
Zur Notwendigkeit von Ertüchtigungen bei Eisenbahnstrecken auf Weichschichten

Forschungsprojekt der DB-AG,

DB Systemtechnik TZF 62

Projektleiter Dipl.-Ing. Wolfgang Vogel

Ingenieurgemeinschaft GEPRO /

Prof. Lieberenz / Prof. Neidhart

Die Bahn 

 **GEPRO**
Ingenieurgesellschaft für Geotechnik
Verkehrs- und Tiefbau und Umweltschutz mbH

FACHHOCHSCHULE REGENSBURG
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
HOCHSCHULE FÜR
TECHNIK
WIRTSCHAFT
SOZIALWESEN 

Notwendigkeit von Ertüchtigungen bei Eisenbahnstrecken auf Weichschichten

1. Einleitung / Problemstellung
2. Nachweiskonzept der dynamischen Gebrauchstauglichkeit
3. Einwirkungen
4. Widerstände (Dynamische Bodenkennwerte)
5. Nachweis der dynamischen Gebrauchstauglichkeit
6. Bautechnische Maßnahmen
7. Praxisanwendungen mit Nachweis des Ertüchtigungserfolges
 - 7.1 Ausbaustrecke Hamburg-Berlin, $\rightarrow v = 230$ km/h
 - 7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120$ km/h
 - 7.3 ABS Saarbrücken-Ludwigshafen „POS Nord“, $\rightarrow v = 200$ km/h
8. Entwurf einer Planungshilfe

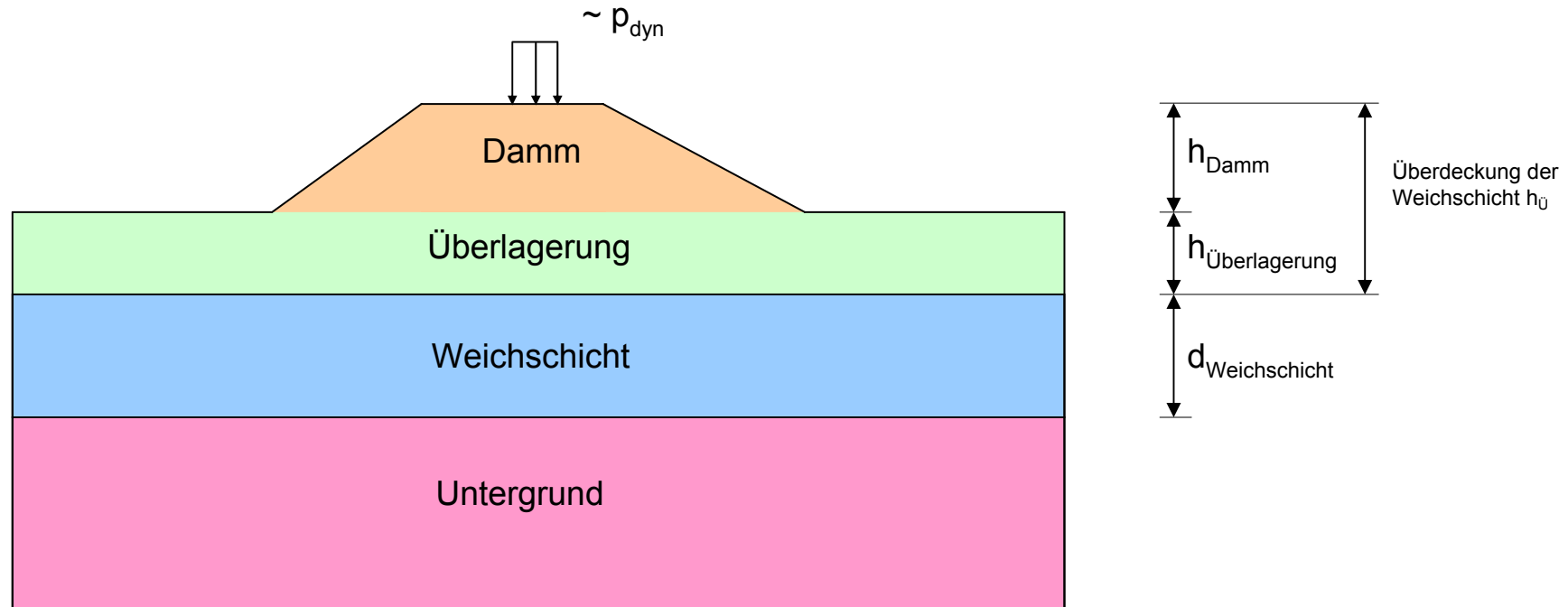
1. Einleitung / Problemstellung

Einleitung:



1. Einleitung / Problemstellung

Problemstellung und Anwendung:

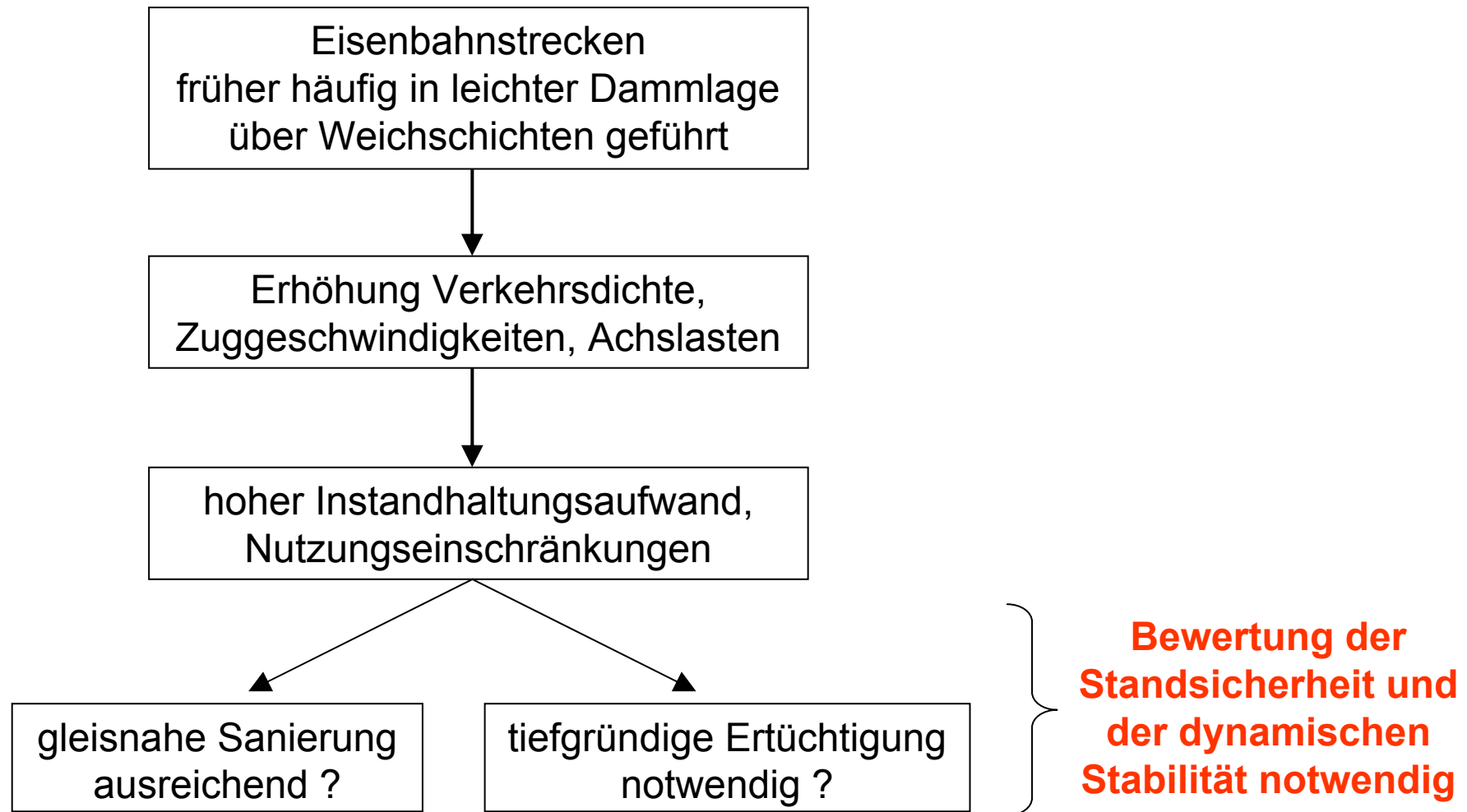


besondere Untersuchungen notwendig bei:

- Nutzungseinschränkungen (Zustand der Strecke, Instandhaltungsaufwand)
- Nutzungsänderungen (z.B. Geschwindigkeits- und Radsatzlasterhöhungen)

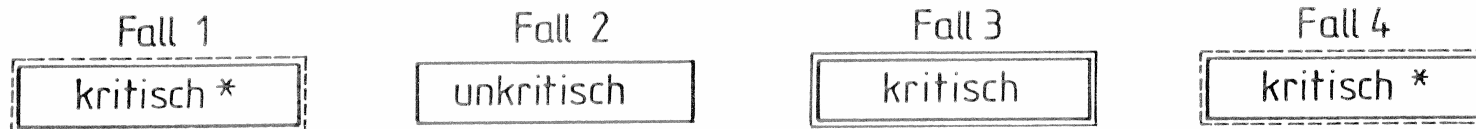
1. Einleitung / Problemstellung

Einleitung:

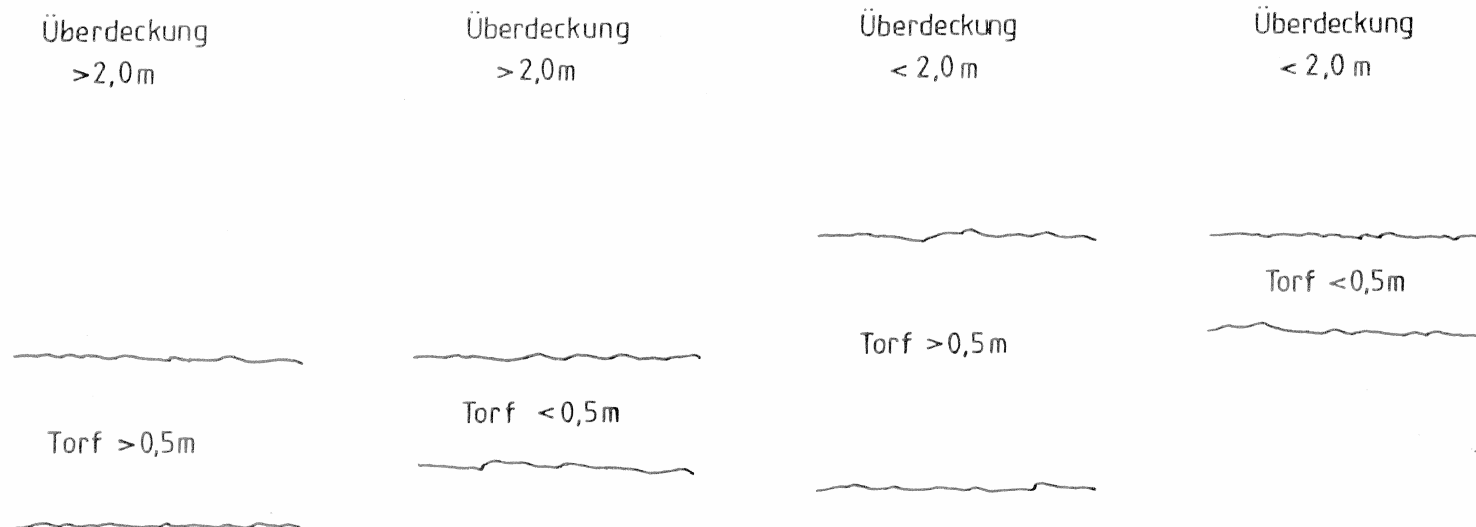


1. Einleitung / Problemstellung

Nachweisführung nach „Information Bautechnik 28a“ (1991):



Planum



Beurteilung der Auswirkungen von Weichschichten (z.B. Torf) im Untergrund

*ggf. Entscheidung im Einzelfall nötig!

In kritischen Bereichen Amplitude und Frequenz der Resonanzschwingungen messen!

Bei Überdeckung $\geq 4,0\text{m}$ sind keine schädlichen Auswirkungen zu erwarten.

1. Problemstellung

Nachweis der dynamischen Stabilität bzw. Gebrauchstauglichkeit

RIL 836.3001 Ausgabe 10/2008, Abschnitt 3, Absatz (4):

→ Nachweise der dynamischen Stabilität des Unterbaus sind für Strecken mit Fester Fahrbahn sowie für Strecken mit Schotteroberbau, die mit Geschwindigkeiten von mehr als 200 km/h befahren werden sollen, zu führen.

} > 200 km/h
Nachweis

→ Für sonstige Strecken mit Schotteroberbau darf auf die Vorlage prüffähiger Nachweise zur Schwingstabilität des Unterbaus/ Untergrundes bei sichergestellter Inspektion mit Bewertung des Fahrwegverhaltens und Veranlassung von Abhilfemaßnahmen verzichtet werden.

} ≤ 200 km/h
Untersuchung

Die dynamische Stabilität ist in diesen Fällen gutachterlich zu bewerten.

1. Problemstellung

Nachweis der dynamischen Stabilität bzw. Gebrauchstauglichkeit

$v > 200$ km/h: **Nachweis** nach Abschnitt 5, Absatz (1):

- Zur Führung von Nachweisen zur dynamischen Schwingungsstabilität ... sind **Vorschläge auf der Basis von Begutachtungen im Rahmen der Entwurfsplanung** zu erbringen. Die Begutachtung ist von einem vom **EBA anerkannten Gutachter für Geotechnik** durchzuführen.
- Die Vorschläge zur Nachweisführung sind durch **UiG der DB Netz AG und durch ZiE des EBA** als objektspezifische Bemessungsvorgaben zu bestätigen bzw. zu modifizieren.
- Nach dem derzeitigen Stand der Technik dürfen für Nachweise der dynamischen Stabilität Verfahren verwendet werden, bei denen **vorhandene mit zulässigen resultierenden Schwinggeschwindigkeiten oder vorhandene mit zulässigen Scherdehnungen verglichen** werden.
- Die Einwirkungen sind bei diesen Nachweisen durch reale charakteristische Lastenzüge ... zu erfassen, die für die jeweilige **Betriebslastenzüge nach DIN Fb 101** zu entnehmen sind.
- Die Parameter der charakteristischen Widerstände sind unter Berücksichtigung der Vorgaben der "Empfehlungen des Arbeitskreises Baugrunderdynamik" der DGGT, Ausgabe 2002, zu ermitteln und festzulegen.

1. Problemstellung

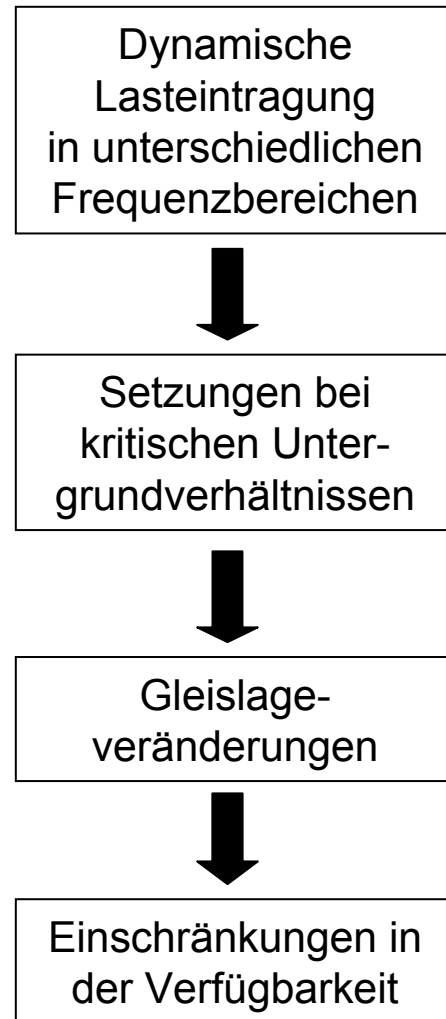
Nachweis der dynamischen Stabilität bzw. Gebrauchstauglichkeit

$v \leq 200$ km/h: **Untersuchung** nach Abschnitt 5, Absatz (2):

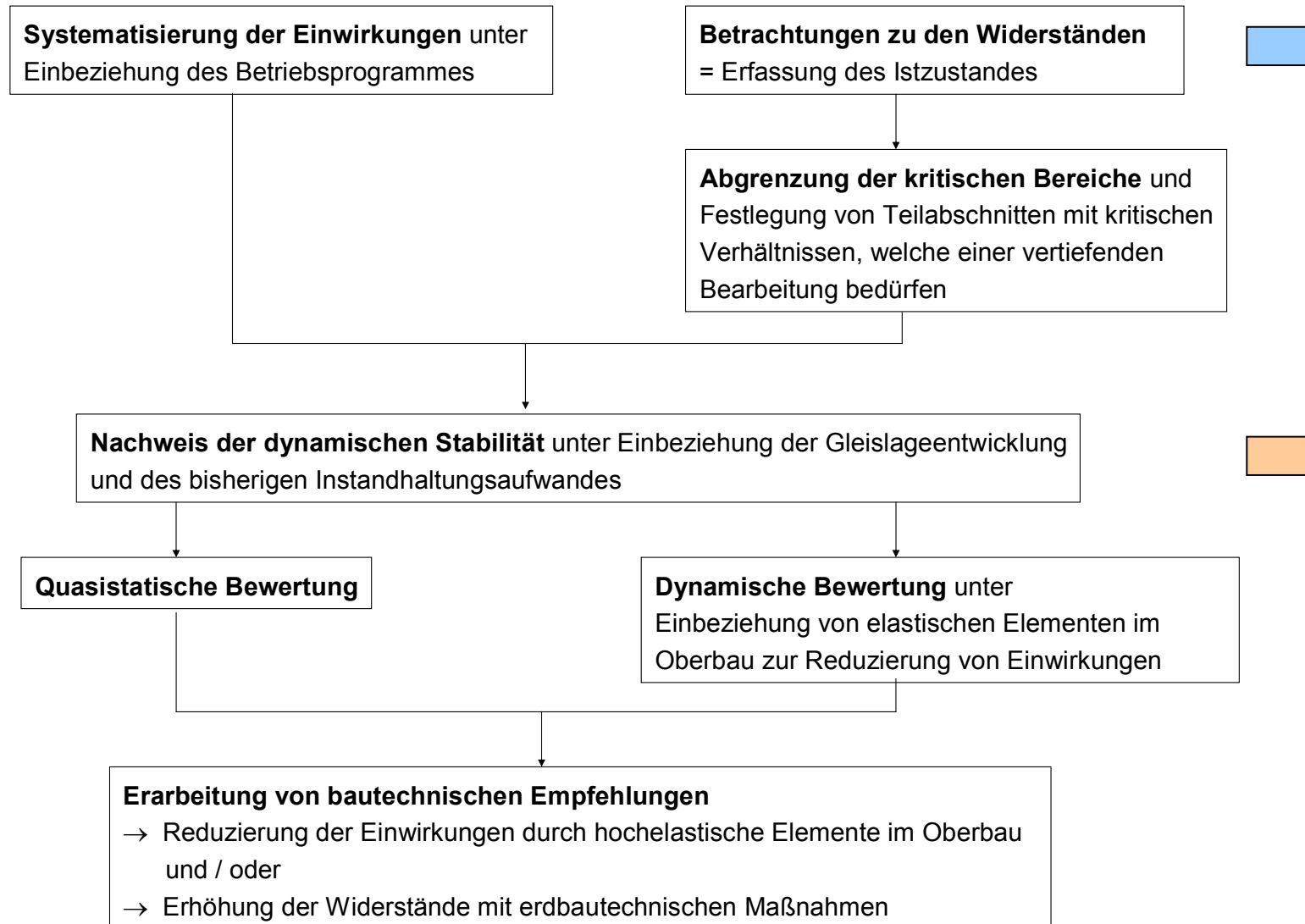
Untersuchungen zur Schwingungsstabilität des Unterbaus/Untergrunds sind durchzuführen, wenn

- von den konstruktiven Festlegungen des Moduls 836.4102 zur Gestaltung des Unterbaus abgewichen werden soll, und/oder
- unterhalb des Unterbaus schwingungsempfindliche Böden verbleiben sollen, bei denen auf Grund von Erfahrungen schädliche Schwingungseinflüsse auf die Gebrauchstauglichkeit des Gleises nicht ausgeschlossen werden können.
- Als schwingungsempfindliche Böden unter Schottergleisen gelten nach dem derzeitigen Stand der Technik
 - verlagerungsempfindliche Sande mit einem Ungleichförmigkeitsgrad $U < 2,0$ und einer bezogenen Lagerungsdichte $ID < 0,5$,
 - weiche bindige Böden mit einer Konsistenzzahl $IC < 0,6$,
 - organische Böden der Gruppen HN, HZ und F nach DIN 18 196,
 - organogene Böden der Gruppen OU,OT,OH und OK nach DIN 18 196.

2. Nachweiskonzept der dynamischen Gebrauchstauglichkeit



2. Nachweiskonzept der dynamischen Gebrauchstauglichkeit



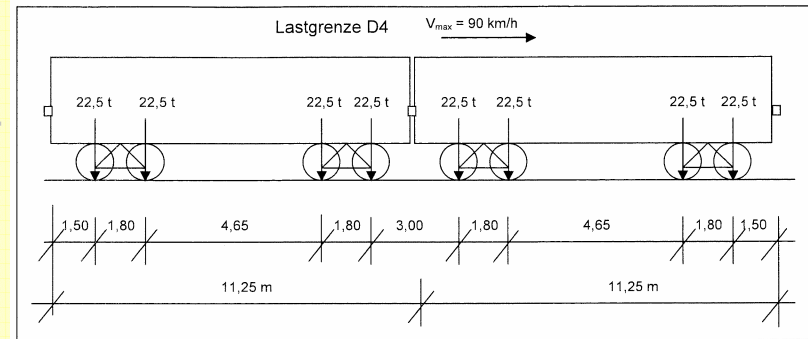
3. Einwirkungen

Beispiel: Ausbaustrecke mit Mischverkehr bis 160 km/h

Maßgebendes Lastbild für den Güterverkehr:



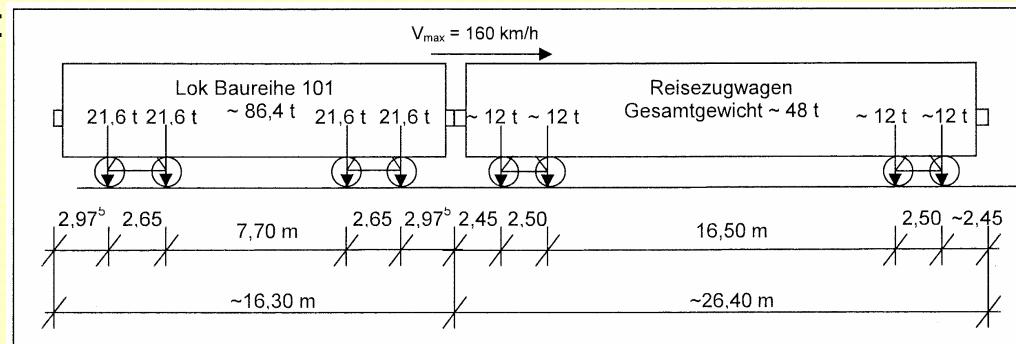
Lastgrenze D4
22,5 t RSL
bei 90 km/h



Maßgebendes Lastbild Personenverkehr:

