

**LOGO M OTIVE.**

Integrale Lösungen für Gesamtsysteme

**KOMPETENZEN ZUM GESAMTSYSTEM FAHRZEUG**

**BVG**

Berliner  
Verkehrsbetriebe

**LOGO M MOTIVE.**  
Integrale Lösungen für Gesamtsysteme

## PRÄDIKTIVE INSTANDHALTUNG IN DER WERKSTATTPLANUNG

EINSATZ VON METHODEN DER PRÄDIKTIVEN  
INSTANDHALTUNG FÜR DIE WERKSTATTPLANUNG VON  
STRABENBAHNEN

18. Internationale  
Schienenfahrzeugtagung

Dresden, 22.-24.09.2021

S. Lesser, T. Weber

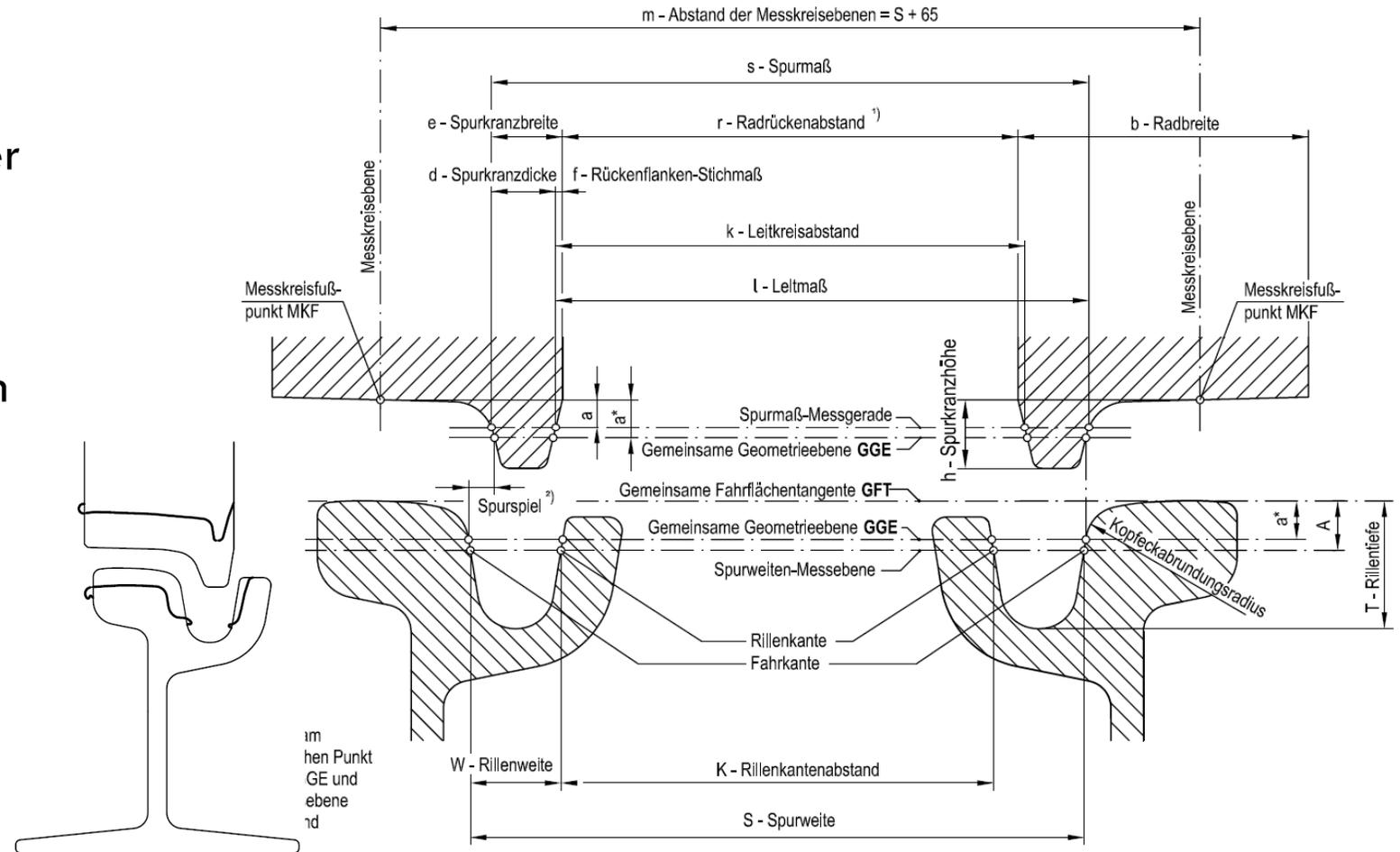
## PRÄDIKTIVE INSTANDHALTUNG IN DER WERKSTATTPLANUNG

1. ANFORDERUNGEN AN DAS RADPROFIL
2. UMSETZUNG
3. ANALYSEN
4. ZUSAMMENFASSUNG/AUSBLICK

# PRÄDIKTIVE INSTANDHALTUNG IN DER WERKSTATTPLANUNG

## ANFORDERUNGEN AN DAS RADPROFIL

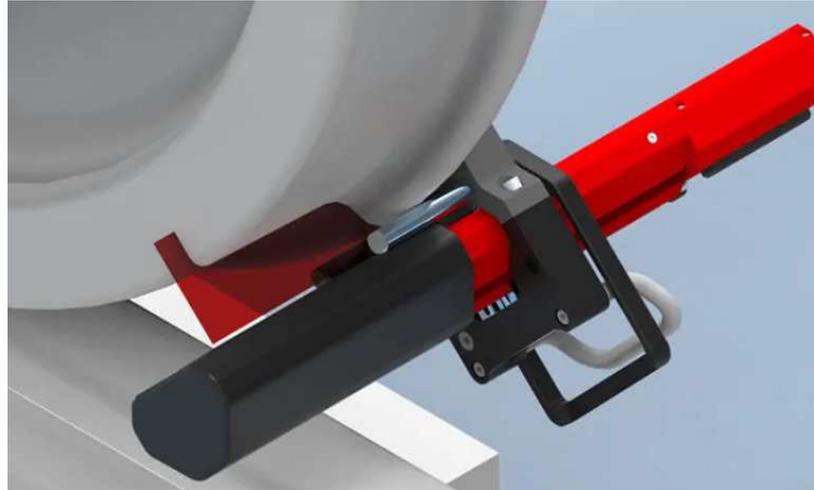
- Tragen
  - Minimal zulässiger Raddurchmesser
- Führen
  - Technische Regeln Spurführung (BOStrab TR Sp) Grenzwerte für Infrastruktur und Fahrzeug



# PRÄDIKTIVE INSTANDHALTUNG IN DER WERKSTATTPLANUNG

## ANFORDERUNGEN AN DAS RADPROFIL

- **Messung**

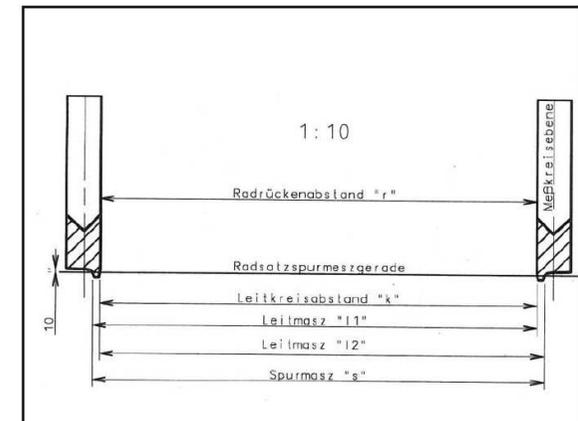
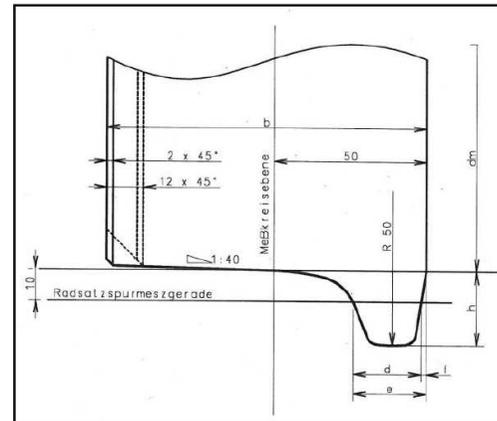


# PRÄDIKTIVE INSTANDHALTUNG IN DER WERKSTATTPLANUNG

## ANFORDERUNGEN AN DAS RADPROFIL

### • Radprofil und Grenzwerte

- Die BVG erfasst die Profile regelmäßig und speichert die gemessenen Werte seit ca. 10 Jahren in einer Datenbank ca. 500.000 Einträge
- Dabei trat die Frage auf, ob es mit den Daten möglich ist, vorausschauend zu bestimmen welche Fahrzeuge in der nächsten Zeit in die Werkstatt müssen, um die Planung der Werkstattkapazitäten zu verbessern.



