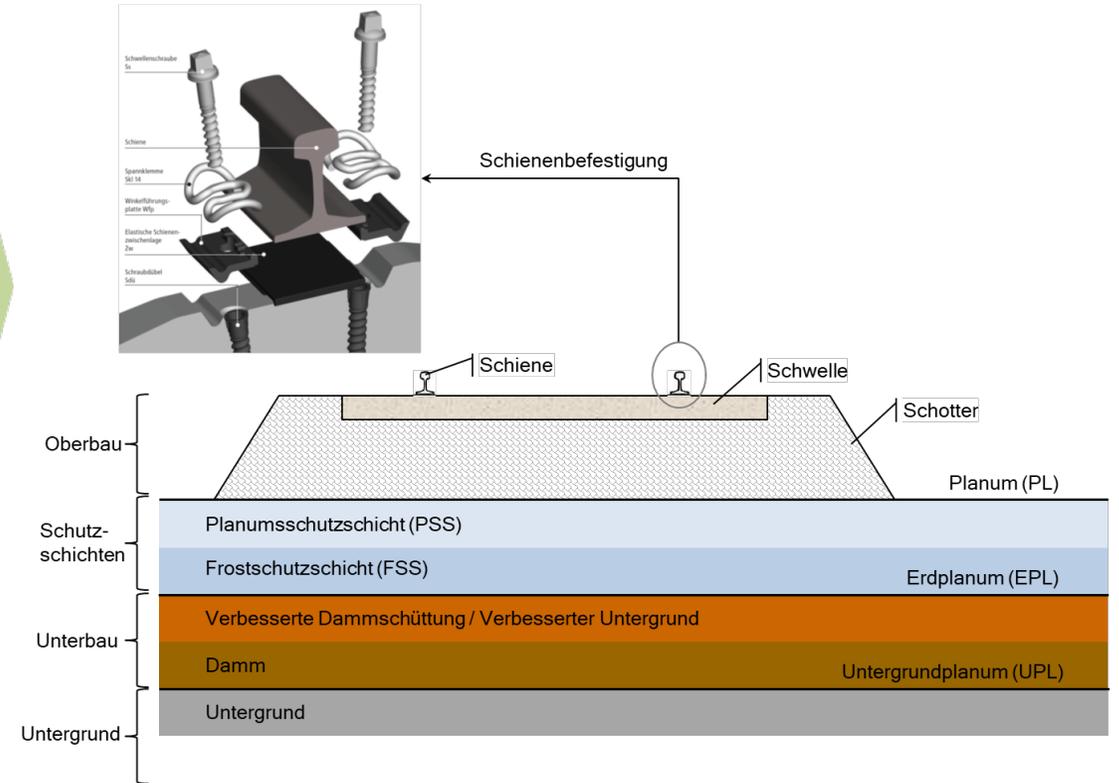
Schienenspannung zufolge Temperaturänderung der Schiene ...  $120,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

Biegezugspannung zufolge Betriebseinwirkung ...  $158,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

$\Delta\sigma = 112 - 20 = 92,0 \text{ N/mm}^2$  ... zulässige zusätzliche Schienenzugspannung

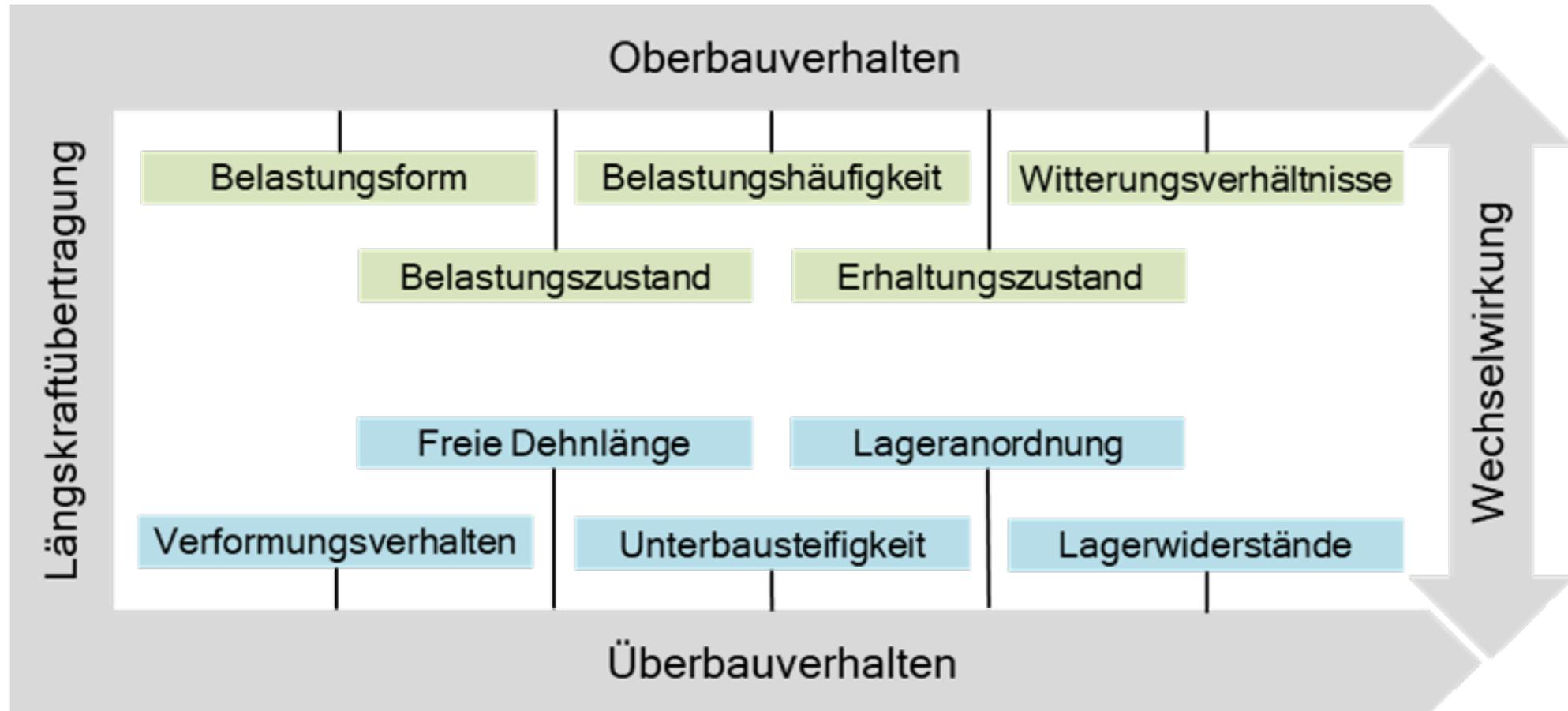
# Strecken- und oberbaubezogene Merkmale

➤ Ausgestaltung des Oberbaues und Wahl der Oberbaukomponenten



# Mechanismen der Längskraftübertragung

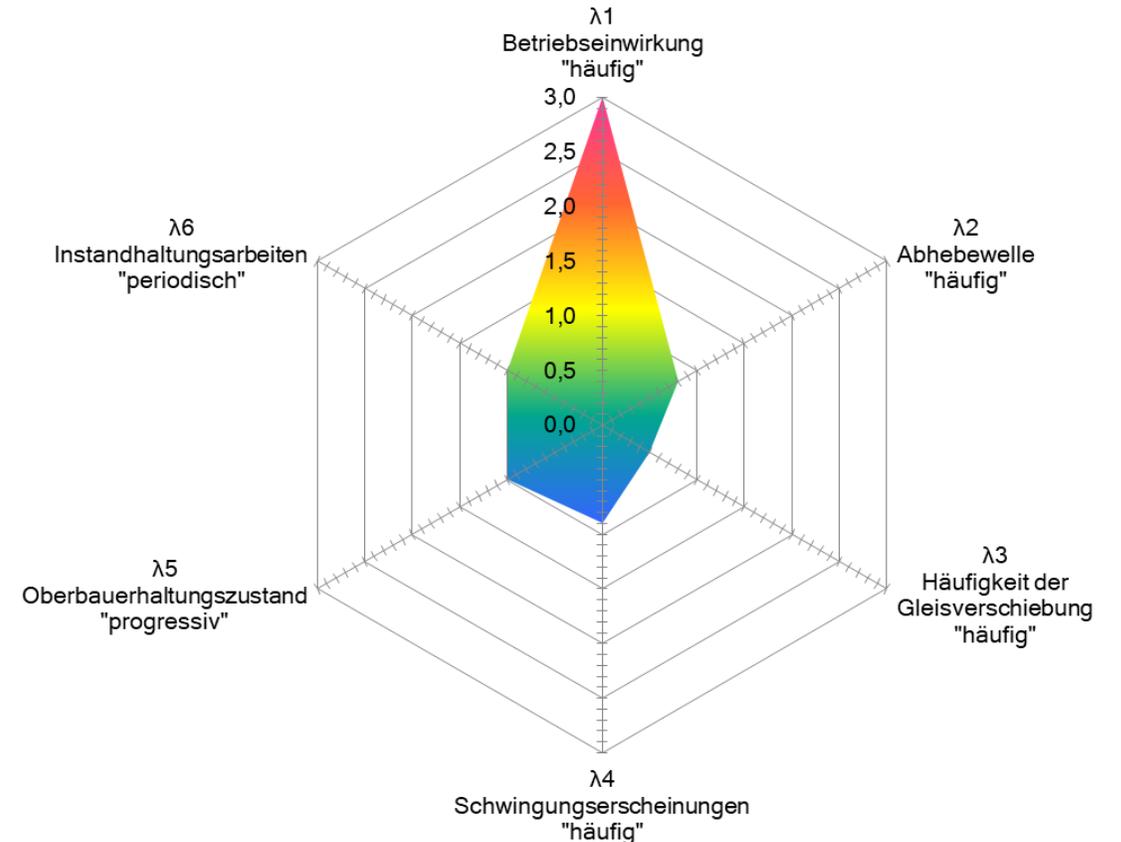
➤ Beeinflussung des Oberbau- respektive Überbauverhaltens



# Mechanismen der Längskraftübertragung

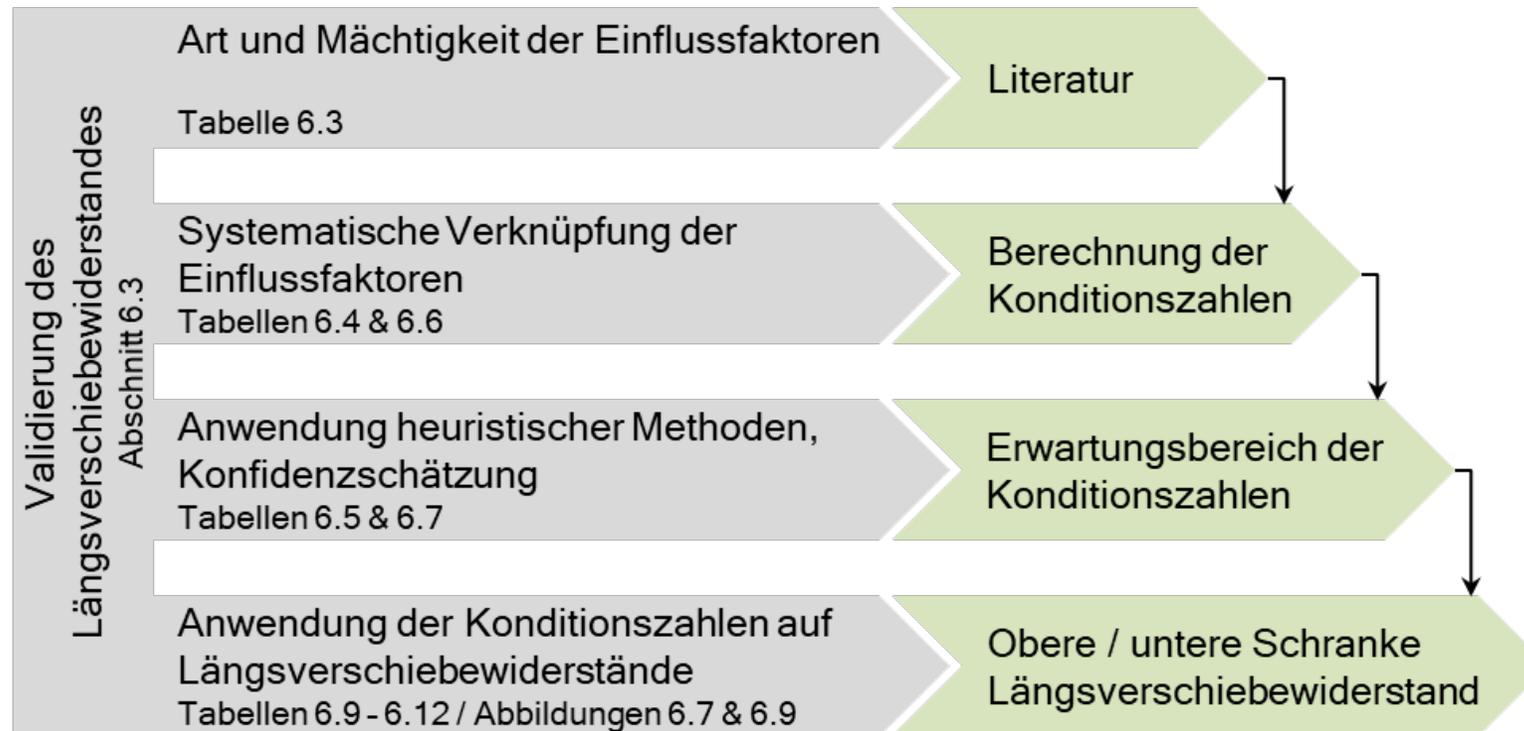
## ➤ Wesentliche Einflussfaktoren, Schottergleis