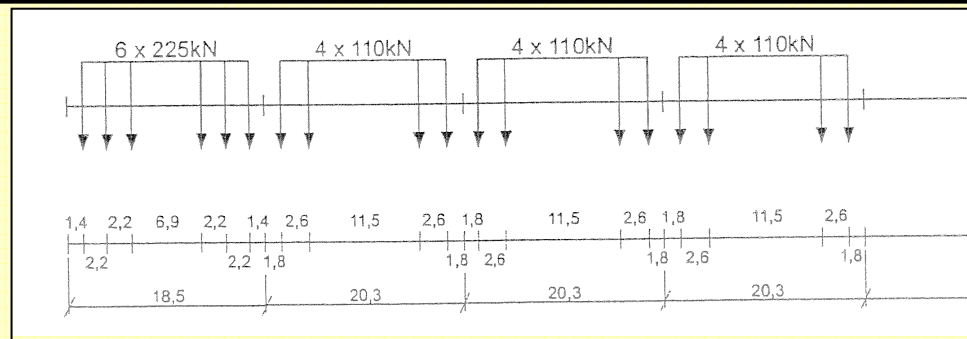


Lok BR 101
mit Wagen
bei 160 km/h



Maßgebendes Lastbild für Ermüdung
bei Regelverkehr bis 160 km/h

Lasttyp 1 (Reisezug mit 6-achsiger Lok)
nach DIN Fachbericht 101 Anhang F.3

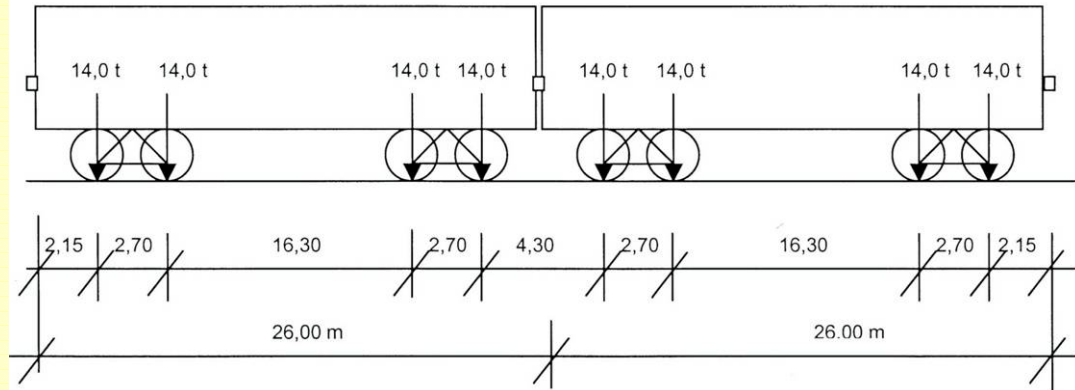


3. Einwirkungen

Beispiel: Hochgeschwindigkeitsverkehr und Schwerverkehr

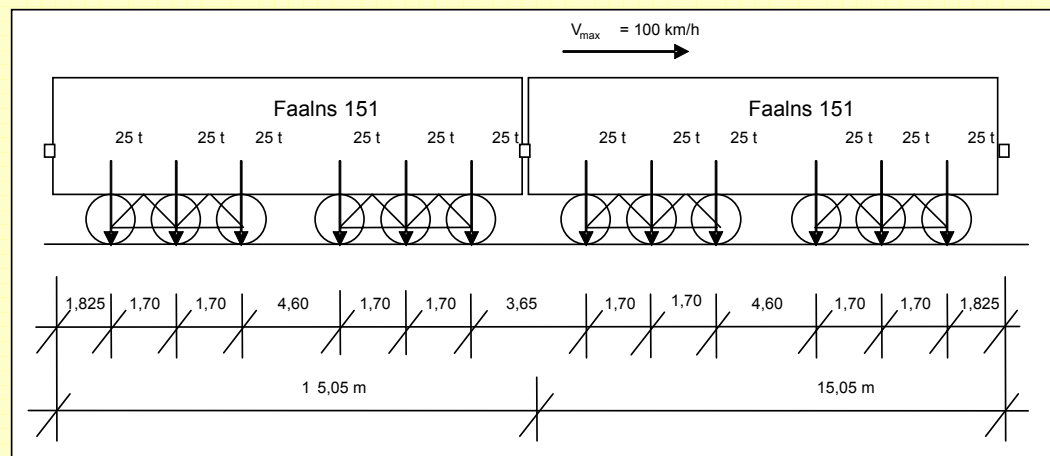
Hochgeschwindigkeitsverkehr
mit Triebwagenzügen

ICE-T mit 230 km/h
(Beispiel ABS HH-B)



Schwerverkehr
mit 25 t Achsen

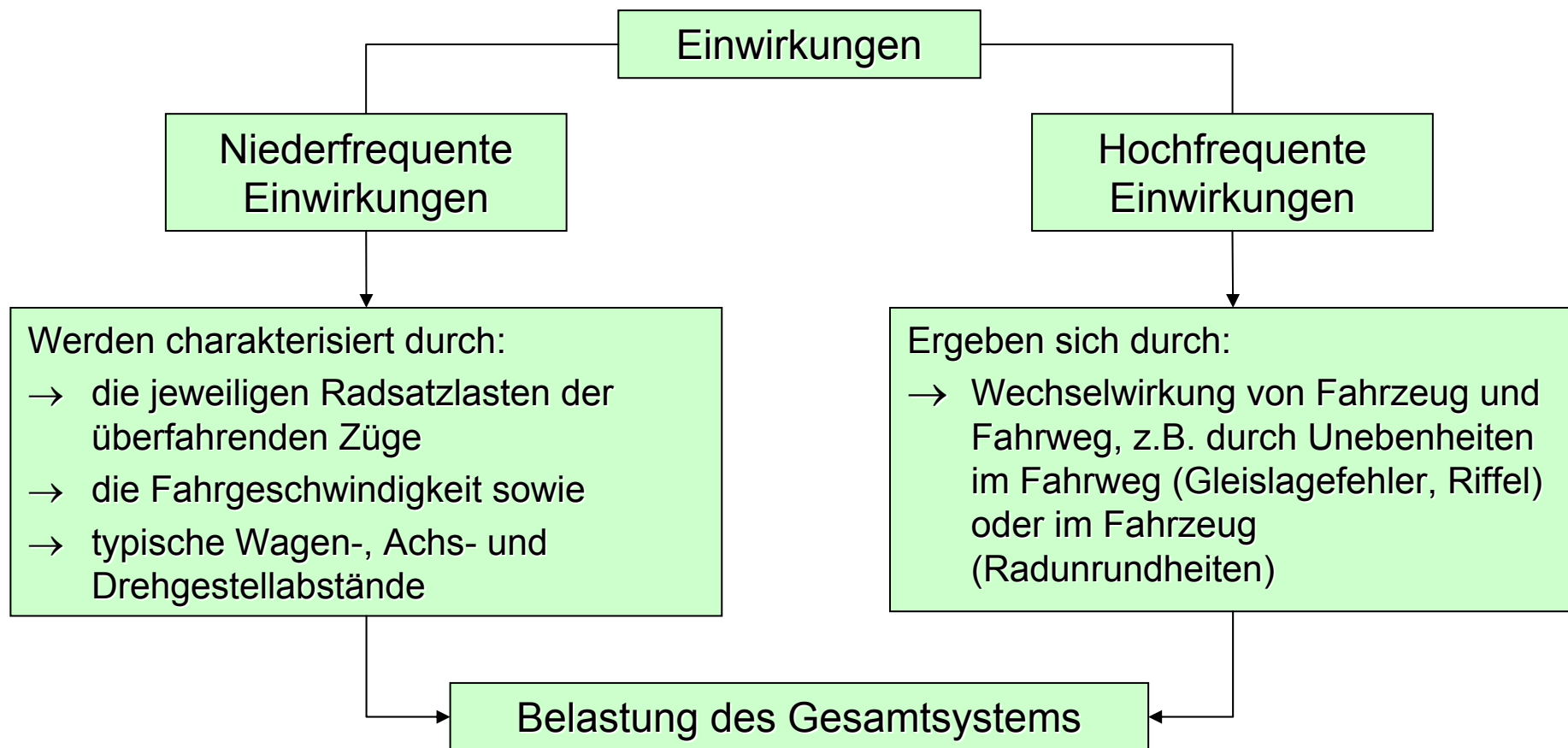
Faalns 151
mit 100 km/h



3. Einwirkungen

Tatsächliche Belastung = zeitabhängige Belastung

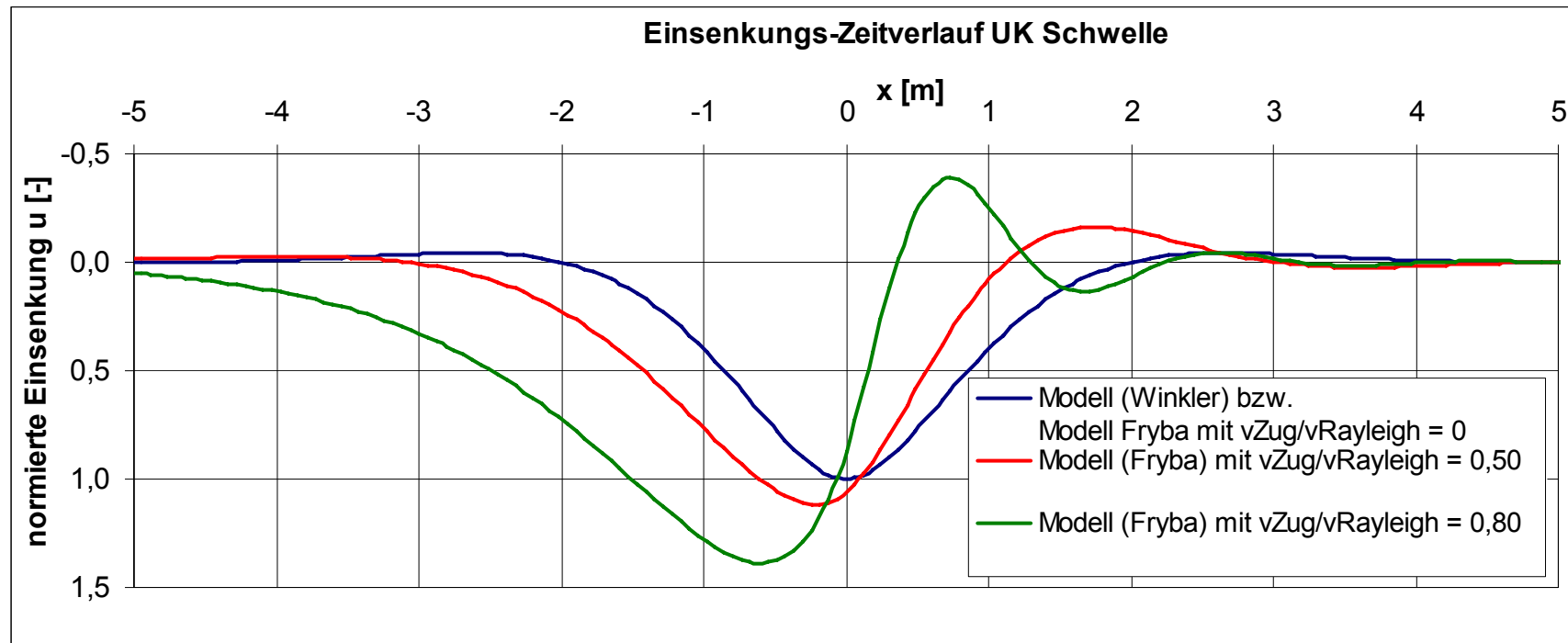
resultiert aus Achsfolge der Fahrzeuge sowie der Abstände von Unebenheiten des Fahrzeuges und des Fahrweges unter Berücksichtigung der Fahrgeschwindigkeit



3. Einwirkungen

Niederfrequente Einwirkungen

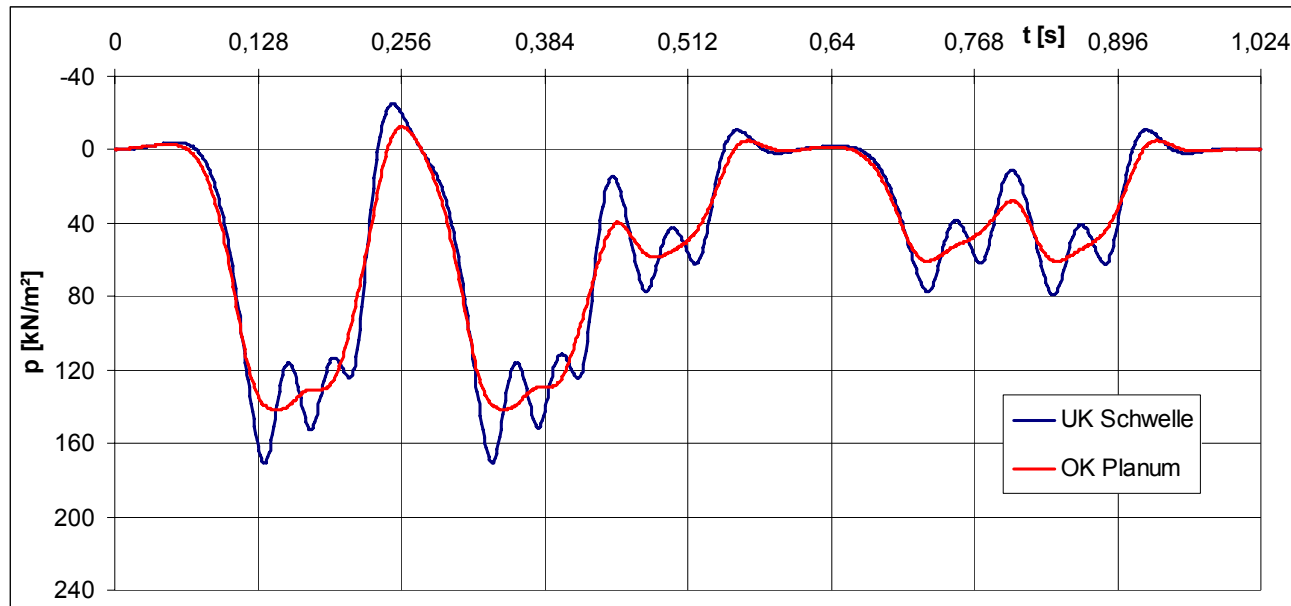
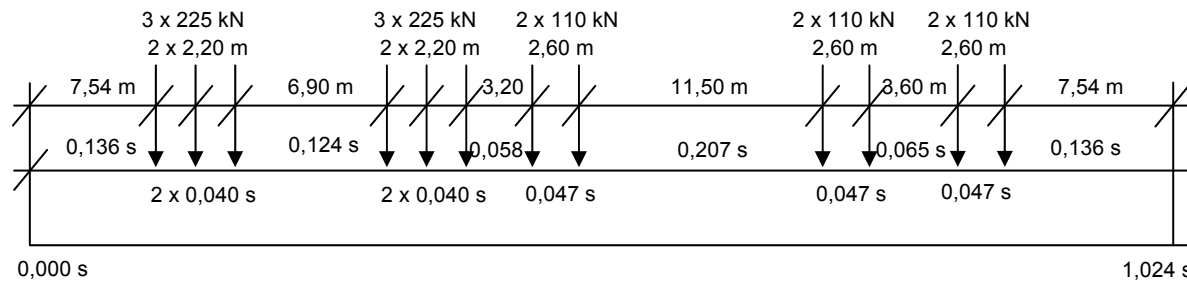
- Mechanisches Modell des dynamisch belasteten Fahrwegs u.a. in Fryba (1999) mit Berücksichtigung des Verhältnisses $v_{Zug} / v_{Rayleigh}$
- Radsatzlasten werden als Wanderlasten betrachtet, die an bestimmter Stelle x die Belastung $p_{(x)}$ ergeben



3. Einwirkungen

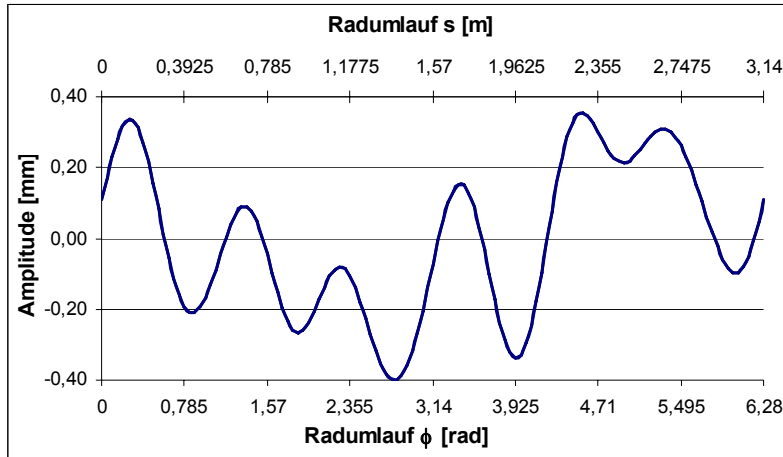
Niederfrequente Einwirkungen

z.B. Lasttyp 1 nach DIN FB 101 (Reisezug mit 6-achsiger Lok) mit 200 km/h



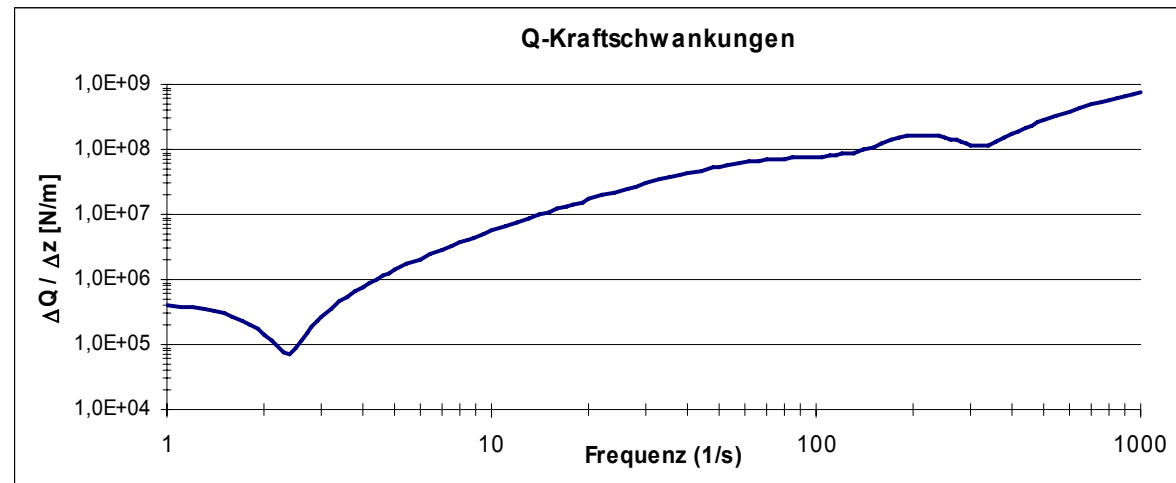
3. Einwirkungen

Hochfrequente Einwirkungen – Unebenheiten im Fahrzeug - Fahrweg



im Rahmen des Projektes EUROBALT 2 erstellte Rundlaufabzeichnung eines speziell präparierten stark unrundern ICE-Rades

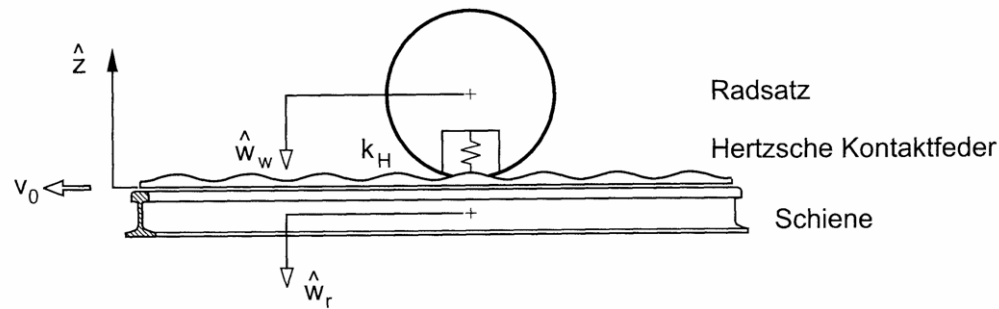
Einfaches Frequenzbereichsverfahren (Knothe)



3. Einwirkungen

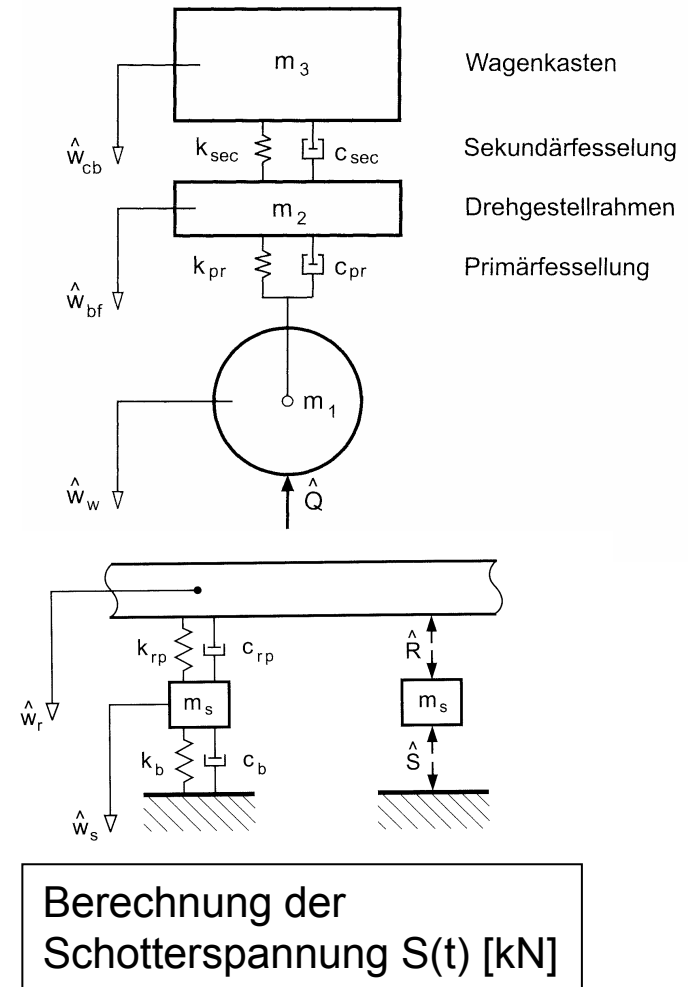
Hochfrequente Einwirkungen – Unebenheiten im Fahrzeug - Fahrweg

Frequenzbereichsverfahren nach Knothe



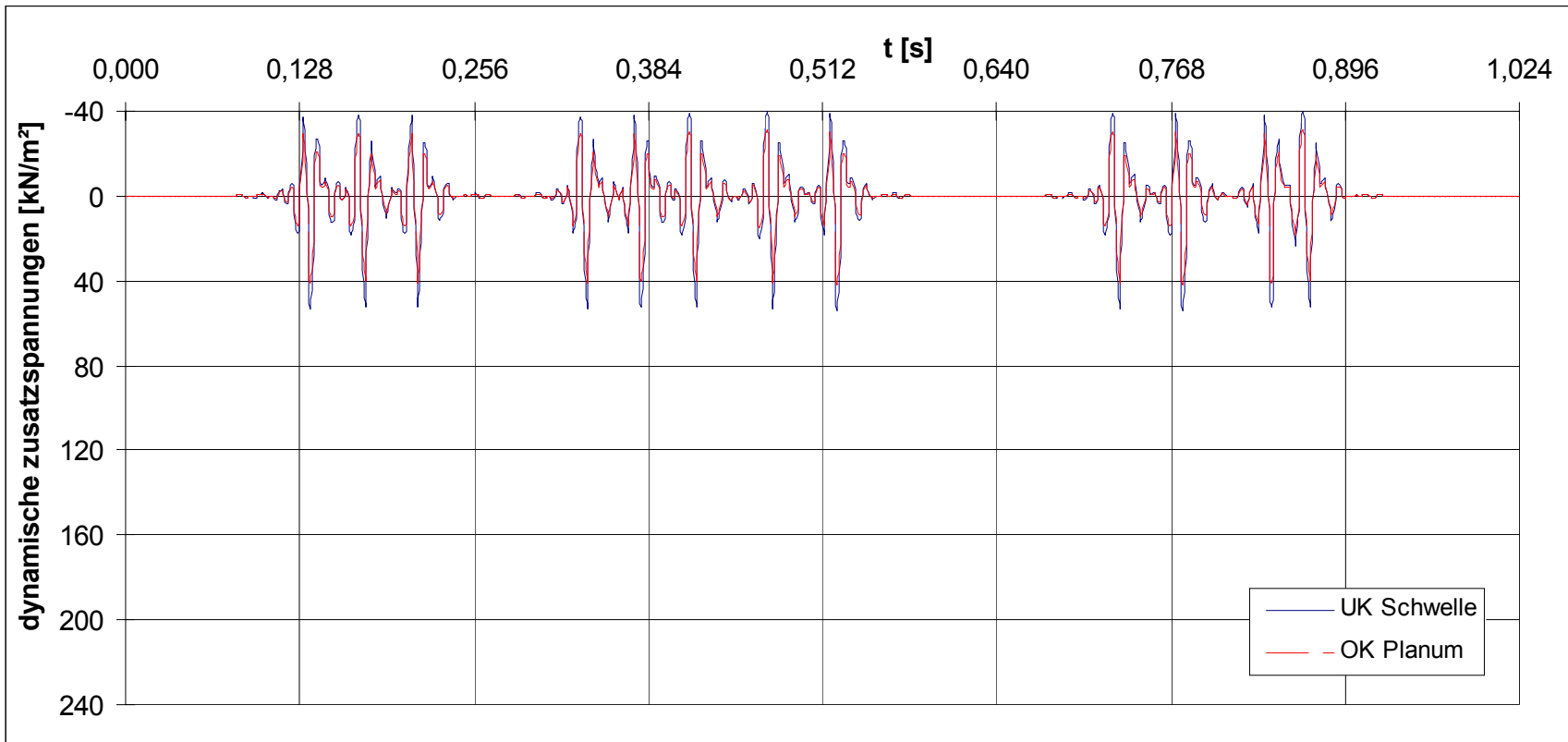
$$\Delta z(t) = \Delta w_r(t) - \Delta w_w(t) + \Delta \delta(t)$$

- | | |
|--------------------|-----------------------------------|
| $\Delta z(t)$ | Profilstörung |
| $\Delta w_r(t)$ | Verschiebung der Schiene |
| $\Delta w_w(t)$ | Verschiebung des Radsatzes |
| $\Delta \delta(t)$ | Zusammendrückung der Kontaktfeder |