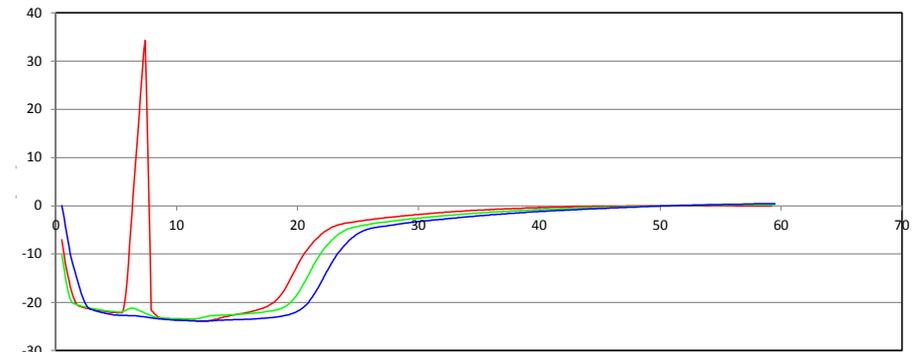
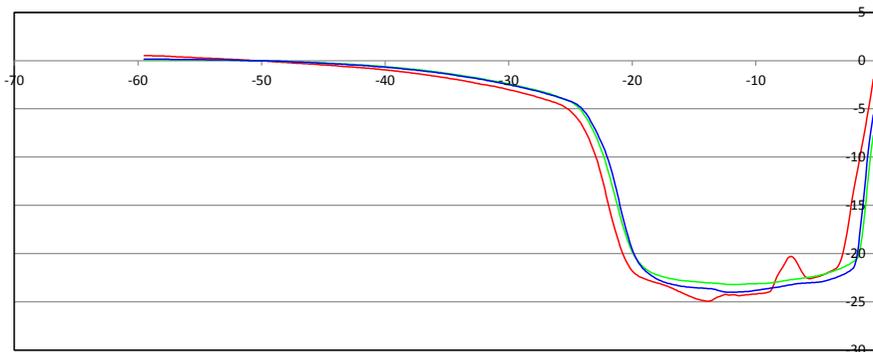
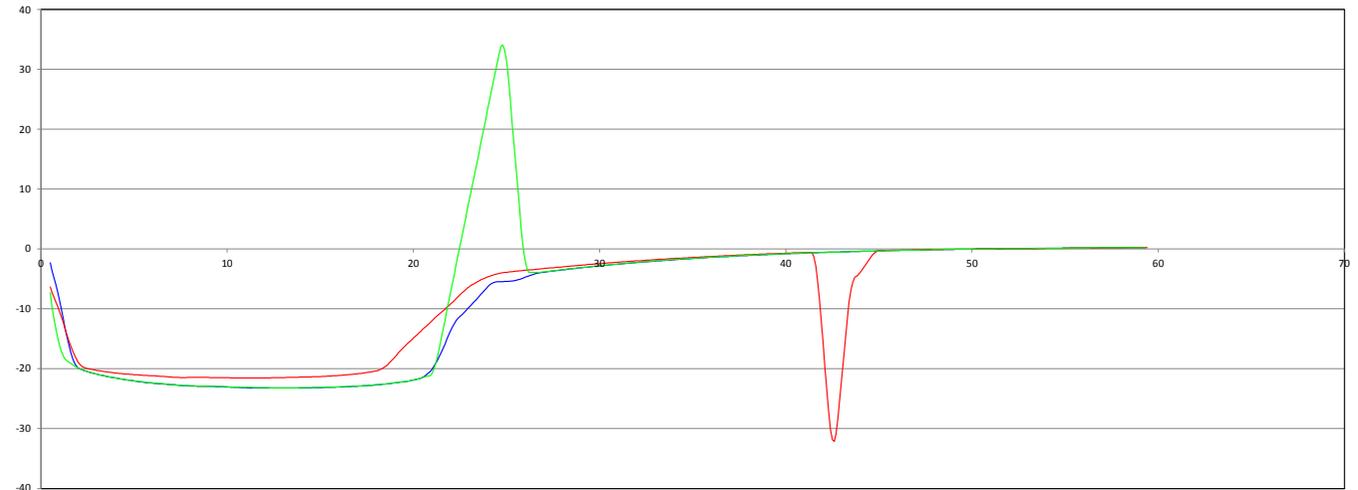
Maszbezeichnung	Kurzzeichen	Neu- bzw. Sollmasz	unteres Betriebsgrenzmasz	oberes Betriebsgrenzmasz
Spurmasz	s	1429-2	1418,0	1429,0
Radrückenabstand (Stichmasz)	r	1381-2	1378,5	1381,5
Abstand der Messkreisebenen	m=r+2x50	1481-2	1478,5	1481,5
Leitkreisabstand	k=r+l1+l2	1384,28	1379,8	1394,2
Leitmasz l1	l (1;12)	1406,64	1397,5	1412,0
Messkreisdurchmesser	dm	siehe Tabellen 1 und 2		
Radbreite	b	105 (95)		
Spurkranzbreite	e	24,0	18,5	25,0
Rüctenflankenstichmasz	f=e-d	1,64	0,4	6,6
Spurkranzdicke	d	22,36	11,9	23,6
Spurkranzhöhe	h	24,0	19,5	25,5

## PRÄDIKTIVE INSTANDHALTUNG IN DER WERKSTATTPLANUNG

1. ANFORDERUNGEN AN DAS RADPROFIL
2. **UMSETZUNG**
3. ANALYSEN
4. ZUSAMMENFASSUNG/AUSBLICK

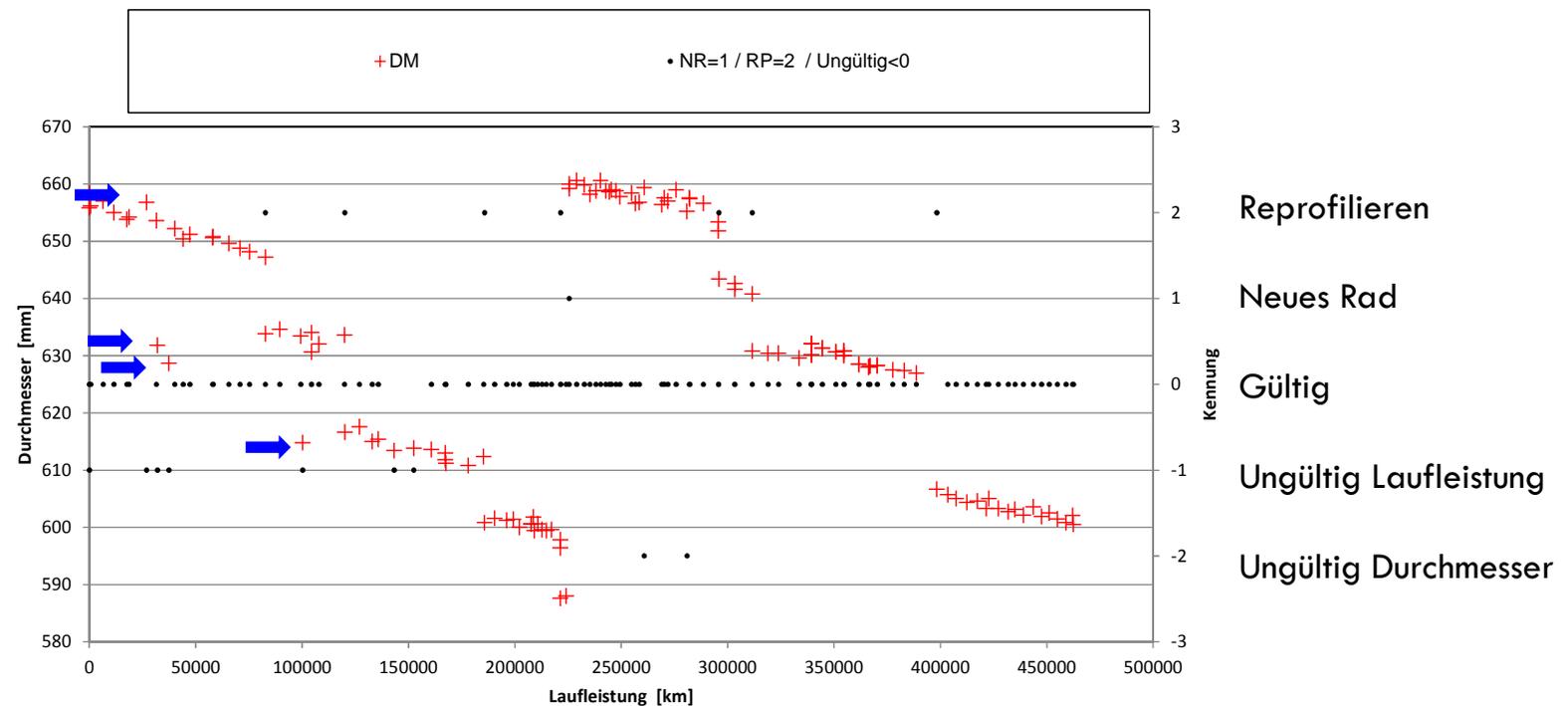
- **Fehlmessungen**

- Parameter werden aus dem abgezeichneten Profilen gewonnen, gelegentlich kommt es dabei zu Fehlmessungen