Einflussfaktoren	Merkmale	Literatur	Einflussgröße
$\lambda_1$ ... "häufig"	Erhöhung der Sohlreibung durch Schotterverdichtung zufolge Betriebseinwirkung und Häufigkeit der Belastung; lastproportionaler Anstieg der Sohlreibung im Bereich der Lasteinwirkungslänge von rd. 2,4m unter der Einzelachse auf dreifachen Wert gegenüber unbelastetem Gleis	[16], [22], [25]	3,00 "leitend" belastetes Gleis
$\lambda_2$ ... "häufig"	Reduktion der Sohlreibung durch die Abhebewelle vor und nach der jeweiligen Zugachse um 20-40%	[28]	0,80 "begleitend" belastetes Gleis
$\lambda_3$ ... "häufig"	Reduktion der Sohlreibung gegenüber der Erstverschiebung durch Häufigkeit der Gleisbewegung um bis zu 60%	[13], [16], [22]	0,50 "begleitend" für belastetes Gleis "leitend" für unbelastetes Gleis
$\lambda_4$ ... "häufig"	Reduktion der Sohlreibung durch Schwingungserscheinungen im Schotterbett zufolge Zuggeschwindigkeit	[28]	0,90 "begleitend"
$\lambda_5$ ... "progressiv"	Reduktion der Sohlreibung zufolge Gleisverschmutzung, Gleisverunreinigung, Vegetationsrückstände und Feuchtigkeit (Oberbauerhaltungszustand)	[28]	1,00 "begleitend"
$\lambda_6$ ... "periodisch"	Erhöhung der Sohlreibung zufolge Instandhaltungsarbeiten; anfängliche Reduktion der Sohlreibung und Entspannung des Gleises während der Stabilisierung (Einsatz von dynamischem Gleisstabilisator DSG)	[28]	1,00 "begleitend"



# Mechanismen der Längskraftübertragung

➤ Validierung des Längverschiebewiderstandes, Schottergleis

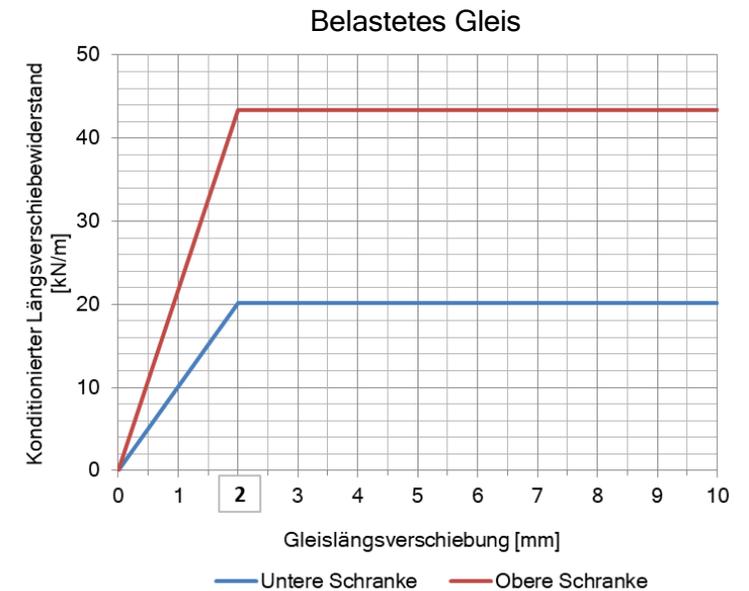
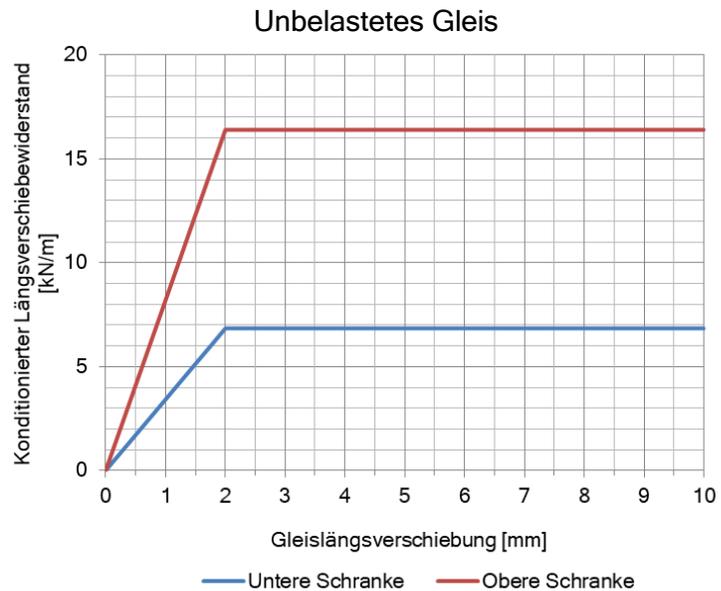


# Mechanismen der Längskraftübertragung

➤ Erwartungsbereich der Konditionszahlen und der Längsverschiebewiderstandsgrößen

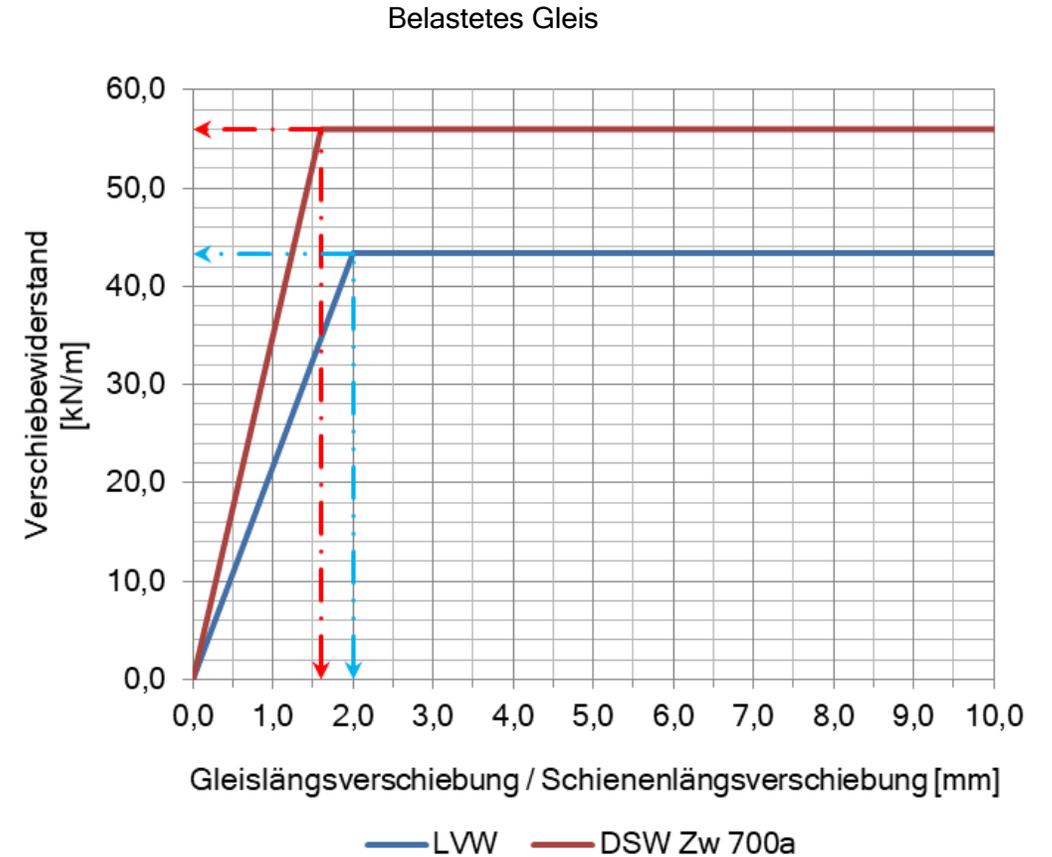
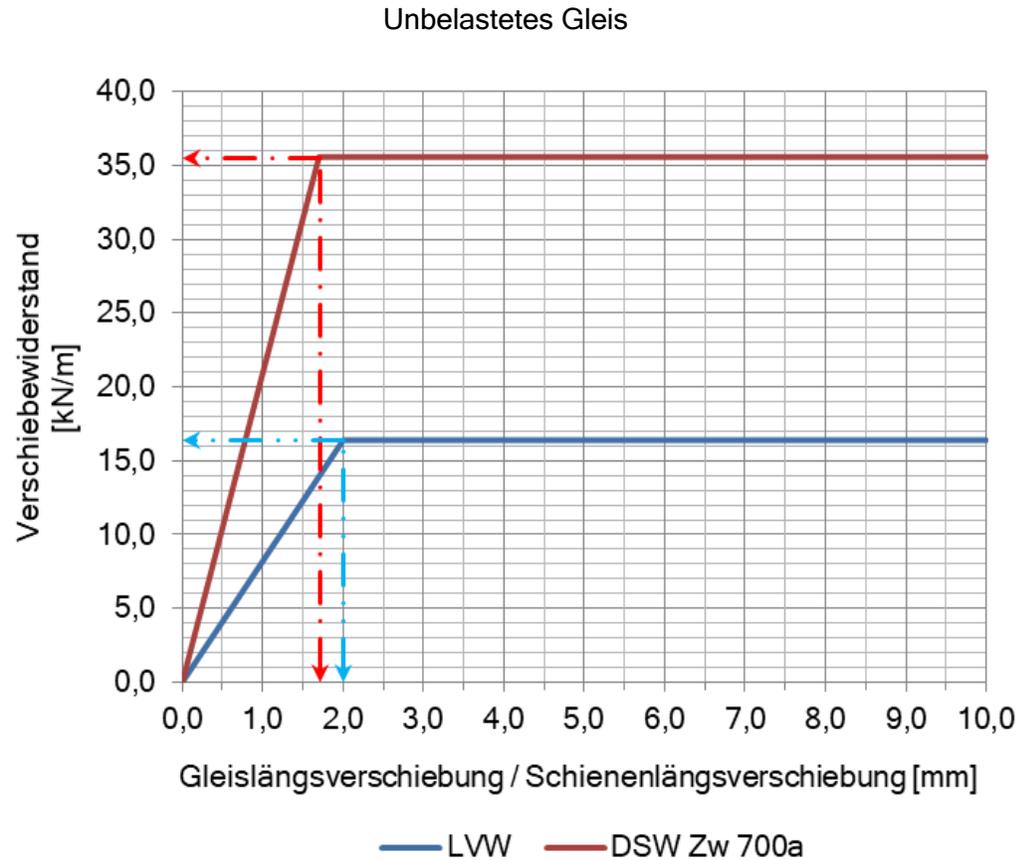
Umfang der Stichprobe	15,00
Entsprechend der Verknüpfungsmöglichkeiten Tabelle 6.6	
Mittelwert der Stichprobe	0,69
Standardabweichung der Stichprobe	0,24
Irrtumswahrscheinlichkeit 5%	0,05
Konfidenzintervall mit einem Konfidenzniveau von 95%	0,12
Erwartungsbereich für durchschnittliche Konditionszahl	
<b>0,82</b>	<b>0,57</b>

Umfang der Stichprobe	32,00
Entsprechend der Verknüpfungsmöglichkeiten Tabelle 6.4	
Mittelwert der Stichprobe	1,92
Standardabweichung der Stichprobe	0,70
Irrtumswahrscheinlichkeit 5%	0,05
Konfidenzintervall mit einem Konfidenzniveau von 95%	0,24
Erwartungsbereich für durchschnittliche Konditionszahl	
<b>2,17</b>	<b>1,68</b>



