



Zusammenwirken Stromabnehmer-Oberleitungssystem

Messung und Simulation

Agenda

1. Einführung
2. Regelwerk
3. Allgemeiner Überblick
4. Prüfverfahren Kontaktkraftmessung
5. Prüfverfahren Anhubmessung
6. Simulation
7. Referenzen

1. Einführung

- Aufgabe von Stromabnehmer und Oberleitung
 - Sicherstellung der Energieversorgung von elektrischen Triebfahrzeugen
 - elektrische und mechanische Anforderungen an das System Stromabnehmer / Oberleitung
 - Geometrie der Oberleitung erlaubt den freien Durchgang des Stromabnehmers
 - Stromabnehmer muss im ständigen Kontakt mit dem Fahrdrabt sein
 - Stromabnehmer und Oberleitung müssen aufeinander abgestimmt sein hinsichtlich:
 - geometrischer Abmessungen (z.B. Wippenbreite, Höhen- und Seitenlage Fahrdrabt)
 - elektrischen Eigenschaften (z.B. Schutzabstand, Spannungssystem, Stromaufnahme)
 - mechanischen Eigenschaften (z.B. Werkstoff der Schleifstücke, Anordnung der Stromabnehmer)
 - Güte der Stromabnahme als Bewertungskriterium

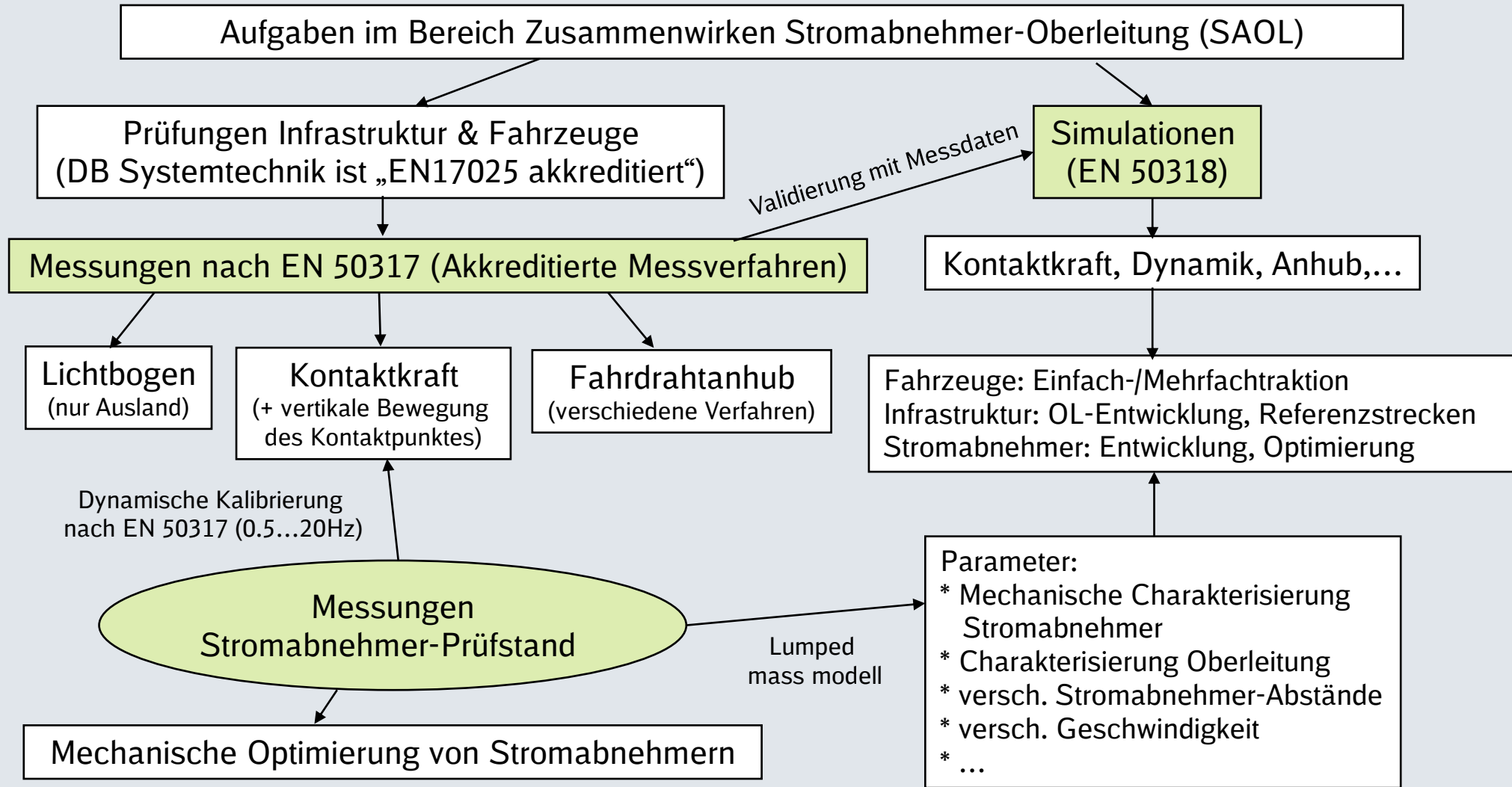
- Anforderungen sind in nationalen und internationalen Regelwerken festgeschrieben

- Europa
 - Infrastruktur: TSI für das Teilsystem „Energie“, VO 1301/2014 (ehemals getrennt nach HS & CR)
 - Fahrzeuge: TSI LOC&PAS, VO 1302/2014 (ehemals getrennt nach Rolling Stock & LOC&PAS)
 - Allgemein: EN 50317, EN 50367, EN 50318, EN 50206, EN50119, UIC 608, ...

2. Regelwerk

- Allgemein homogenes Regelwerk im Bereich Zusammenwirken Stromabnehmer / Oberleitung
 - Historisch: nationales Regelwerk -> UIC -> EN -> TSI mit Verweisen auf EN
- Forderung aus aktuellen TSI für die Teilsysteme „Energie“ und „LOC&PAS“
 - Nachweise für das dynamische Verhalten und Stromabnehmerqualität
 - Fahrdrahtanhub (Grenzwerte gemäß EN50119:2009) und
 - mittlere Kontaktkraft und Standardabweichung oder prozentualer Anteil von Lichtbögen
 - in Deutschland und Österreich nur Nachweismethode mittels Kontaktkraft akzeptiert
 - Messungen des dynamischen Zusammenwirkens gemäß EN 50317:2012
 - mittels akkreditierter Messverfahren
 - Simulationen mit einem nach EN 50318:2002 validierten Simulationssystem
- Nationales Regelwerk
 - Errichtung, Abnahmen und Instandhaltung Infrastruktur
 - Netzzugangsrichtlinien für Zulassung von Fahrzeugen