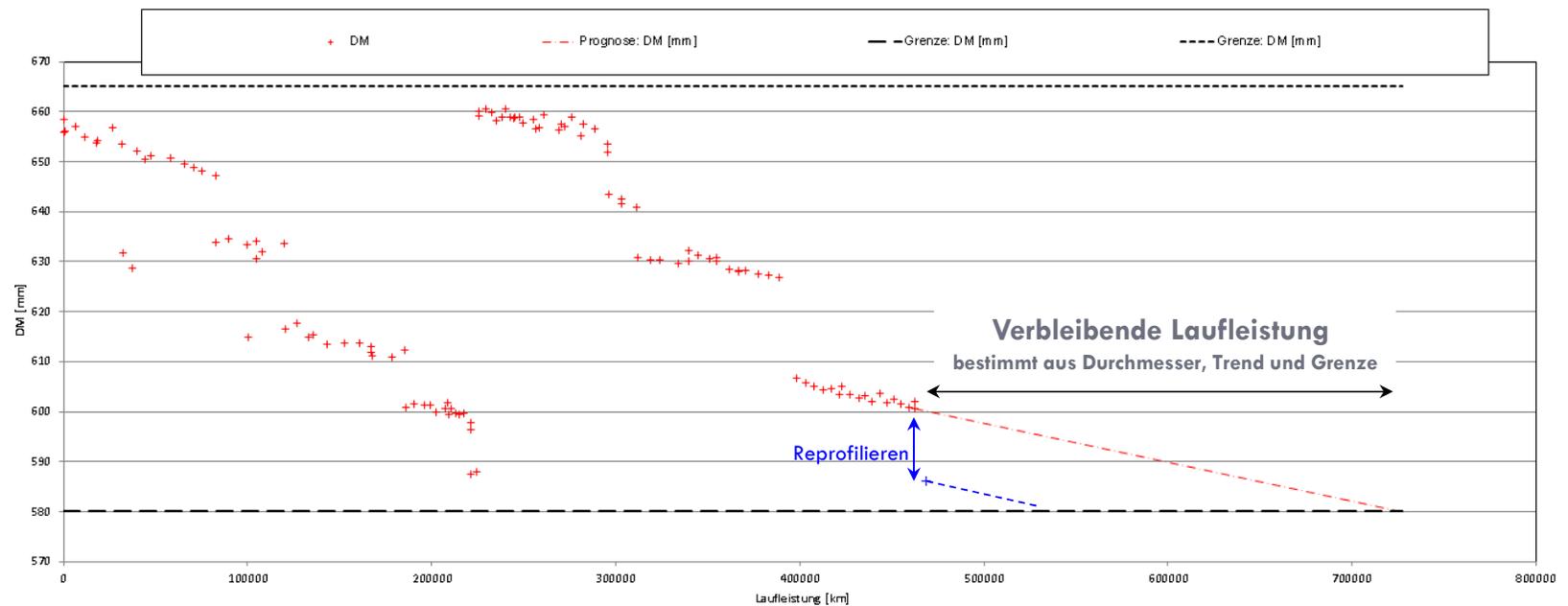
### • Messungen Durchmesser

- Daten bereinigen
  - Messfehler identifizieren
  - Fehleingaben erkennen
- Radwechsel/Reprofilieren



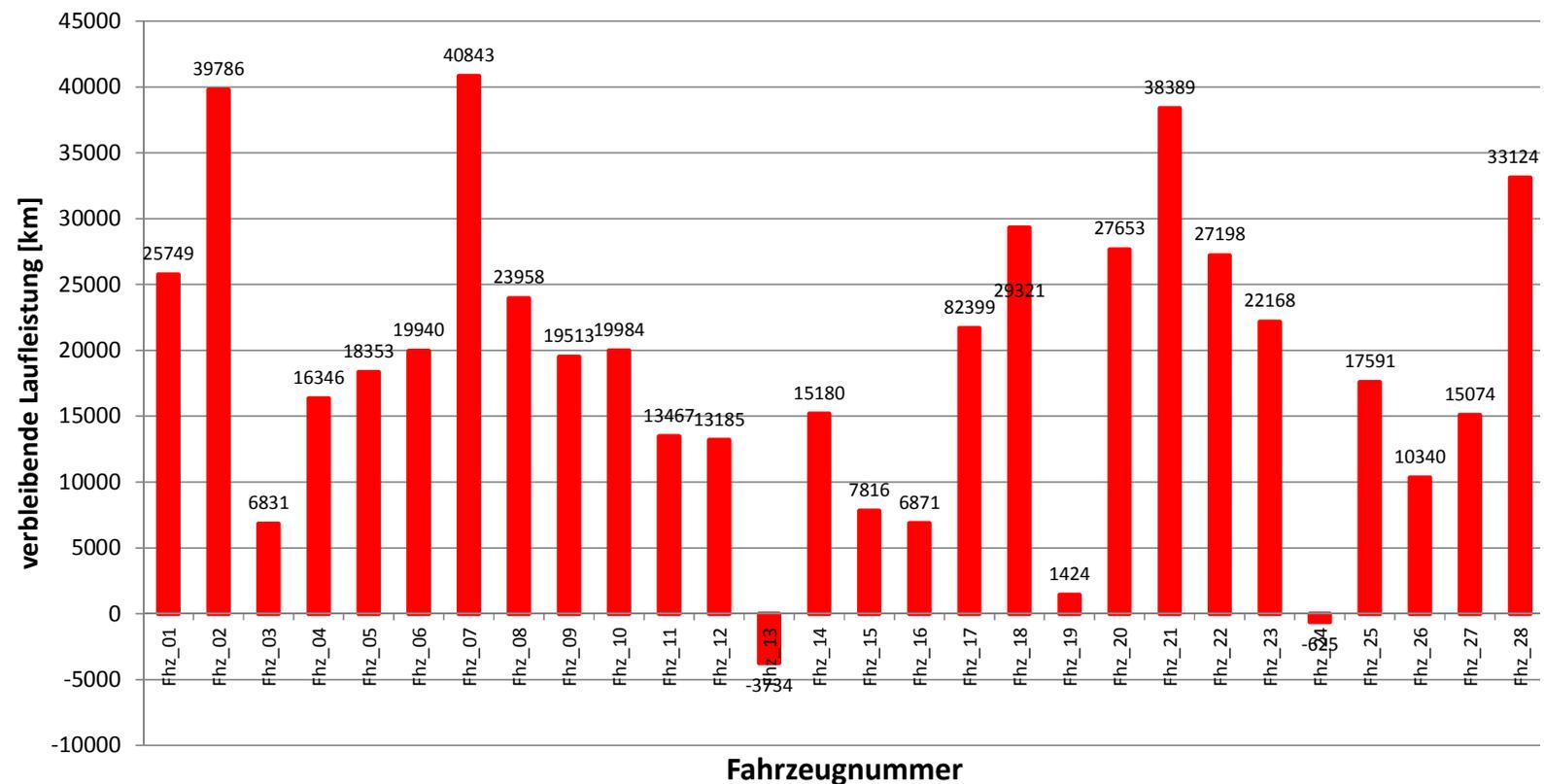
- **Vorgehensweise**

- Trend ermitteln
- Prognose der verbleibenden Laufleistung unter Berücksichtigung der Grenzwerte



- Minimale Verbleibende Laufleistung jedes Fahrzeugs

- Minimum allen Parametern DM, SH, SD, SE ...
- Minimum aller Räder



- **Softwarelösung**
  - Einfache Handhabung für die Standardanalyse zur Bestimmung der Fahrzeuge mit der geringsten verbleibenden Laufleistung
  - Erstellung eines Reports
  - Vielfältige weitere Analysefunktionen

The screenshot displays a software interface for predictive maintenance analysis. The main window is titled 'Analyse starten' and contains several sections:

- Header:** 'Analyse starten | Einstellungen | Analyse/Darstellung | Grafik\_Einstellungen'. Buttons for 'Analyse starten' and 'Report erstellen' are visible.
- Form Fields:** 'Anzahl der Fahrzeuge im Report:' with a dropdown set to '20'.
- Auswahl:** 'Fahrzeug' (6015), 'Rad' (1), 'Datum' (07-05-2021\_08-13-27). Below this, 'BEZ: KT4D', 'ID: 413', 'Protokolle: 48', 'TYP: 41', and 'Status: WAHR' are displayed. Buttons for 'Status Wechsel' and 'Alle Verwenden' are present.
- Analyse/Darstellung:** Radio buttons for 'Rad', 'Achse', 'DG', 'Fahrzeug', 'Fahrzeugtyp', and 'Alle Fahrzeuge'. A 'Analyse starten' button is also here.
- Optionen Analyse:** 'km seit letzter Messung berücksichtigen' (checkbox), 'Parameter neues Rad [mm]' (3), 'Parameter Reprofilieren [mm]' (-5), 'Parameter Delta Laufleistung [km]' (1000), and 'Mindestanzahl an Protokollen' (15). 'Von:' and 'Bis:' dropdowns are set to 'Anfang DB' and 'Ende DB'.
- Optionen:** A grid of checkboxes for parameters like 'SR', 'LML', 'DM', 'SH', 'SD', 'SE', 'SV', 'RB', 'AR', 'F8E/80\*', 'F82/9\*', 'F82/4\*', 'GT6', 'GTU/15\*,16\*', 'KT4D/4\*,5\*,6\*,7\*,94\*', 'Test-ot', 'GTZO/2\*', 'GT60/12\*', 'SFGO/45\*', and 'Strausberg-FW/20\*'. 'Kommentar' is also checked.
- Darstellung:** 'Radprofil' section with 'Darstellen' and 'Überlagern' buttons. 'Istwerte' section with 'X-Achse' and 'Y-Achse' dropdowns, 'Mess Datum' dropdown, 'SE [mm]' dropdown, and checkboxes for 'Sekundäre Y-Achse', 'Grenzen anzeigen!', 'Darstellen', 'Überlagern', and 'Prognose anzeigen!'. 'Layouts' section with a 'Rad' dropdown.
- Analyse Fahrzeug:** 'Fahrzeug analysieren' (radio), 'Über Parameter' (radio), 'Über Rad' (radio).
- Analyse Fahrzeugtyp:** 'Rad' and 'Überlagern' buttons.
- Analyse Alle Fahrzeuge:** 'Rad' and 'Min Tabelle' buttons.
- Report:** 'Diag2Report', 'Report speichern', 'Tab2Report', and 'Report löschen' buttons.
- Footer:** 'Alle Daten löschen' and 'Schließen' buttons.

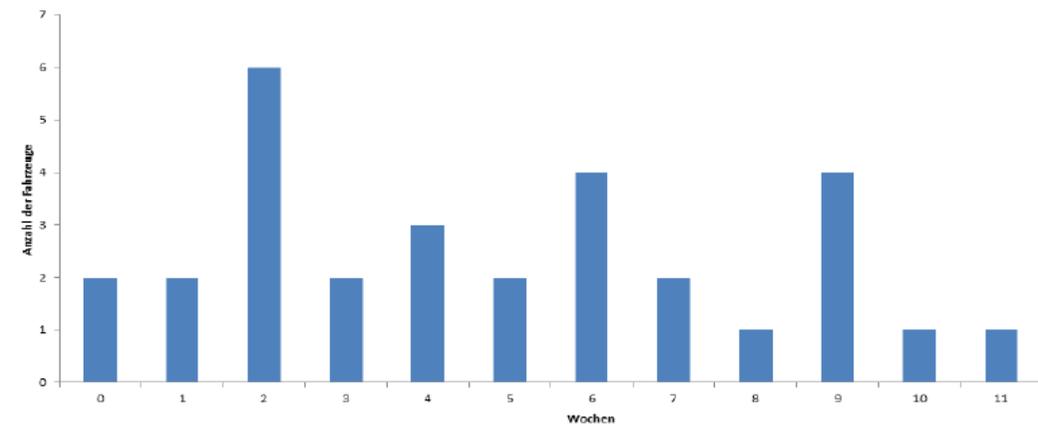
### Ergebnisausgabe

- Fahrzeuge mit Grenzwertverletzung  
(einschließlich gewählter Toleranz, bspw. DM +5)

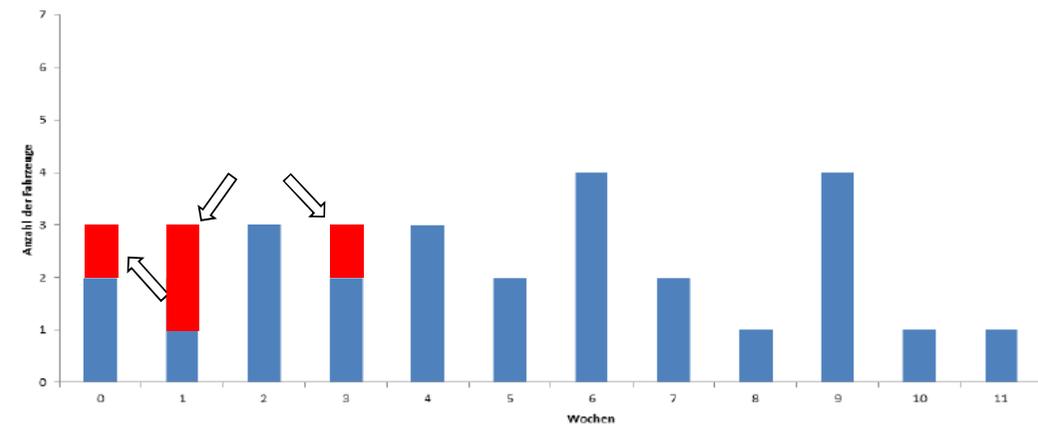
Fahrzeug	Wert	Grenze Min	Grenze Max	Rad	Parameter
Fahrzeug A	583,34	585	665	9	DM
Fahrzeug A	583,08	585	665	10	DM
Fahrzeug A	584,71	585	665	12	DM
Fahrzeug B	18,02	18,5	26	1	SE
Fahrzeug C	18,95	19,5	26,5	16	SH
Fahrzeug D	584,31	585	665	15	DM

- Fahrzeuge mit geringer verbleibender Laufleistung

Fahrzeug	verbl. Laufleistung	km pro Tag	verbl. Zeit[d]	Wert	Grenze Min	Grenze Max	Rad	Parameter	DM Wert
Fahrzeug A	171	148	1	18,52	18,5	26	6	SE	636,29
Fahrzeug B	307	213	1	19,51	19,5	26,5	15	SH	617
Fahrzeug C	839	228	4	18,6	18,5	26	1	SE	605,98
Fahrzeug D	1811	219	8	18,62	18,5	26	6	SE	631,79
Fahrzeug E	1946	221	9	585,13	585	665	10	DM	585,13



- Ergebnisausgabe
  - Fahrzeuge mit Grenzwertverletzung
    - Hinweis auf Fehlmessungen bzw. sofortigen Handlungsbedarf
  - Fahrzeuge mit geringer verbleibender Laufleistung
    - Optimierung der LCC
      - Maximale Ausnutzung der zulässigen Grenzwerte
    - Verbesserung der Ressourcenplanung
      - Voraussage und Optimierung von Engpässen beim Abdrehen



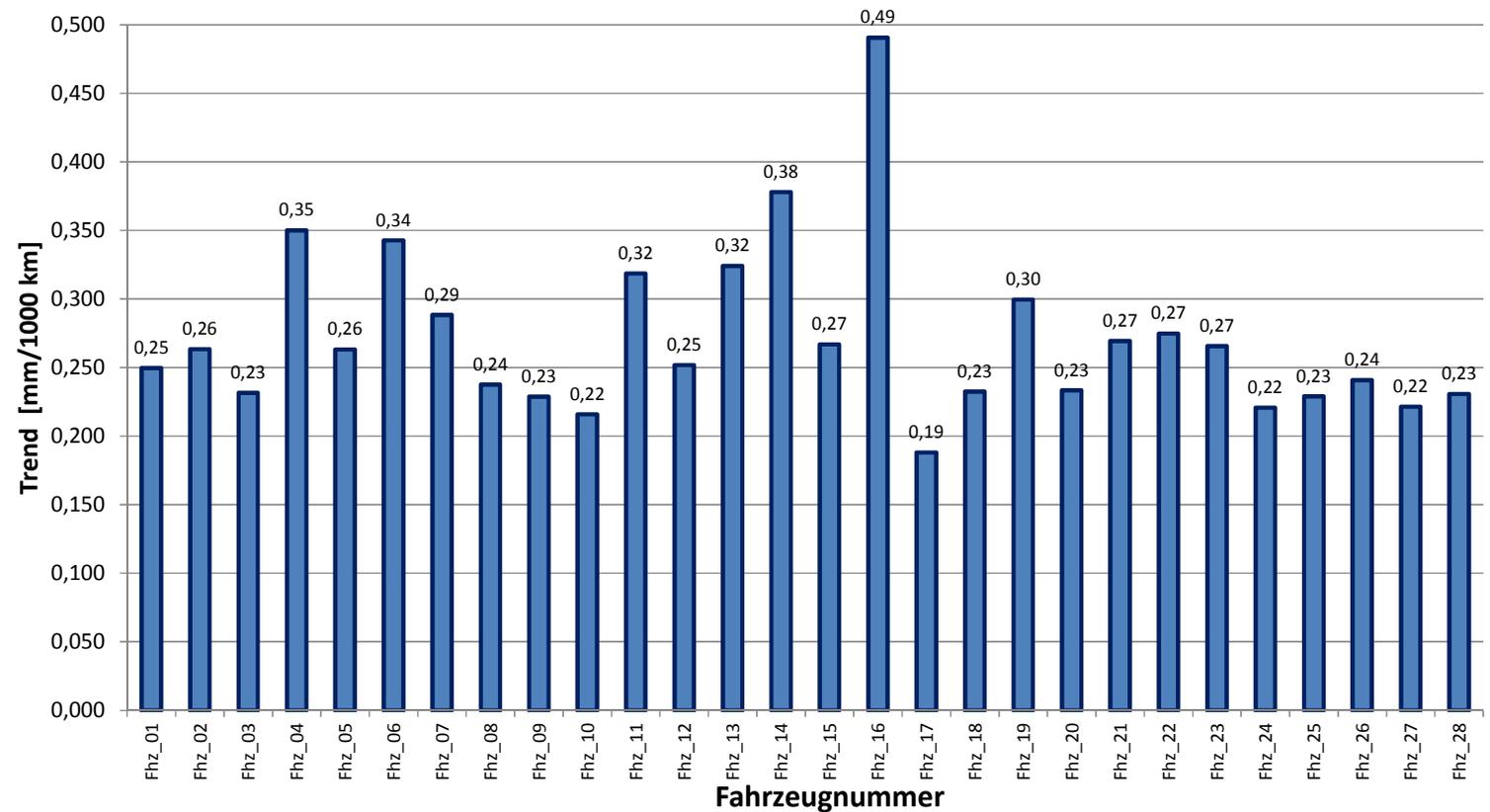
## PRÄDIKTIVE INSTANDHALTUNG IN DER WERKSTATTPLANUNG