3. Einwirkungen

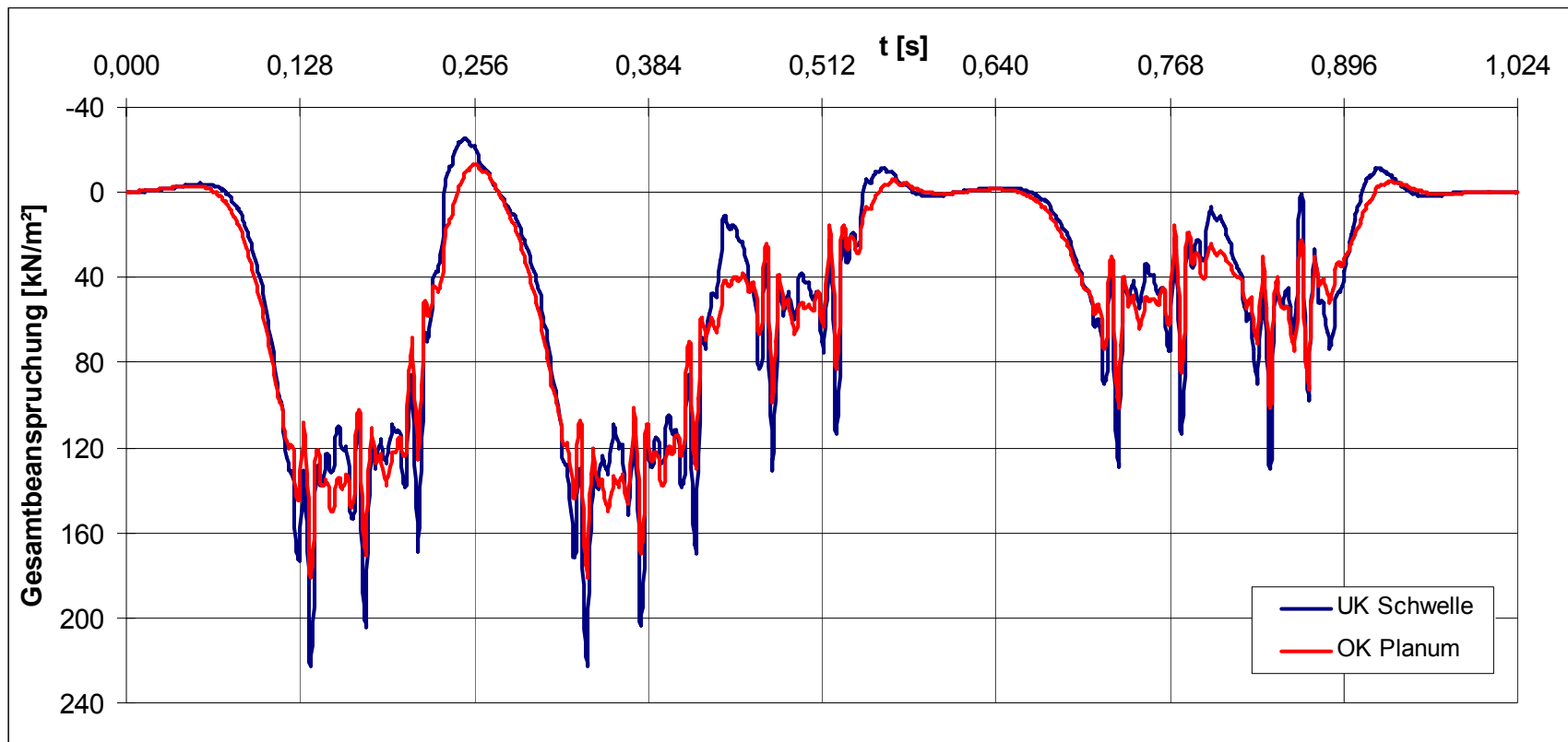
Hochfrequente Einwirkungen – Unebenheiten im Fahrzeug - Fahrweg



3. Einwirkungen

Gesamtbeanspruchung (Nieder- und Hochfrequente Einwirkungen)

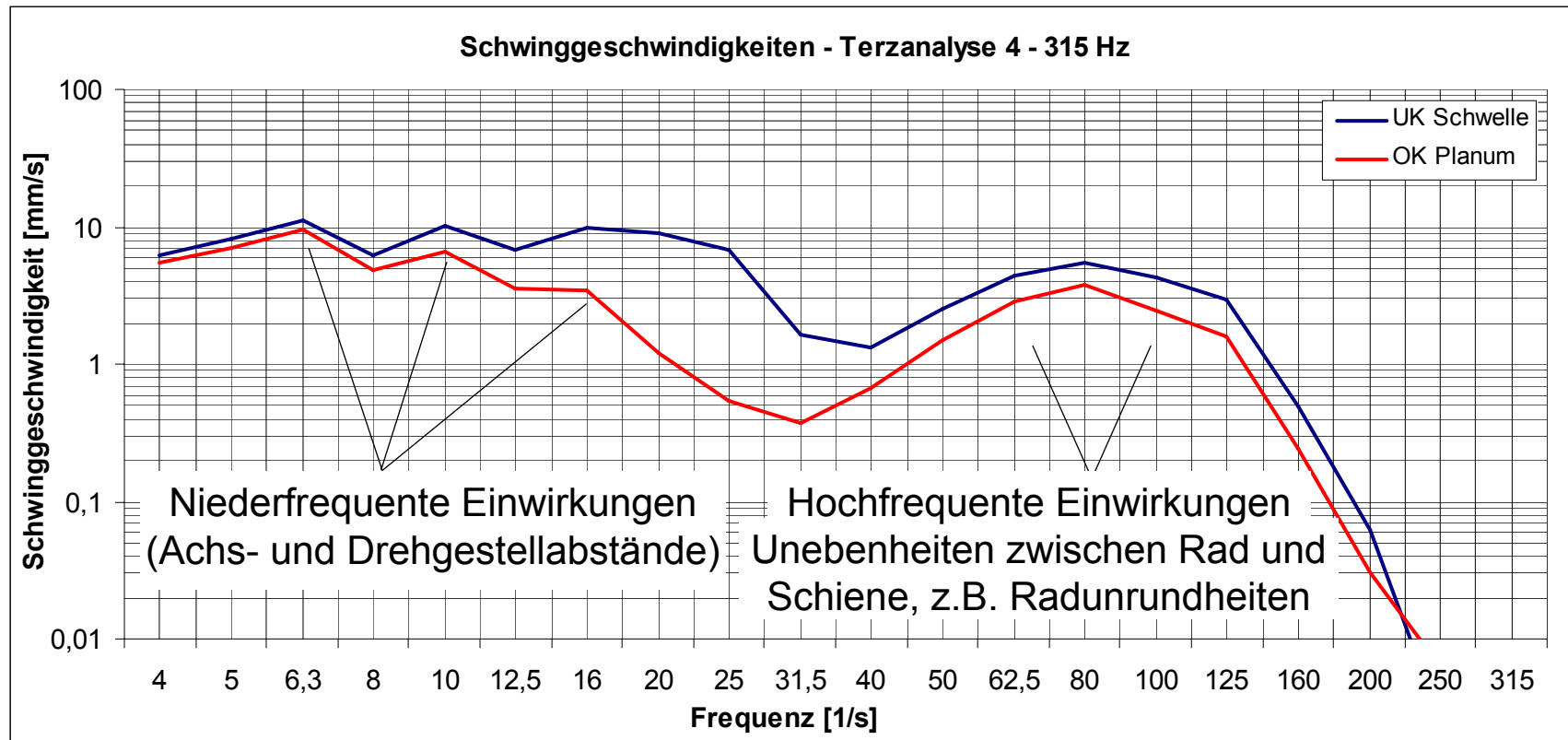
Darstellung im Zeitbereich



3. Einwirkungen

Gesamtbeanspruchung (Nieder- und Hochfrequente Einwirkungen)

Darstellung im Frequenzbereich



4. Widerstände (Dynamische Bodenkennwerte)

Dynamische Bodenkennwerte

• Schubmodul	G_d	[MN/m ²]	$G_d = \rho \cdot v_s^2$	} 2 Kennwerte erforderlich, 3. Kennwert wird errechnet
• Steifemodul	E_{sd}	[MN/m ²]	$E_{s,d} = \rho \cdot v_p^2$	
• Querdehnzahl	ν	[-]	$\nu = \frac{c_p^2 - 2c_s^2}{2(c_p^2 - c_s^2)}$	
• Dichte des Bodens	ρ	[t/m ³]		
• Material-Dämpfung	D	[-]		

G_{d0} für **mineralische Böden** → empirisch nach den Empfehlungen des AK 1.4 Baugrunderdynamik der DGGT

$$G_{do} = G_{0,ref} \cdot \sigma'_m{}^{0,5}$$

mit: G_{d0} [MN/m²];

$$G_{0,ref} = 3,23 \cdot (2,97-e)^2 / (1+e) \quad [-];$$

$$\sigma'_m = (\sigma'_x + \sigma'_y + \sigma'_z) / 3 \quad [\text{kN/m}^2].$$

* Gilt für Sand mit eckiger Kornform und normalkonsolidierte, bindige Böden.

4. Widerstände (Dynamische Bodenkennwerte)

für **organische Böden** → keine empirische Abschätzung

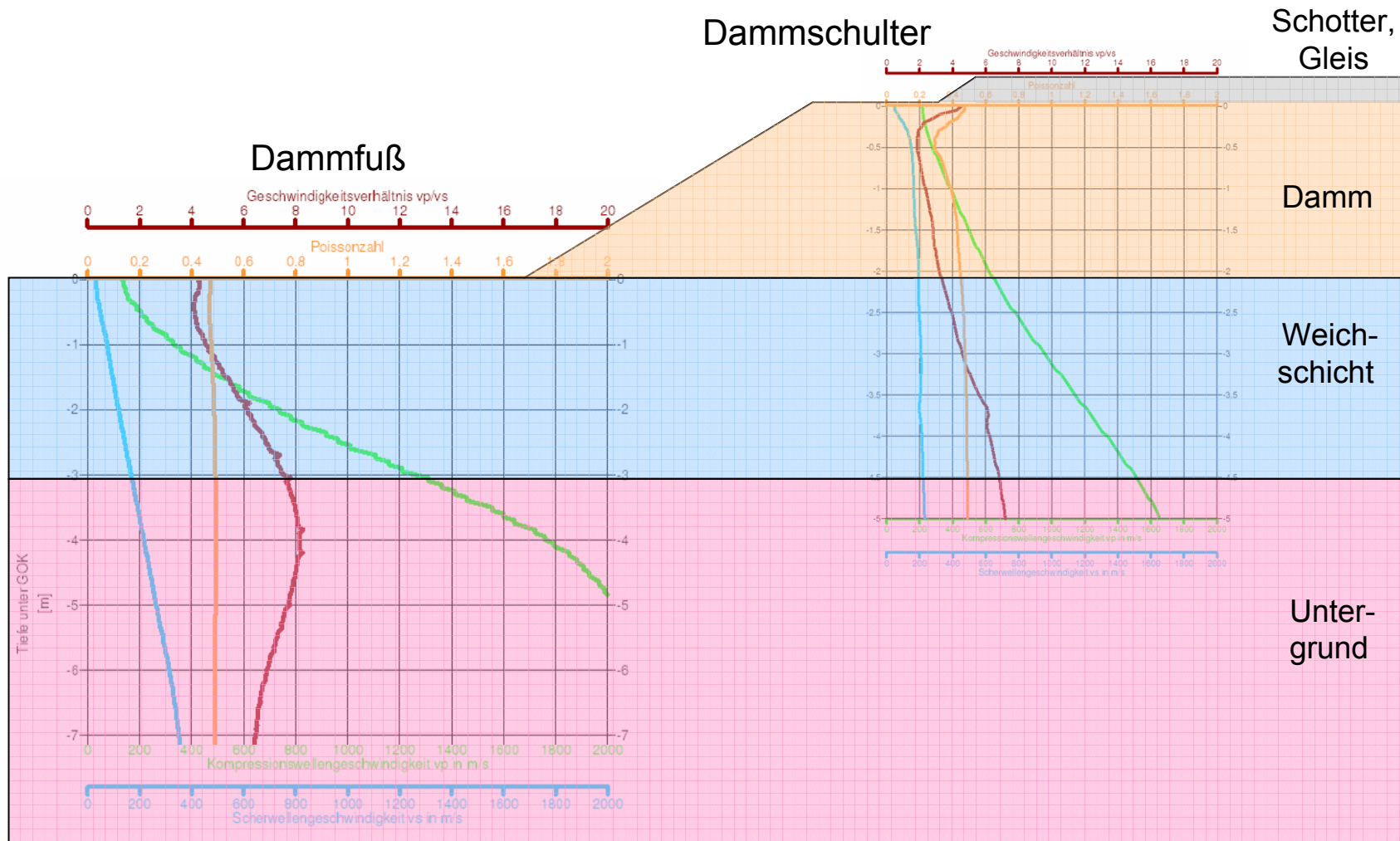
- Ermittlung der Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Scherwelle c_s und der Kompressionswelle c_p
- z.B. mittels Crosshole-, Uphole-, Downhole, Messungen refraktionsseismische Messungen
- sowohl für Dammschulter als auch für Dammfuß



Beispiel
Refraktions-
seismik

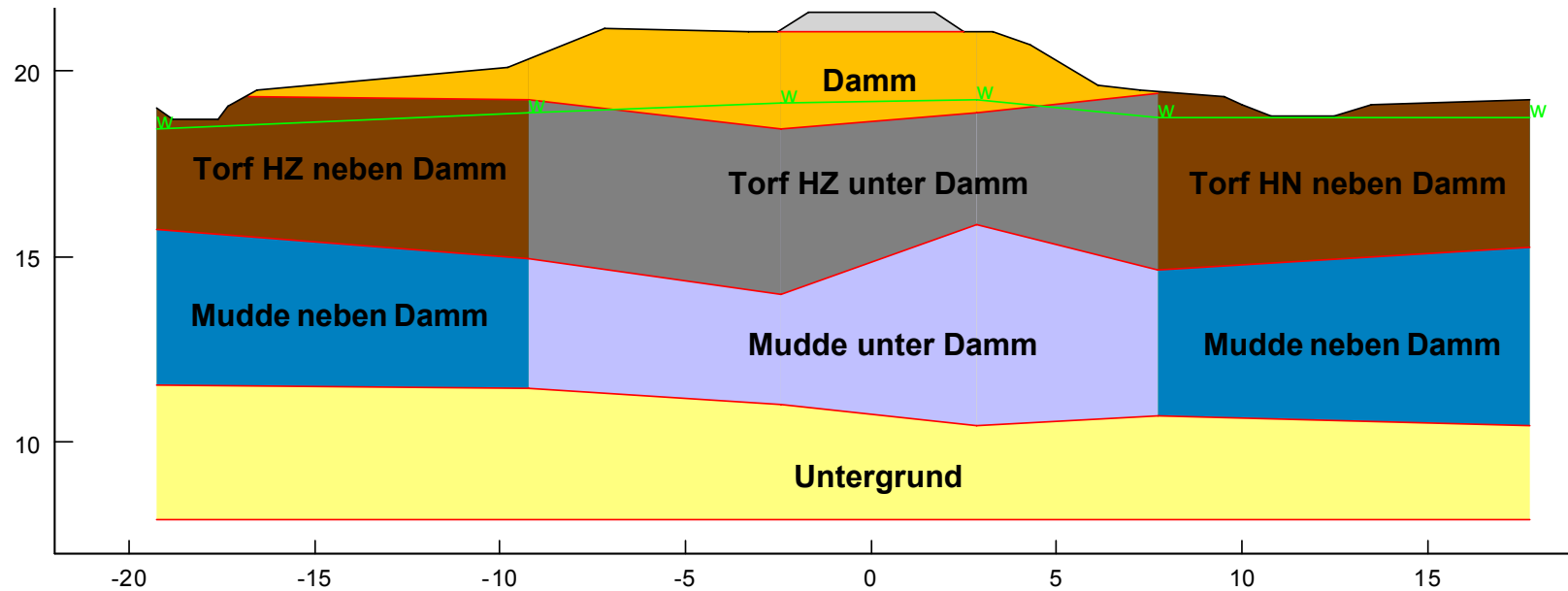
4. Widerstände (Dynamische Bodenkenwerte)

Beispiel für Ergebnisse refraktionsseismischer Messungen



4. Widerstände (Dynamische Bodenkennwerte)


Casekow - Tantow Torf (Bahnstrecke Angermünde – Stettin)

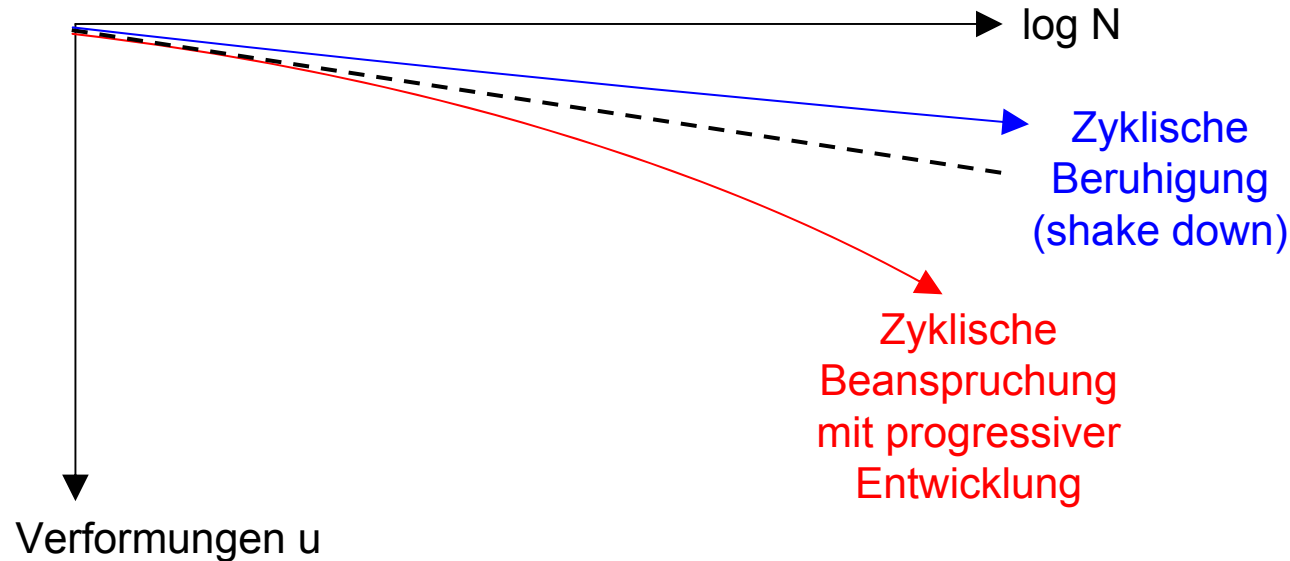


Bezeichnung	Tiefe u. GOK	w [%]	v _{GI} [%]	ρ [g/cm ³]	ρ _d [g/cm ³]	e [-]	σ' _v [kN/m ²]	σ' _m *) [kN/m ²]	c _{s0} [m/s]	G _{d0} [MN/m ²]
Torf HN neben Damm	1,2 m	432	57	1,02	0,20	7,67	7,5	5,5	50	2,55
Torf HZ neben Damm	3,0 m	255	32	1,12	0,34	4,24	15	11	130	18,9

*) Annahme: K₀ ~ 0,60

5. Nachweis der dynamischen Gebrauchstauglichkeit

- Mit dynamischen Bodenkennwerten können elastische Verformungen von  einzelnen dynamischen Belastungen (z.B. Zugüberfahrt) relativ genau bestimmt werden.
- keine Ermittlung von bleibenden Verformungen infolge einer Vielzahl von Lastwechseln, jedoch qualitative Aussagen, ob aus dynamischen Einwirkungen lineares, gering nichtlineares oder stark nichtlineares Bodenverhalten resultiert.

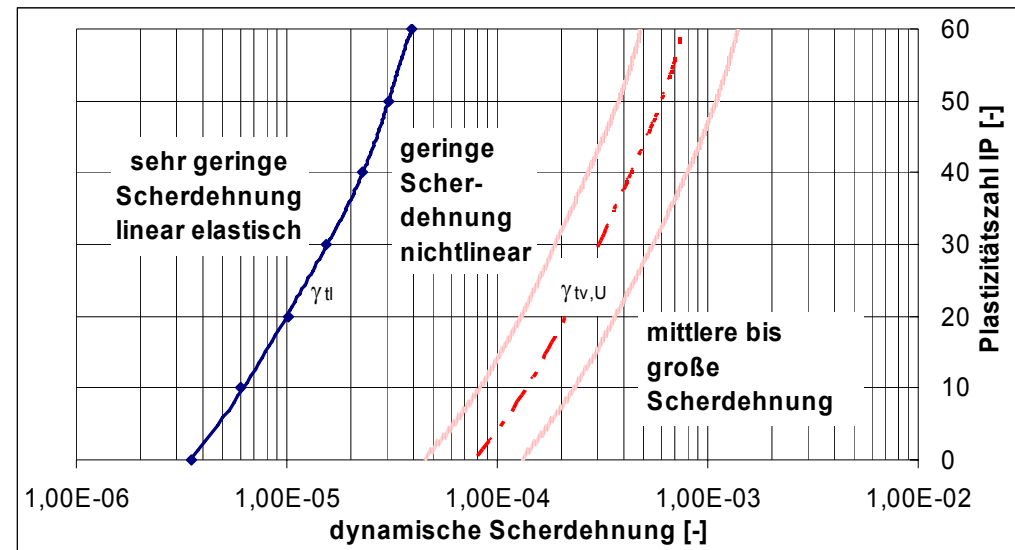


5. Nachweis der dynamischen Gebrauchstauglichkeit

Beurteilung der dynamischen Gebrauchstauglichkeit erfolgt nach Größe der dynamischen Scherdehnungen

3 Bereiche:

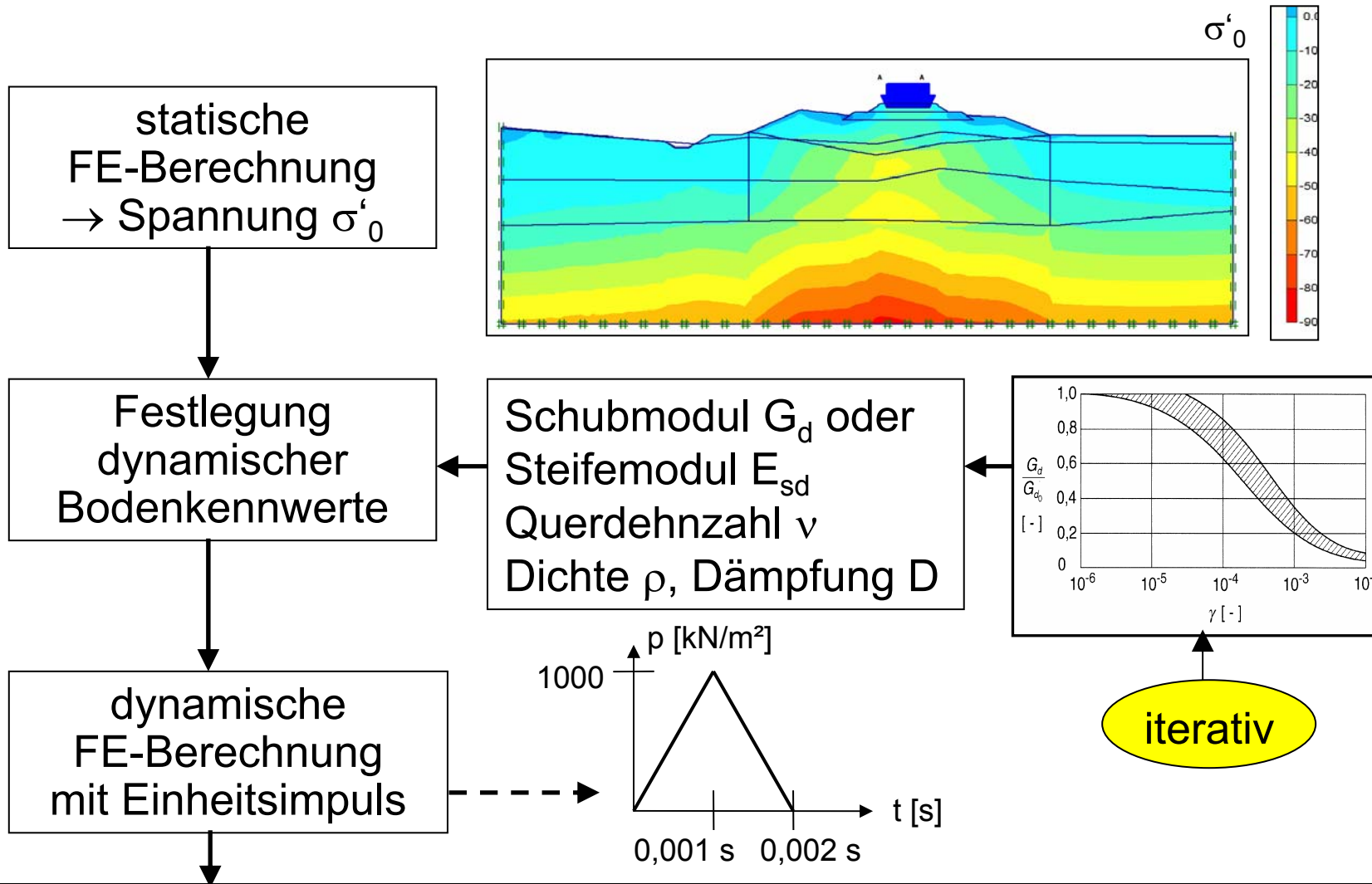
- sehr geringe Scherdehnung (linear elastisches Verhalten)
- geringe Scherdehnungen (nichtlineares Verhalten)
- mittlere - große Scherdehnung (stark nichtlineares Verhalten)