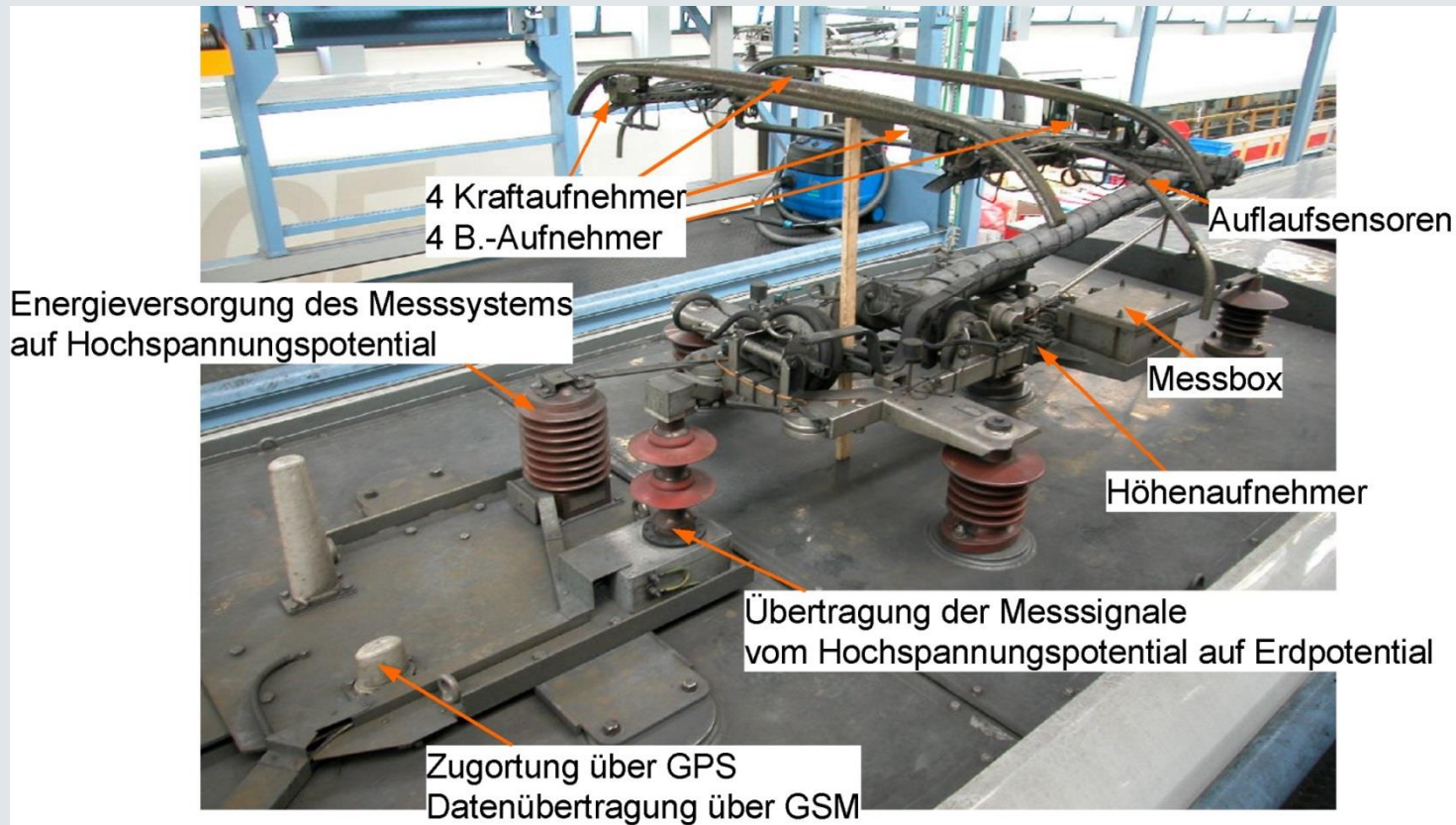
3. Allgemeiner Überblick



4. Prüfverfahren Kontaktkraftmessung

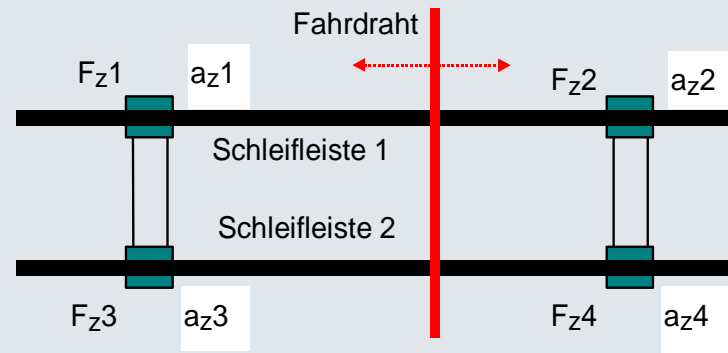
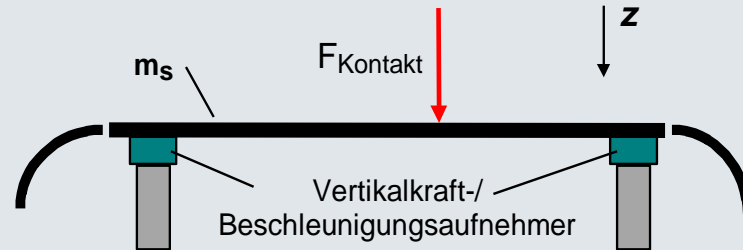
- Versuchsaufbau

- Messung der Kontaktkraft mittels Kraftsensoren im Stromabnehmer
 - Platzierung der Kraftsensoren so nahe wie möglich am Kontaktpunkt
 - Möglichst geringe Beeinflussung des Stromabnehmerverhaltens durch die Messtechnik
- Verwendung von verschiedenen TSI-zertifizierten Stromabnehmern für Oberleitungsabnahmen



4. Prüfverfahren Kontaktkraftmessung - Messprinzip

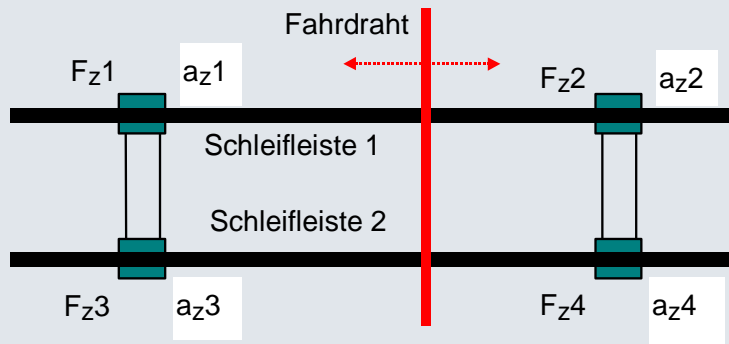
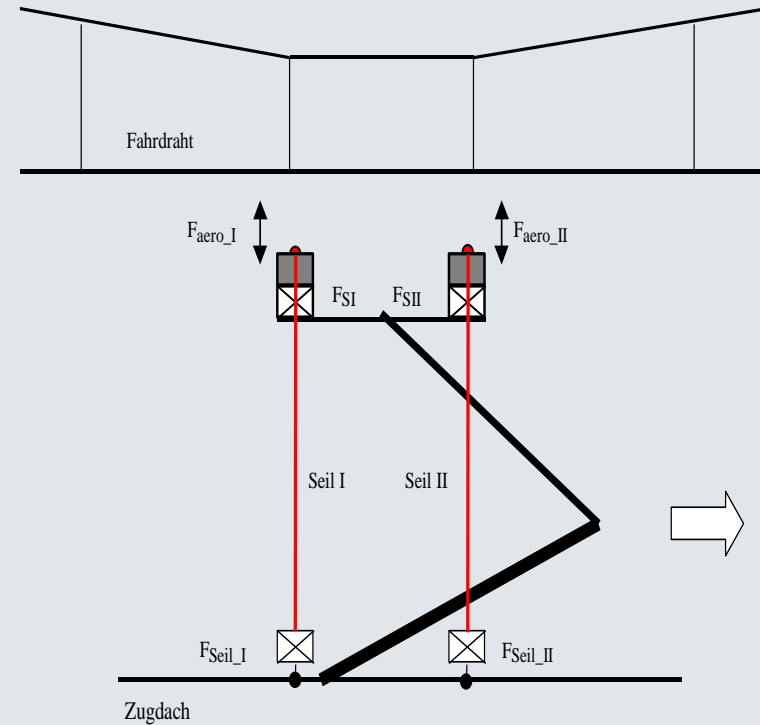
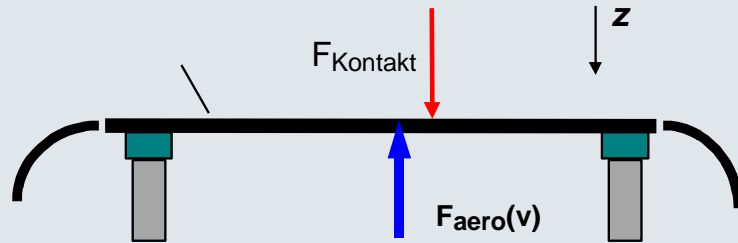
- Berücksichtigung der Trägheitskräfte der Schleifleisten (Messung vertikale Beschleunigung)