1. ANFORDERUNGEN AN DAS RADPROFIL
2. UMSETZUNG
- 3. ANALYSEN**
4. ZUSAMMENFASSUNG/AUSBLICK

## VERGLEICH DER TRENDS ÜBER FAHRZEUGTYP

### Vergleich der ermittelten Trends

- Maximum Fhz\_16
- Das Fahrzeug weist einen auffällig hohen Verschleiß auf => Überprüfen



### ● Durchmesserverlust

Verschleiß

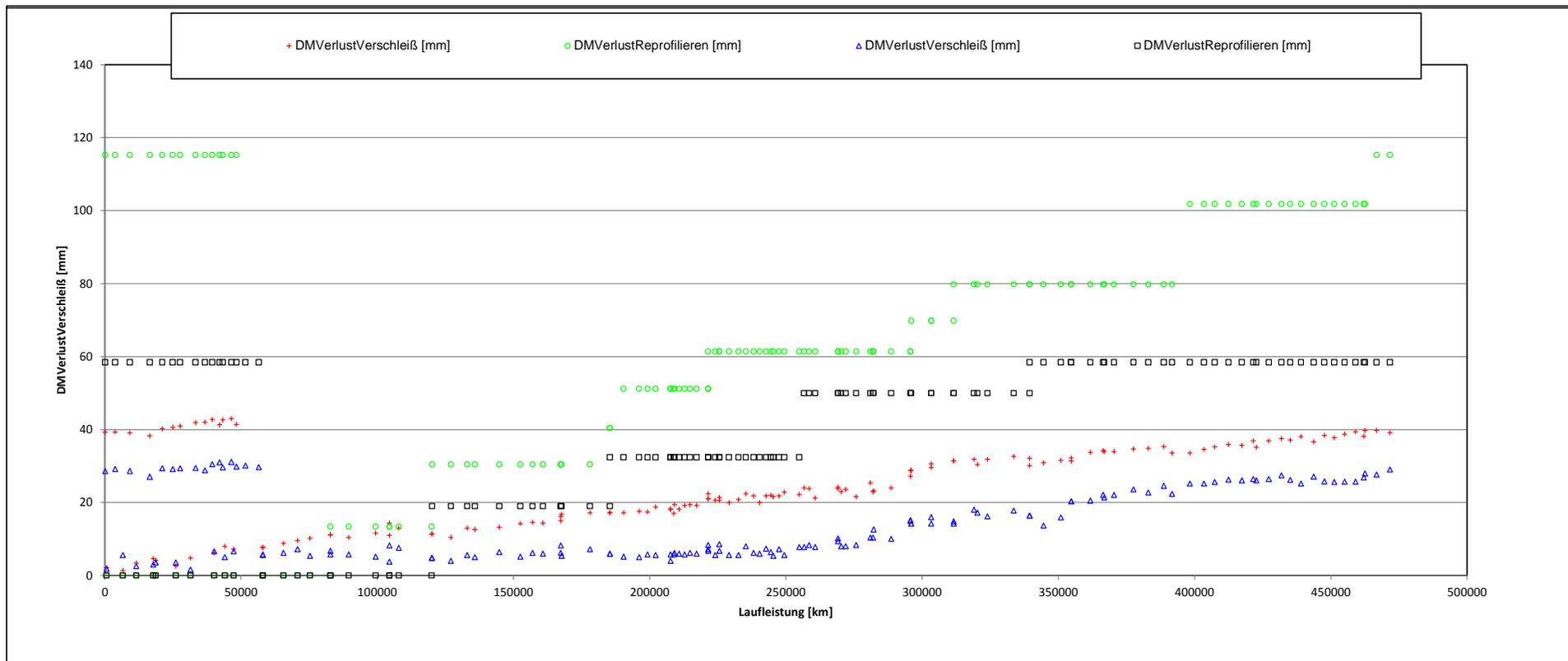
Angetrieben

Nicht angetrieben

Reprofilieren

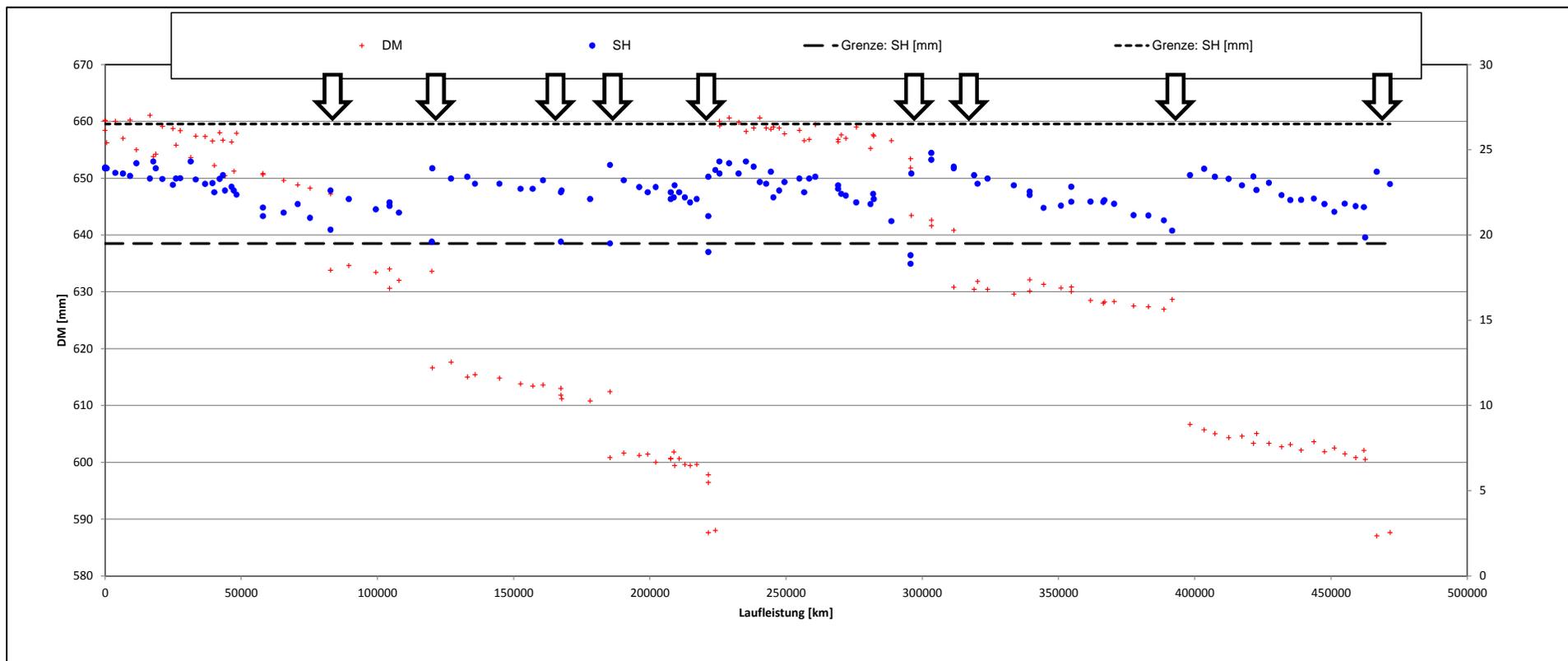
Angetrieben

Nicht angetrieben



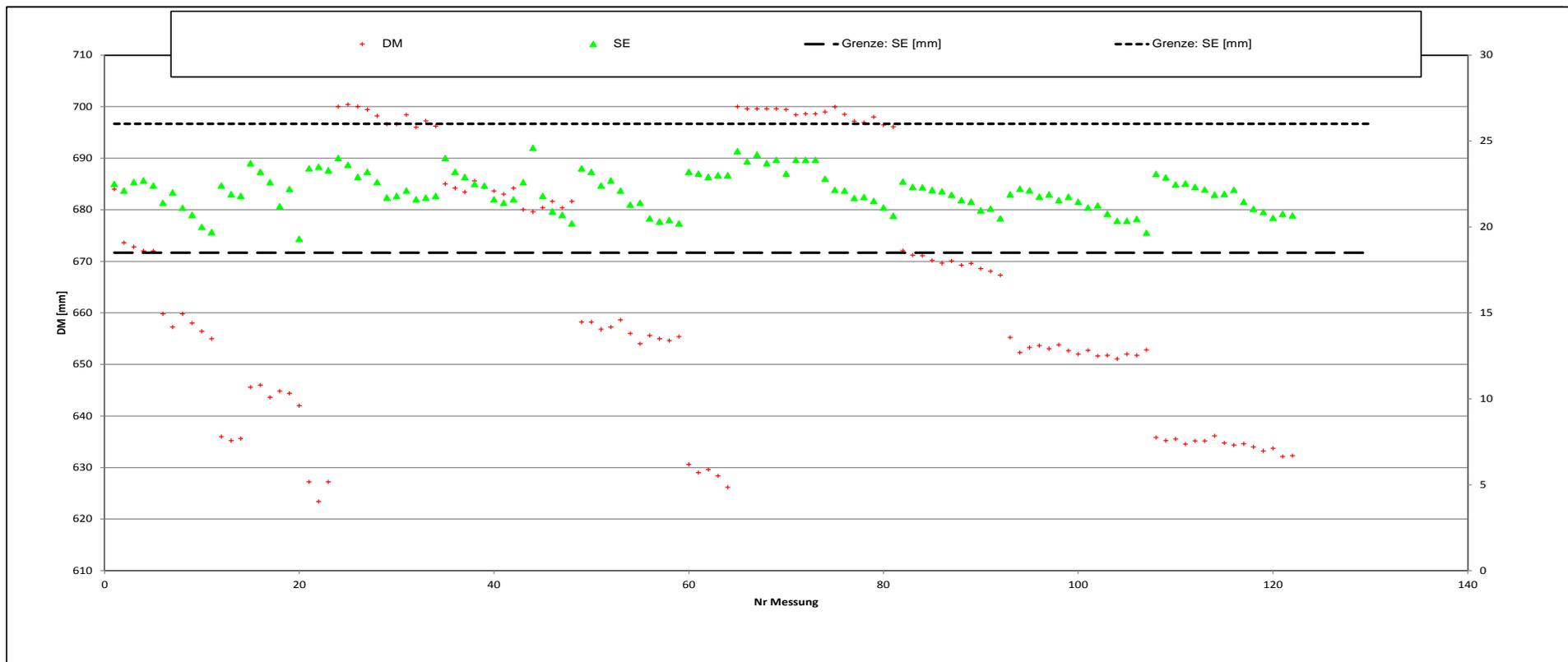