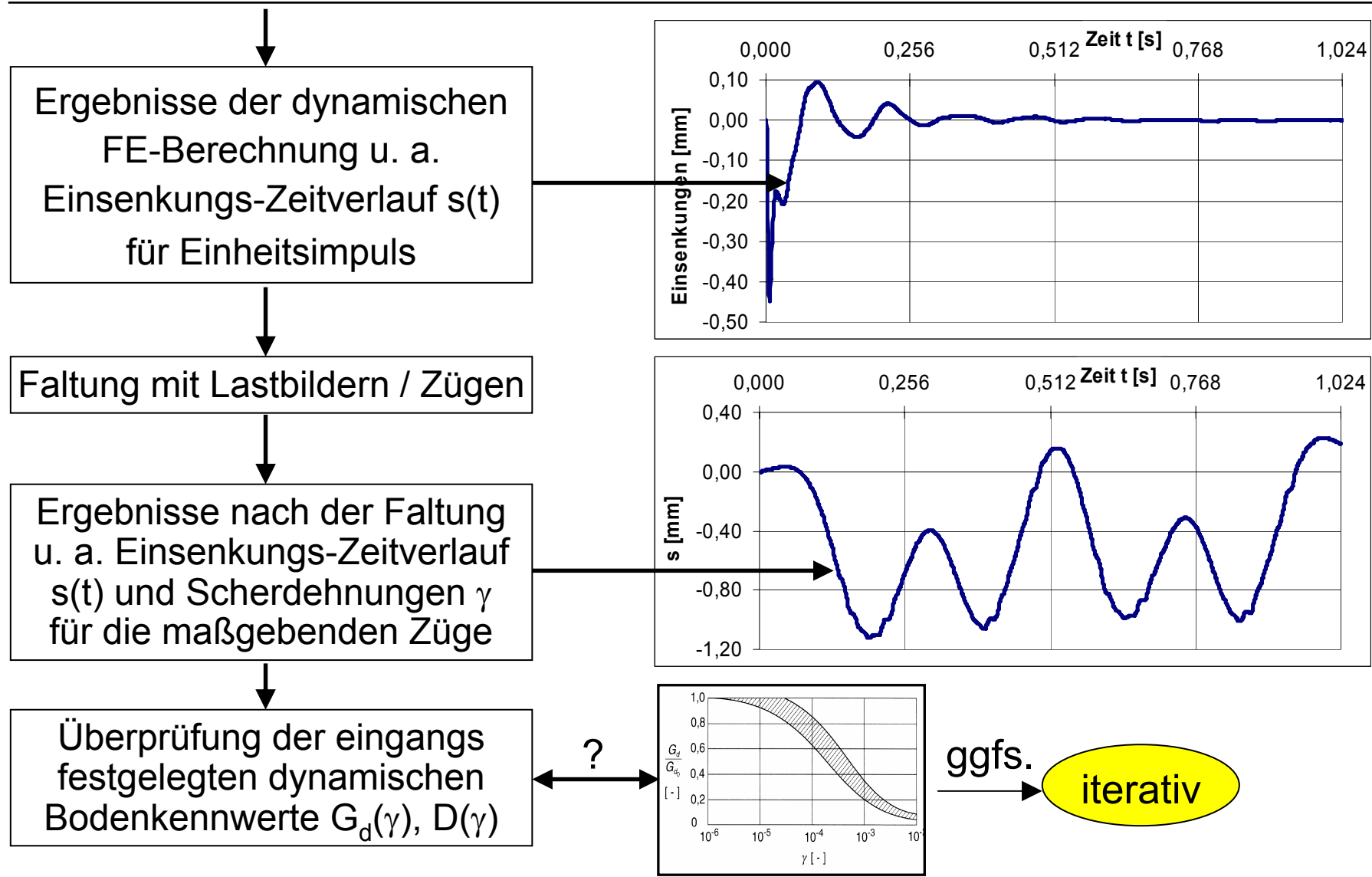
Für Schotteroberbau ist z.B. der mittlere Scherdehnungsbereich mit geringen Scherdehnungen zulässig, da Nachstopfen in angemessenen Abständen möglich → **maßgebend: dynamische Scherdehnungsgrenze $\gamma_{tv,u}$**

5. Nachweis der dynamischen Gebrauchstauglichkeit

Vorgehensweise zur Beurteilung der dynamischen Gebrauchstauglichkeit



5. Nachweis der dynamischen Gebrauchstauglichkeit



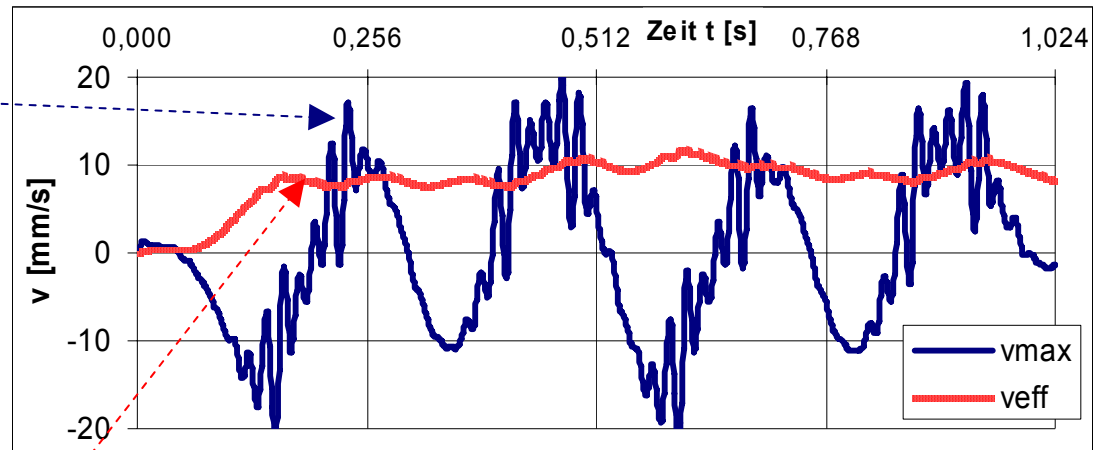
5. Nachweis der dynamischen Gebrauchstauglichkeit



Weitere Auswertung, wie z.B. Ableitung des Einsenkungs-Zeitverlaufes $s(t)$ nach Δt ergibt den Zeitverlauf der Schwinggeschwindigkeit $v_{\max}(t)$

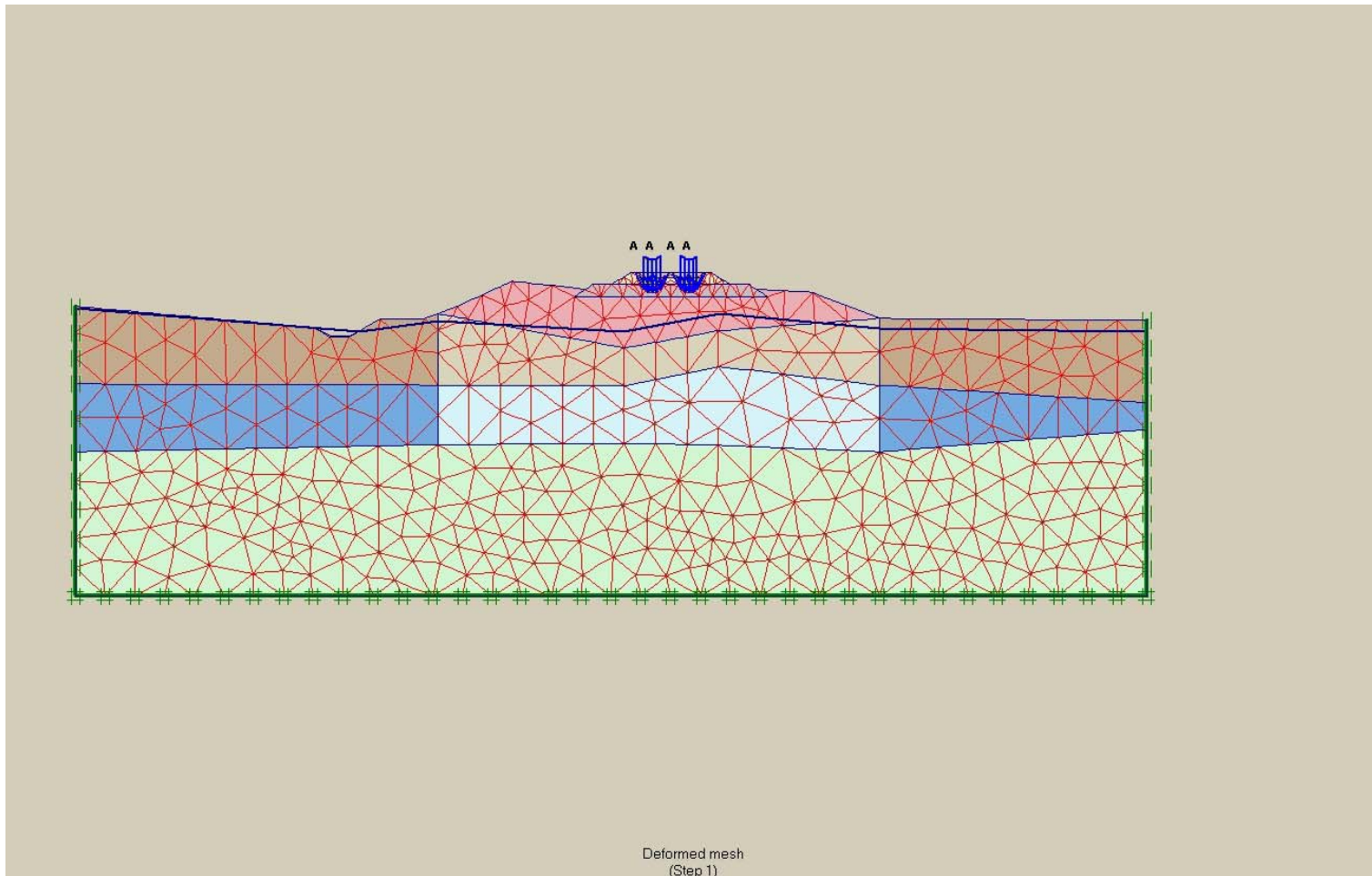


Bildung eines gleitenden Effektivwertes DIN 45672-2 aus $v_{\max}(t)$ ergibt den Zeitverlauf der effektiven Schwinggeschwindigkeit $v_{\text{eff}}(t)$

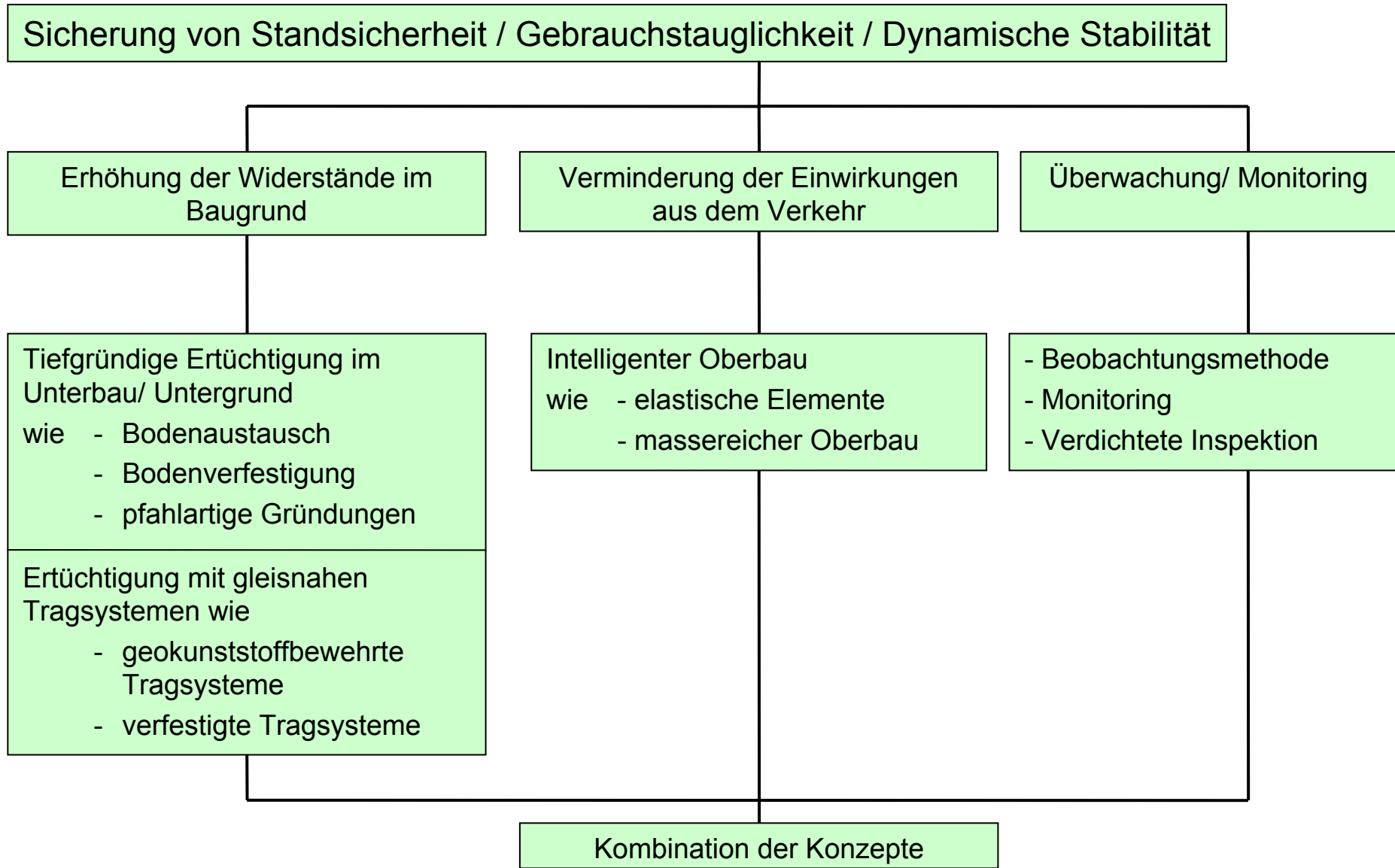


5. Nachweis der dynamischen Gebrauchstauglichkeit

Ergebnis einer dynamische FE-Berechnung mit Einheitsimpuls



6. Bautechnische Maßnahmen



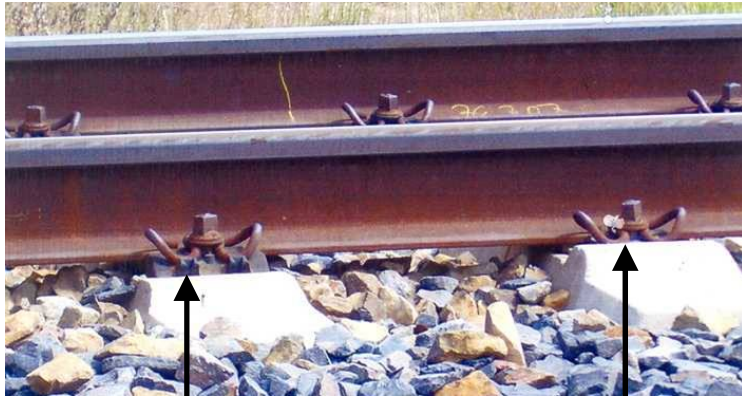
6. Bautechnische Maßnahmen

Verfahren zur Erhöhung der Widerstände im Baugrund

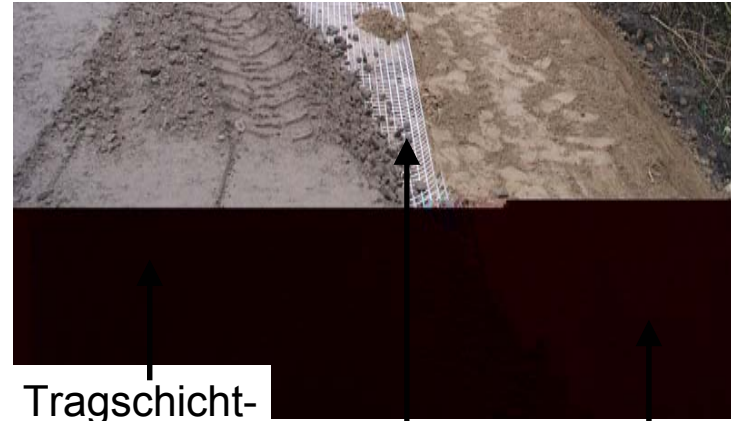


6. Bautechnische Maßnahmen

Verminderung der Einwirkungen aus dem Verkehr



E 14 – Stützpunkt hochel. Schienenbefestigung W



Tragschichtmaterial Geokunststoff Erdplanum



Unterschottermatte



Schwellenbesohlung

6. Bautechnische Maßnahmen

Überwachung/ Monitoring



Horizontal-
inklinometer



Vertikal-
inklinometer



Schwingungs-
messungen



Porenwasser-
druckmessung

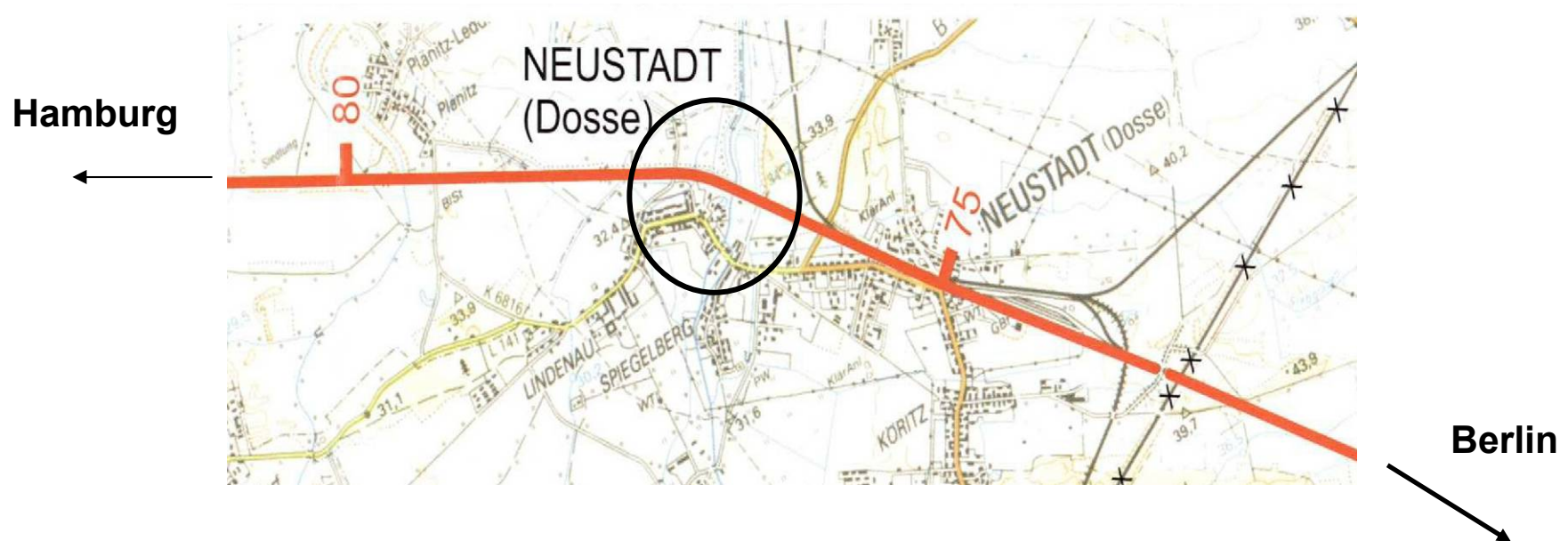
7. Praxisanwendungen mit Nachweis des Ertüchtigungserfolges

- Ausbaustrecke Hamburg-Berlin, 2-gleisig
Streckenbereich Neustadt/Dosse
Geschwindigkeitserhöhung auf 230 km/h
- Bahnstrecke Angermünde-Stettin, 1-gleisig,
Streckenabschnitt Casekow – Tantow,
Geschwindigkeitserhöhung auf 120 km/h
- Ausbaustrecke Saarbrücken-Ludwigshafen „POS Nord“
Streckenabschnitt Hauptstuhl – Miesenbach,
Geschwindigkeitserhöhung auf 200 km/h

7.1 Ausbaustrecke Hamburg-Berlin, $\rightarrow v = 230 \text{ km/h}$

Kritische Untergrundverhältnisse:

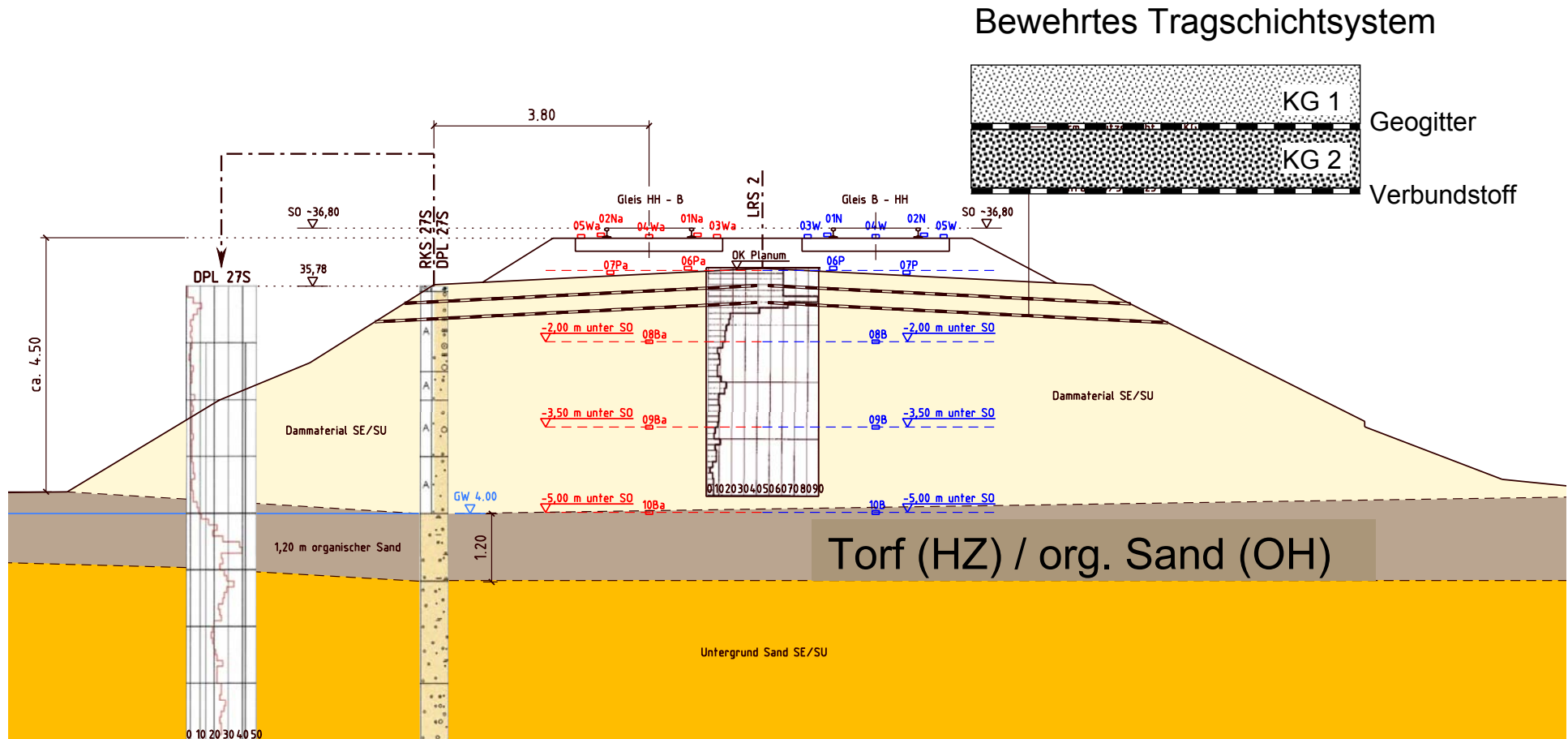
- Damm aus SE-Sand mit teilweise lockerer Lagerung
- unterhalb des Damms organische Sande im Übergang mit Torf
- Gleislagefehler



→ Anwendung gleisnahe Untergrundertüchtigung mit einem geokunststoffbewehrten Tragschichtsystem

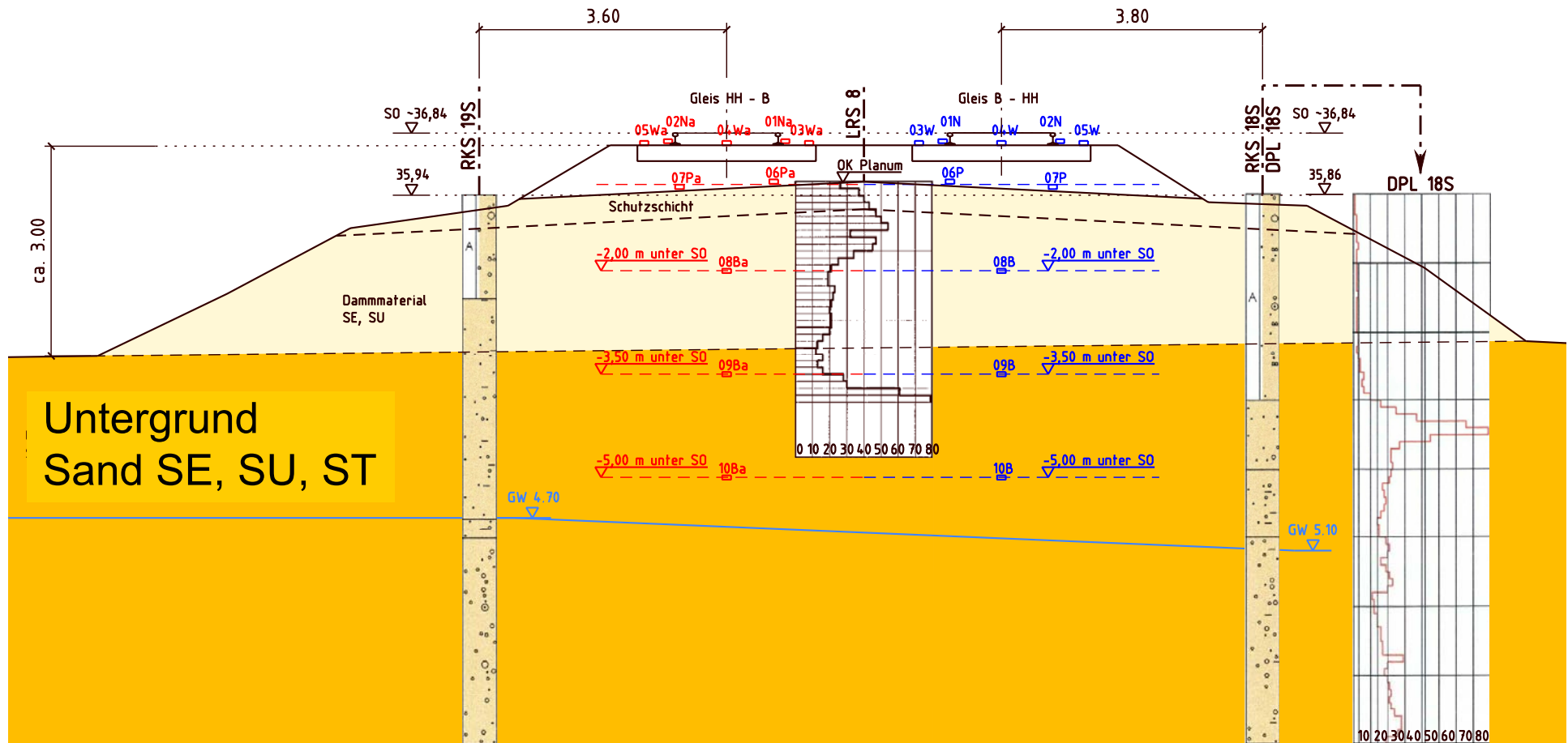
7.1 Ausbaustrecke Hamburg-Berlin, $\rightarrow v = 230 \text{ km/h}$