- $F_{\text{(ohne Aerokorrektur SL)}} = (F_{z1} + F_{z2} + F_{z3} + F_{z4}) + m_s/2 * (a_{z1} + a_{z2} + a_{z3} + a_{z4})$
- Kalibrierung des Messsystems im Stromabnehmerprüfstand vor den Messfahrten
 - Nachweis der Genauigkeit im Frequenzbereich bis 20Hz (gemäß EN50317)

4. Prüfverfahren Kontaktkraftmessung - Messprinzip

- Berücksichtigung des aerodynamischen Einflusses der Schleifleisten



$$F_{\text{Kontakt}} = (F_{z1} + F_{z2} + F_{z3} + F_{z4}) + m_S/2 \cdot (a_{z1} + a_{z2} + a_{z3} + a_{z4}) + F_{\text{aero}}(v)$$

$$\begin{aligned} F_S &= F_{SI} + F_{SII} \\ F_{\text{Gesamt}} &= F_{\text{Seil}_I} + F_{\text{Seil}_II} \\ F_{\text{aero}} &= F_{\text{Gesamt}} - F_S \end{aligned}$$

4. Prüfverfahren Kontaktkraftmessung

- Grenzwerte

- Grenzwerte nach EN 50367:2012 Tabelle 6,
- TSI Energie verweist hinsichtlich Kraftmittelwerten auf die EN-Norm
- Grenzen für Standardabweichung der Kontaktkraft und Fahrdranthub in TSI ENE und EN50367 gleichlautend

	$v \leq 200$ km/h AC	$v > 200$ km/h AC	$v \leq 200$ km/h DC 1,5 kV	$v > 200$ km/h DC 1,5 kV	$v \leq 200$ km/h DC 3 kV	$v > 200$ km/h DC 3 kV
$F_{m, \max}$ [N] ^a Entwurfsgrenzwert ^b	$F_{m, \max} < 0,000\ 47\ v^2 + 90$	$F_{m, \max} < 0,000\ 97\ v^2 + 70$	$F_{m, \max} < 0,000\ 97\ v^2 + 140$	$F_{m, \max} < 0,002\ 28\ v^2 + 90$	$F_{m, \max} < 0,000\ 97\ v^2 + 110$	$F_{m, \max} < 0,000\ 97\ v^2 + 110$
$F_{m, \min}$ [N] Minimum für Zulassung des Stromabnehmers ^a	$0,000\ 47\ v^2 + 60$	$0,000\ 47\ v^2 + 60$	$0,001\ 12\ v^2 + 70$	$0,001\ 12\ v^2 + 70$	$0,000\ 72\ v^2 + 90$	$0,000\ 72\ v^2 + 90$
σ_{\max} [N] bei maximaler Geschwindigkeit ^c	$0,3\ F_m$					
Raum für den freien und ungehinderten Anhub des Fahrdrahtes	Siehe EN 50119:2009, 5.10.2					

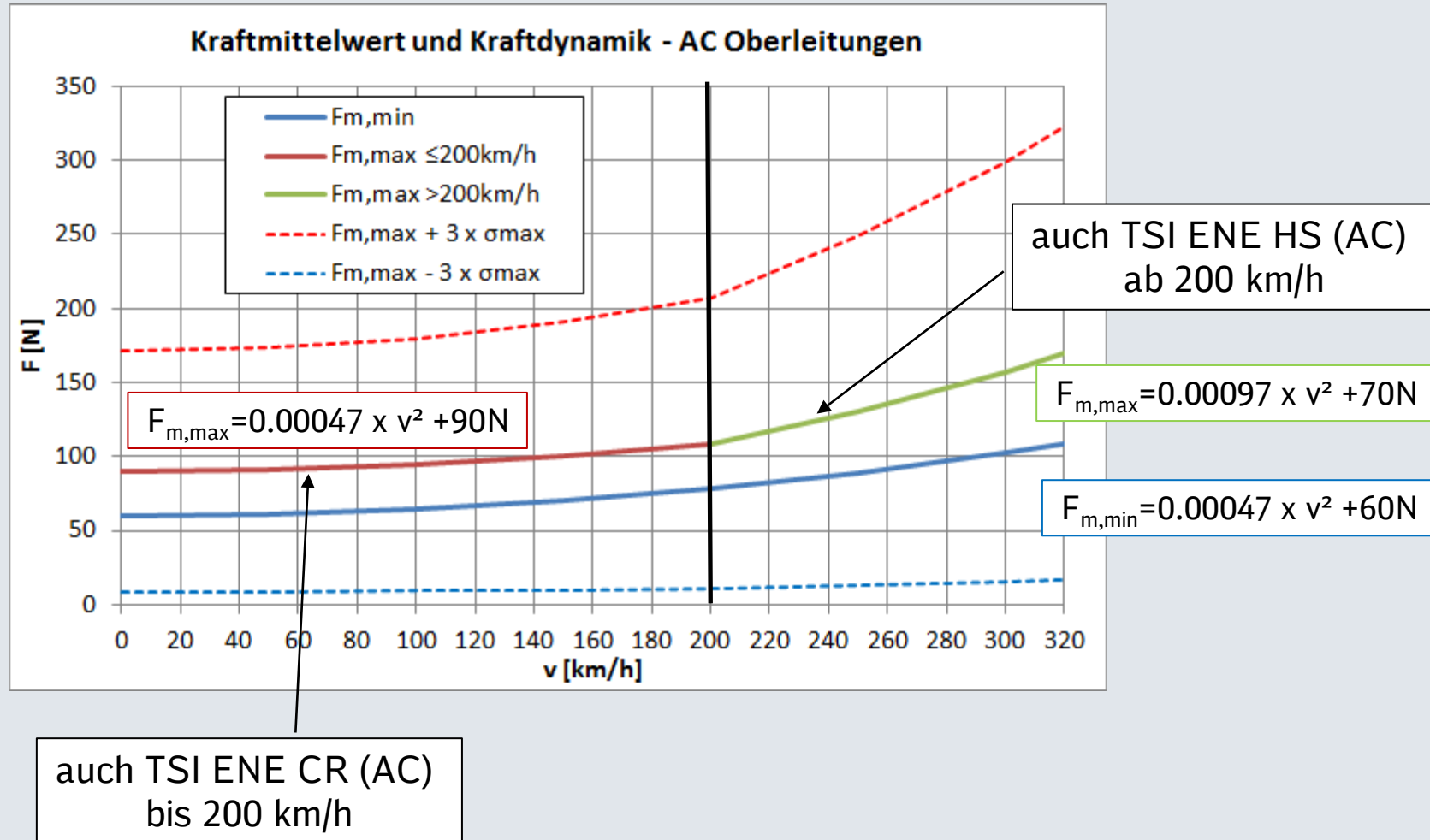
Wenn Simulationen genutzt werden, müssen diese nach EN 50318 validiert sein.