### Weshalb wird reprofiliert? Fahrzeugtyp A

Durchmesser  
Spurkranzbreite  
Spurkranzhöhe

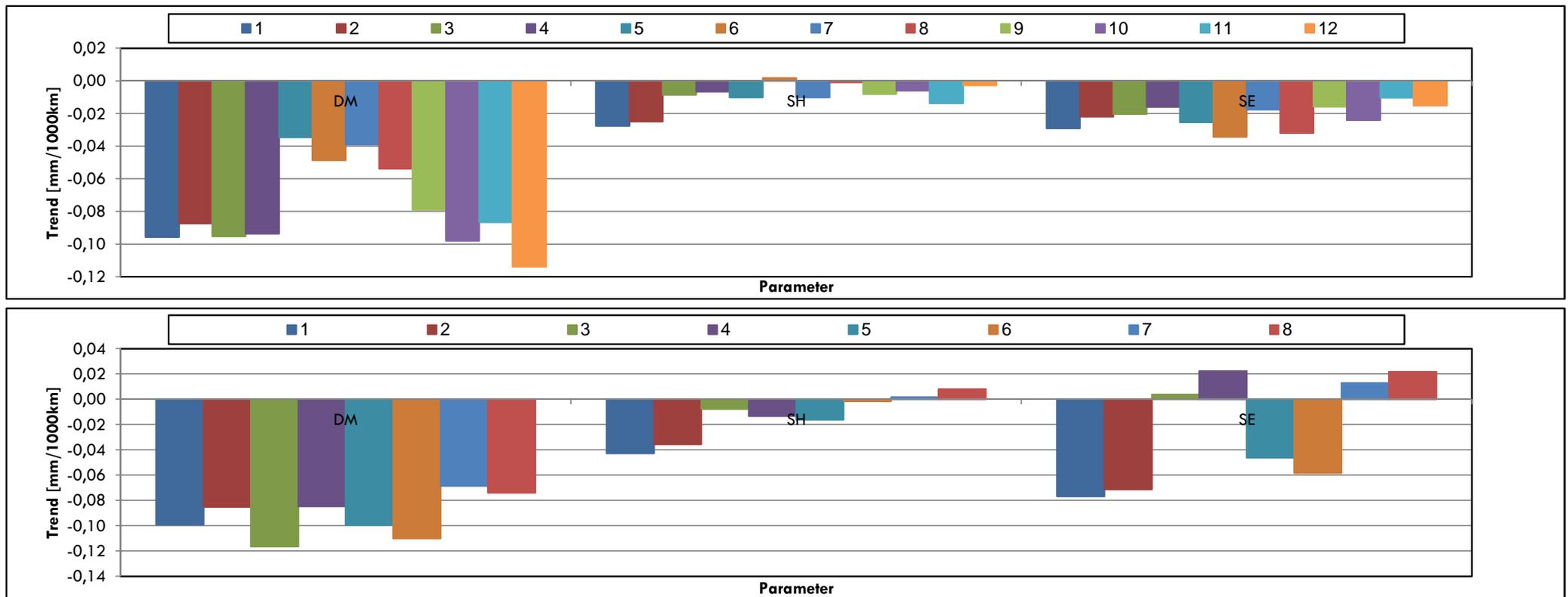


### Weshalb wird reprofiliert? Fahrzeugtyp B

Durchmesser  
Spurkranzbreite  
Spurkranzhöhe



- Analyse Fahrzeug A (12 Räder) und B (8Räder) über Parameter

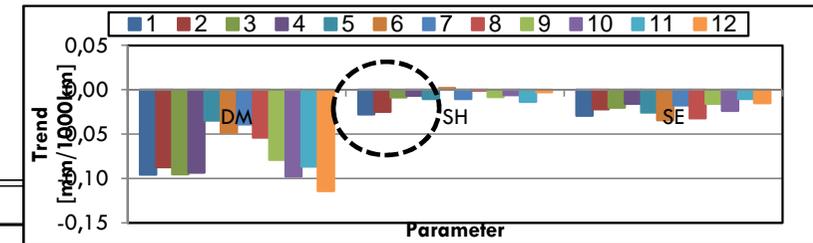
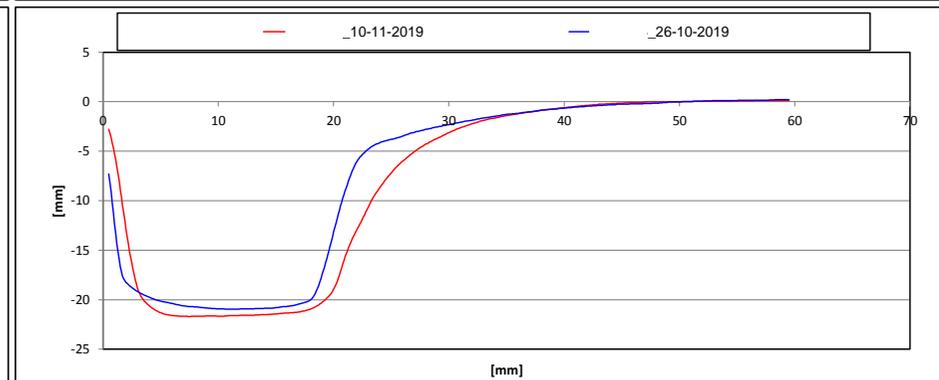
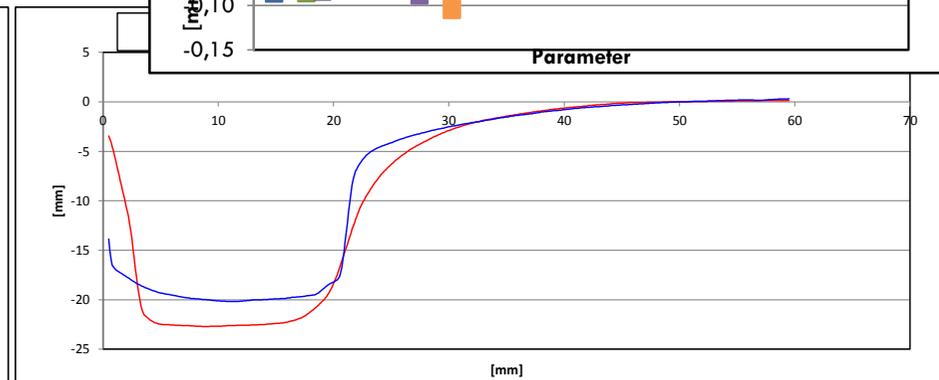
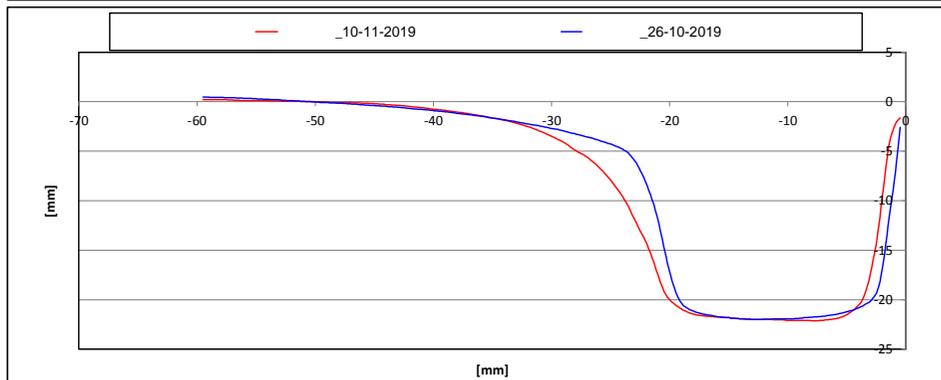
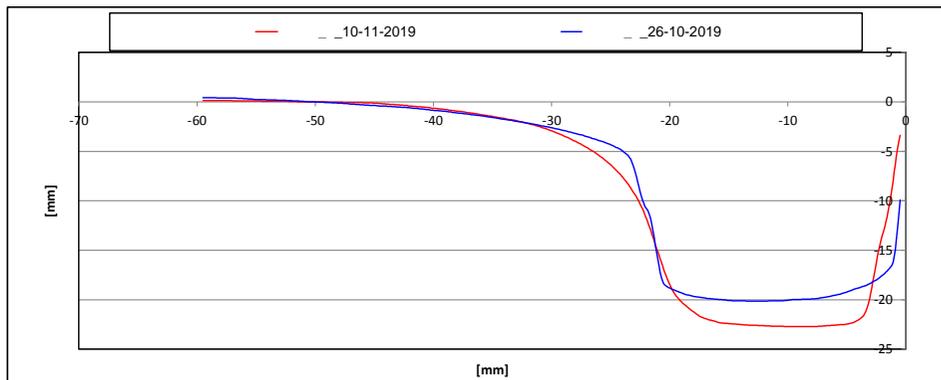