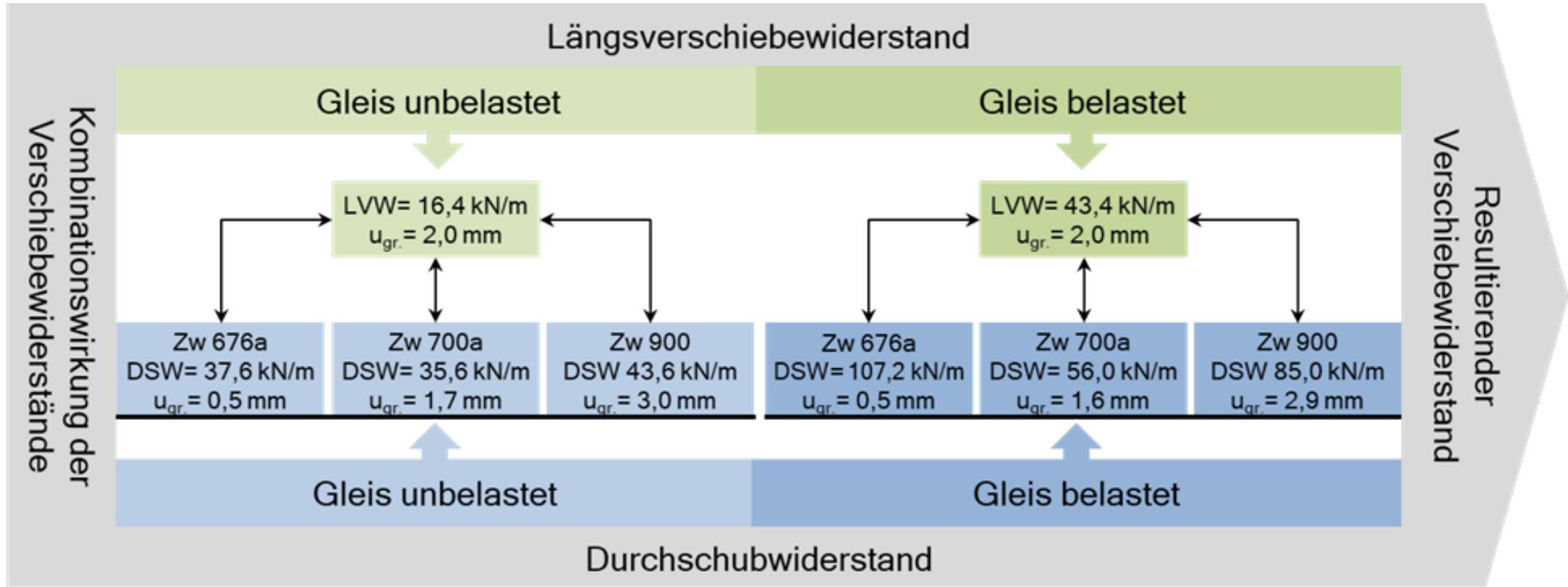
# Mechanismen der Längskraftübertragung

➤ Längsverschiebewiderstand, Durchschubwiderstand für elastische Zwischenlagen Zw 700a



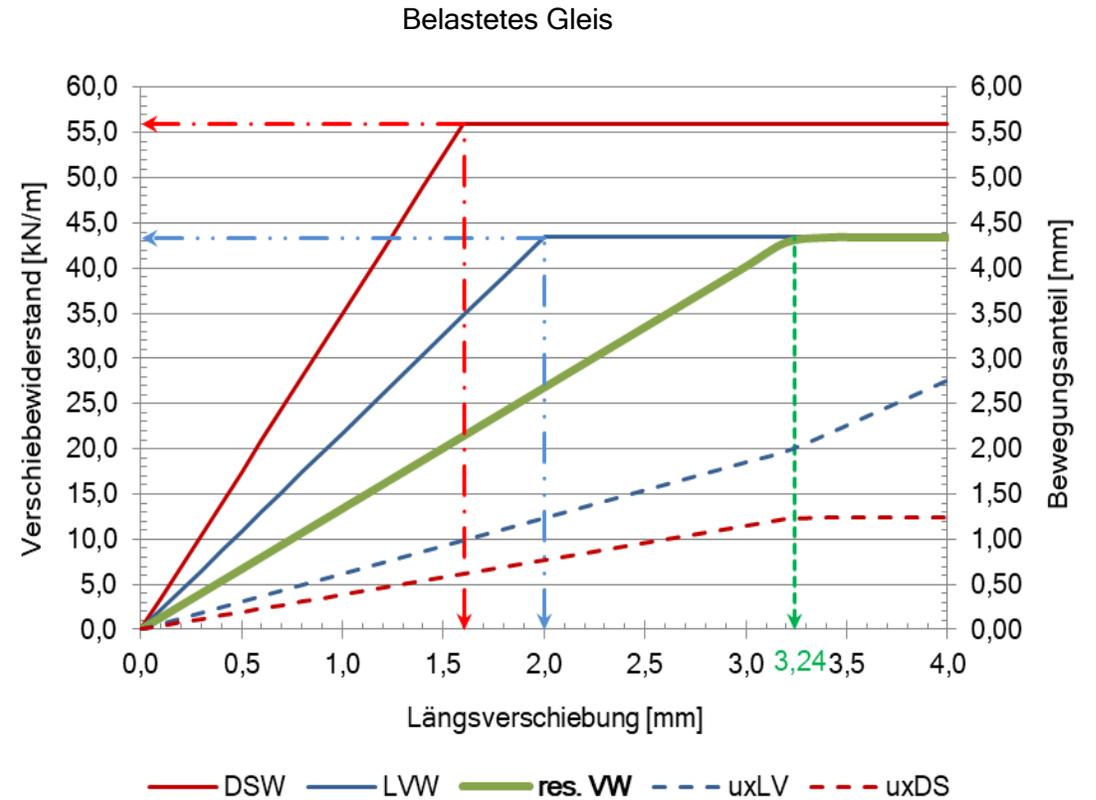
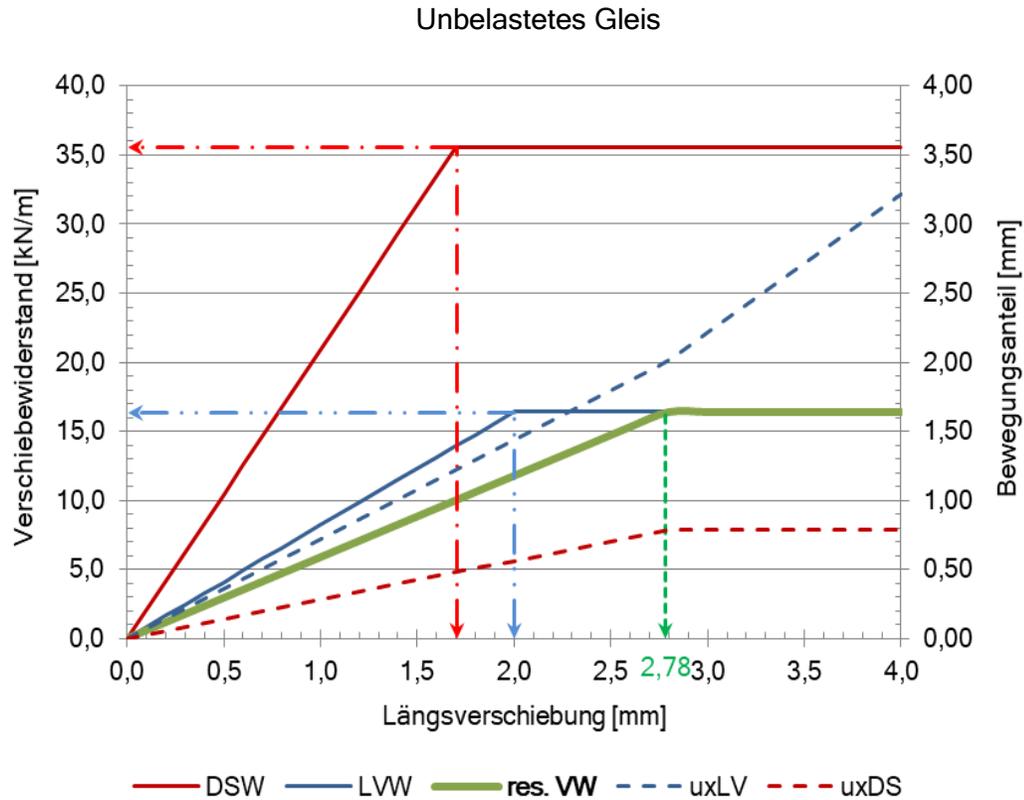
# Mechanismen der Längskraftübertragung

- Kombinationswirkung der Verschiebewiderstände, Schottergleis



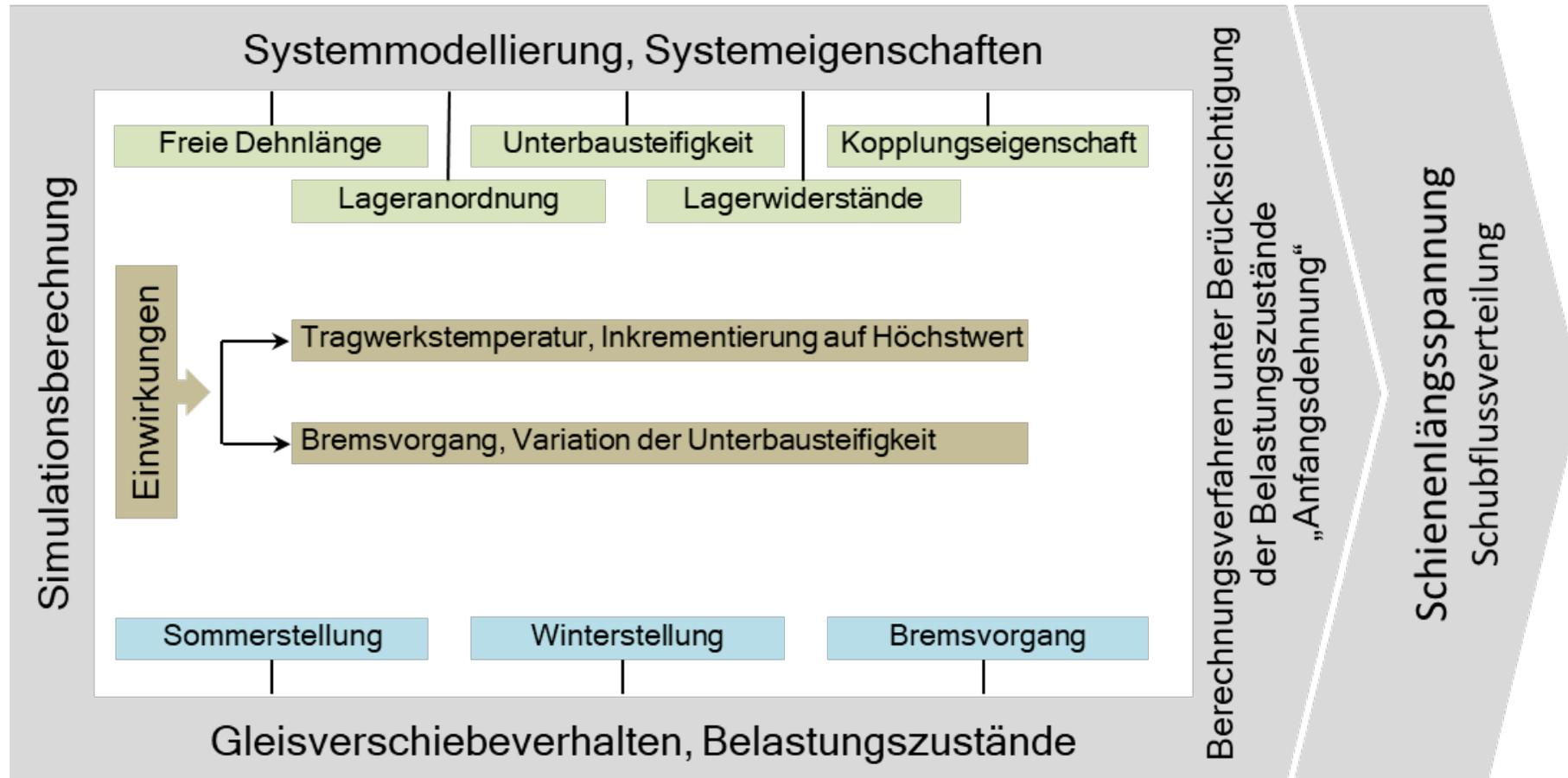
# Mechanismen der Längskraftübertragung

➤ Resultierender Verschiebewiderstand mit elastischen Zwischenlagen Zw700a, Schottergleis