^a Hinsichtlich der Veranschaulichung der Formeln siehe Bilder A.8 bis A.10.

^b Die Oberleitung ist so zu entwerfen, dass als Minimum die hier festgelegten Werte für die mittlere Kontaktkraft (F_m) akzeptiert werden. Die Stromabnehmerkonstruktion hat als Maximum die hier festgelegten Werte für die mittlere Kontaktkraft (F_m) zu verwenden.

^c Mit dem Grenzwert $\sigma = 0,3\ F_m$ ist eine Wahrscheinlichkeit von weniger als 0,27 % gegeben, dass Kontaktkräfte geringer als $0,1\ F_m$ auftreten bei einer Gauß-Verteilung der Kräfte.

4. Prüfverfahren Kontaktkraftmessung - Grenzwerte



4. Prüfverfahren Kontaktkraftmessung

- Auswertung

- Möglichkeiten der Darstellung der ausgewerteten Messdaten nach jeder Messfahrt
 - Grafische Darstellung der Messdaten gegenüber dem Streckenkilometer
 - Tabellarische Darstellung der statistischen Auswertung je Streckenkilometer
 - TSI-Diagramme mit Darstellung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit
 - mittlere Kontaktkraft F_m
 - Standardabweichung der Kontaktkraft σ , Anforderung $\sigma_{\max} \leq 0.3 \times F_m$
 - Kraftdynamik ($F_m \pm 3 \times \sigma$)
 - Gegenüber den TSI-Grenzwerten
 - Tabelle mit abnahme- und instandhaltungsrelevanten Störstellen (nicht bei Fahrzeugabnahmen)
- Automatisierte Auswertung ermittelt Störstellen
 - Überschreitung Kraftdynamik (lokale Minima, lokale Maxima, Standardabweichung)
 - Auslösen der Auflaufsensoren
 - Überschreitung der relativen dynamischen Seitenlage (als Indikator)
- Messergebnisse werden an Board mit dem Auftraggeber und dem Abnahmeteam diskutiert

4. Prüfverfahren Kontaktkraftmessung

- Grafische Darstellung

Beschleunigung je Schleifleiste

X-Kraft

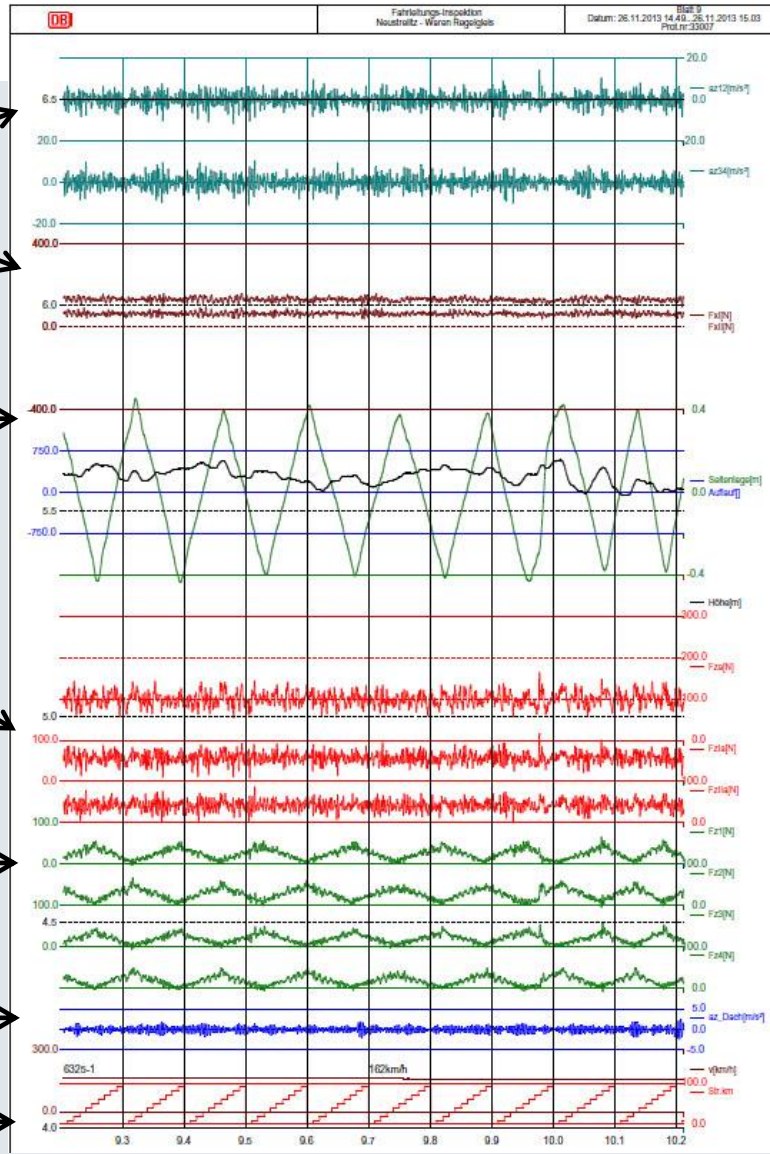
Seitenlage und Höhenlage
(vertikaler Kontaktpunkt)