# PRÄDIKTIVE INSTANDHALTUNG IN DER WERKSTATTPLANUNG

## ANALYSEN

- Profile eines Drehgestells Fahrzeug A

Verschlissen  
Reprofiliert

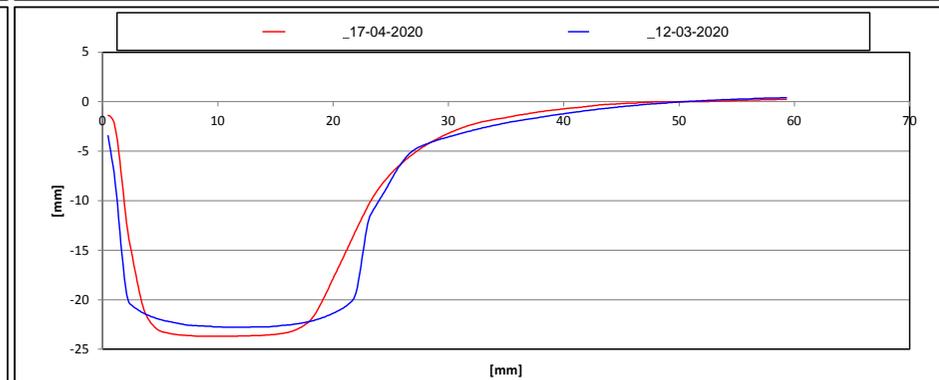
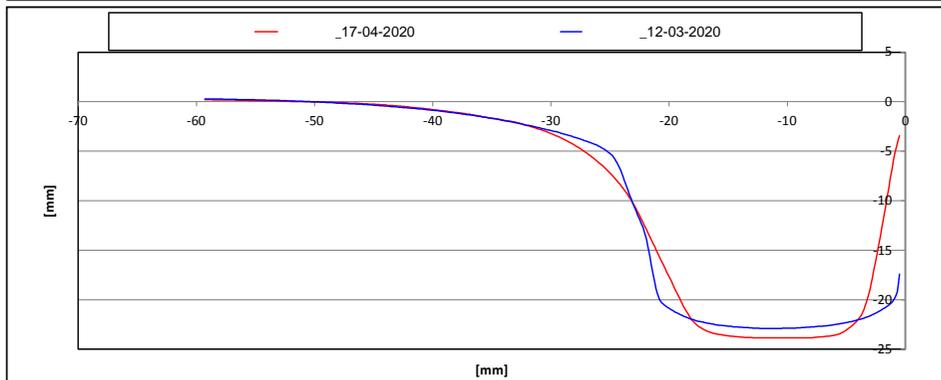
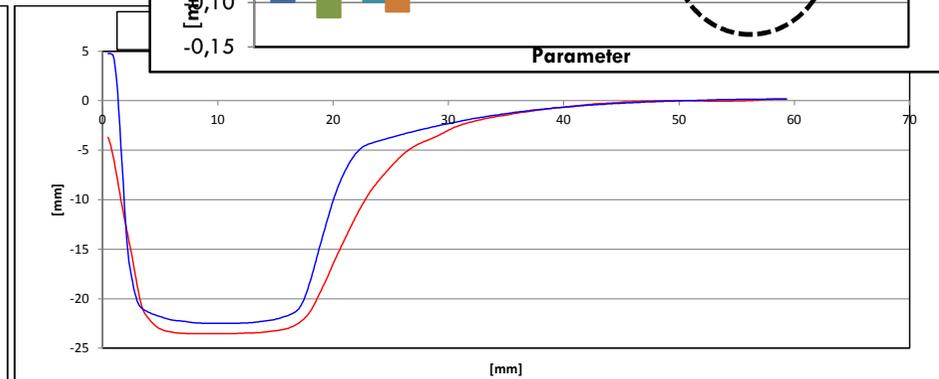
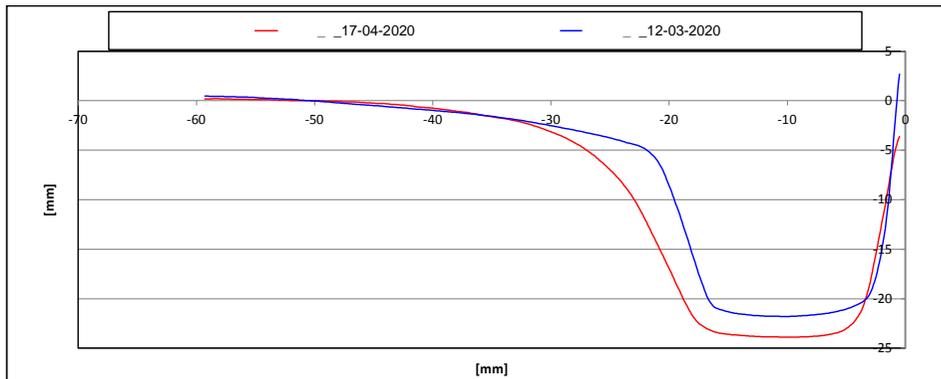