Messquerschnitt mit Torf (HZ) / organischen Sand (OH) im Untergrund



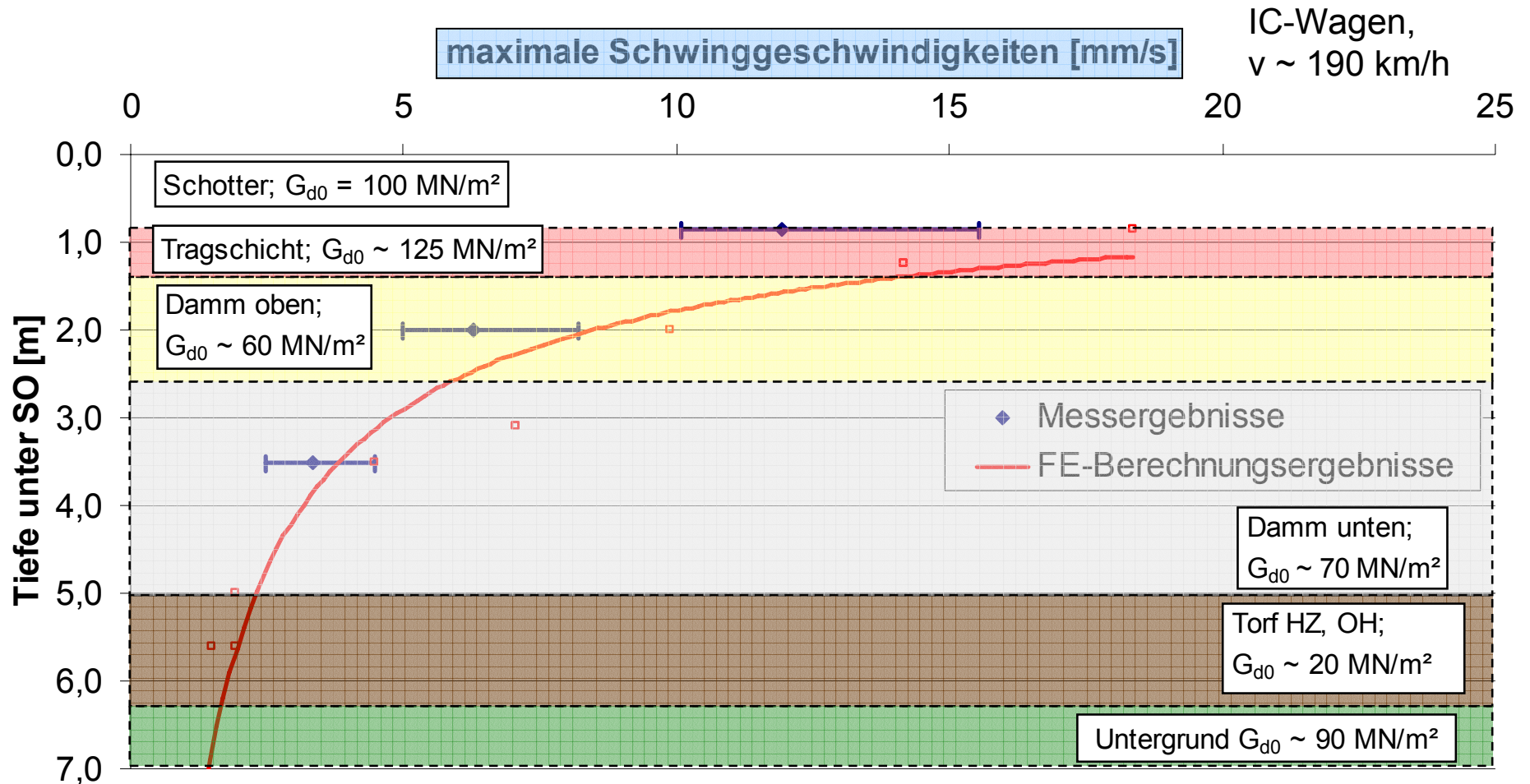
7.1 Ausbaustrecke Hamburg-Berlin, $\rightarrow v = 230 \text{ km/h}$

Messquerschnitt mit mineralischen Untergrund Sand SE, SU, ST



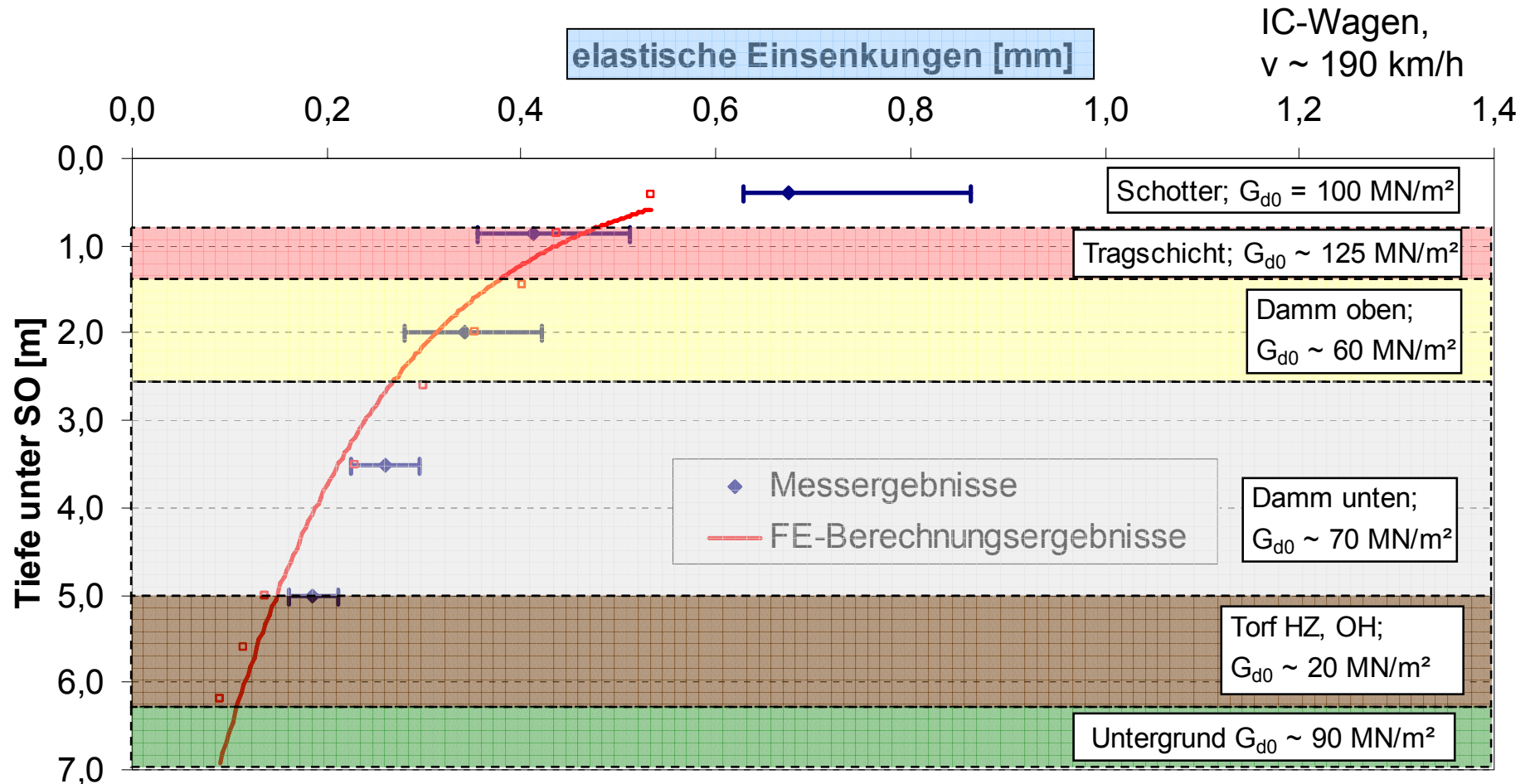
7.1 Ausbaustrecke Hamburg-Berlin, $\rightarrow v = 230 \text{ km/h}$

Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Messergebnissen
Messquerschnitt mit Torf (HZ) / organischen Sand (OH) im Untergrund



7.1 Ausbaustrecke Hamburg-Berlin, $\rightarrow v = 230 \text{ km/h}$

Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Messergebnissen
Messquerschnitt mit Torf (HZ) / organischen Sand (OH) im Untergrund

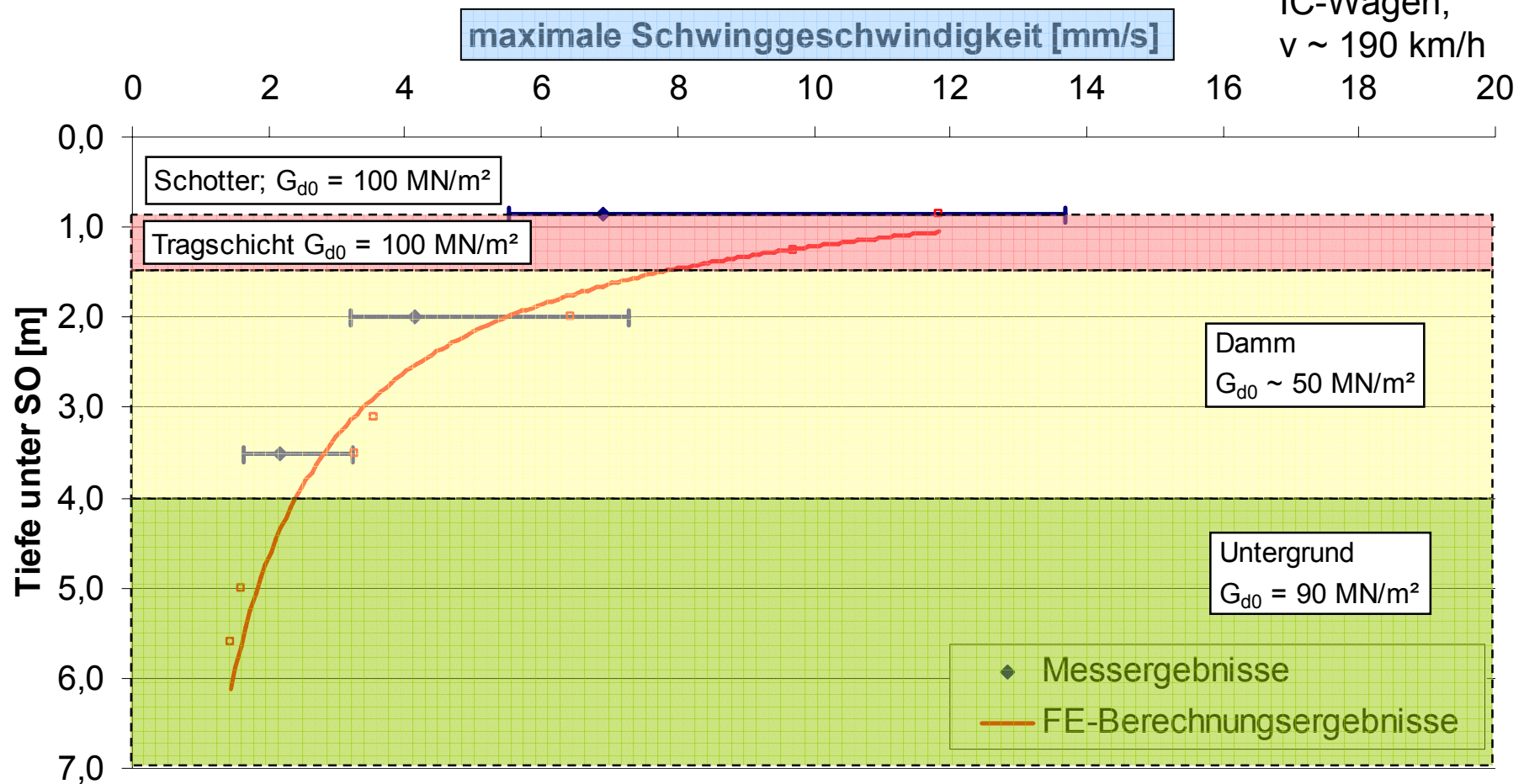


7.1 Ausbaustrecke Hamburg-Berlin, $\rightarrow v = 230 \text{ km/h}$

Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Messergebnissen

Messquerschnitt mit mineralischen Untergrund Sand SE, SU, ST

IC-Wagen,
 $v \sim 190 \text{ km/h}$

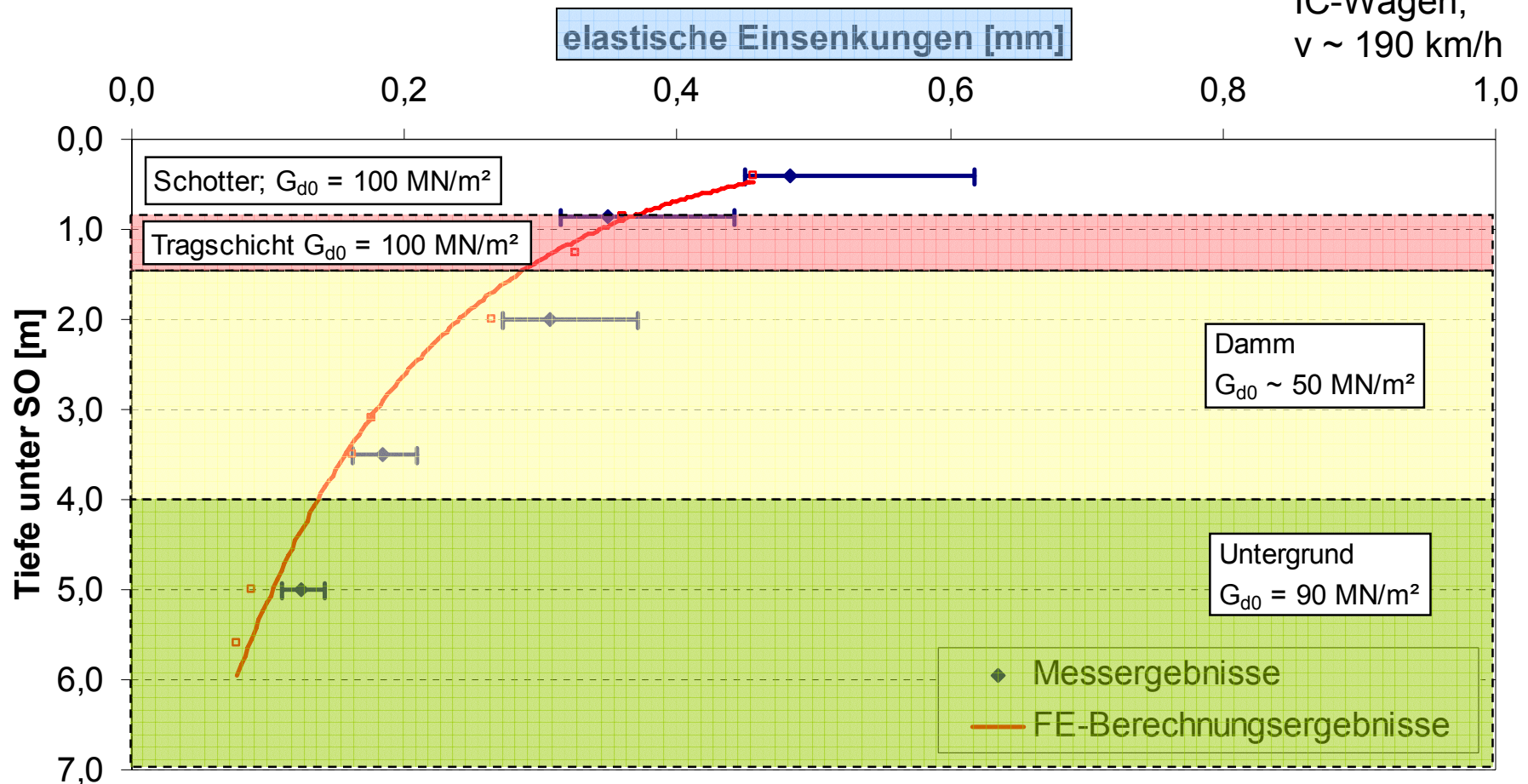


7.1 Ausbaustrecke Hamburg-Berlin, $\rightarrow v = 230 \text{ km/h}$

Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Messergebnissen

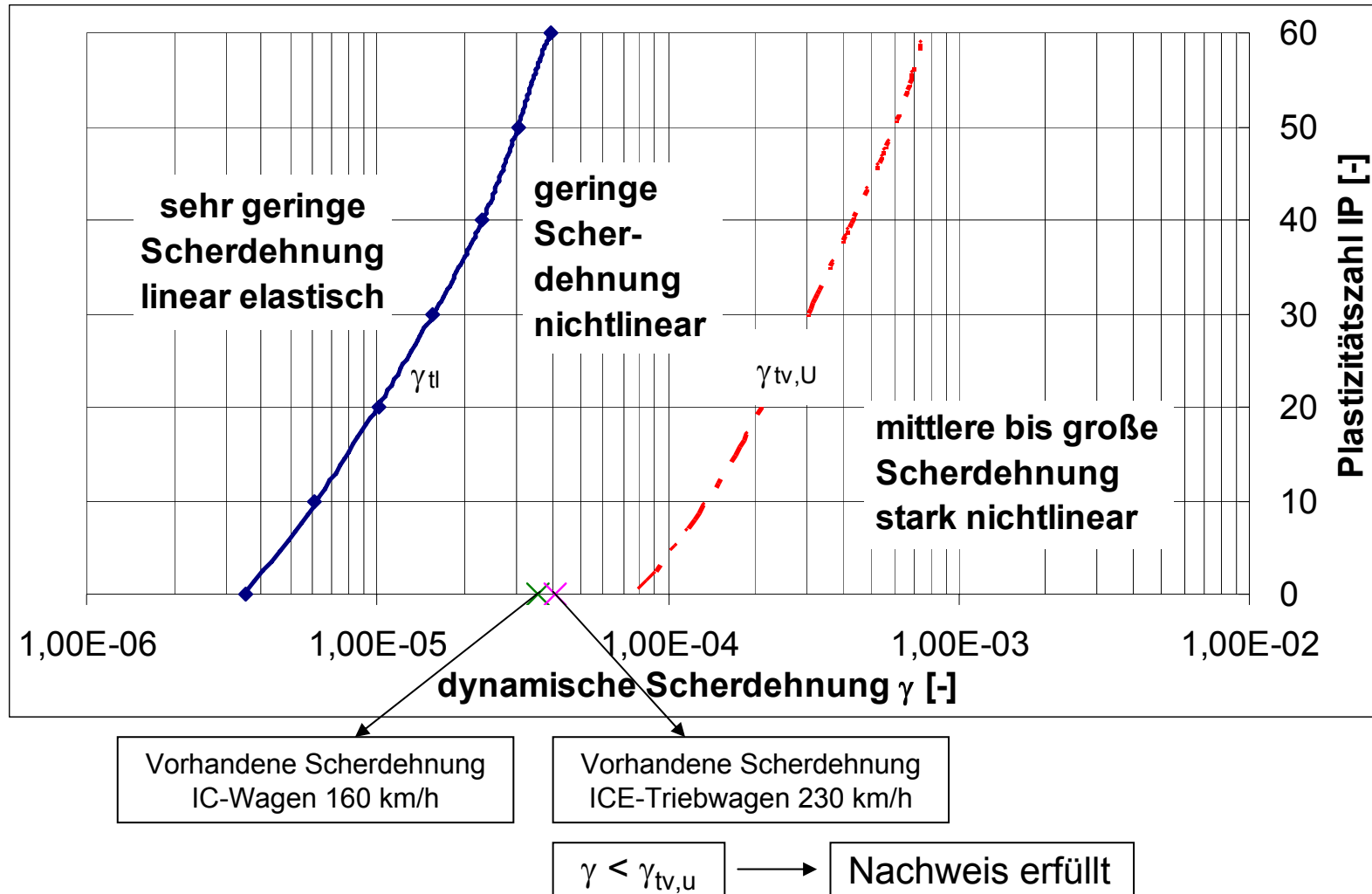
Messquerschnitt mit mineralischen Untergrund Sand SE, SU, ST

IC-Wagen,
 $v \sim 190 \text{ km/h}$



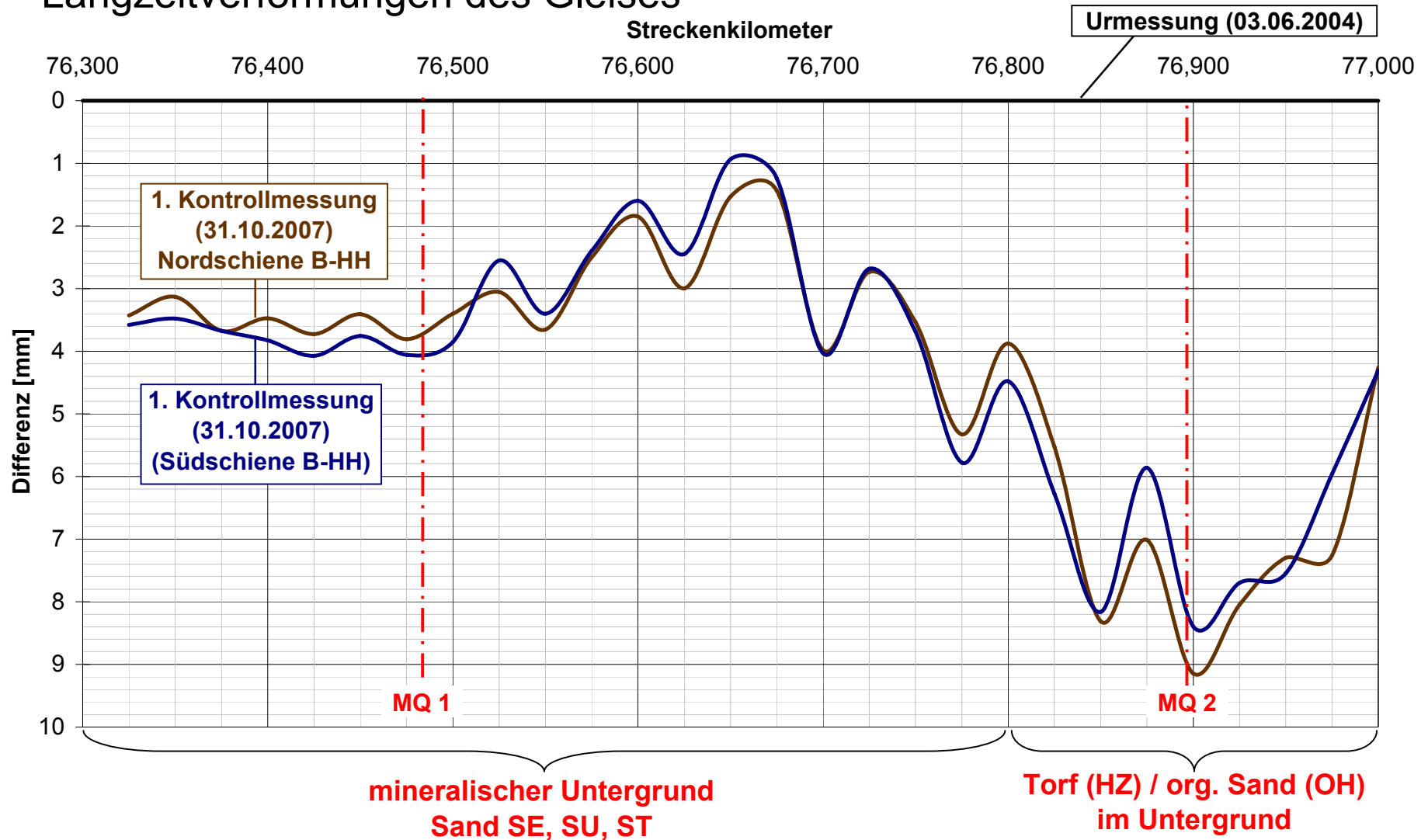
7.1 Ausbaustrecke Hamburg-Berlin, $\rightarrow v = 230 \text{ km/h}$

Scherdehnungen im Messquerschnitt mit Torf (HZ) und org. Sand (OH)