Kontaktkraft gesamt und je Schleifleiste

Einzelkräfte der Sensoren

Grundrahmenbeschleunigung

Weg und Geschwindigkeit



4. Prüfverfahren Kontaktkraftmessung - Tabellarische Darstellung

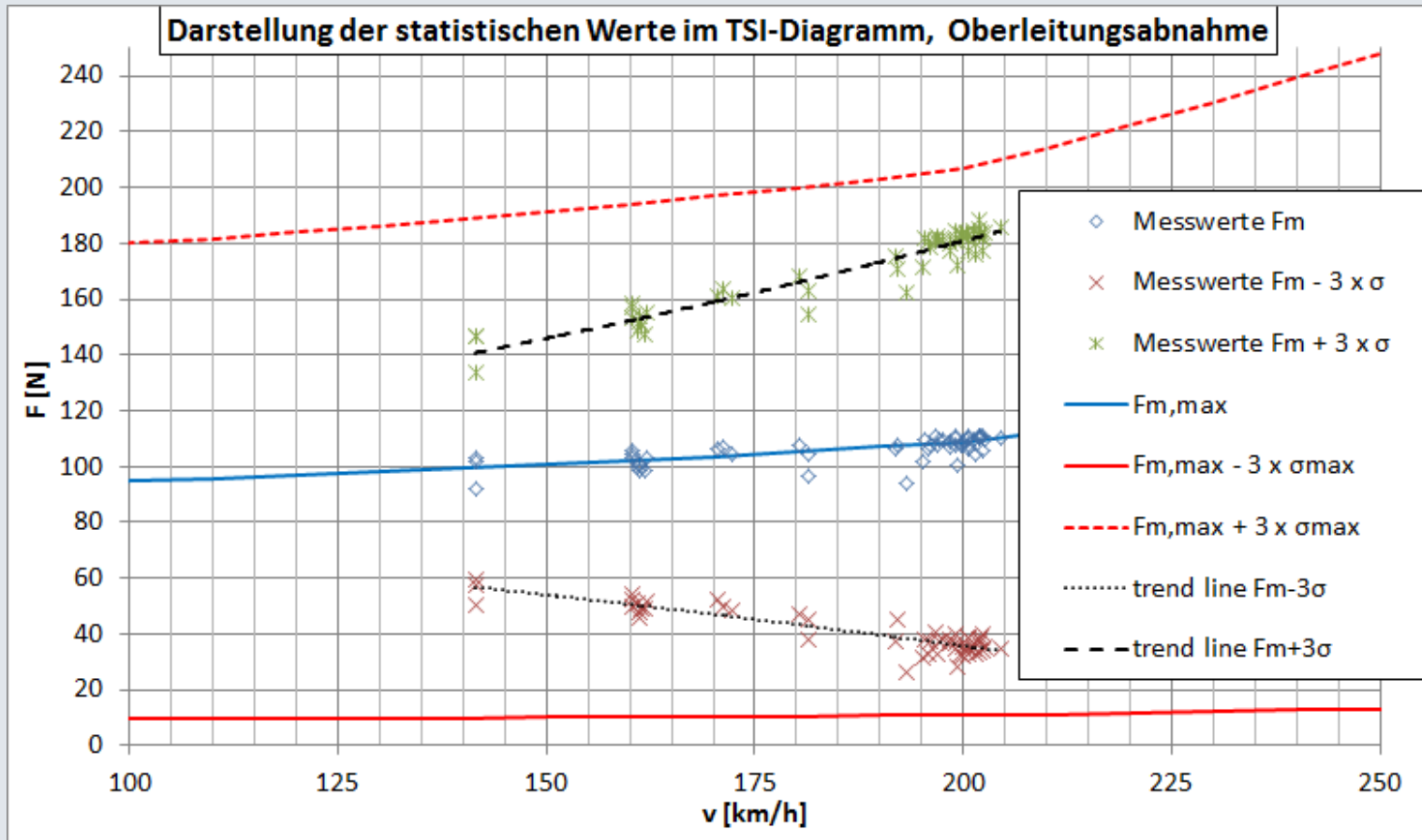
- Tabelle mit statistischer Auswertung der Kontaktkraft je Streckenkilometer

DB Systemtechnik GmbH I.IVP24(1)München	Tabelle Fm, s TSI- Abnahme Adorf - Bestadt Strecke 4711	Prüfbericht: 16-xxxxx-I.IVP24(1)-PR-00xx Anlage: 2 Seite: 2 von 2
--	--	--

Datei	Str.km	v [km/h]	F0 [N]	Fm [N]	Fm-F0 [N]	Fmin [N]	Fmax [N]	s [N]	s/Fm	Sb
DA019135014_6325_1.SA1	50.0	139	80	97	17	48	152	14.8	0.15	fS
DA019135014_6325_1.SA1	51.0	141	80	98	18	60	161	13.2	0.13	fS
DA019135014_6325_1.SA1	52.0	141	80	98	18	51	176	13.1	0.13	fS
DA019135014_6325_1.SA1	53.0	141	80	98	18	27	157	14.3	0.15	fS
DA019135014_6325_1.SA1	54.0	142	80	98	18	49	146	14.4	0.15	Bf
DA019135014_6325_1.SA1	55.0	139	80	96	16	34	155	14.8	0.15	fS
DA019135014_6325_1.SA1	56.0	141	80	97	17	53	167	13.8	0.14	fS
DA019135014_6325_1.SA1	57.0	141	80	96	16	46	153	15.2	0.16	fS
DA019135014_6325_1.SA1	58.0	139	80	98	18	54	155	13.3	0.14	fS
DA019135014_6325_1.SA1	59.0	140	80	99	19	54	158	11.7	0.12	fS
DA019135014_6325_1.SA1	60.0	142	80	99	19	52	153	13.9	0.14	fS
DA019135014_6325_1.SA1	61.0	141	80	99	19	56	159	14.4	0.15	Bf
DA019135014_6325_1.SA1	62.0	141	80	98	18	55	178	13.8	0.14	fS
DA019135014_6325_1.SA1	63.0	140	80	98	18	43	168	14.2	0.15	fS
DA019135014_6325_1.SA1	64.0	140	80	99	19	60	140	11.1	0.11	fS
DA019135014_6325_1.SA1	65.0	140	80	100	20	61	152	13.8	0.14	fS
DA019135014_6325_1.SA1	66.0	141	80	99	19	50	162	11.9	0.12	fS
DA019135014_6325_1.SA1	67.0	142	80	98	18	47	170	13.6	0.14	fS
DA019135014_6325_1.SA1	68.0	141	80	100	20	57	158	14.1	0.14	fS
DA019135034_6325_1.SA1	37.0	119	80	92	12	58	137	10.8	0.12	fS
DA019135034_6325_1.SA1	38.0	121	80	93	13	53	134	12.1	0.13	fS
DA019135034_6325_1.SA1	39.0	120	80	94	14	58	130	9.8	0.10	fS
DA019135034_6325_1.SA1	40.0	121	80	96	16	51	142	11.7	0.12	fS
DA019135034_6325_1.SA1	41.0	120	80	95	15	57	151	9.7	0.10	fS
DA019135034_6325_1.SA1	42.0	120	80	94	14	60	133	10.9	0.12	fS
DA019135034_6325_1.SA1	43.0	120	80	96	16	52	155	12.3	0.13	Bf
DA019135034_6325_1.SA1	44.0	120	80	93	13	31	166	12.4	0.13	fS

4. Prüfverfahren Kontaktkraftmessung - Darstellung im TSI-Diagramm

- mittlere Kontaktkraft \pm Dynamikbereich der Kontaktkraft (3 x Standardabweichung)
- dargestellt über der Geschwindigkeit