# PRÄDIKTIVE INSTANDHALTUNG IN DER WERKSTATTPLANUNG

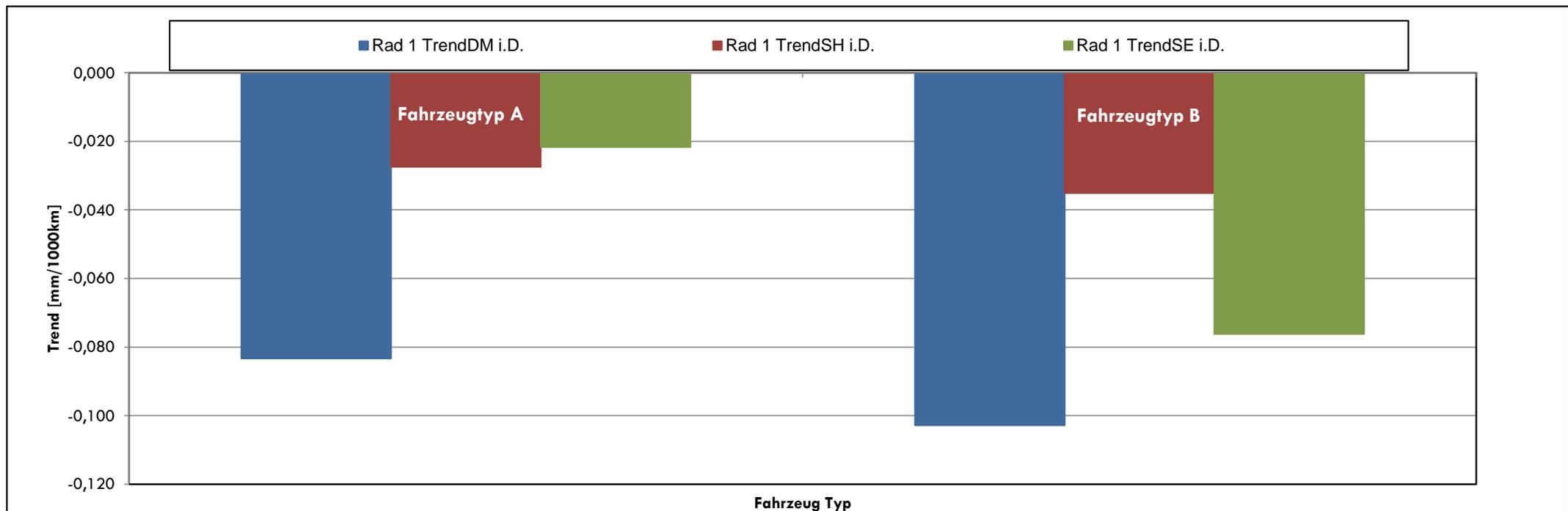
## ANALYSEN

- Profile eines Drehgestells Fahrzeug B

Verschlissen  
Reprofiliert

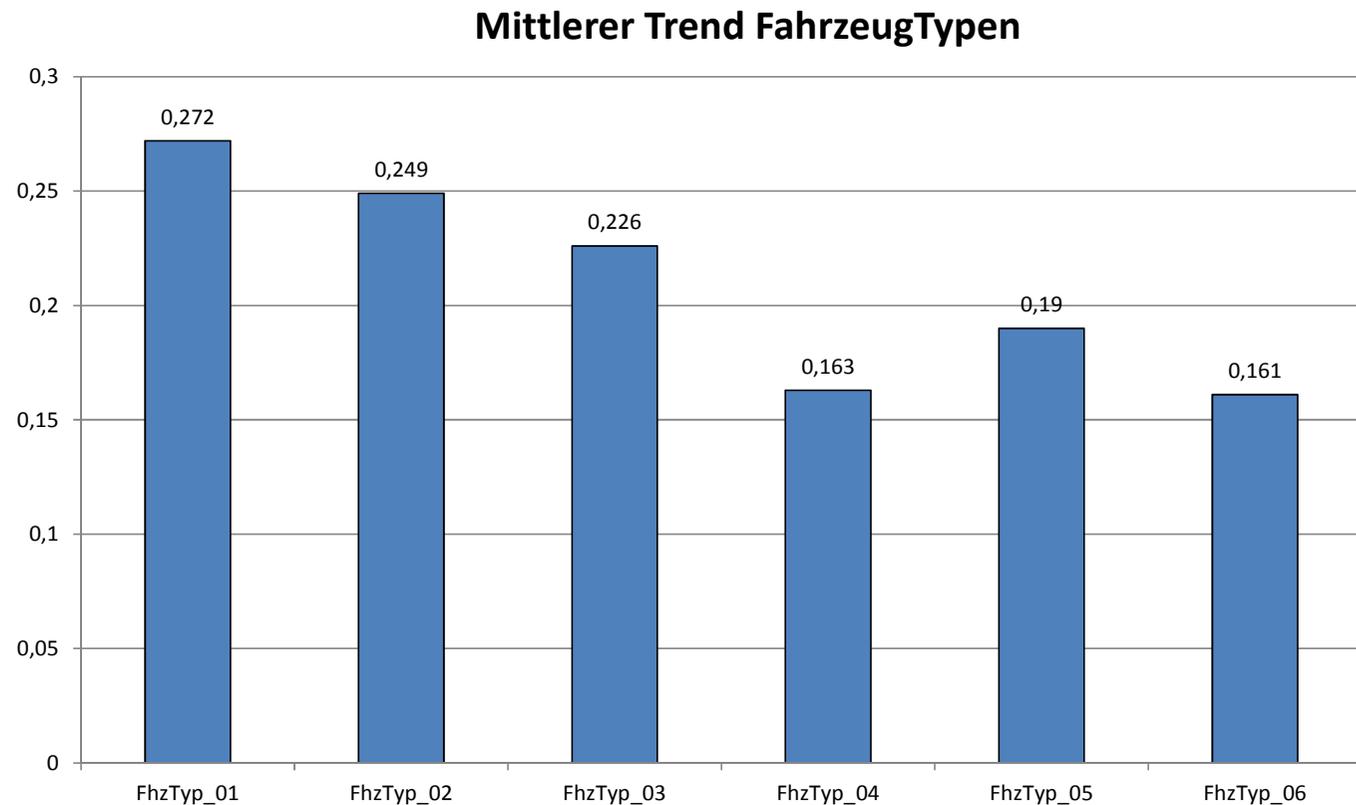


- Analyse Fahrzeugtyp A und B



- Vergleich der ermittelten Trends

- Mittelwert je Fahrzeugtyp  
=> LCC



## PRÄDIKTIVE INSTANDHALTUNG IN DER WERKSTATTPLANUNG

1. ANFORDERUNGEN AN DAS RADPROFIL
2. UMSETZUNG
3. ANALYSEN
4. ZUSAMMENFASSUNG/AUSBLICK

- **Zusammenfassung**
  - Die Radprofilaten der BVG lassen sich nach der automatischen Beseitigung von Messfehlern und Fehleingaben analysieren
  - Mit der implementierten Trendanalyse gelingt die robuste Bestimmung der verbleibenden Laufleistung in Abhängigkeit vom gewählten Parameter und damit die Vorhersage, wann welche Fahrzeuge in die Werkstatt müssen
  - Bei gesicherter Grenzwerteinhaltung lässt sich die maximale Einsatzzeit der Räder vollständig ausnutzen
- **Ausblick**
  - Standzeiten, Beschaffungsplanung
  - Verschleiß versus Einsatzstrecken Optimierung
  - Erkenntnisse verwenden bei der Anschaffung einer stationären Radprofilmesseinrichtung
  - Die vorgestellte Methodik lässt sich auf andere Komponenten übertragen

# PRÄDIKTIVE INSTANDHALTUNG IN DER WERKSTATTPLANUNG

## ZUSAMMENFASSUNG/AUSBLICK

### Erkenntnisse

#### Analyse der Kommentare 855 verschiedene Einträge

Nummer	Kommentar	Anzahl
1	1. Dreipunktmessung nach Entgleisung	12
2	1. Nach Entgleisung	12
3	2. Dreipunktmessung nach Entgleisung	12
4	2. Nach Entgleisung	12
5	2. Dreipunktmessung	12
6	3. Dreipunktmessung nach Entgleisung	12
7	3. Nach Entgleisung	12
8	3. Dreipunktmessung	12
9	3. Messung	12
10	3. Messung nach Entgleisung	24
11	3P Kontrollmessung 1	16
12	3P Kontrollmessung 2	16
13	3P Kontrollmessung 3	16
14	A1 abgedreht, A2 RRW	12
15	A1 abgedreht, C+BDG gew.	12
16	A1 RRW	12
17	A1 RRW, A2,3,5 abgedreht	12

841	Wechsel LFW + TFW2	16
842	Wechsel TFW 1	32
843	Wechsel TFW 2	28
844	Wechsel TFW 3	32
845	Wechsel TFW1, LFW, TFW3 abgedreht	16
846	Wechsel vom Gestell	16
847	Wechsel vom LFW-Gestell	12
848	Wechsel von Gestell B	12
849	zur HU	8
850	zur IB+	16
851	zur ID	8
852	zur ID+	8
853	zur IE	16
854	zur IE2	12
855	zur Inspektion E3	8

#### häufig

Nummer	Kommentar	Anzahl
122	Kontrollmessung	11472
248	Nach Radprofilkorrektur	50890
514	Nach Radreifenwechsel	15350
645	Normale Messung	258586
728	Wechsel der Gestelle	7028

#### selten

Nummer	Kommentar	Anzahl
47	DG 0329 aus 1588	4
118	Kalibrierachse Breite/Höhe	2
120	Kontrolle	1
121	kontrolle R9+10	2
124	Kontrollmessung RR Schwinge 170790	1
125	Kontrollmessung TWF 1	4
126	Kontrollmessung/RRW G313M exDG	4
661	Normale Messung Test	3
705	Teil 2 (B-Drg) der 3. Messung	4
707	test 2	4
708	Test altes IBEG	4
709	TEST mit neuem IBEG	4

- Auswertung der Einträge im Kommentar bisher nur teilweise möglich
- Für eine automatische Auswertung sind wenige standardisierte Einträge notwendig

- Abdrehen ↔ Radprofilkorrektur ↔ RPK ↔ Räderbearbeitung ↔ Radsatzschleifen ↔ Radsatzbearbeitung
- Radreifenwechsel ↔ RRW ↔ Rad neu ↔ Rad gewechselt ↔ Radsatzwechsel
- Wechsel ↔ Wechsel der Gestelle ↔ Dg Wechsel ↔ Drg. Wechsel ↔ Drehen ↔ Portalachsen gew.
- HU ↔ IB+ ↔ ID ↔ ID+ ↔ IE ↔ IE+ ↔ KD

- Die vorhandenen Einträge sollten genutzt werden, um ein Konzept für künftige Kommentare der Datenbankeinträge zu entwickeln, dies kann auch auf die bisherigen Datenbankeinträge übertragen werden.