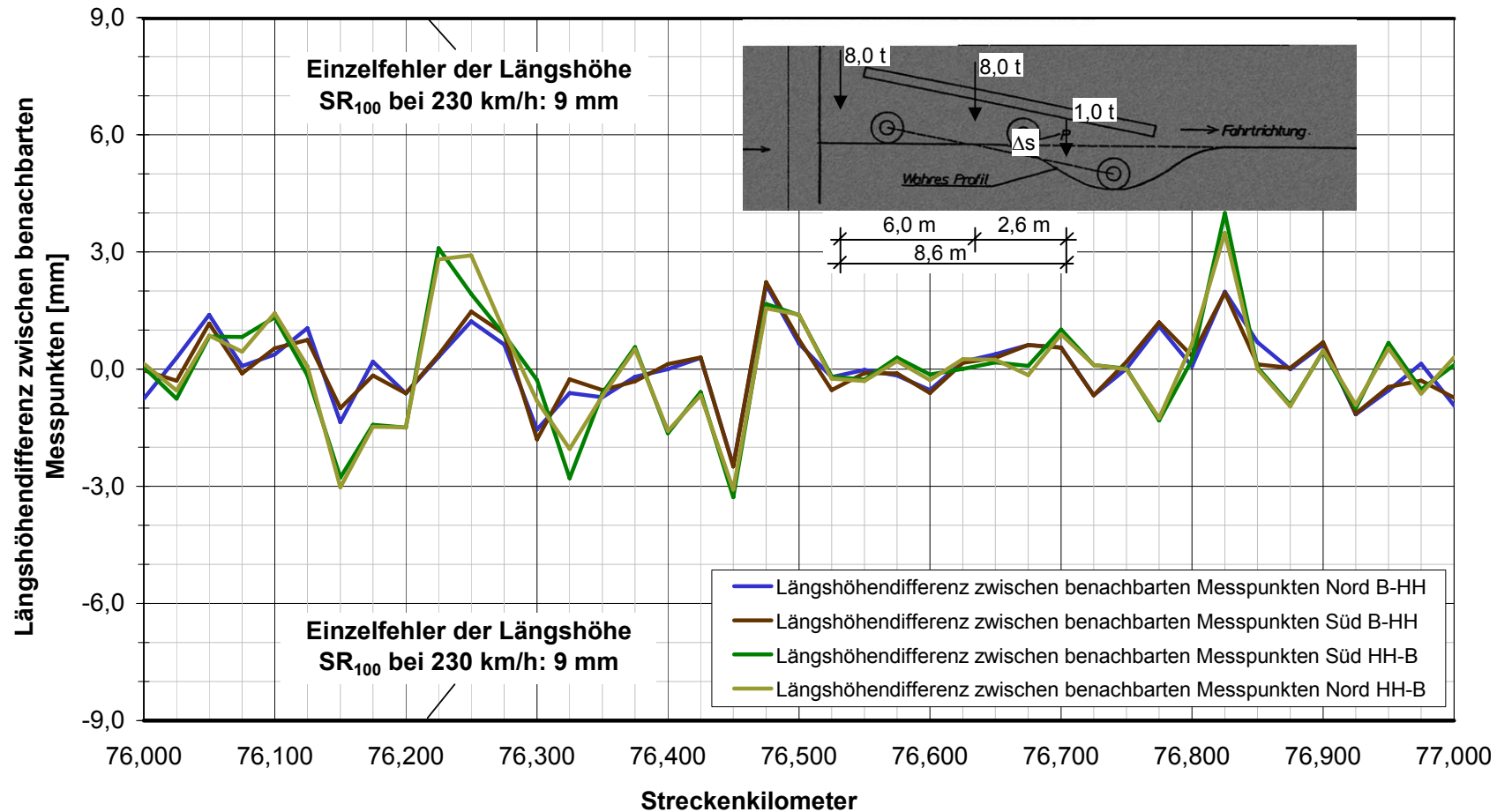
7.1 Ausbaustrecke Hamburg-Berlin, $\rightarrow v = 230 \text{ km/h}$

Langzeitverformungen des Gleises



7.1 Ausbaustrecke Hamburg-Berlin, $\rightarrow v = 230 \text{ km/h}$

maßgebendes Verformungskriterium: „Längshöhe“ bzw. Setzungsdifferenz Δs



max. vorh. $\Delta s \approx 3 \text{ mm} \ll \text{zul. } \Delta s = 9 \text{ mm (bei 230 km/h)}$

7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, → v = 120 km/h

Ausgangssituation

Strecke 6328 Angermünde - Rosow (DB Grenze)

Streckenabschnitt Casekow – Tantow

(km 99,541 - km 110,376)

→ eingleisig (bahnrechts auf ehemals
zweigleisig ausgebautem Bahnkörper)

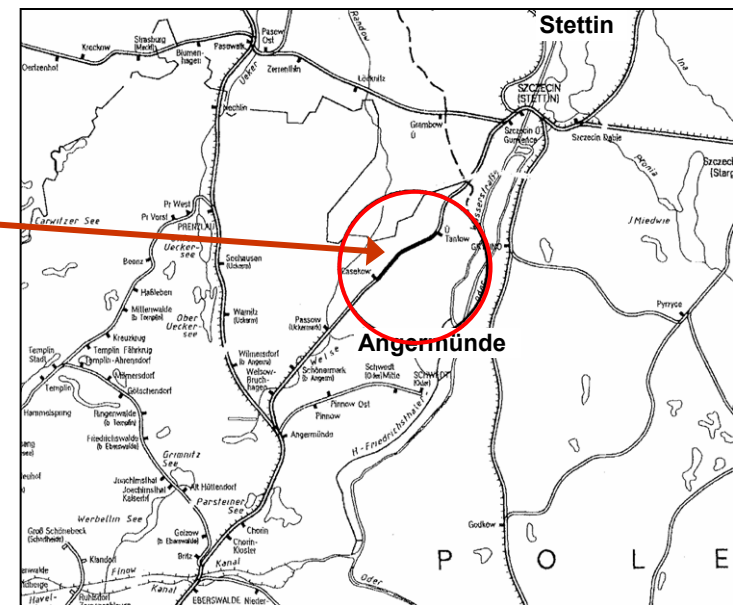
→ nicht elektrifiziert

maroder Zustand des Oberbaus und des Unterbaus
(dieser vor allem durch schweren Güterverkehr)

→ zunehmend Einrichtung von Langsamfahrstellen

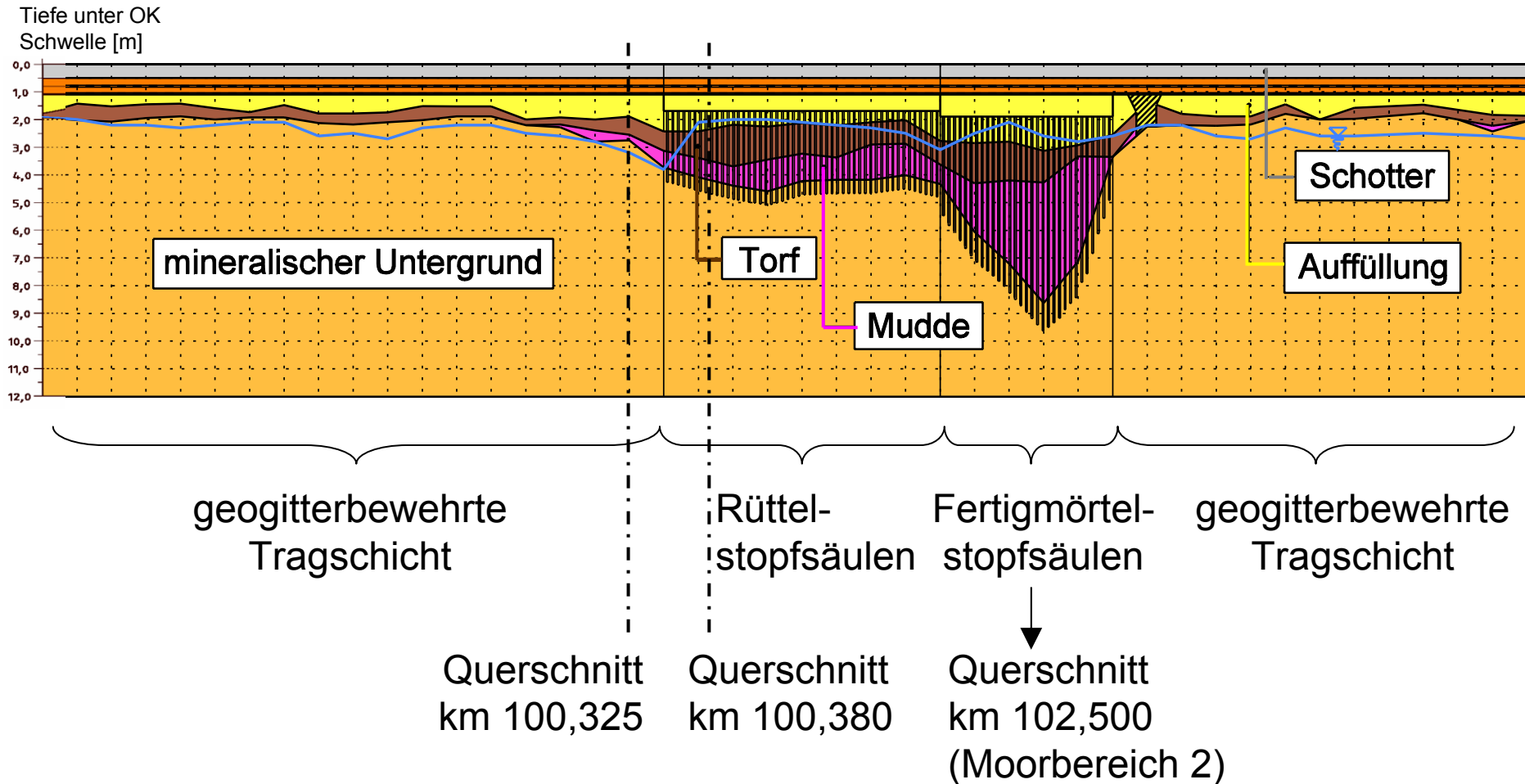
→ Erwägung: Absenkung des Streckenstandards (G 120) zur
Reduzierung des erheblichen Instandhaltungsaufwandes

→ **Notwendigkeit einer umfassenden Ober- und Unterbauerneuerung
Streckenausbau auf Leitgeschwindigkeit 160 km/h und Beibehaltung
des Streckenstandards G 120**










7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

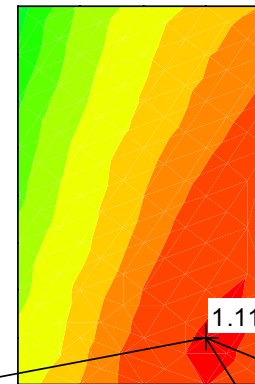
Baugrundlängsschnitt Moorbereich 1 km 99,900 – km 101,000



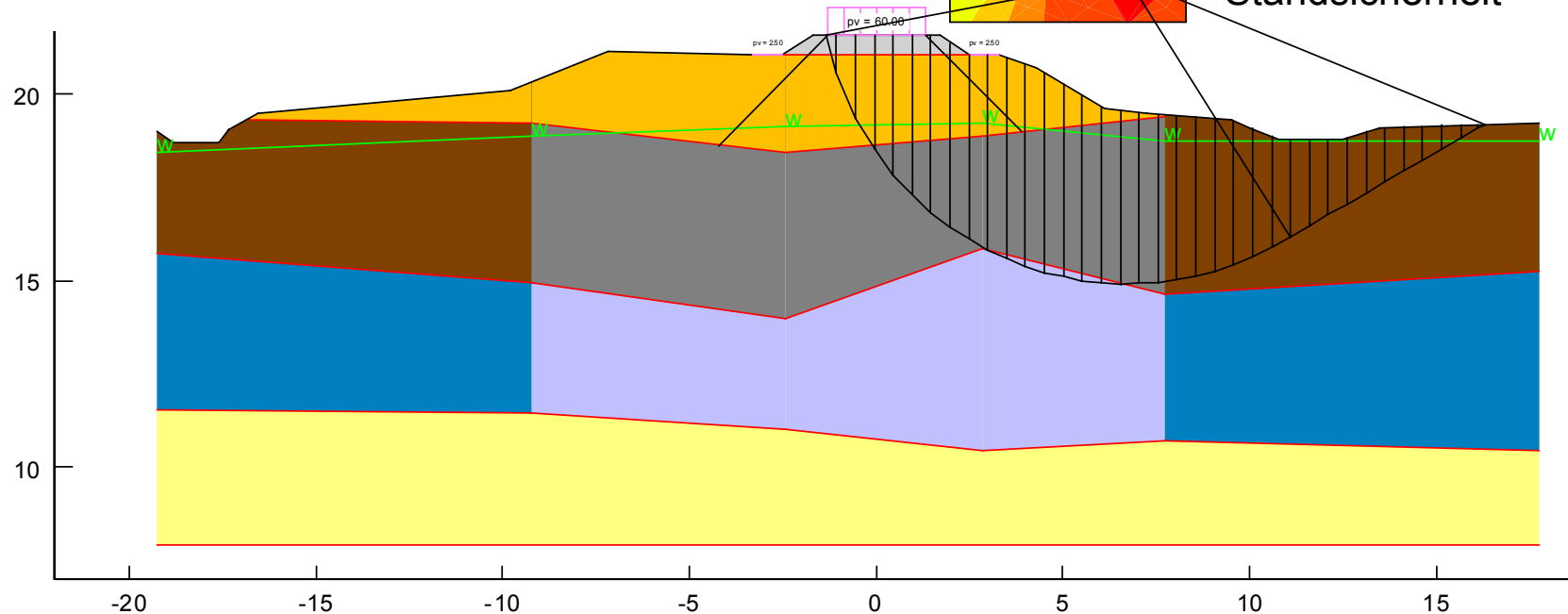
7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Querschnitt km 102,500; Standsicherheit im Istzustand

Boden	φ [°]	c [kN/m ²]	γ [kN/m ³]	pw [-]	Bezeichnung
	37.50	0.00	21.00	0.00	Damm SE, SU
	30.00	3.00	11.00	0.00	Torf kons. HZ
	30.00	0.00	11.00	0.00	Torf unkons. HZ
	32.50	0.00	16.00	0.00	Mudde kons. F, OT, OU
	30.00	0.00	16.00	0.00	Mudde unkons. F, OT, OU
	36.00	0.00	19.00	0.00	Untergrund SE, SU
	40.00	0.00	18.00	0.00	Schotter

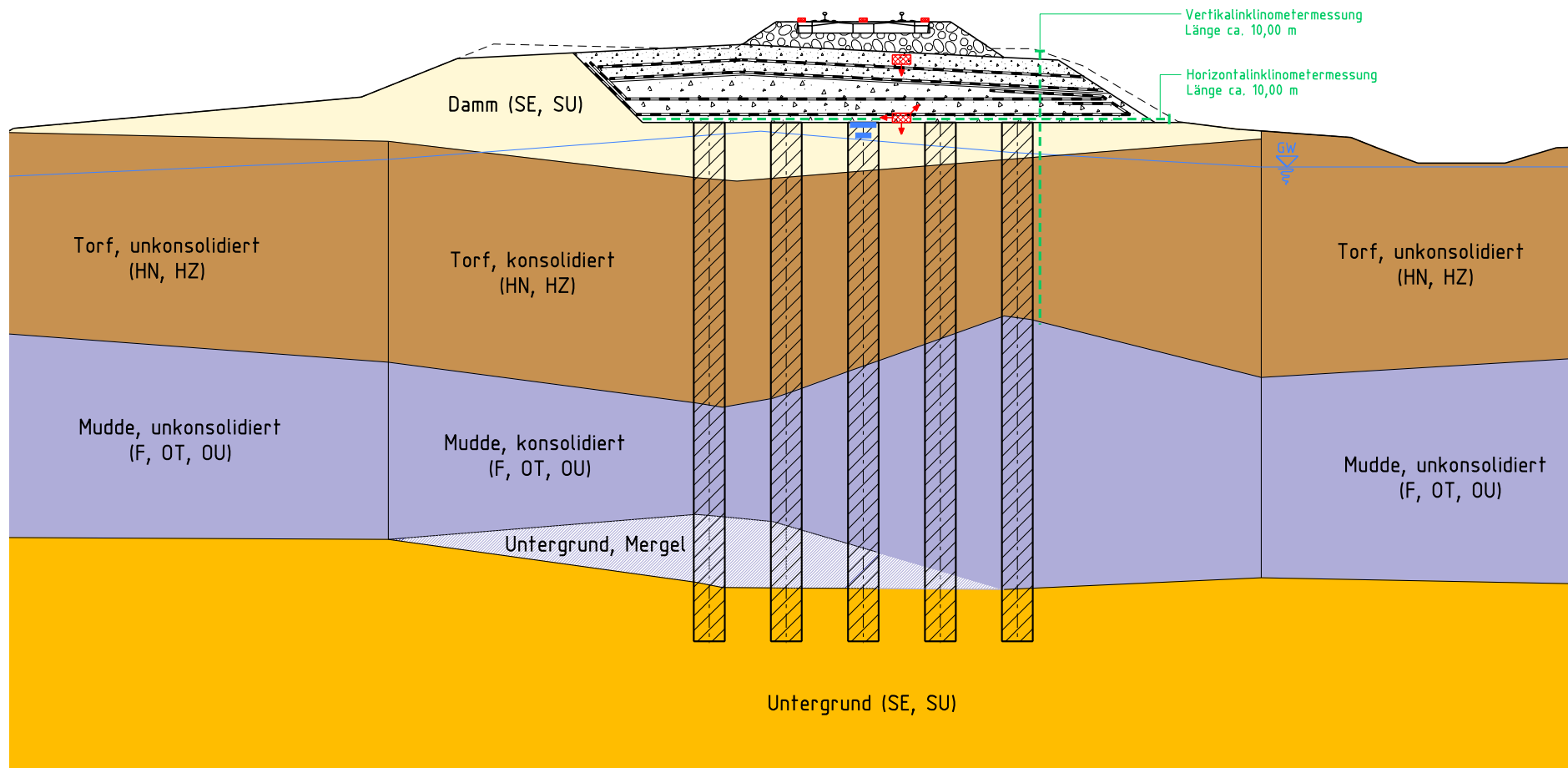


< 1,40, keine
ausreichende
Standsicherheit



7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Fertigmörtelstopfsäulen, Querschnitt km 102,500



7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Sanierung durch Einbau vermörtelter Säulen



7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Tragfähigkeitsprüfung der vermörtelten Säulen



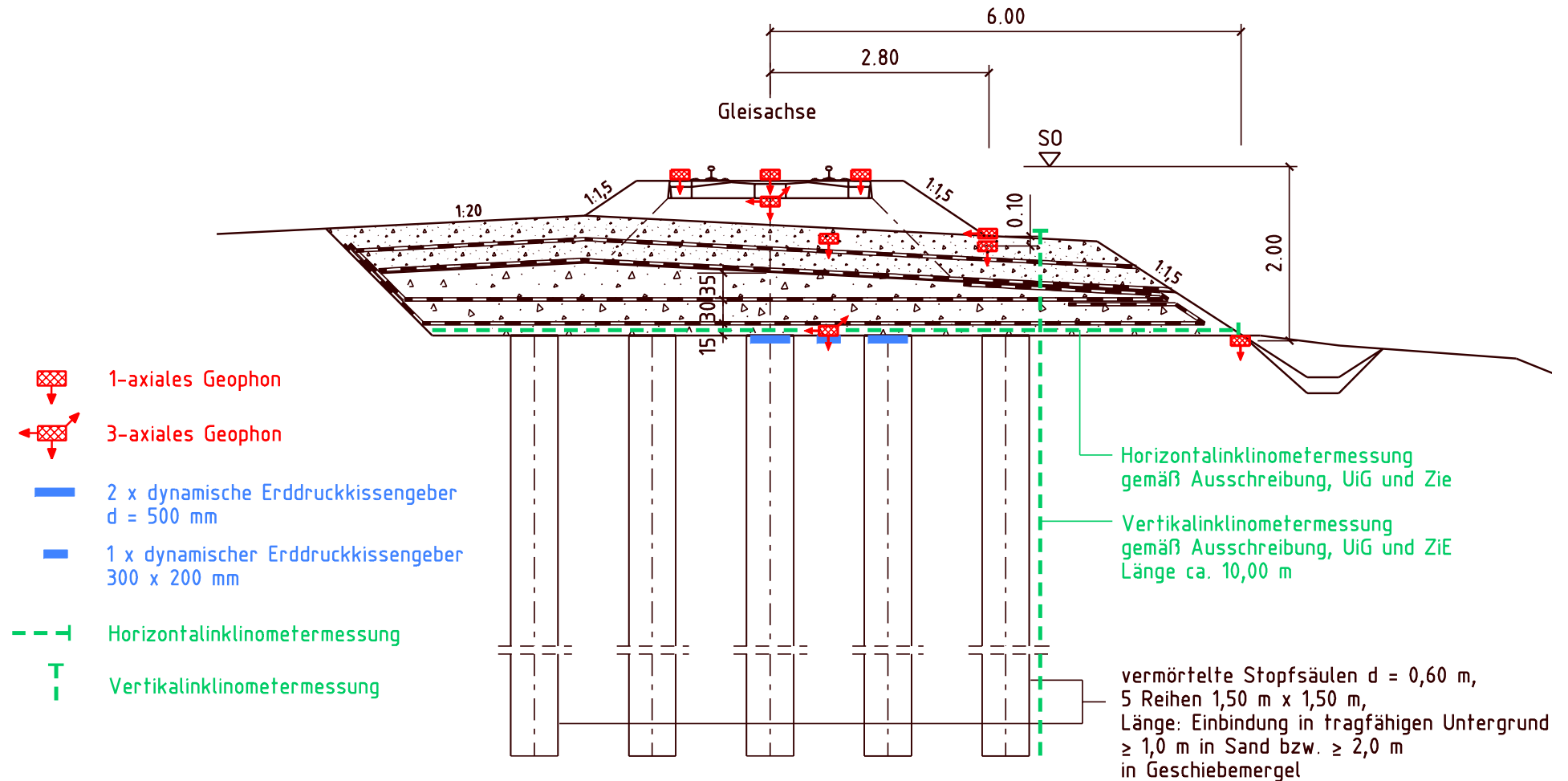
7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Einbau Geogitterbewehrte Tragschicht über vermörtelten Säulen



7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Messquerschnitt km 102,500 mit Fertigmörtelstopfsäulen



7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

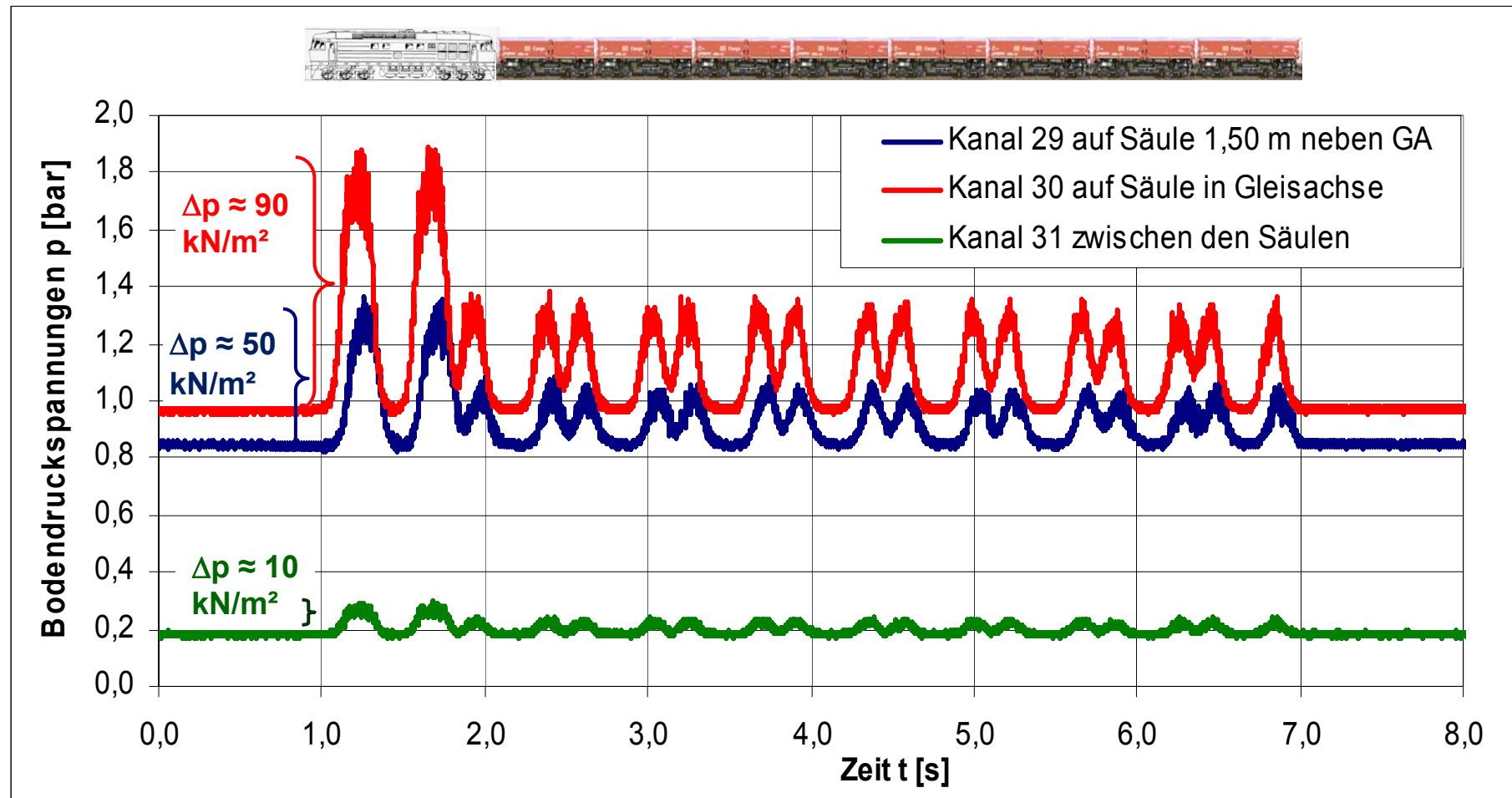
Messquerschnitt km 102,500 mit Fertigmörtelstopfsäulen