4. Prüfverfahren Kontaktkraftmessung - Darstellung Störstellen

■ Störstellentabelle bei Oberleitungsabnahmen und Instandhaltung

Protokollnr.:		4711		Messung durchgeführt am:		26.11.2013 14.49...26.11.2013 15.03								
Messstrecke:		Adorf - Bestadt Regelgleis												
Stromabnehmer:		DSA 380D 104/03		Fahrtrichtung:		<- ___ >		SL-Streckenbezogen:						
1	2	3a	3b	4	5a	5b	5c	6	7	8	9	10	11	12
Blatt Nr.	Lage der Störstelle			Prüfgeschw. [km/h]	Kriterium der Störstelle							Info	Ort z.B. Festpunkt, Mast, Nachspannung, Weiche, Trenner	zuständiger Netzbezirk
	Streck.-Nr.	von [km]	bis [km]		FZ [N]	FZ I [N]	FZ II [N]	Auflauf [mm]	Seitenlage [m]	Höhe [m]	Höhendifferenz [cm]			
Strecke Adorf Hbf, W 12 - Bestadt														
1	4711	1.204	1.211	107					0.44					I.NP-O-D-NSZ
1	4711	1.675	1.678	134					-0.43					I.NP-O-D-NSZ
1	4711	1.681	1.685	134					-0.44					I.NP-O-D-NSZ
4	4711	4.676	4.679	161					0.43					I.NP-O-D-NSZ
4	4711	5.116	5.121	163					0.44					I.NP-O-D-NSZ
5	4711	5.237	5.239	162					0.44					I.NP-O-D-NSZ
5	4711	5.537	5.542	162					0.44					I.NP-O-D-NSZ
5	4711	5.688	5.690	162					0.43					I.NP-O-D-NSZ
5	4711	6.114	6.115	161					0.43					I.NP-O-D-NSZ
5	4711	6.126	6.132	161					0.44					I.NP-O-D-NSZ
6	4711	6.379	6.382	161					0.44					I.NP-O-D-NSZ
6	4711	6.766	6.773	161					0.45					I.NP-O-D-NSZ
7	4711	7.197	7.204	161					0.45					I.NP-O-D-NSZ
7	4711	7.271	7.275	161					-0.44					I.NP-O-D-NSZ
8	4711	9.190	9.196	162					0.44					I.NP-O-D-NSZ
9	4711	9.258	9.260	162					-0.43					I.NP-O-D-NSZ
9	4711	9.319	9.324	162					0.45					I.NP-O-D-NSZ
9	4711	9.392	9.396	162					-0.44					I.NP-O-D-NSZ
9	4711	9.960	9.963	161					-0.43					I.NP-O-D-NSZ
10	4711	10.470	10.473	160					0.44					I.NP-O-D-NSZ
10	4711	10.539	10.542	160					-0.43					I.NP-O-D-NSZ
10	4711	11.015	11.020	161					0.45					I.NP-O-D-NSZ
13	4711	13.729	13.734	162					0.45					I.NP-O-D-NSZ

Auswerteliste des Messschriebs

 DB Systemtechnik GmbH
I.IVP24(1) München

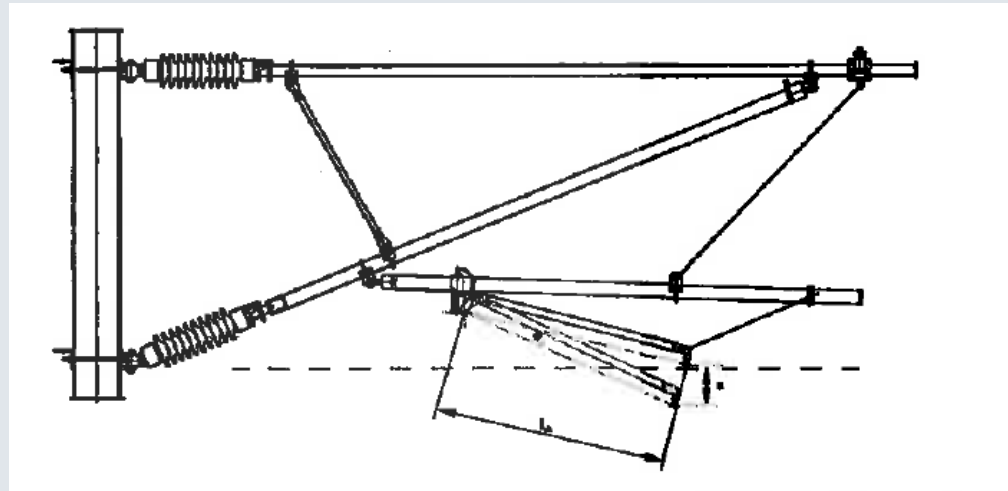
 Oberleitungsmessfahrt
Liste der Störstellen

 Prüfericht:
16-xxxx-I.IVP24(1)-PR-00xx
Anlage 1
Seite 1 von 3

5. Prüfverfahren Anhubmessung

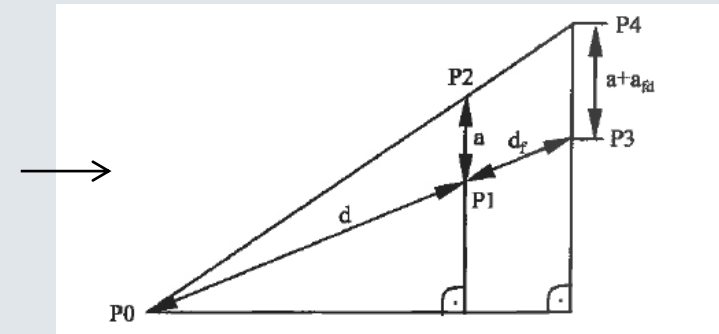
- Grundidee

- Messung des Fahrdrahtanhubes am Stützpunkt
 - Anhubgrenzwert = die Hälfte des mechanisch möglichen Anhubes des Seitenhalters (50%)
 - Raum für Fahrdrahtanhub doppelt so groß wie berechneter maximaler Raum für den Anhub
 - Bei Anhubbegrenzung am Stützpunkt Faktor 1.5 zulässig (66% des möglichen Anhubes)
 - Grenzwerte abhängig von der Oberleitungsbauart, z.B. in Deutschland:
 - Standardoberleitungen <250km/h mit Anhubbegrenzung am Stützpunkt
 - Re160/Re200 - 12cm
 - Re200mod - 15cm
 - Hochleistungsoberleitungen ≥ 250 km/h
 - Re250/Re330 - 10cm

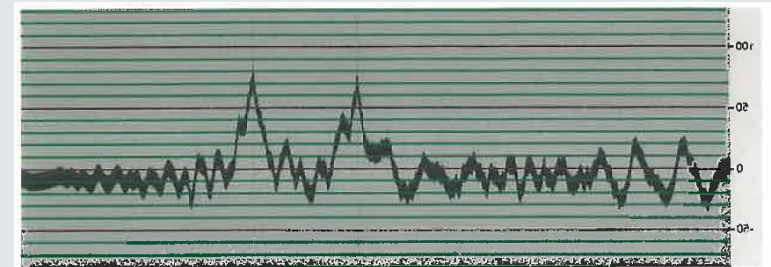


5. Prüfverfahren Anhubmessung - Versuchsaufbau

- DB Systemtechnik verwendet verschiedene akkreditierte Messverfahren
 - Standard ist der Einsatz eines optisches Messsystem