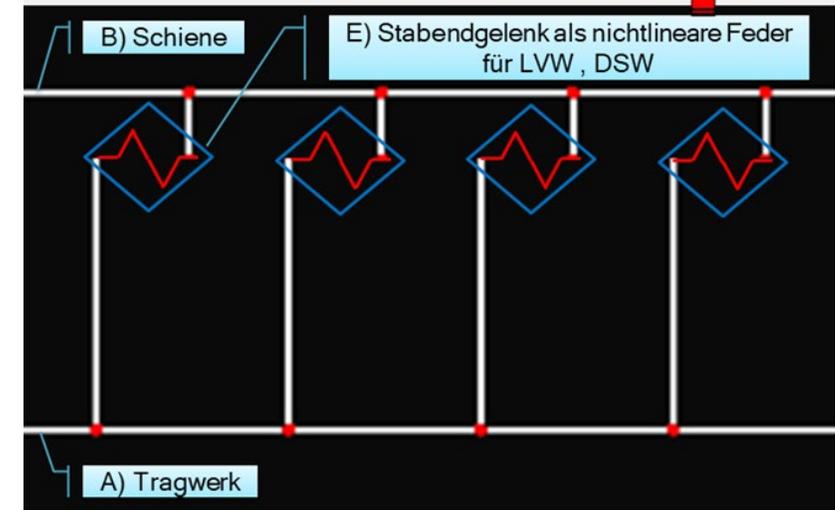
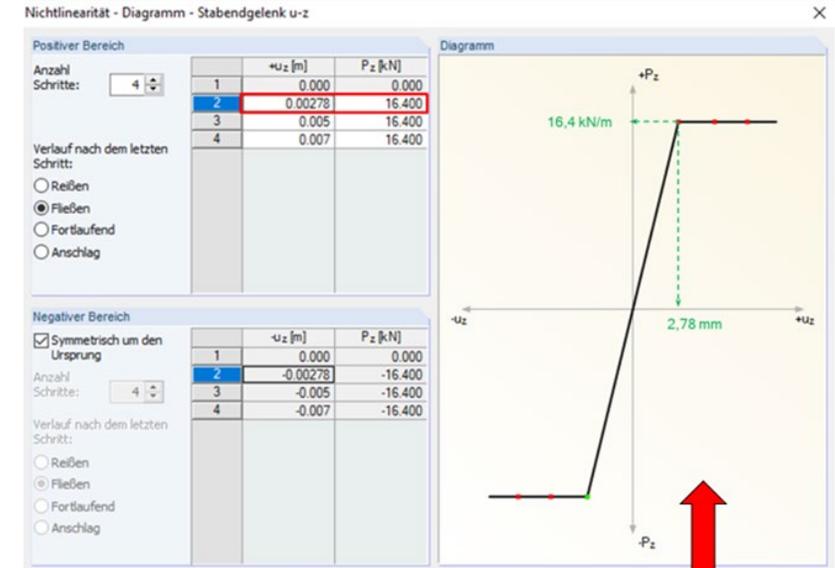
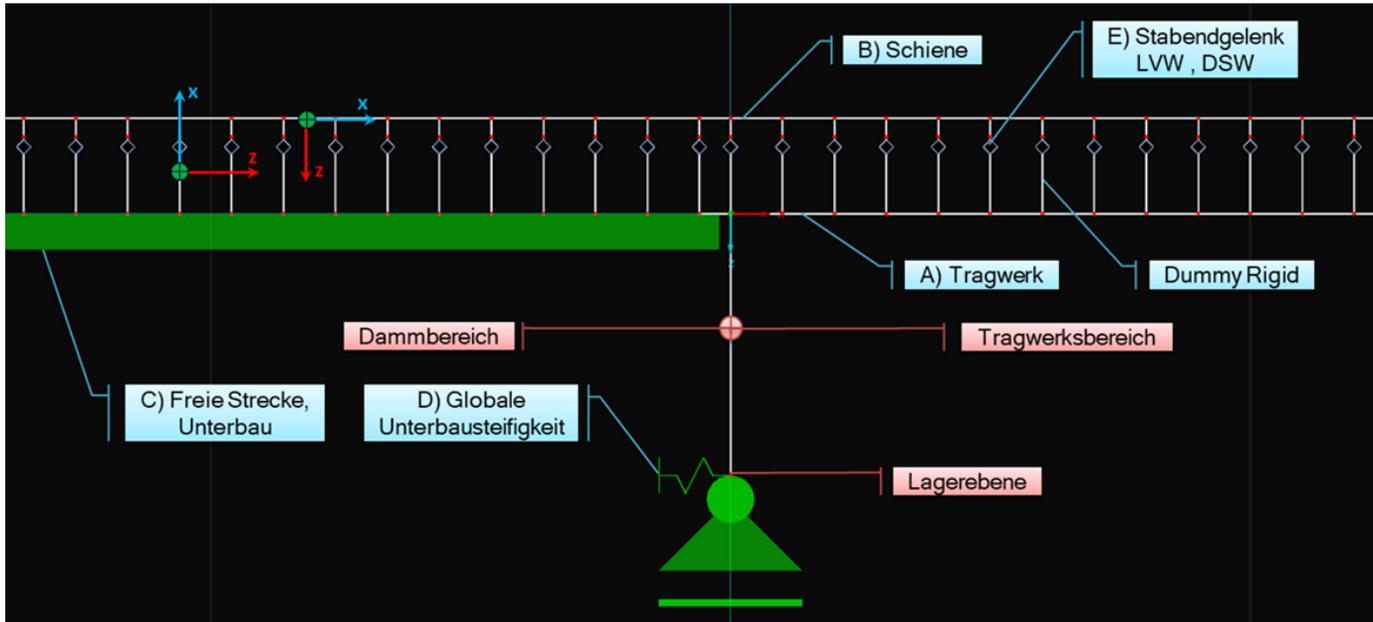
# Rechenmodelle und numerische Analysen

➤ Prozessablauf für Simulationsberechnung und Ermittlung der Systemantwort



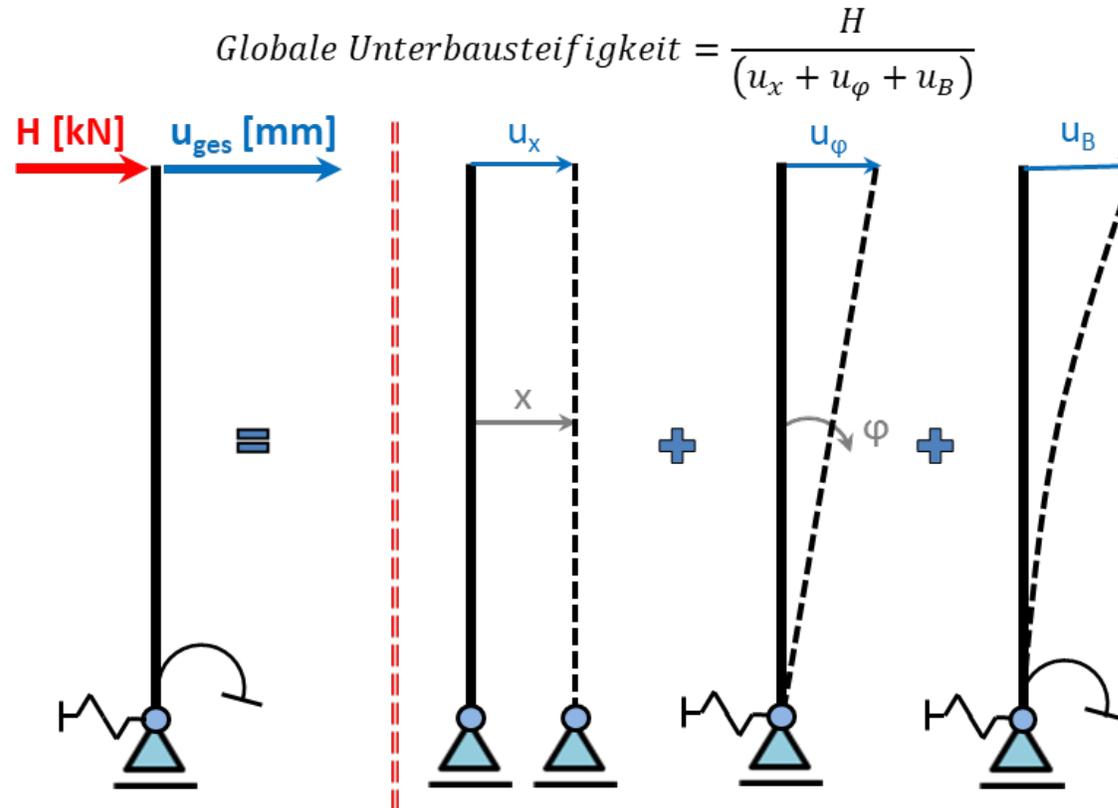
# Rechenmodelle und numerische Analysen

➤ Modellierungsansätze: Systemausschnitt, Tragelemente, Systemkomponenten



# Rechenmodelle und numerische Analysen

- Modellierungsansätze: globale Unterbausteifigkeit
- Horizontale Steifigkeit eines Knotenlagers: resultiert aus einer translatorischen Pfeilerbewegung, Pfeilerverdrehung und Pfeilerschaftbiegung

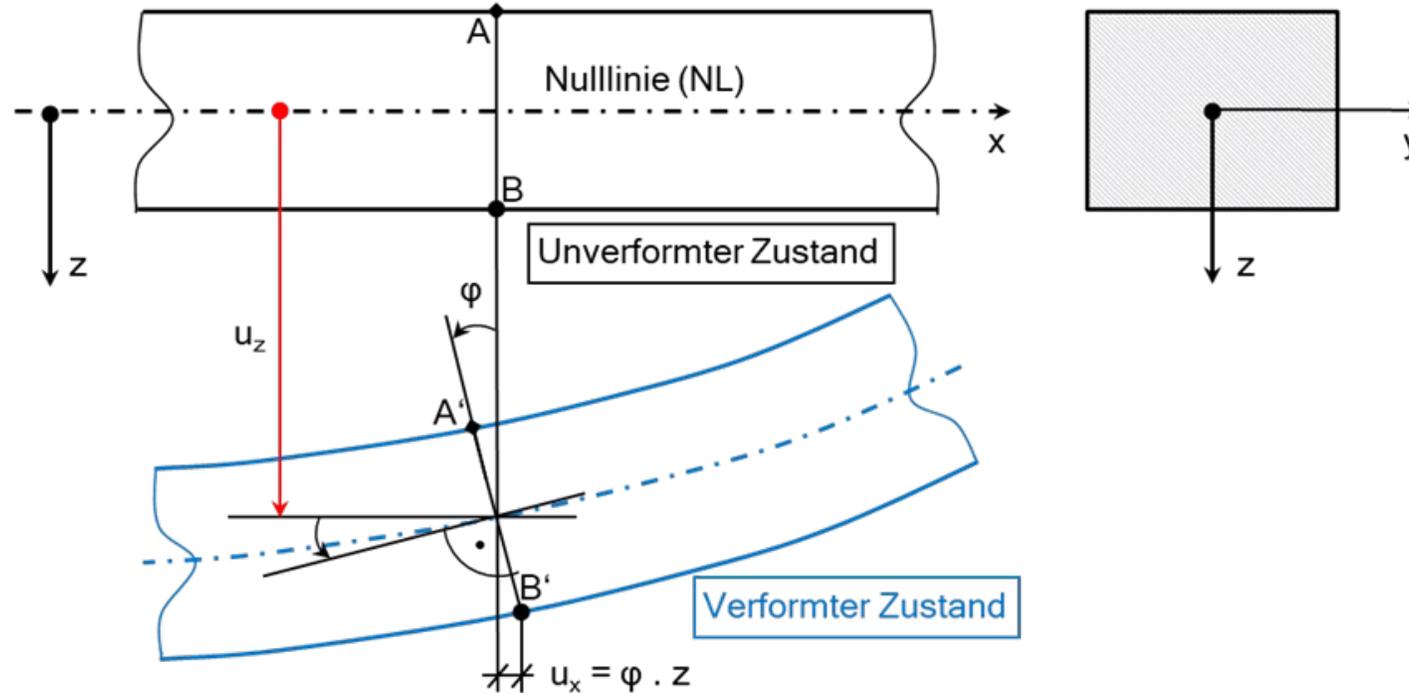


# Rechenmodelle und numerische Analysen

➤ Modellierungsansätze: unverformter und verformter Zustand mit geometrischen Beziehungen

- Ebenbleiben der Querschnitte: alle Querschnittspunkte erfahren die gleiche Durchbiegung, Querschnittshöhe bleibt stets gleich
- Senkrechtbleiben der Querschnitte: Querschnitte erfahren entlang der Längsachse einerseits eine Verdrehung und andererseits eine senkrechte Ausrichtung zur verformten Stabelementachse

>> aus der Verdrehung der Querschnitte entsteht eine längsgerichtete Verschiebung, die Gleisbewegungen zur Folge hat



# Rechenmodelle und numerische Analysen

➤ Modellierungsansätze: Materialeigenschaften, Querschnittswerte, Lagerungs- und Stabendgelenkbedingungen