Einbau der Erddruckgeber, Inklinometer und Geophone



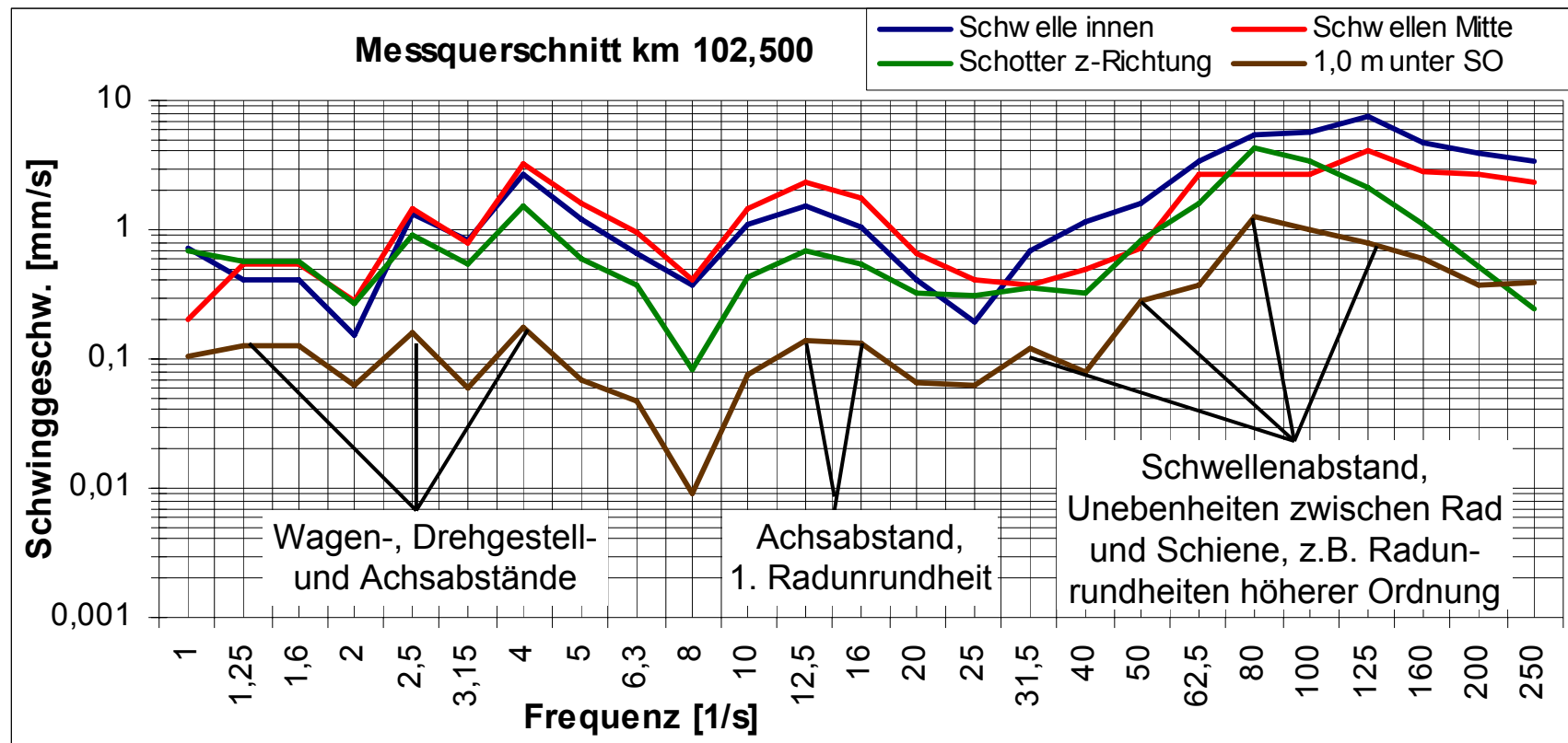
7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Messquerschnitt km 102,500 mit Fertigmörtelstopfsäulen
Bodendruckspannungen auf und zwischen den Säulen



7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Messquerschnitt km 102,500 mit Fertigmörtelstopfsäulen
Schwinggeschwindigkeiten im Frequenzbereich

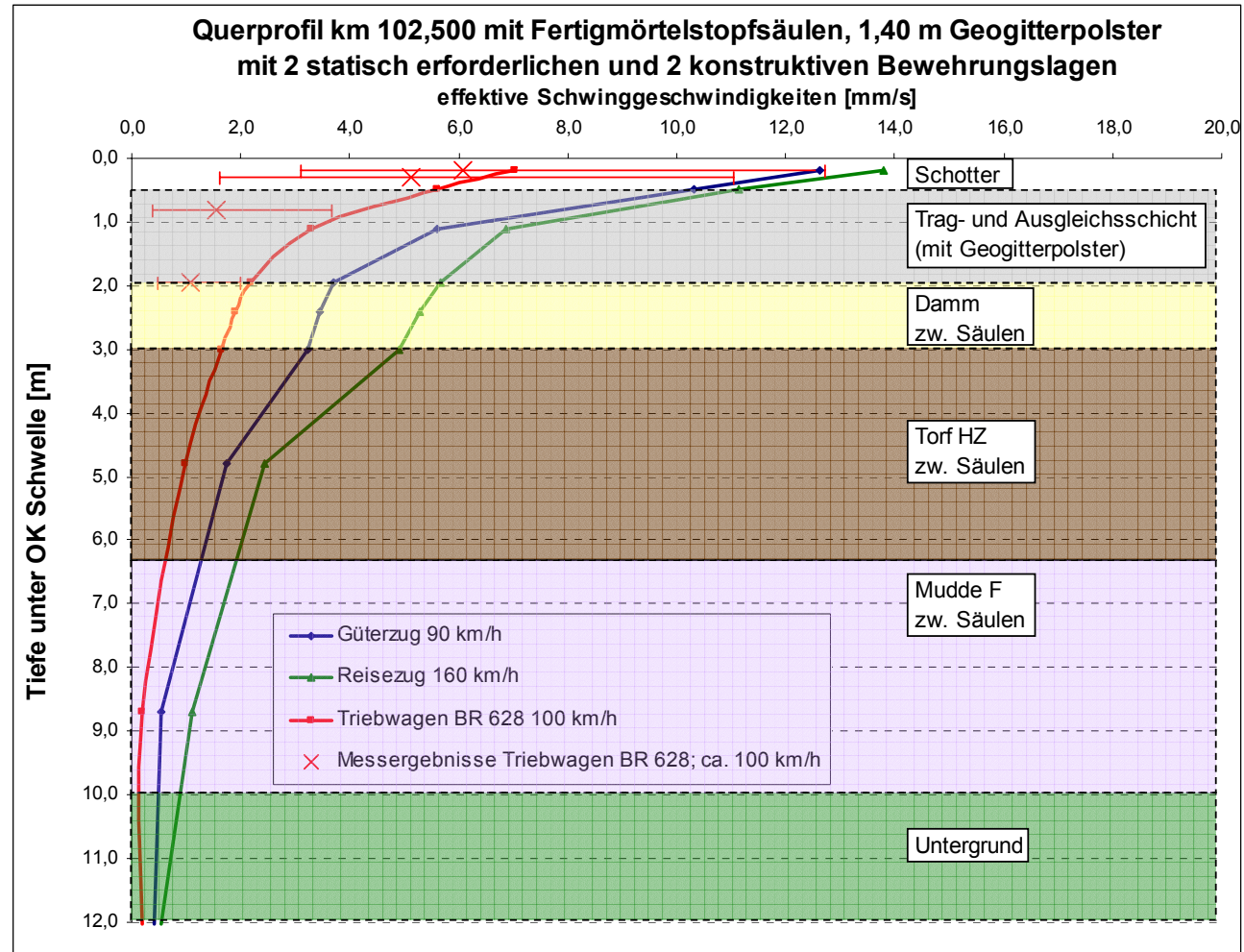


Überfahrt mit Triebwagen BR 628, ca. 100 km/h

7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Messquerschnitt km 102,500 mit Fertigmörtelstopfsäulen

Verlauf der Schwinggeschwindigkeiten mit der Tiefe



Vergleich
gemessene - berechnete
effektive Schwinggeschwindigkeiten

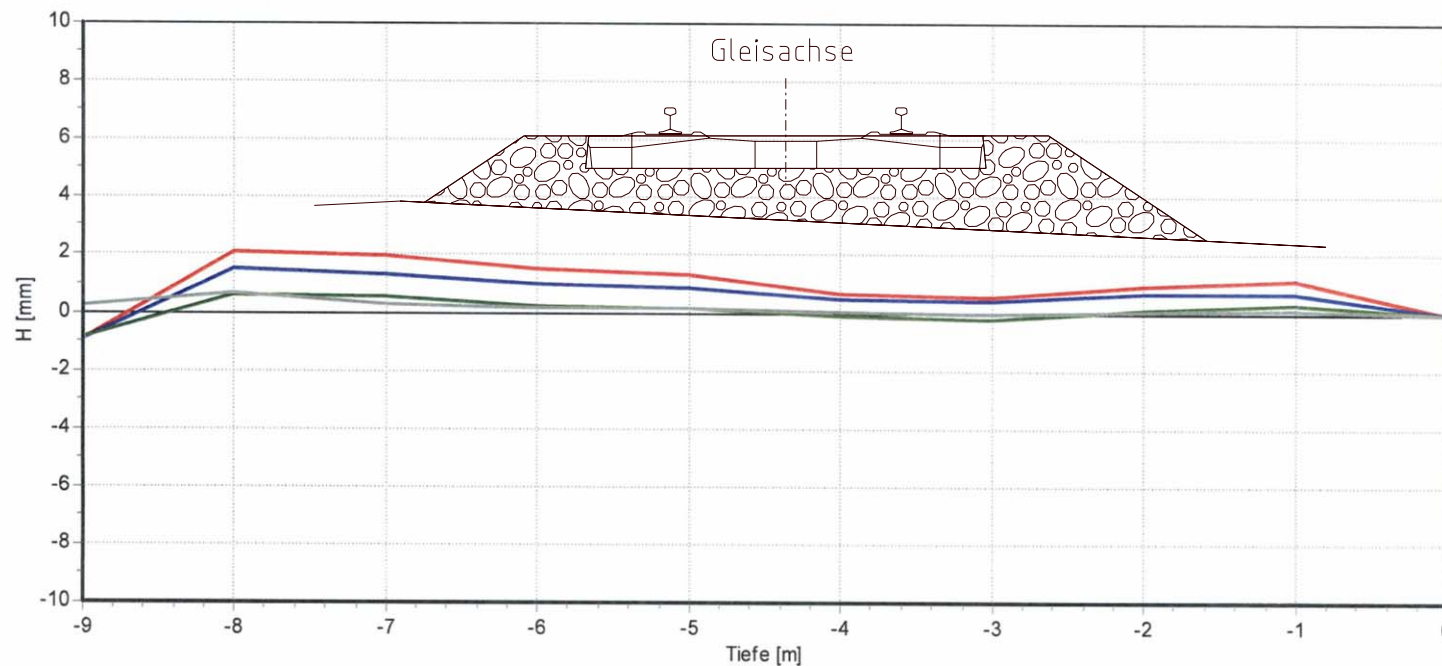
6. Messergebnisse an Eisenbahnstrecken

Messquerschnitt km 102,500 mit Fertigmörtelstopfsäulen

Ermittlung bleibender Verformungen mittels Horizontalinklinometer ~ 2,00 m u. SO

Projekt: 555-05-Casekow-Tantov

Deformation



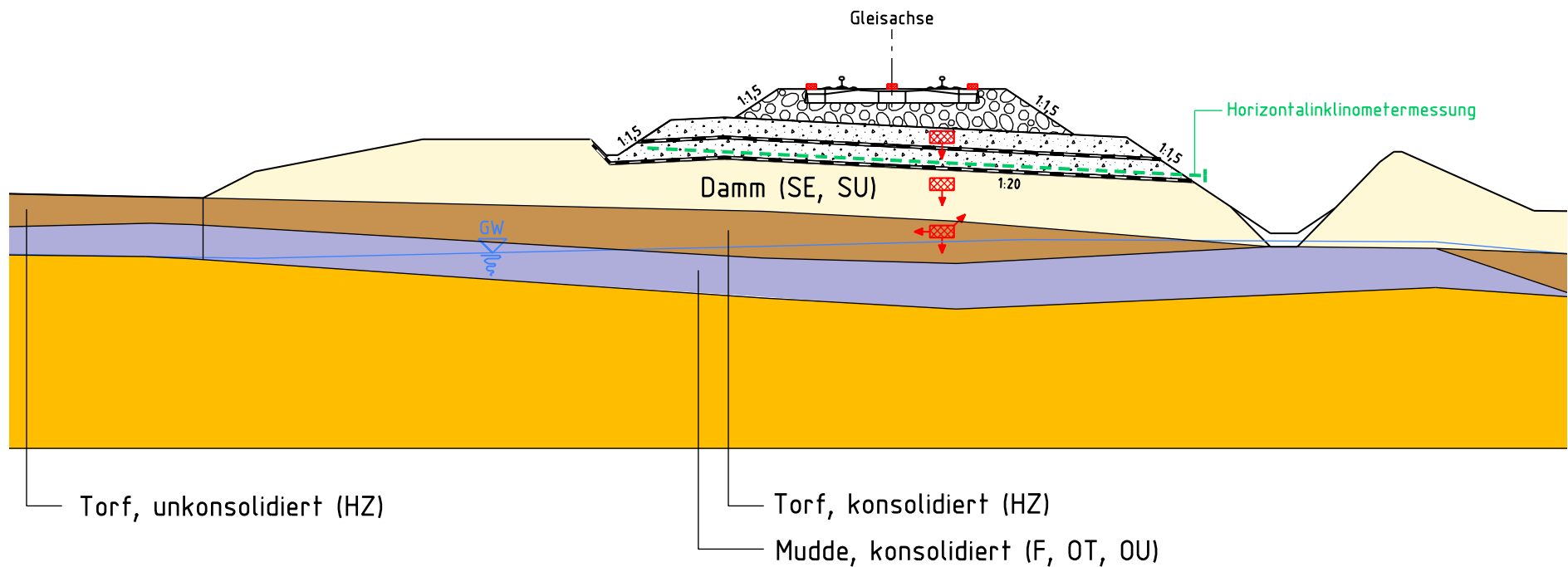
Kurve	Messpegel	Messreihen	Datum	Diff. Tage	Tiefe	Bemerkung
—	CT102,500H	CT102,500H-4 - CT102,500H-0	07.05.2008 - 29.03.2007	405	9,0 m	
—	CT102,500H	CT102,500H-3 - CT102,500H-0	08.11.2007 - 29.03.2007	224	9,0 m	
—	CT102,500H	CT102,500H-2 - CT102,500H-0	31.07.2007 - 29.03.2007	124	9,0 m	
—	CT102,500H	CT102,500H-1 - CT102,500H-0	10.05.2007 - 29.03.2007	42	9,0 m	

7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Geogitterbewehrte Tragschicht, Querschnitt km 100,325

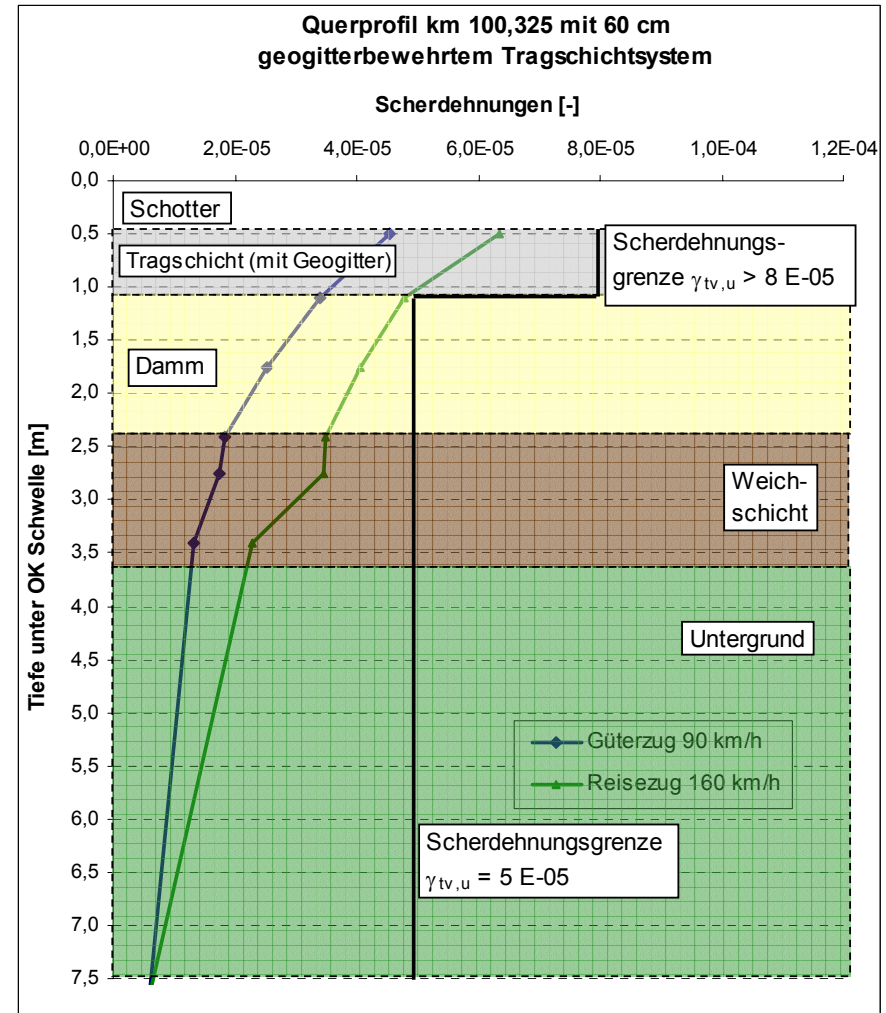
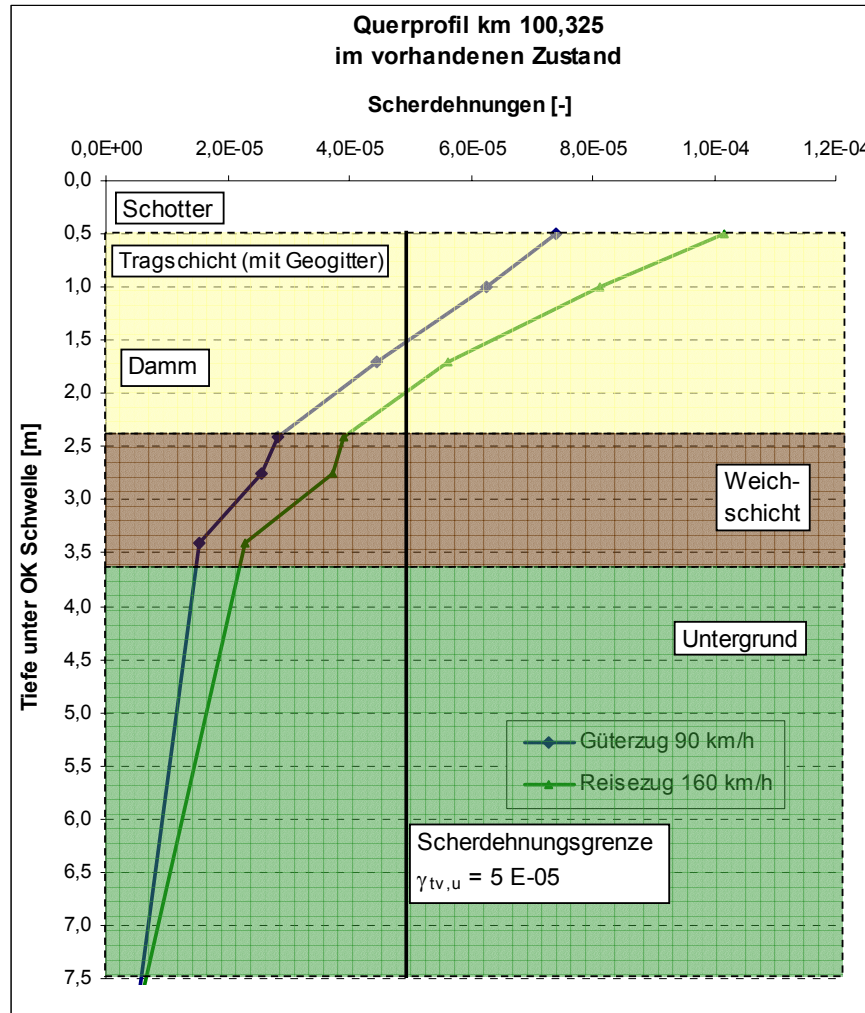
\rightarrow erforderlich zur Gewährleistung der dynamischen Stabilität

\rightarrow Standsicherheit im Ausgangszustand ausreichend



7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Querschnitt km 100,325; vorhandener Zustand; Prognose für Zielzustand



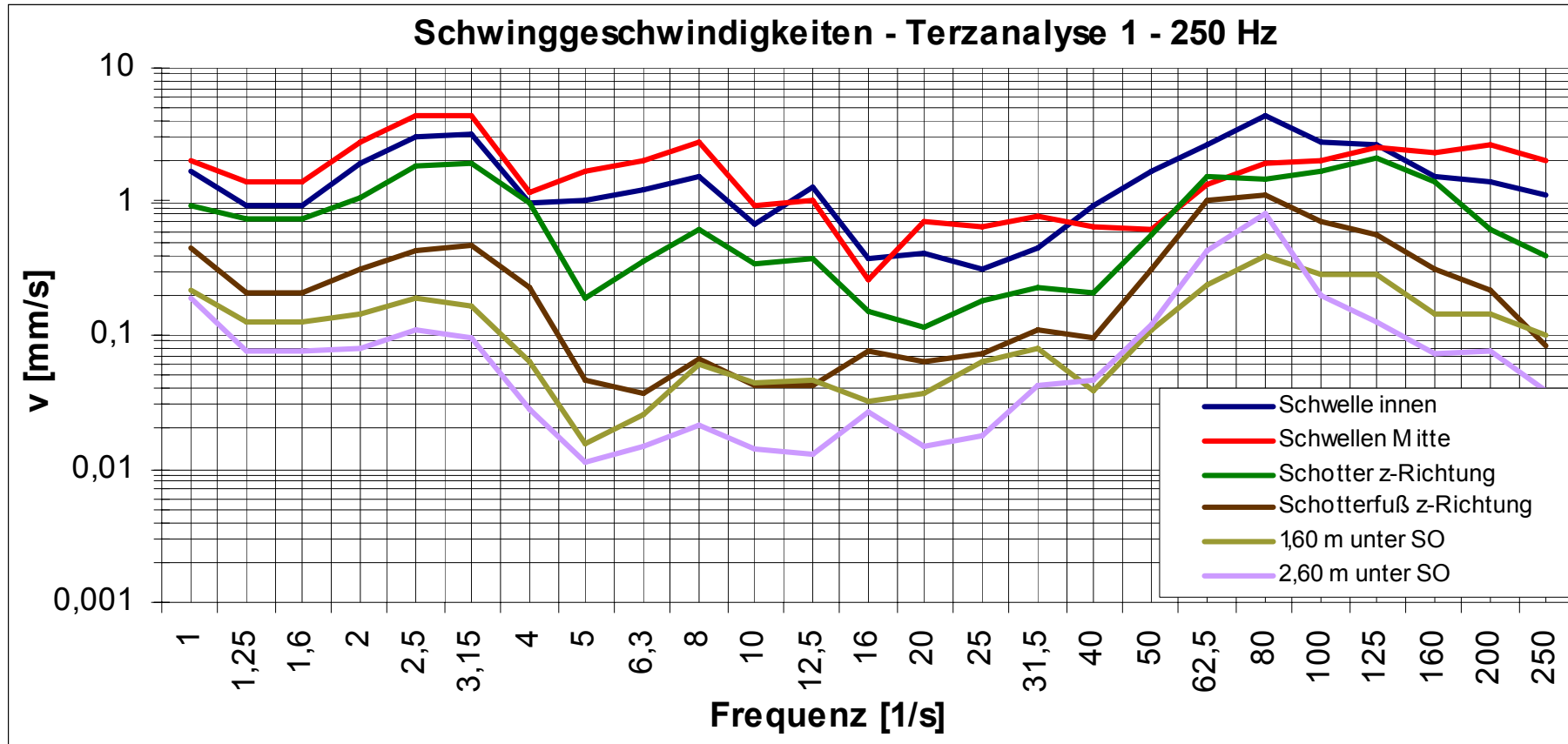
7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Einbau der geogitterbewehrten Tragschicht



7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Geogitterbewehrte Tragschicht, Querschnitt km 100,325