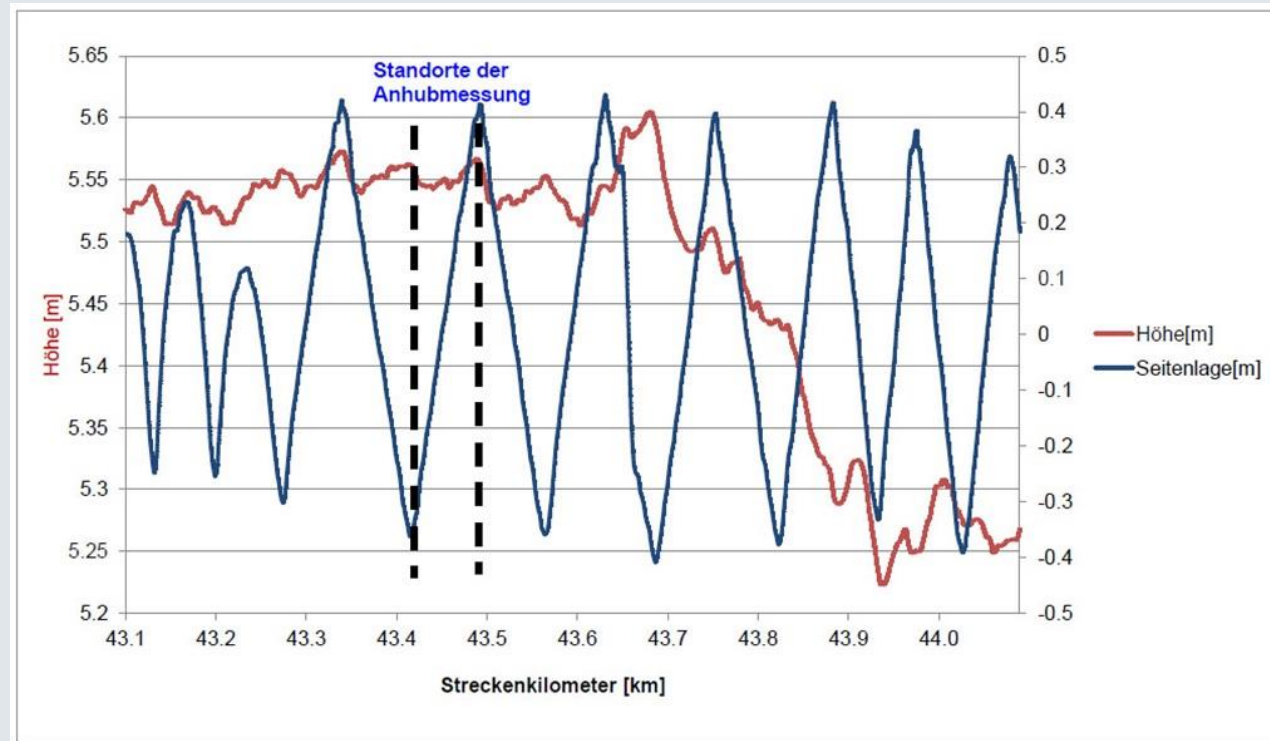
+ Kalibrierung =



5. Prüfverfahren Anhubmessung

- Anhubmessstelle

- Auswahl einer repräsentativen Anhubmessstelle
 - Meist Messung an zwei aufeinanderfolgenden Stützpunkten, ggf. zusätzlich in Feldmitte
 - Möglichst außerhalb von Gleisbogen, Parallelfeld, Brückenabsenkung und Festpunkt
 - Am einer Stelle mit möglichst großem Stützpunktabstand (kritischster Fall)
 - Zugänglichkeit der Messstelle muss gegeben sein



6. Simulation

- Aufgaben

- Oberleitungsthemen
 - Design von neuen Oberleitungstypen und Komponenten
 - Weiterentwicklung und Verbesserung vorhandener Oberleitungsbauarten
 - Simulationen für TSI-Zulassungen von Oberleitungen und Oberleitungskomponenten

- Stromabnehmerthemen
 - Entwicklung und Optimierung von Stromabnehmern
 - Unterstützung bei der Zulassung von neuen Fahrzeugen
 - Kombination von Messfahrten und Simulationen
 - Optimierung des dynamischen Zusammenwirkens, speziell bei Mehrfachtraktion
 - Ermittlung der optimalen Einstellung der Kraftmittelwerte je Stromabnehmer
 - Vorgabe der Zielwerte für die Kraftmittelwerte je Stromabnehmer bei der Fahrzeugoptimierung
 - Entwicklung und Erprobung von Stromabnehmersteuerung und Stromabnehmerregelung

- Zusammenwirken Stromabnehmer / Oberleitung
 - Analyse dynamischer Probleme
 - Ermittlung der Systemgrenzen
 - Maximale Geschwindigkeit, Anzahl der Stromabnehmer, Stromabnehmerabstand

6. Simulation

- Möglichkeiten

- Statische Untersuchung von Oberleitungsmodellen
 - Erstellung von Simulationsmodellen der Oberleitung basierend auf
 - Konstruktionsparametern der Oberleitung, z.B. bei neuen Oberleitungstypen
 - Realistischen Streckendaten (Lagepläne, Messungen)
 - Berechnung der statischen Elastizität von Oberleitungen

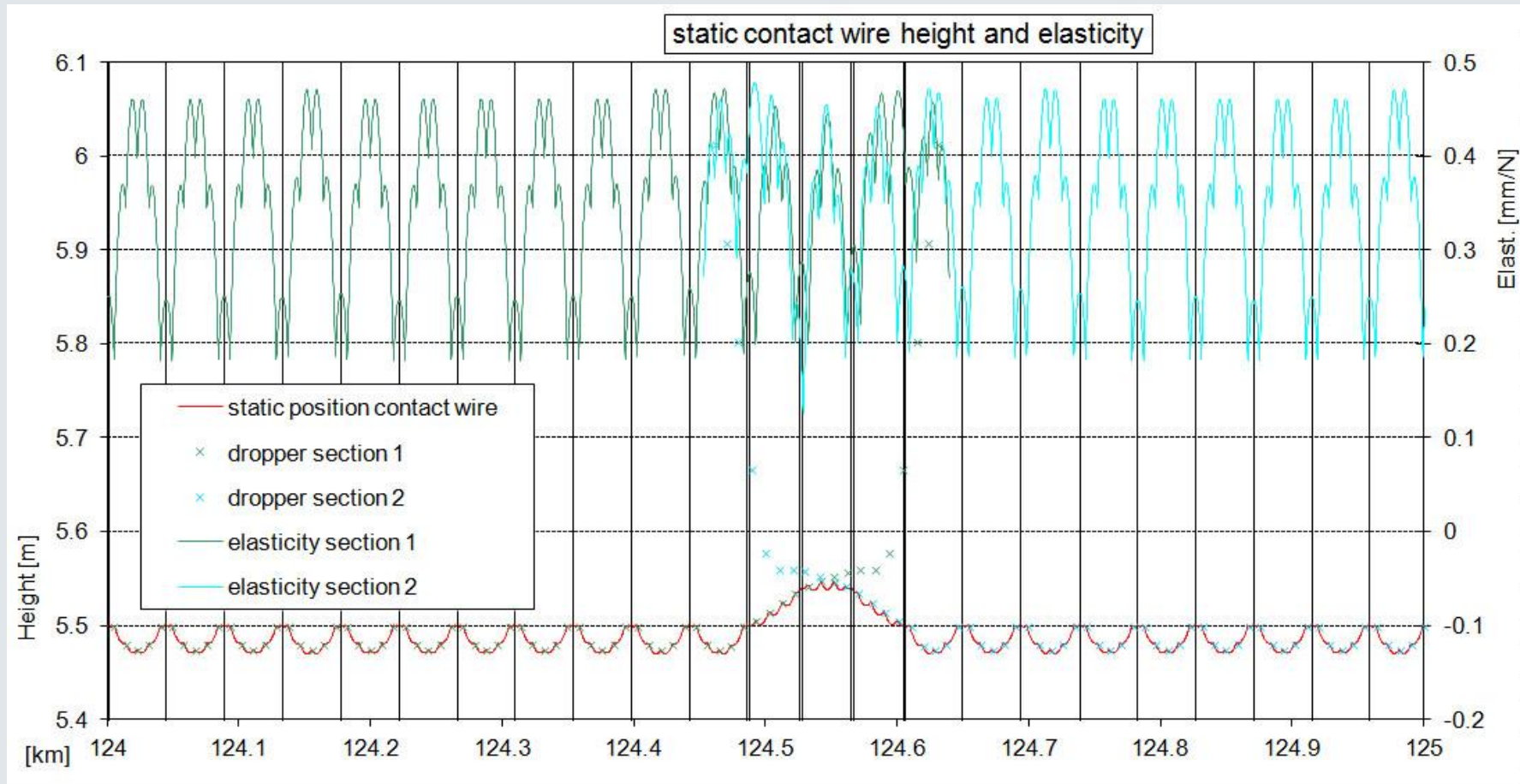
- Dynamische Untersuchung des Zusammenwirkens Stromabnehmer / Oberleitung
 - DBST-Simulationsprogramm ist validiert nach EN 50318
 - Simulationen von Einzel- und Mehrfachtraktion (validiert bis zu 4 Stromabnehmern)
 - Variation von Geschwindigkeit, Stromabnehmertyp, Oberleitungsparametern, Anzahl und Abstand der Stromabnehmer, Kraftmittelwert
 - Grafische Darstellung und statistische Auswertung von Kontaktkraft, vertikaler Bewegung des Kontaktpunkts und Fahrdrähtanhub