Material Nr.	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Material Beschreibung	Elastizitätsmodul E [kN/cm <sup>2</sup> ]	Schubmodul G [kN/cm <sup>2</sup> ]	Querdehnzahl $\nu$ [-]	Spez. Gewicht $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Wärmedehnzahl $\alpha$ [1/K]	Teilsich.-Beiwert $\gamma_M$ [-]	Material Modell	Kommentar
1	Beton C30/37   EN 1992-1-1:2004/A1:20	3300.00	1375.00	0.200	25.00	1.00E-05	1.00	Isotrop linear elastisch	A) Materialeigenschaften, Tragwerk
2	Baustahl S 355   EN 10025-2:2004-11	21000.00	8100.00	0.296	78.50	1.20E-05	1.00	Isotrop linear elastisch	B) Materialeigenschaften, Schiene

Profil Nr.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Querschnitt Beschreibung [mm]	Material Nr.	Trägheitsmomente [mm <sup>4</sup> ]			Querschnittsflächen [mm <sup>2</sup> ]			Hauptachsen $\alpha$ [°]	Drehung $\alpha'$ [°]	Gesamtabmessungen [mm]		Kommentar
			Torsion I <sub>T</sub>	Biegung I <sub>y</sub>	Biegung I <sub>z</sub>	Axial A	Schub A <sub>y</sub>	Schub A <sub>z</sub>			Breite b	Höhe h	
1	Rechteck 4500/1150	1	191415048	570328154	873281198	5175000.00	4312500.00	4312500.00	0.00	0.00	4500.0	1150.0	A) Querschnittswerte, Tragwerk
2	± UIC 60   Deutsche Eisenbahn	2	1318444.38	30550000.0	5129000.00	7686.00	3351.38	2312.78	0.00	0.00	150.0	172.0	B) Querschnittswerte, Schiene

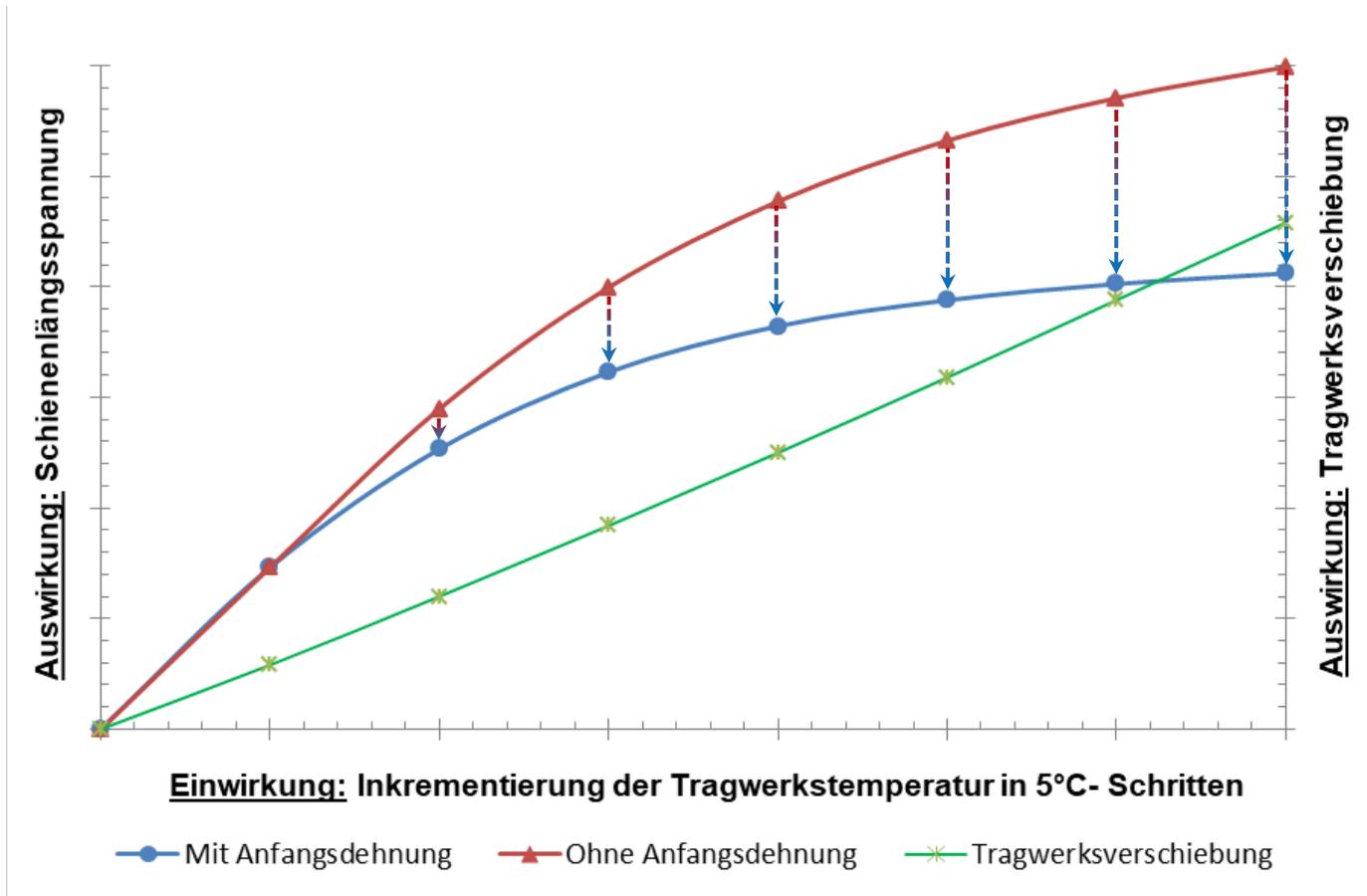
Lager Nr.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	An Knoten Nr.	Folge	Lagerdrehung [°]			Stütze in Z	Stützung bzw. Feder [kN/m]			Einspannung bzw. Feder [kNm/rad]			Kommentar
			um X	um Y	um Z		u <sub>x</sub>	u <sub>y</sub>	u <sub>z</sub>	$\varphi_x$	$\varphi_y$	$\varphi_z$	
1	1000-1099,1193-1292	XYZ	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	C) Freie Strecke, Unterbau					
2	5000	XYZ	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>	216000.000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	D) Globale Unterbausteifigkeit entspr. Tabelle 8.1

Gelenk Nr.	A	B	C	D	E	F	G	H
	Bezug System	Axial/Quer-Gelenk bzw. Feder [kN/m]			Momentengelenk bzw. Feder [kNm/rad]			Kommentar
		u <sub>x</sub>	u <sub>y</sub>	u <sub>z</sub>	$\varphi_x$	$\varphi_y$	$\varphi_z$	
1	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Diagramm...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E) result. VW unbelastet/ Zw 700a gemäß Abbildung 8.42

# Rechenmodelle und numerische Analysen

- Belastungszustände: Inkrementierung der Tragwerkstemperatur in 5°C- Schritten
  - Auswirkungen für ein Tragwerk mit einer freien Dehnlänge von 75m, **Sommerstellung**



## Inkrementierung ohne Anfangsdehnung

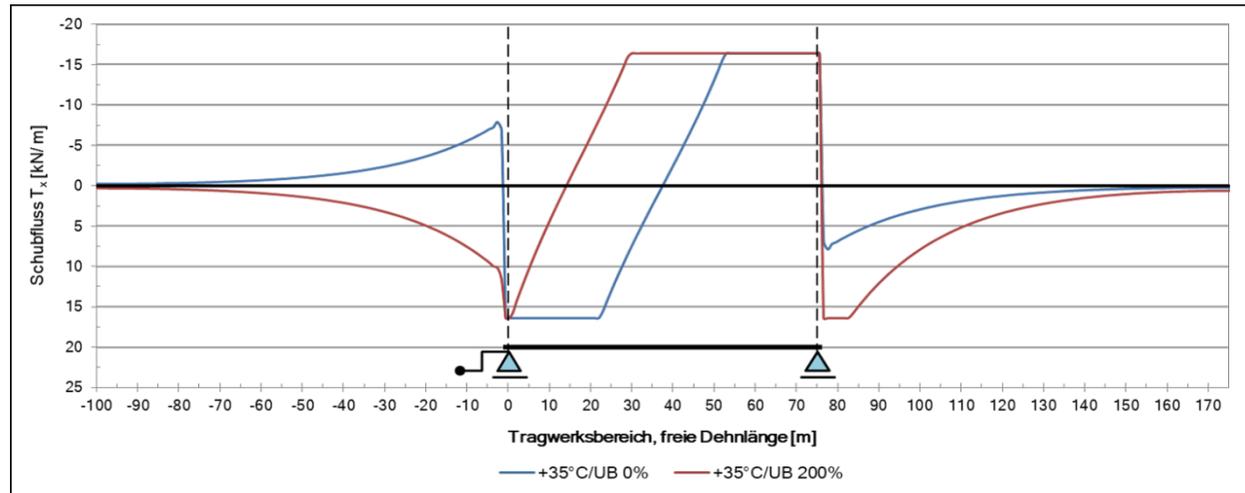
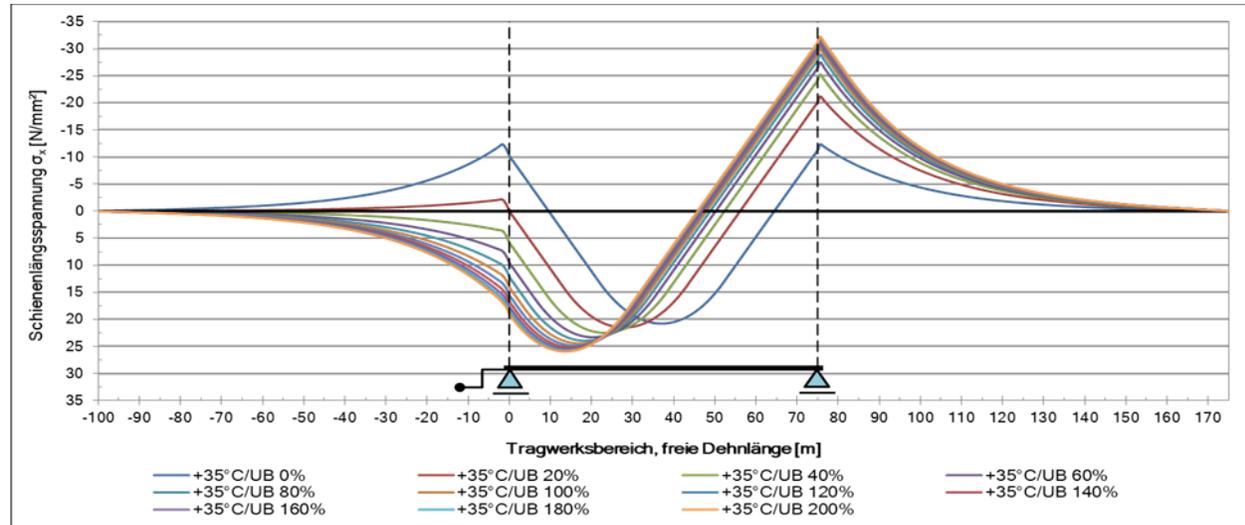
$$\begin{aligned} LF_1 &= 5^\circ C \\ LF_2 &= LF_1 + 5^\circ C \\ LF_3 &= LF_2 + 5^\circ C \\ &\vdots \\ LF_n &= LF_{n-1} + 5^\circ C = n \times 5^\circ C \end{aligned}$$

## Inkrementierung mit Anfangsdehnung

$$\begin{aligned} \overline{LF}_1 &= 5^\circ C \\ \overline{LF}_2 &= \overline{LF}_1(AD) + 5^\circ C \\ \overline{LF}_3 &= \overline{LF}_2(AD) + 5^\circ C \\ &\vdots \\ \overline{LF}_n &= \overline{LF}_{n-1}(AD) + 5^\circ C \neq n \times 5^\circ C \end{aligned}$$