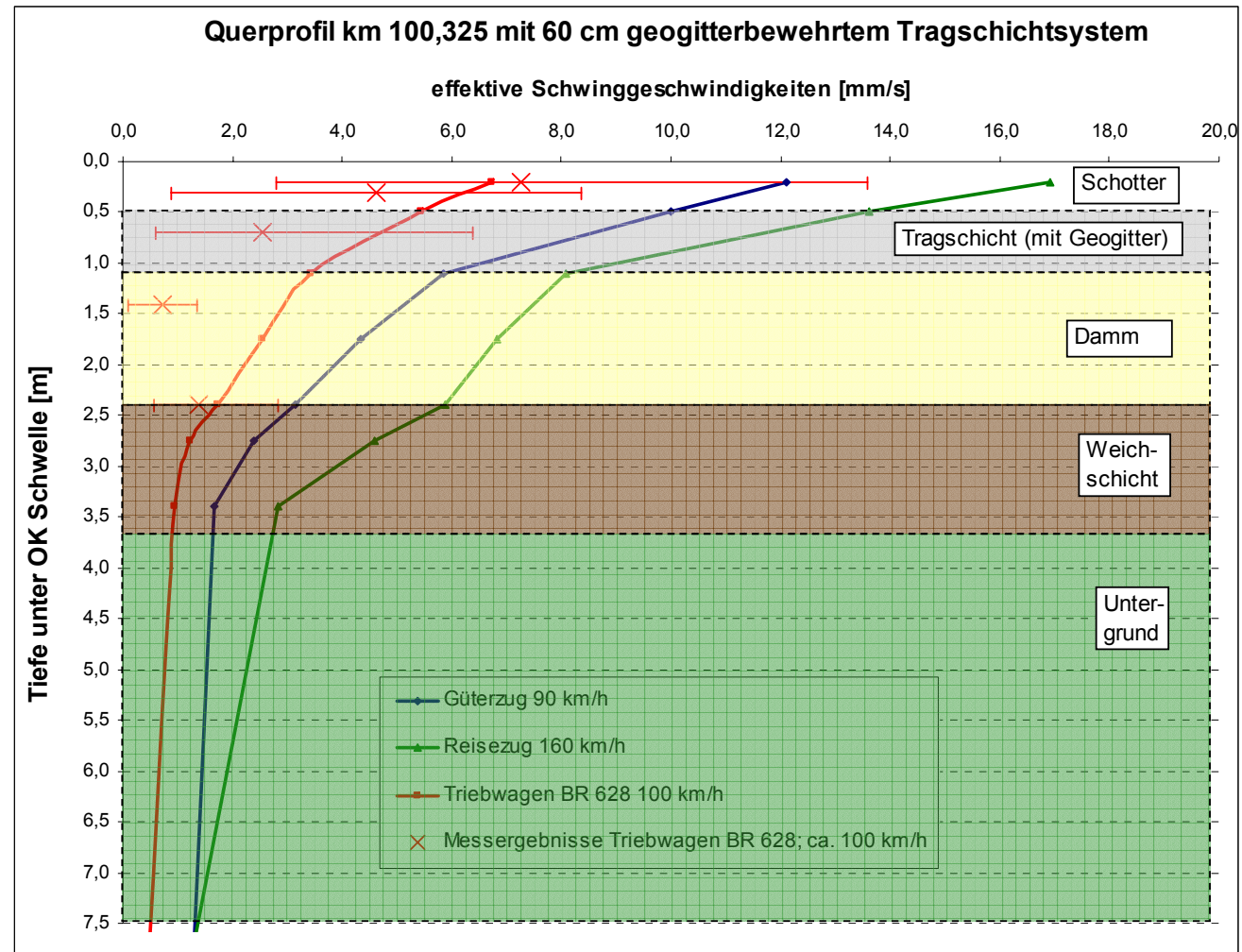


7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120$ km/h

Geogitterbewehrte Tragschicht, Querschnitt km 100,325

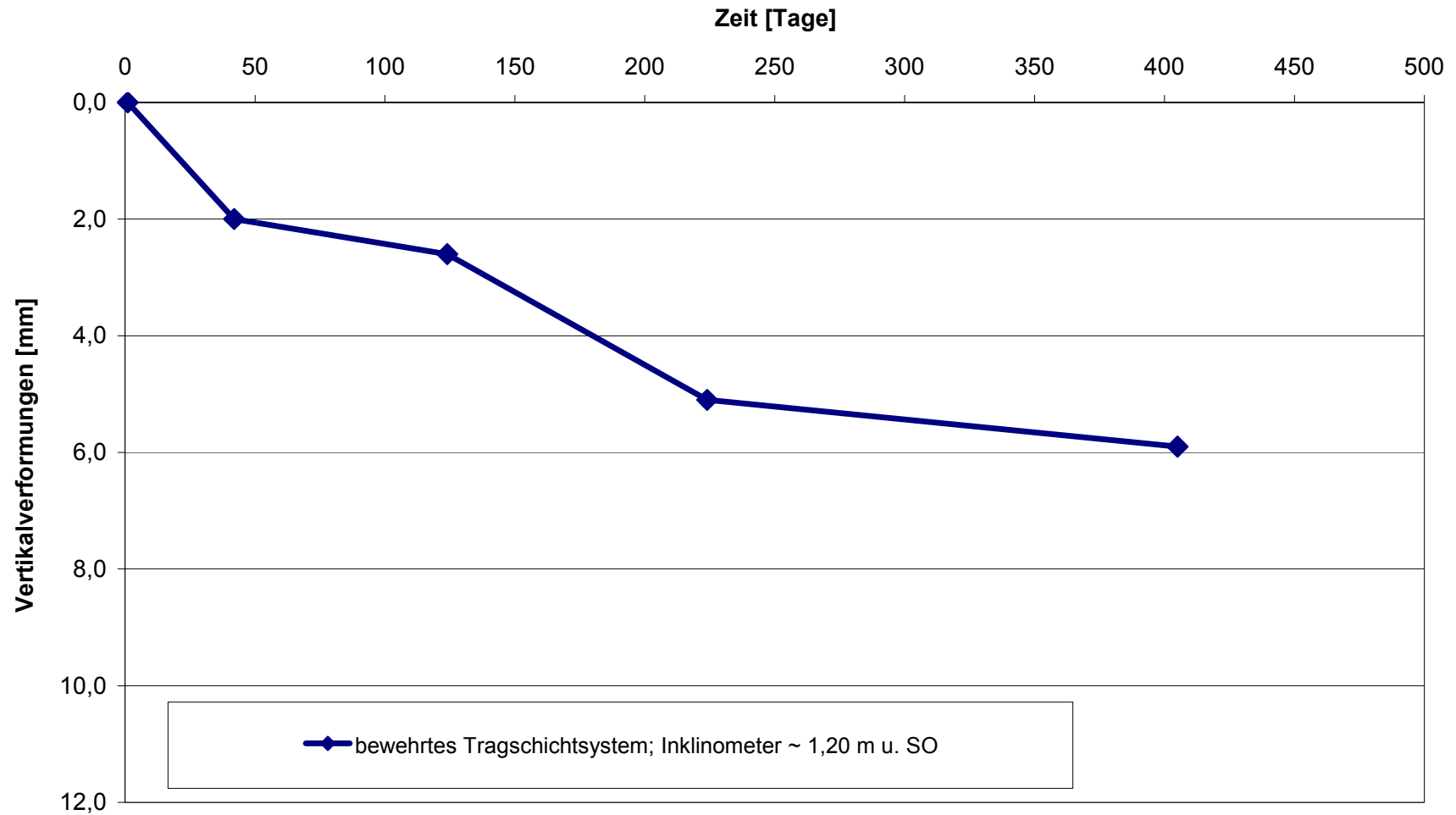
Verlauf der Schwinggeschwindigkeiten mit der Tiefe

Vergleich gemessene - berechnete effektive Schwinggeschwindigkeiten



7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Geogitterbewehrte Tragschicht, Querschnitt km 100,325

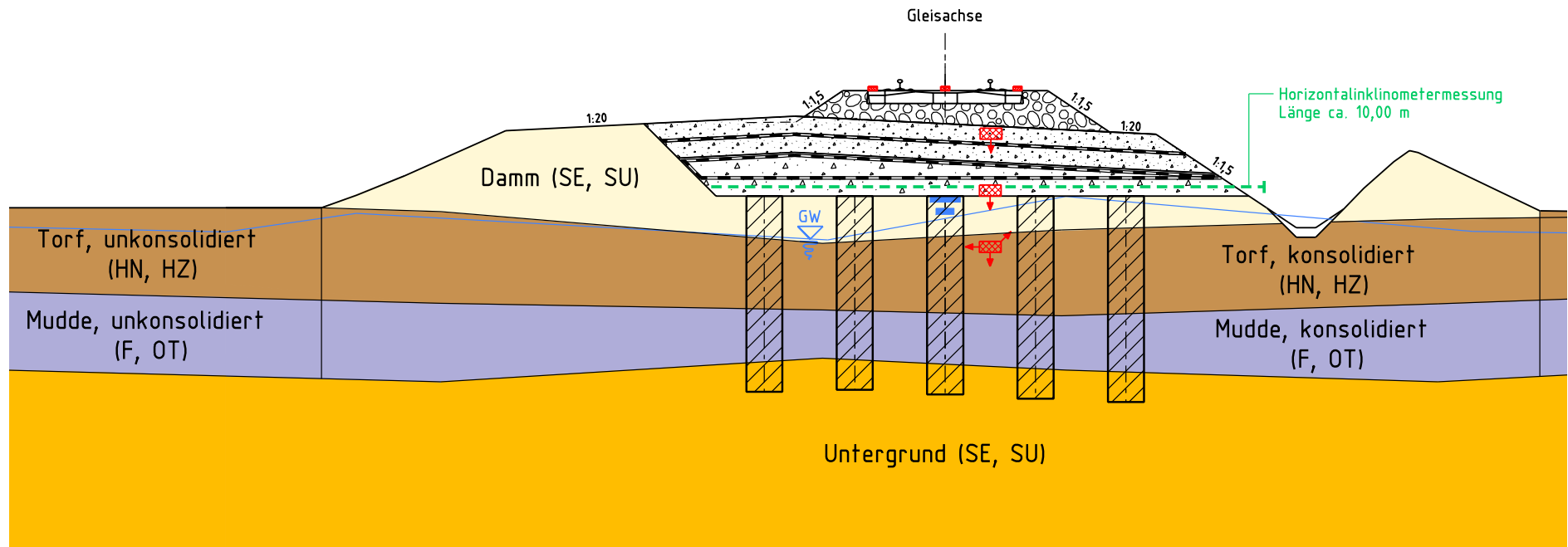


7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Rüttelstopfsäulen, Querschnitt km 100,380

\rightarrow erforderlich zur Gewährleistung der dynamischen Stabilität

\rightarrow Standsicherheit im Ausgangszustand ausreichend



7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Herstellung Rüttelstopfsäulen



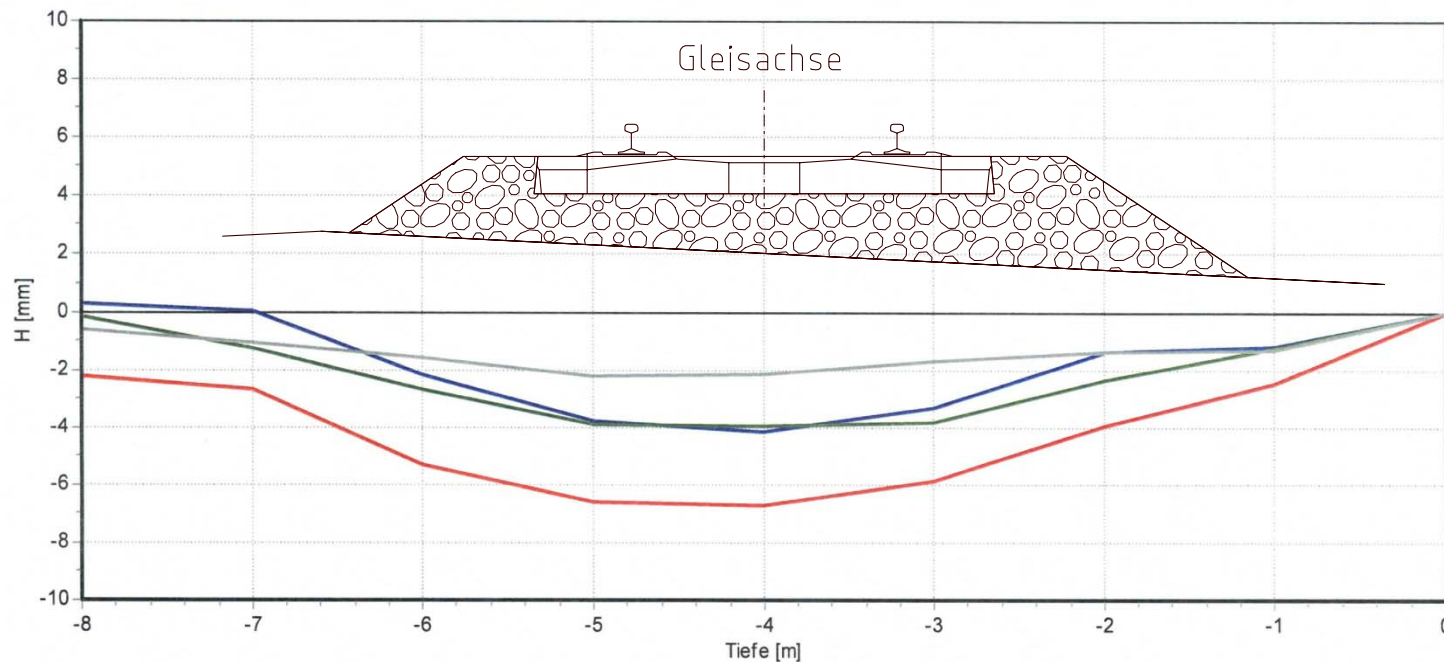
7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Messquerschnitt km 100,380 mit Rüttelstopfsäulen

Ermittlung bleibender Verformungen mittels Horizontalinklinometer $\sim 1,80 \text{ m u. SO}$

Projekt: 555-05-Casekow-Tantov

Deformation

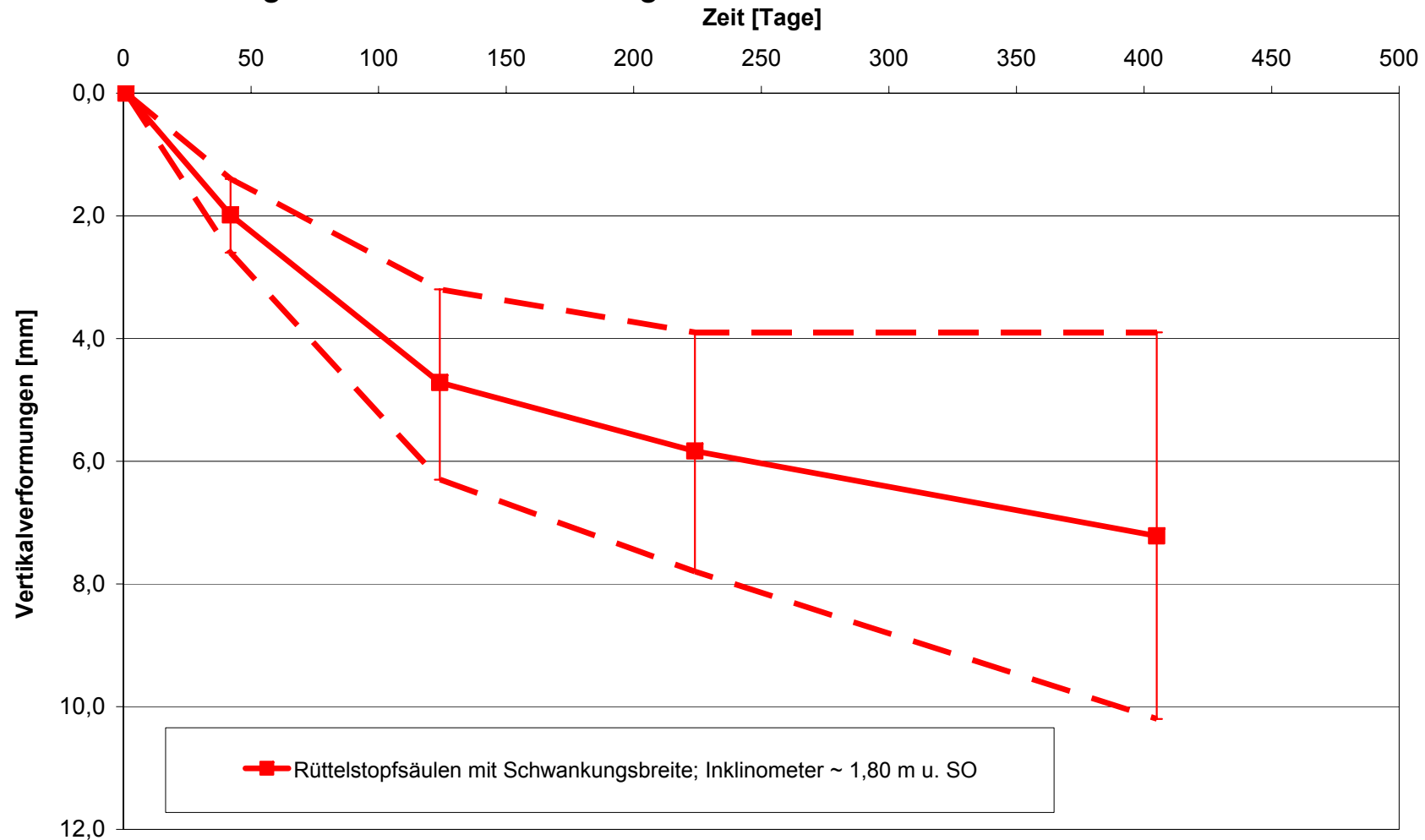


Kurve	Messpegel	Messreihen	Datum	Diff.Tage	Tiefe	Bemerkung
—	CT100,386H	CT100,386H-4 - CT100,386H-0	07.05.2008 - 29.03.2007	405	8,0 m	
—	CT100,386H	CT100,386H-3 - CT100,386H-0	08.11.2007 - 29.03.2007	224	8,0 m	
—	CT100,386H	CT100,386H-2 - CT100,386H-0	31.07.2007 - 29.03.2007	124	8,0 m	
—	CT100,386H	CT100,386H-1 - CT100,386H-0	10.05.2007 - 29.03.2007	42	8,0 m	

7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Messquerschnitt km 100,380 mit Rüttelstopfsäulen

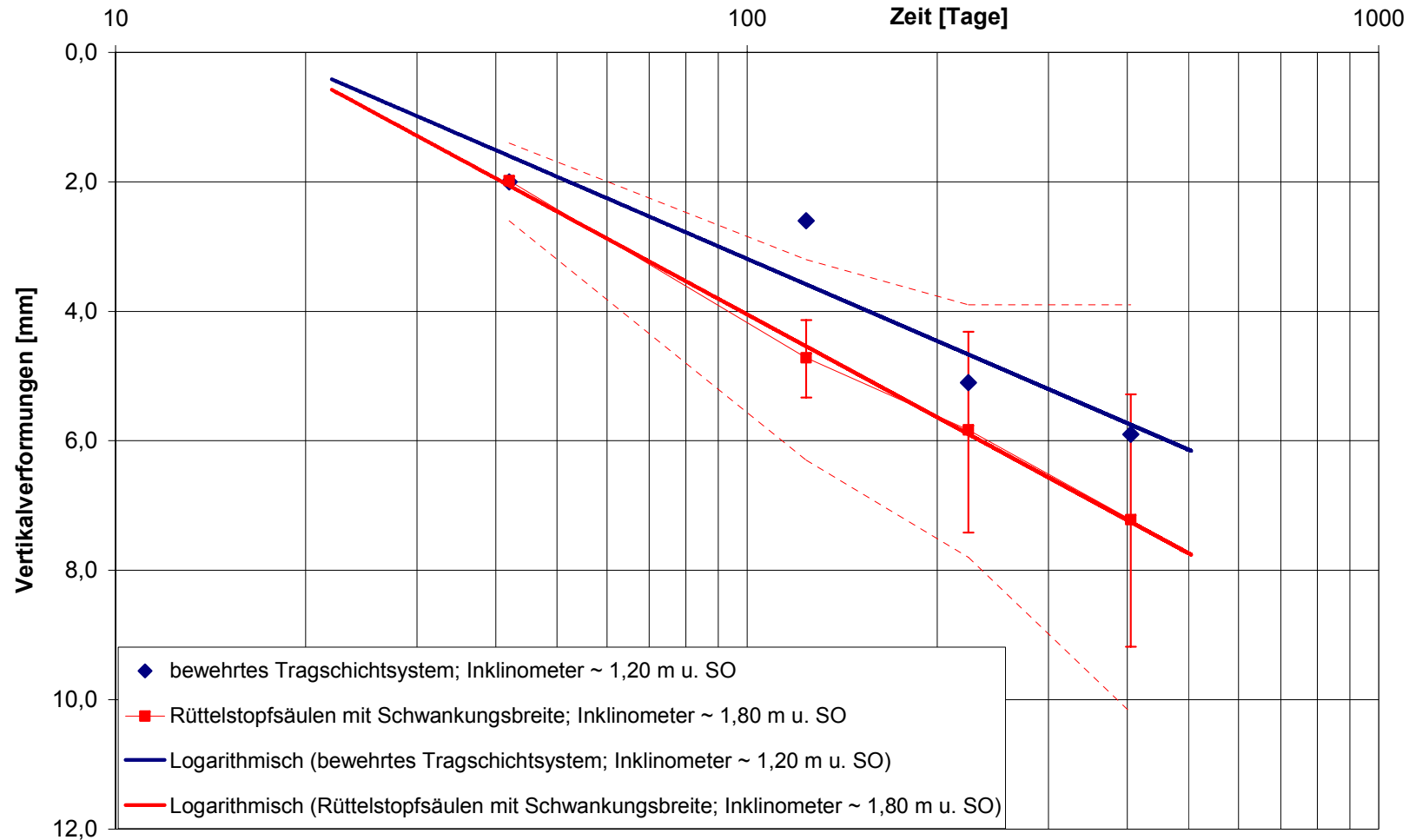
Ermittlung bleibender Verformungen mittels Horizontalinklinometer



7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120$ km/h

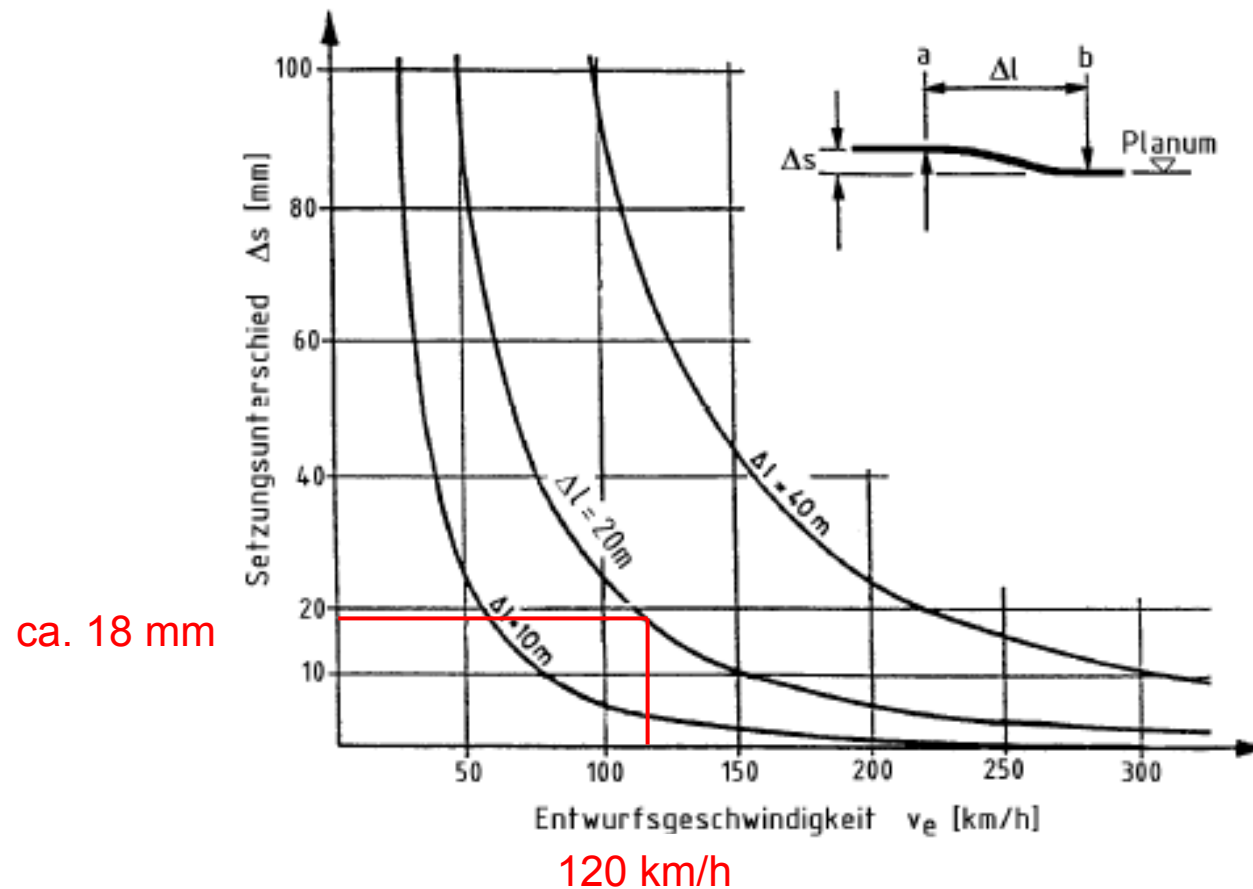
Vergleich Messquerschnitte mit Tragschicht und Rüttelstopfsäulen

Ermittlung bleibender Verformungen mittels Horizontalinklinometer



7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

Streckenertüchtigung Casekow – Tantow, Bleibende Verformungen



7.2 Streckenabschnitt Casekow – Tantow, $\rightarrow v = 120 \text{ km/h}$