- Stromabnehmermodelle
 - Verwendung von Mehrmassenmodellen
 - Abgleich der Modellparameter mit Prüfstandsmessungen
 - Visueller Vergleich der Scheinmasse des Stromabnehmers im Frequenzbereich bis 20Hz zwischen Prüfstandsmessung und Simulationsmodell

6. Simulation

- Darstellung und Auswertung

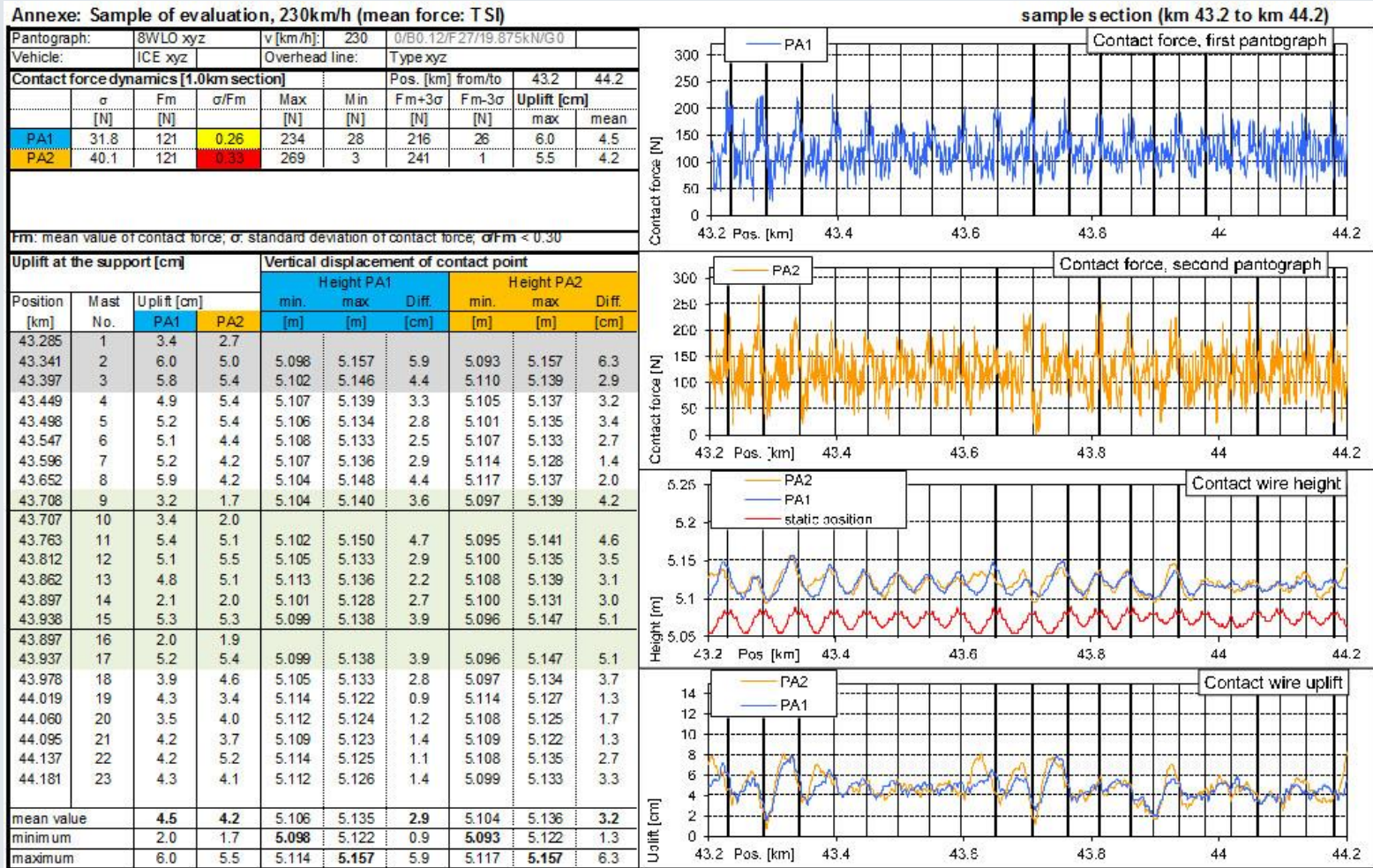
- Beispiel der statischen Auswertung - Fahrdrabtlage und Elastizität



6. Simulation

- Darstellung und Auswertung

■ Darstellung der Ergebnisse der dynamischen Simulation



7. Referenzen

- DB Systemtechnik

TSI Infrastruktur-Prüfungen in Deutschland, Österreich, Dänemark; China

TSI Fahrzeug-Zulassungen (Einfach/Mehrfachtraktion) in Deutschland, Österreich, Schweiz, Frankreich, Belgien, Niederlande, Spanien, Russland, Korea, China, Kasachstan

Referenz-Projekte:

- Deutschland: Streckenabnahmen, alle ICE-Generationen, TGV-POS (SNCF/Alstom), ETR610 (Alstom), DB-Loks (Siemens, Alstom), E109 (SKODA), EMUs (Regionalverkehr: Siemens, Alstom, Stadler)
- Österreich: Taurus/Railjet (ÖBB/Siemens), HS Oberleitungsentwicklung (ÖBB), HS Oberleitungsabnahmen (ÖBB)
- Schweiz: ICE1-Stromabnehmer-Zulassung (DB/SBB, Bombardier), Lötschbergtunnel, GBT
- Frankreich: Prima EL II (Alstom)
- Belgien: Streckenabnahme HS (SNCB), Siemens: DESIRO-EMUs, einige Loks, Velaro D, Eurostar
- Niederlande: HS-Streckenabnahmen, Velaro Eurostar
- Spanien: Velaro E (Siemens)
- Russland: Velaro-Rus (Siemens)
- Korea: KTX2 (Hyundai-Rotem)
- China: Velaro-CRH3 ET&DT (Siemens), Beijing-Tianjin-Line (Siemens)
- Kasachstan: KZ8A-Güterlok (Alstom)
- UK: Duplex-Stromabnehmer für ECML, Hitachi

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

DB Systemtechnik GmbH
Prüfung und Simulation Energietechnik
Völckerstr. 5
80939 München

Michael Kolbe
E-Mail: michael.kolbe@deutschebahn.com

Dr. Jörg Heland
E-Mail: joerg.heland@deutschebahn.com