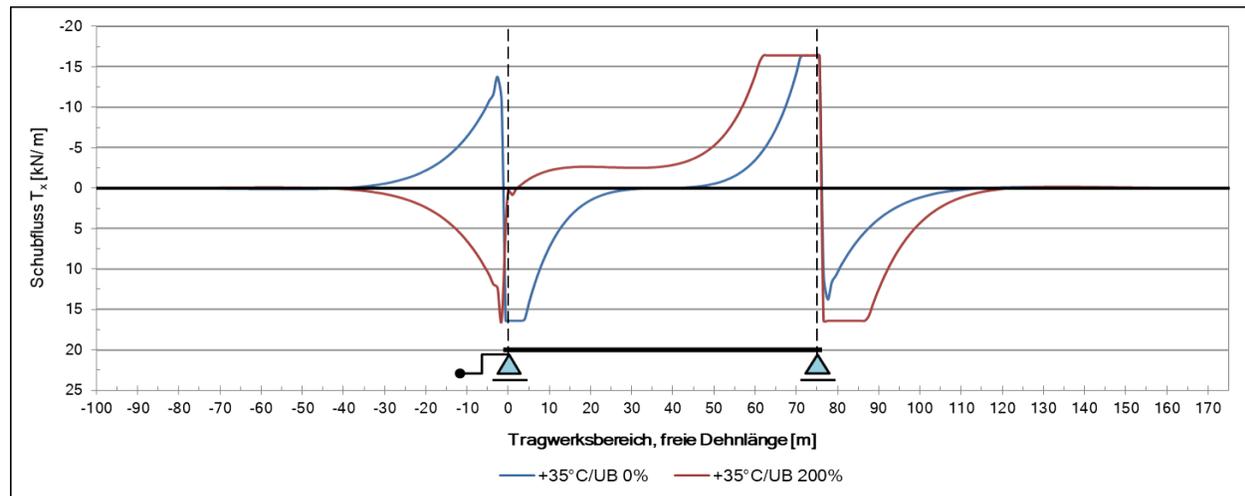
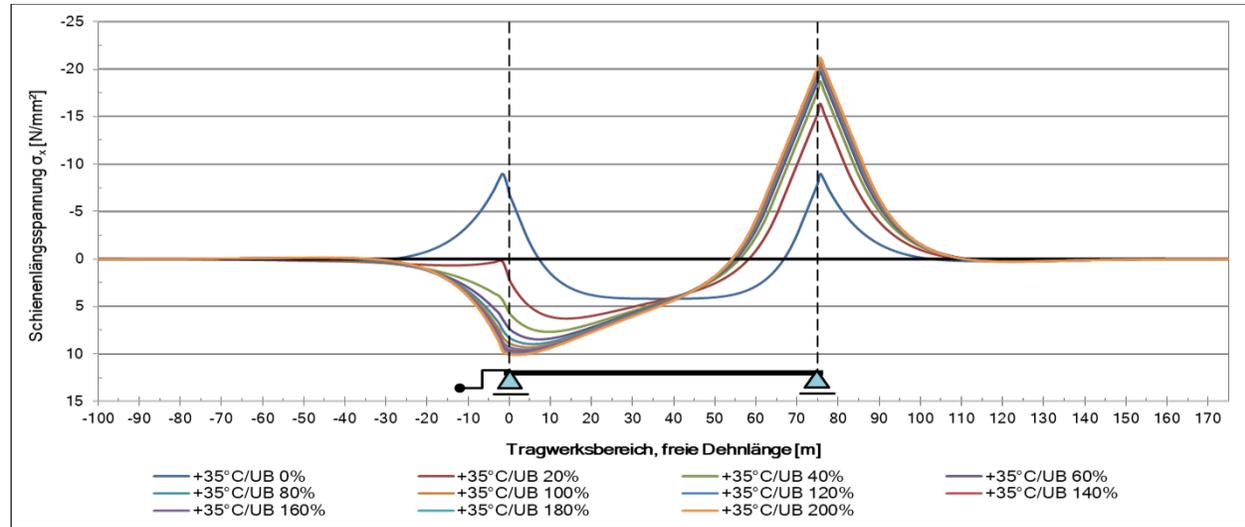
# Rechenmodelle und numerische Analysen

➤ Simulationsberechnung ohne Berücksichtigung der Anfangsdehnungen, Sommerstellung, Freie Dehnlänge 75,0 m



# Rechenmodelle und numerische Analysen

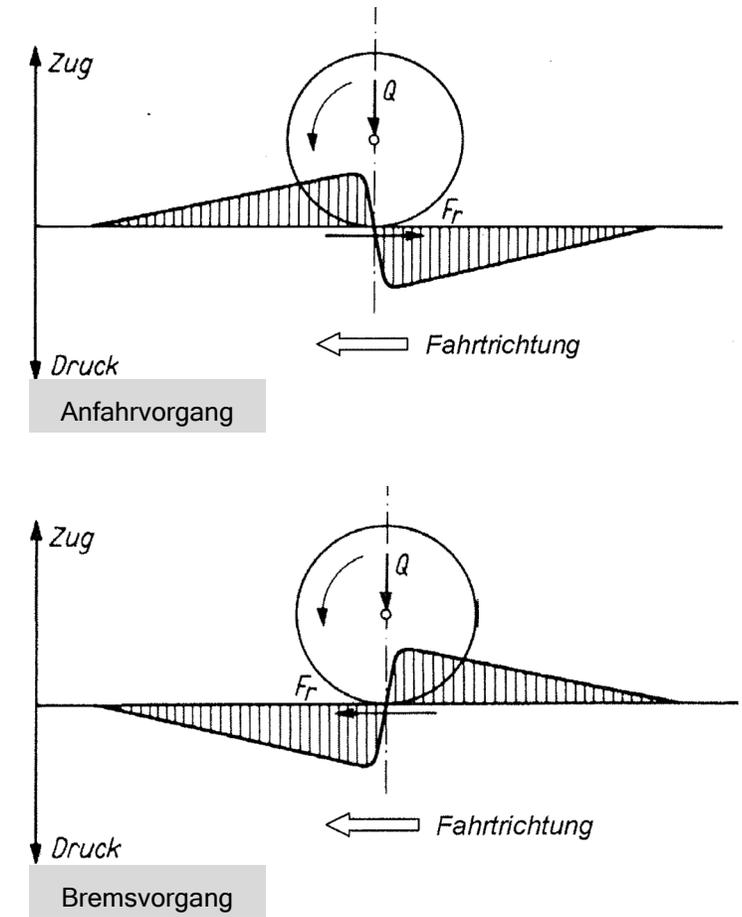
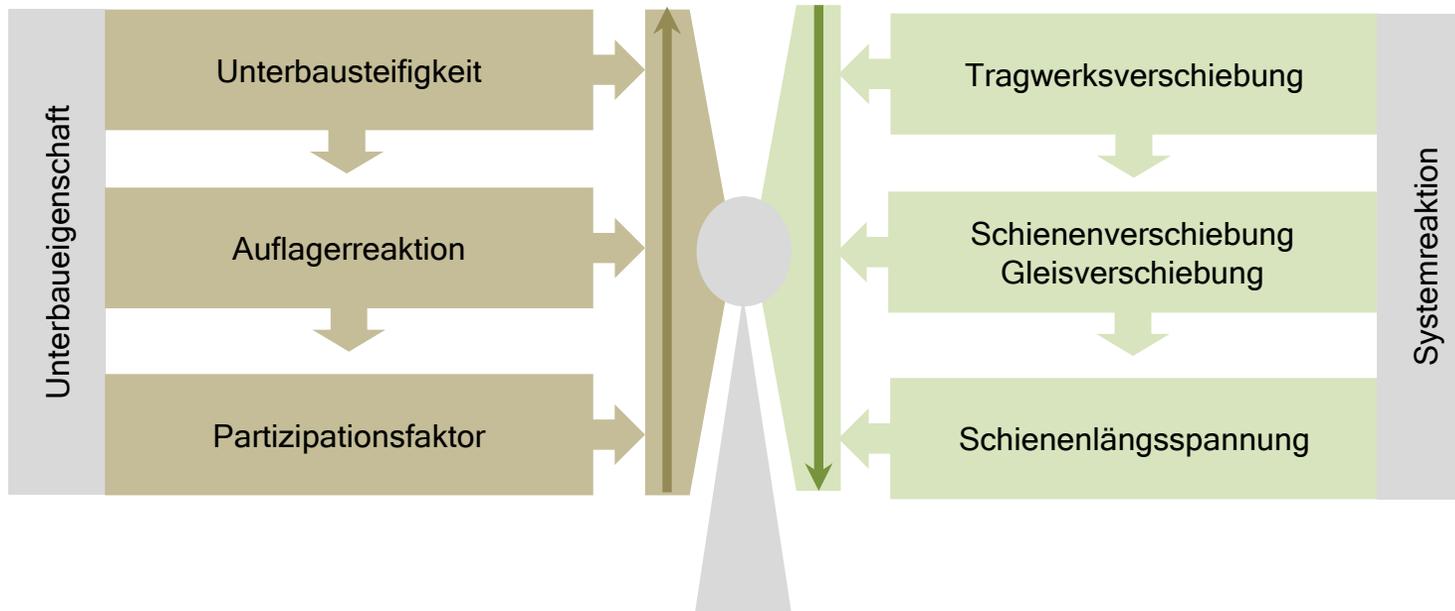
➤ Simulationsberechnung unter Berücksichtigung der Anfangsdehnungen, Sommerstellung, Freie Dehnlänge 75,0 m



# Rechenmodelle und numerische Analysen

➤ Zusammenhang zwischen Unterbausteifigkeit und Systemreaktion; **Anfahr-/ Bremsvorgang**

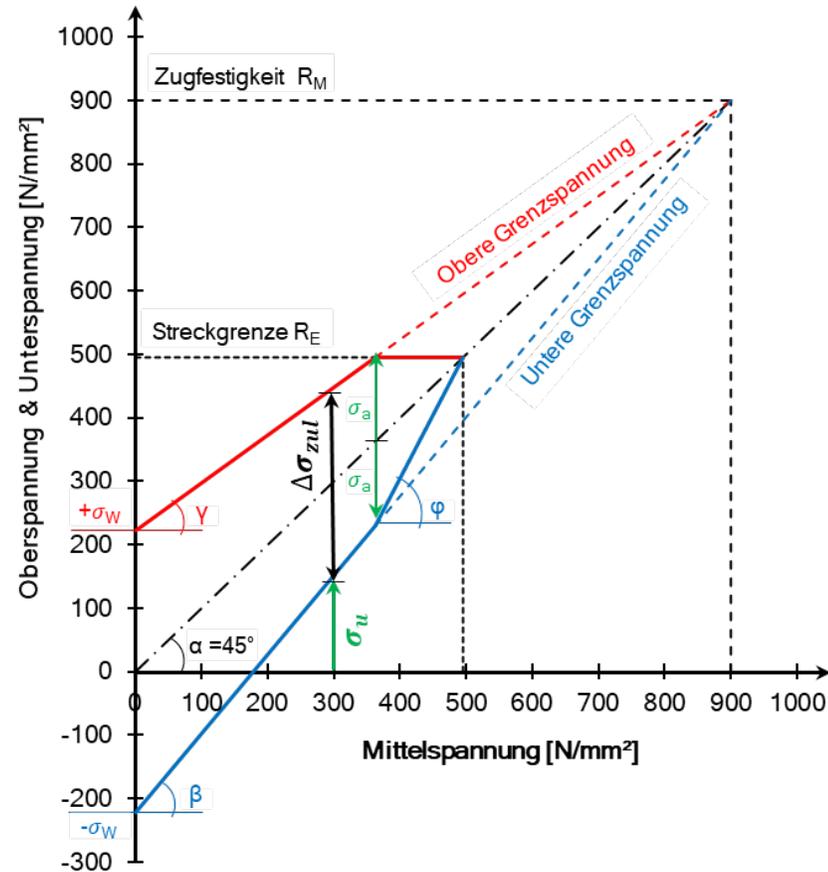
- Partizipationsfaktor (=Auflagerreaktion ÷ Gesamtbelastung): charakterisiert die Beteiligung des Oberbaues bzw. des Unterbaues an der Längskraftaufnahme je nach Unterbausteifigkeit



# Methodisches Nachweiskonzept, Gesamtspannungsnachweis

➤ Bewertung der Schienenspannungen aus der Interaktionswirkung auf Basis des Dauerfestigkeitsschaubildes nach SMITH

## Konstruieren des Dauerfestigkeitsschaubildes nach SMITH



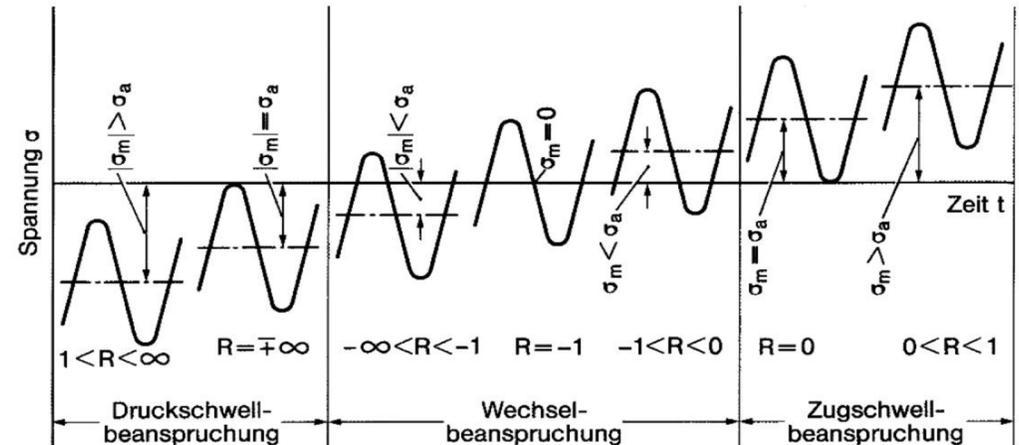
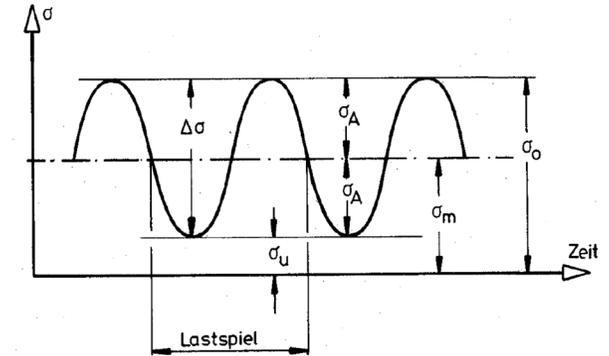
## Eingangsgrößen / Beanspruchbarkeiten:

*UIC60* ... Schienenprofil

$R_M = 900,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$  ... Zugfestigkeit

$R_E = 495,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$  ... Streckgrenze

$\sigma_W = \pm 222,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$  ... Wechselfestigkeit



# Methodisches Nachweiskonzept, Gesamtspannungsnachweis

- Methodische Nachweisführung mit Bezug auf Sicherheitsspielräume gemäß Oberbauberechnung und Instandhaltungskonzepte der ÖBB- Infrastruktur AG
  - Nachweis der Schienenzugspannungen (UIC 60) für ein Brückentragwerk mit einer **freien Dehnlänge von 195,0 m**

## Konstante Spannungsanteile

$\sigma_E = 120,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$  ... Zugeigenspannung in der Schienenfußmitte

$\sigma_{T,Sch} = 121,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$  ... Zugspannung aus Schienentemperaturänderung

$\sigma_{T,IA} = 58,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$  ... Zugspannung aus Tragwerkstemperaturänderung

## Spannungsanteile aus schwingender Beanspruchung

$\sigma_F = 94,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$  ... Biegezugspannung in der Schienenfußmitte für D4

$\sigma_{Br,IA} = 42,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$  ... Zugspannung aus Bremsvorgang

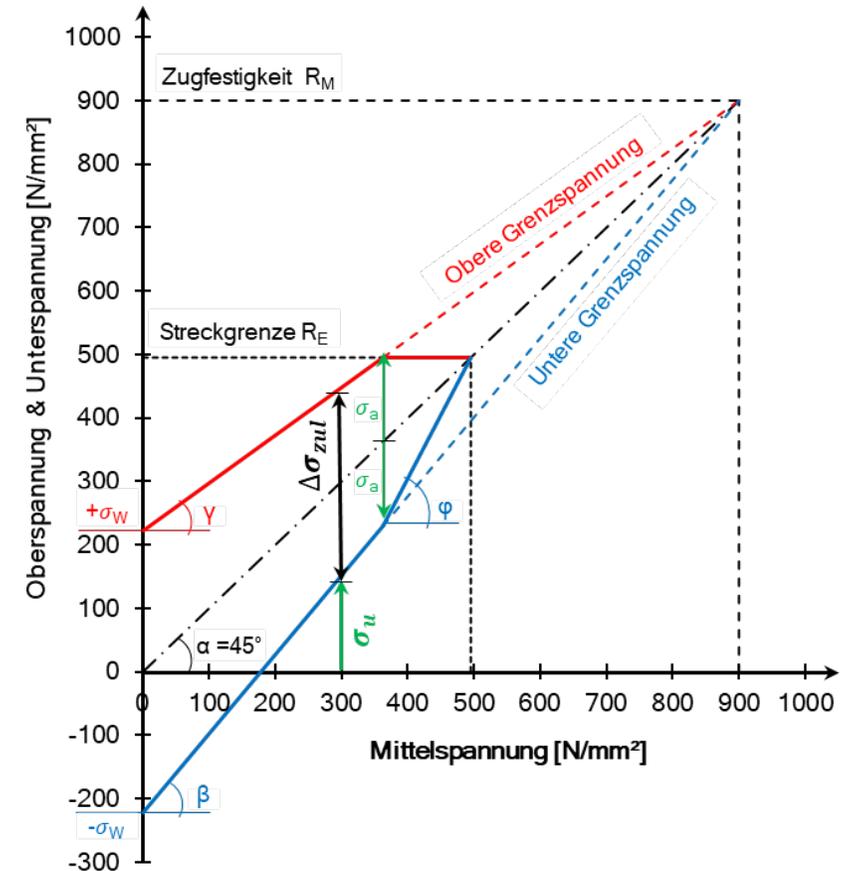
## Umrechnung für abgenützte Schiene

$$\overline{\sigma_{T,IA}} = 58,0 \cdot \frac{A}{A_a} \cong 63,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\overline{\sigma_{Br,IA}} = 42,0 \cdot \frac{A}{A_a} \cong 45,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$A = 7686,0$  ... Querschnittsfläche der neuwertigen Schiene UIC 60 [mm<sup>2</sup>]

$A_a = 7110,0$  ... Querschnittsfläche der abgenützten Schiene UIC 60 [mm<sup>2</sup>]



# Methodisches Nachweiskonzept, Gesamtspannungsnachweis

- Methodische Nachweisführung mit Bezug auf Sicherheitsspielräume gemäß Oberbauberechnung und Instandhaltungskonzepte der ÖBB- Infrastruktur AG
  - Biegezugspannung in Schienenfußmitte: Schienenprofil UIC 60, Streckenklasse D4

Schienenparameter			
E [N/mm <sup>2</sup> ]	A <sub>a</sub> [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>a</sub> [mm <sup>4</sup> ]	W <sub>ua</sub> [mm <sup>3</sup> ]
2,10E+05	7,11E+03	2,6315E+07	3,5334E+05
Oberbauparameter			
a [mm]	A <sub>schw</sub> [mm <sup>2</sup> ]	n [-]	C [N/mm <sup>3</sup> ]
6,00E+02	3,20E+05	0,15	0,30
Streckenparameter			
F <sub>stat</sub> [kN]	F <sub>eff</sub> [kN]	V <sub>R,max</sub> [km/h]	V <sub>G,max</sub> [km/h]
112,5	135,0	200,0	120,0
φ <sub>R</sub> [-]	1,37	Dynamischer Beiwert für Reisezüge	
φ <sub>G</sub> [-]	1,38	Dynamischer Beiwert für Güterzüge	
μ [-]	1,00	Faktor für Einfluss der Nachbarachsen	
L [mm]	609,66	Grundwert des Langschwellengleises	
σ <sub>F</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	<a href="#">94,27</a>	Biegezugspannung in Schienenfußmitte	

# Methodisches Nachweiskonzept, Gesamtspannungsnachweis

➤ Methodische Nachweisführung mit Bezug auf Sicherheitsspielräume gemäß Oberbauberechnung und Instandhaltungskonzepte der ÖBB- Infrastruktur AG

- Nachweis der Schienenzugspannungen (UIC 60) für ein Brückentragwerk mit einer freien Dehnlänge von 195,0 m

**Summe aus konstanten Spannungsanteilen = Gesamtwert der Unterspannung als Eingangswert für SMITH- Diagramm**

$$\sigma_u = \sigma_E + \sigma_{T,Sch} + \overline{\sigma_{T,IA}} = 304,0 \text{ [N/mm}^2\text{]} \dots \text{Unterspannung}$$

**Zulässige Spannungsschwingbreite aus SMITH- Diagramm ablesen**

$$\Delta\sigma = 191,0 \text{ [N/mm}^2\text{]} \dots \text{zulässige Spannungsschwingbreite}$$

**Gesamtspannungsnachweis**

$$\text{Vorhandene Sicherheit } (v_{vorh}) = \frac{\text{Zulässige Spannungsschwingbreite}}{\text{Berechnete Schienenbeanspruchung}}$$

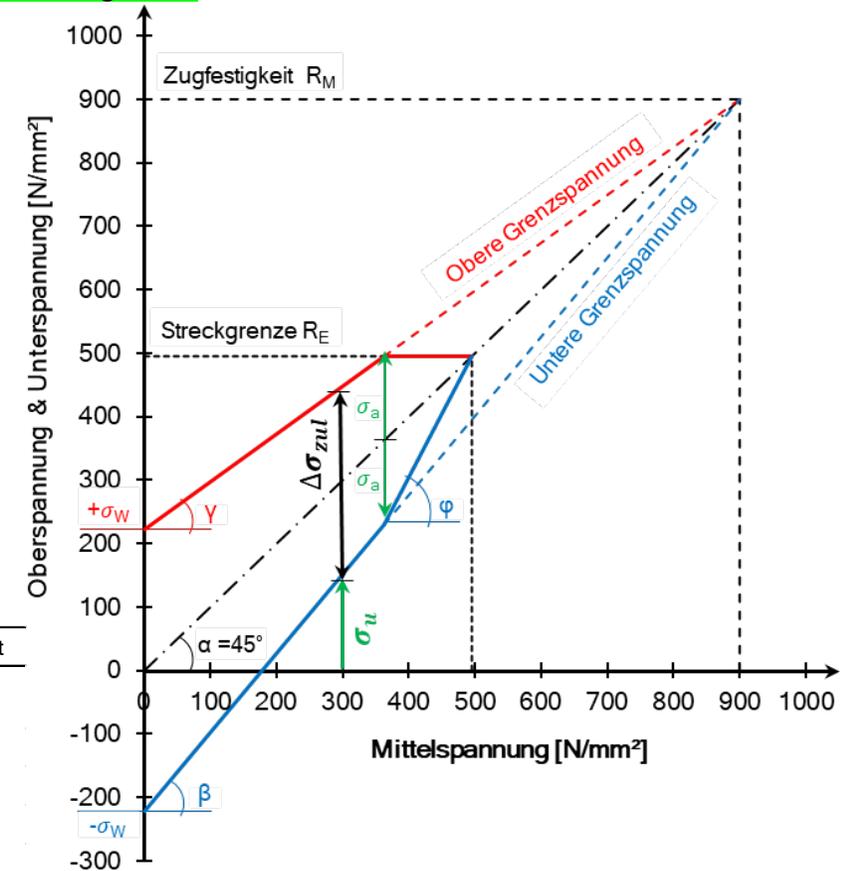
$$\text{Vorhandene Sicherheit } (v_{vorh}) \geq \text{Erforderliche Sicherheit } (v_{erf})$$

$$\text{Sicherheitsverhältnis } (\bar{R}) = \frac{\text{Vorhandene Sicherheit } (v_{vorh})}{\text{Erforderliche Sicherheit } (v_{erf})} \geq 1,0$$

$$v_{vorh} = \frac{\Delta\sigma}{(\sigma_F + \overline{\sigma_{Br,IA}})} = 1,374 \cong 1,40 = v_{erf}$$

$$\bar{R} = \frac{1,374}{1,40} = 0,98 \cong 1,0$$

Streckenrang	Gleisrang	Sicherheitsbeiwert
Hochleistungsstrecken		
$V_{max} \geq 200 \text{ km/h}$	a	1,4
S	a	1,3
1	a	1,2
2, 3, und 3G	a	1,1
Alle Strecken	b und c	1,0



# Methodisches Nachweiskonzept, Gesamtspannungsnachweis

➤ Methodische Nachweisführung mit Bezug auf Sicherheitsspielräume gemäß Oberbauberechnung und Instandhaltungskonzepte der ÖBB- Infrastruktur AG

- Gesamtauswertung für Brückentragwerke mit **freien Dehnlängen von 75,0 - 195,0 m**

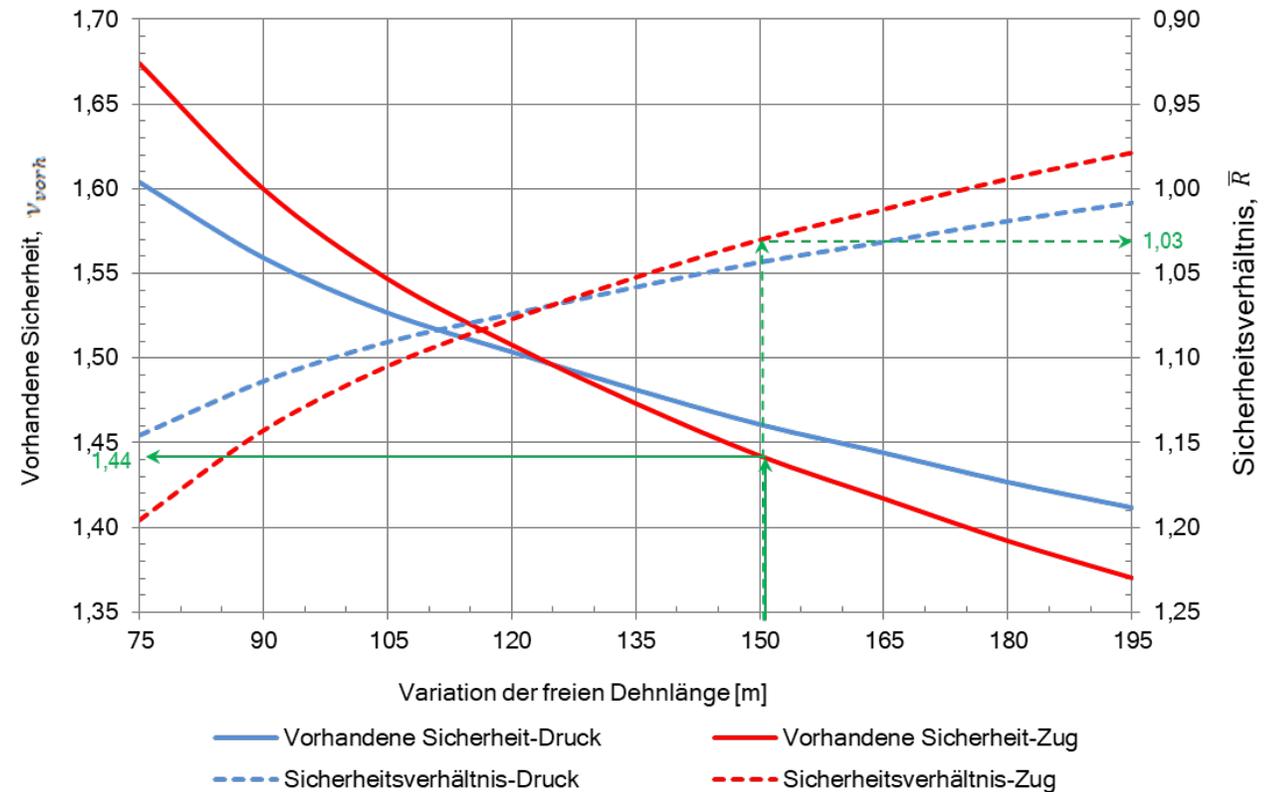
## Gesamtspannungsnachweis

$$\text{Vorhandene Sicherheit } (v_{\text{vorh}}) = \frac{\text{Zulässige Spannungsschwingbreite}}{\text{Berechnete Schienenbeanspruchung}}$$

$$\text{Vorhandene Sicherheit } (v_{\text{vorh}}) \geq \text{Erforderliche Sicherheit } (v_{\text{erf}})$$

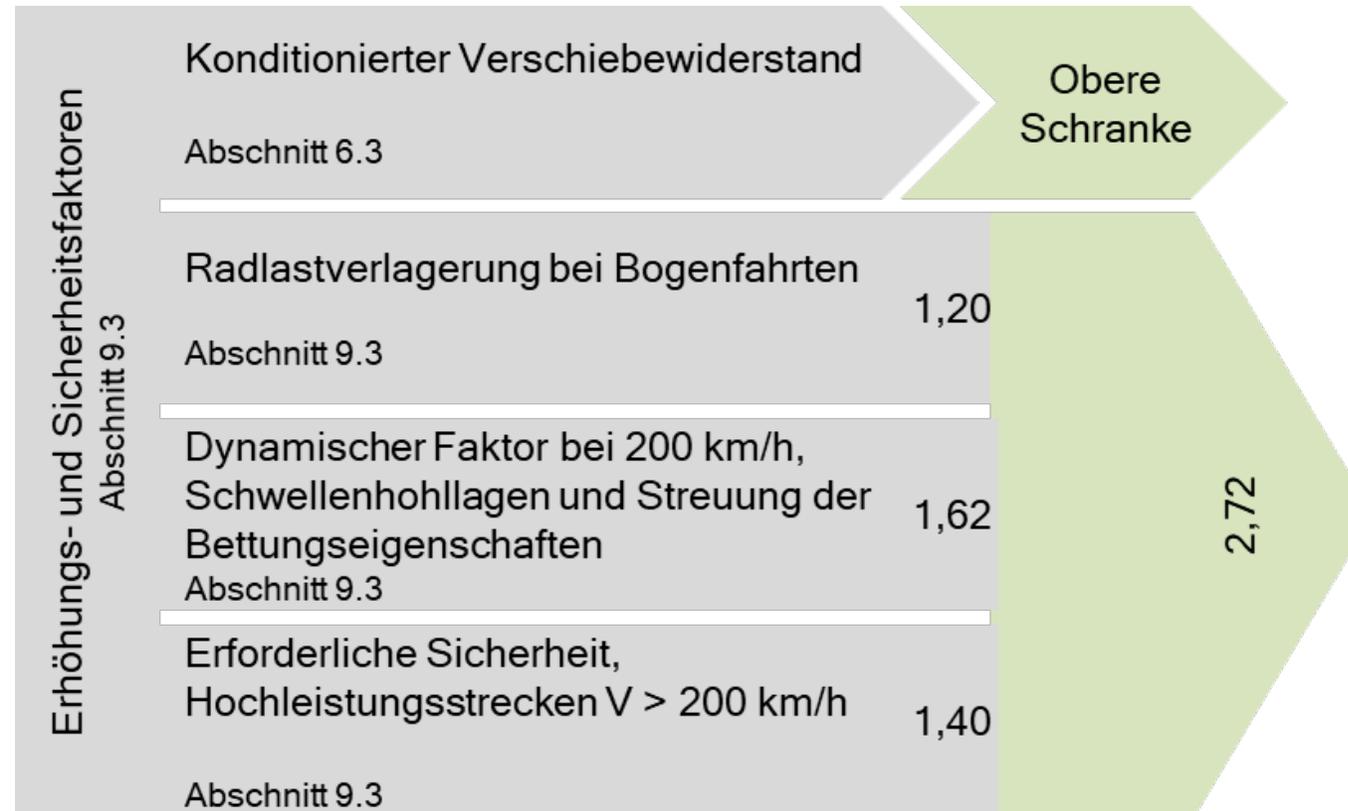
$$\text{Sicherheitsverhältnis } (\bar{R}) = \frac{\text{Vorhandene Sicherheit } (v_{\text{vorh}})}{\text{Erforderliche Sicherheit } (v_{\text{erf}})} \geq 1,0$$

Streckenrang	Gleisrang	Sicherheitsbeiwert
Hochleistungsstrecken		
$V_{\text{max}} \geq 200 \text{ km/h}$	a	1,4
S	a	1,3
1	a	1,2
2, 3, und 3G	a	1,1
Alle Strecken	b und c	1,0



# Methodisches Nachweiskonzept, Gesamtspannungsnachweis

- Methodische Nachweisführung mit Bezug auf Sicherheitsspielräume gemäß Oberbauberechnung und Instandhaltungskonzepte der ÖBB- Infrastruktur AG
  - Gesamtbeurteilung: berücksichtigte Erhöhungs- und Sicherheitsfaktoren



# Methodisches Nachweiskonzept, Gesamtspannungsnachweis

➤ Methodische Nachweisführung mit Bezug auf Sicherheitsspielräume gemäß Oberbauberechnung und Instandhaltungskonzepte der ÖBB- Infrastruktur AG

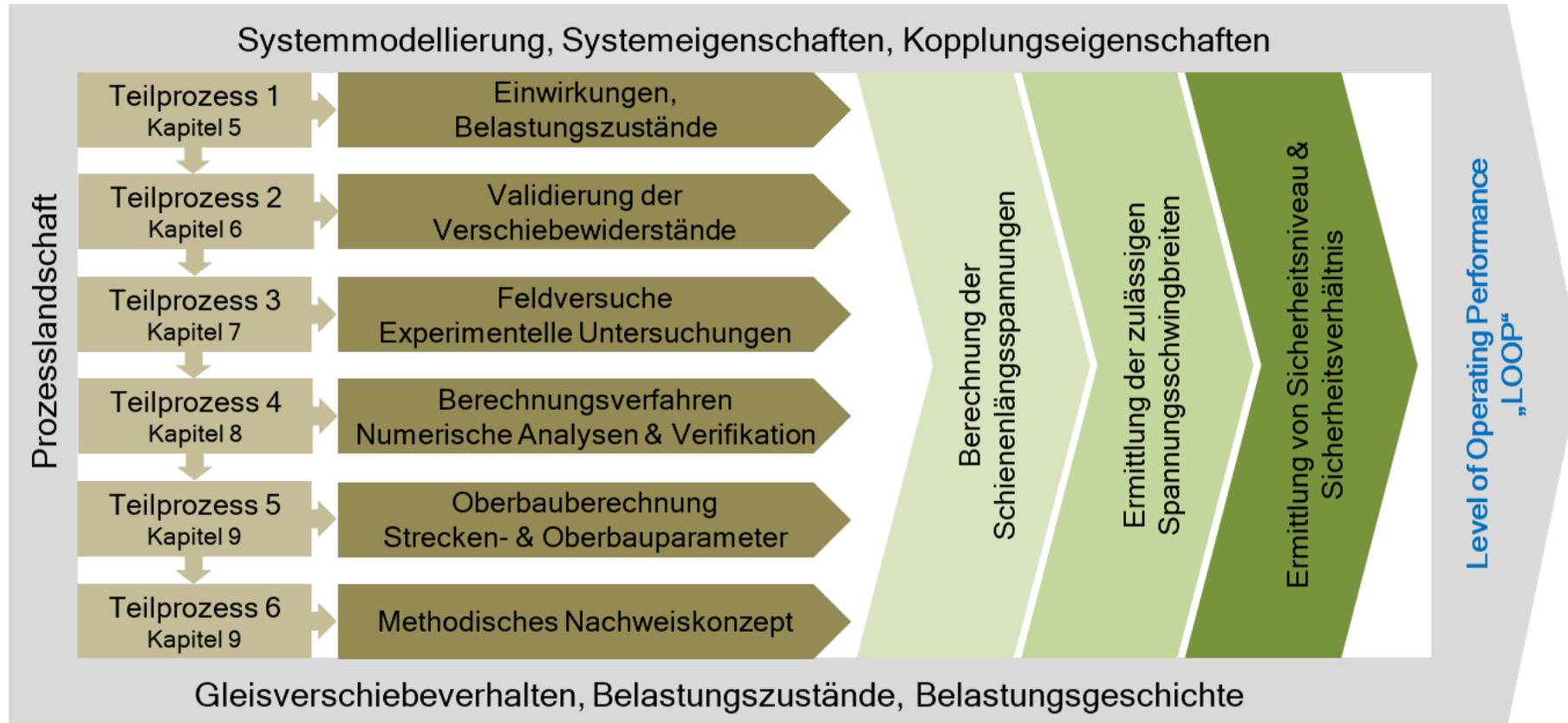
- Gesamtbeurteilung: Versuchsobjekte

Zugbereich						
[m]	[N/mm <sup>2</sup> ]				[-]	
freie Dehnlänge	$\sigma_{T,IA}$	$\sigma_{Br,IA}$	$\sigma_{T,Sch}$	$\sigma_F$	$v_{vorh}$	$\bar{R}$
Brücke über L110: Betontragwerk; Feste Fahrbahn						
41,00	37,45	8,83	82,81	94,00	2,48	1,77
Öztaler Achbrücke: Verbundtragwerk; Schotteroberbau						
72,30	50,79	15,19	94,38	94,00	2,10	1,50
Pielachbrücke: Stahltragwerk; Schotteroberbau						
91,50	57,17	3,50	70,42	94,00	2,54	1,81
Pfaffenbergbrücke: Betontragwerk Bogenbrücke; Schotteroberbau						
197,00	50,82	30,00	106,74	111,00	1,54	1,10

Druckbereich						
[m]	[N/mm <sup>2</sup> ]				[-]	
freie Dehnlänge	$\sigma_{T,IA}$	$\sigma_{Br,IA}$	$\sigma_{T,Sch}$	$\sigma_K$	$v_{vorh}$	$\bar{R}$
Brücke über L110: Betontragwerk; Feste Fahrbahn						
41,00	-14,10	-8,83	-86,27	-123,00	2,07	1,48
Öztaler Achbrücke: Verbundtragwerk; Schotteroberbau						
72,30	-19,57	-15,19	-84,70	-123,00	1,94	1,39
Pielachbrücke: Stahltragwerk; Schotteroberbau						
91,50	-26,00	-3,50	-87,60	-123,00	2,05	1,46
Pfaffenbergbrücke: Betontragwerk Bogenbrücke; Schotteroberbau						
197,00	-42,29	-30,00	-73,17	-128,00	1,63	1,16

# Methodisches Nachweiskonzept, Gesamtspannungsnachweis

- Methodische Nachweisführung mit Bezug auf Sicherheitsspielräume gemäß Oberbauberechnung und Instandhaltungskonzepte der ÖBB- Infrastruktur AG
  - Prozesslandschaft zur Gesamtbeurteilung der Interaktionswirkung





# Vielen Dank für Ihr Interesse

Dipl. -Ing. Dr. Saeed KARIMI

Literaturquellen:

Siehe Literaturverzeichnis Karimi, S. (2020) „Experimentelle und numerische Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Tragwerk und Gleis“, Dissertation