

# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

*Ein Beitrag des DB-Projekts „Fahrzeugsicherheit“  
Teilprojekt „Betriebsfestigkeit von Schienenfahrzeugen“  
zur Auslegung moderner Schienenfahrzeuge*



**Dr.-Ing. Wilfried Wolter**  
**Deutsche Bahn AG**  
**Technik/Beschaffung, DB Systemtechnik**  
**Fahrzeuggestellungs- und Instandhaltungs-Infrastruktur**  
**Bahntechnikerring 74**  
**D-14774 Brandenburg- Kirchmöser**

# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

## Projektstrategie:

- 1 Repräsentative Fahrzeuge entsprechend den Betreiberinteressen und Beschaffungsstrategien von DB Fernverkehr, DB Regio und DB Railion auswählen.  
Fahrzeugbereitstellung für die Messfahrten abstimmen.
- 2 Einsatzspiegel für die ausgewählten Fahrzeuge aufstellen (aktuelles Einsatzprofil erfassen). Messstellenkonzept und Messstellenpläne für die Fahrzeugkomponenten ausarbeiten.
- 3 Messfahrten (Betriebsmessungen) nach Einsatzspiegel durchführen.  
Messergebnisse sichern und auswerten.
- 4 Lastkollektive für die Fahrzeugkomponenten ermitteln und bewerten (z.B. Vergleich mit Regelwerk).  
Betriebsfestigkeitsinformationen für Beschaffung, Re-Design und Instandhaltung sowie für Betriebsfestigkeitsnachweise nutzen.

# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

## 1. Repräsentative Fahrzeuge auswählen und Messfahrten abstimmen



**DB Fernverkehr:**  
HGV-Triebzug BR 403.

Messobjekte:  
Endwagen 8 und  
Trafowagen 7  
(nicht im Bild).

Fahrweg für Messungen:  
12.900 km.

Überlagerung der  
Teilkollektive nach  
Einsatzspiegel HGV für  
30 Jahre (Räder 5 Jahre)  
Lebensdauer.



# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

## 1. Repräsentative Fahrzeuge auswählen und Messfahrten abstimmen



**DB Regionalverkehr:**  
RE-Triebzug mit  
Neigetechnik BR 612.  
Messobjekt: B-Wagen  
(vorn).

Fahrweg für  
Messungen: 8.619 km.  
Überlagerung der  
Teilkollektive nach  
Einsatzspiegel RE-NT  
für 30 Jahre  
(Räder 10 Jahre)  
Lebensdauer.

# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

## 1. Repräsentative Fahrzeuge auswählen und Messfahrten abstimmen



**DB Regionalverkehr: RE 160.**  
Messobjekte: Lokomotive BR 146.1  
(links) und Wendezug-Steuerwagen  
DBpbzfa 766 (rechts).

Fahrweg für Messungen: 5.323 km.  
Überlagerung der Teilkollektive  
nach Einsatzspiegel RE für 30 Jahre  
(Räder 10 Jahre) Lebensdauer.

# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

## 1. Repräsentative Fahrzeuge auswählen und Messfahrten abstimmen



**DB Regional- /  
Stadtverkehr:**  
S-Bahn-Triebzug  
BR 423.  
Messobjekte:  
Steuerwagen (vorn)  
und anschließender  
Mittelwagen

*Fahrweg für Messungen: 6.800 km. Überlagerung der Teilkollektive nach  
Einsatzspiegel S-Bahn für 30 Jahre (Räder 10 Jahre) Lebensdauer.*



# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

## 1. Repräsentative Fahrzeuge auswählen und Messfahrten abstimmen



**DB Railion**  
**Güterverkehr:**  
Messobjekte:  
Lokomotive BR 185.2  
sowie Güterwagen  
der BA Falns, Eans  
und 2 x Hbillns.



Fahrtweg für  
Messungen:  
6.586 km.  
Überlagerung  
der Teilkollektive  
nach  
Einsatzspiegel GV  
für 30 Jahre (Räder 10 Jahre) Lebensdauer.

# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

## 2. Einsatzspiegel erstellen

|                 |                |                 | Fahrt            |                   |                   |        |                         |             |              |         |                            |                   |                    |                    |          | Zug- und Bremskraft          |                              |        |                               |                               |        |              |        |
|-----------------|----------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|--------|-------------------------|-------------|--------------|---------|----------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------|------------------------------|------------------------------|--------|-------------------------------|-------------------------------|--------|--------------|--------|
| Geschwindigkeit | Besetzungsgrad | Bogenhalbmesser |                  |                   |                   |        | davon Streckenneigungen |             |              |         | davon Trassierungselemente |                   |                    |                    |          | Normierte Bremskraft 1,0 ... | Normierte Bremskraft 0,5 ... | Rollen | Normierte Zugkraft >0 ... 0,5 | Normierte Zugkraft >0,5 ... 1 |        |              |        |
|                 |                | 0 ... 500 m     | > 500 ... 1000 m | > 1000 ... 2000 m | > 2000 ... 4000 m | Gerade | keine Neigung           | > 0 ... 5 ‰ | > 5 ... 20 ‰ | > 20 ‰  | Weiche gerade              | Weiche abzweigend | Bogenweiche, innen | Bogenweiche, außen | Kreuzung |                              |                              |        |                               |                               | Brücke | Bahnübergang |        |
| 0 ... 50 km/h   | 5 %            | 20 % 2,8 %      | 0,88 %           | 0,34 %            | 0,14 %            | 0,06 % | 1,38 %                  | 16,93 %     | 43,17 %      | 25,35 % | 14,55 %                    | 0,41              | 0,12               | 0,06               | 0,09     | 0,02                         | 0,49                         | 0,22   | 0,13 %                        | 0,11 %                        | 0,03 % | 1,23 %       | 1,29 % |
|                 |                | 50 % 2,1 %      | 0,66 %           | 0,25 %            | 0,10 %            | 0,05 % | 1,04 %                  |             |              |         |                            |                   |                    |                    |          |                              |                              |        | 0,10 %                        | 0,08 %                        | 0,02 % | 0,93 %       | 0,97 % |
|                 |                | 170 % 0,1 %     | 0,03 %           | 0,01 %            | 0,00 %            | 0,00 % | 0,05 %                  |             |              |         |                            |                   |                    |                    |          |                              |                              |        | 0,00 %                        | 0,00 %                        | 0,00 % | 0,04 %       | 0,05 % |
| > 50 ... 100    | 52 %           | 20 % 29,1 %     | 9,65 %           | 6,06 %            | 1,19 %            | 0,32 % | 11,91 %                 | 7,03 %      | 30,11 %      | 50,81 % | 12,06 %                    | 0,41              | 0,12               | 0,06               | 0,09     | 0,02                         | 0,49                         | 0,22   | 1,48 %                        | 6,00 %                        | 5,11 % | 13,57 %      | 2,95 % |
|                 |                | 50 % 21,8 %     | 7,24 %           | 4,54 %            | 0,89 %            | 0,24 % | 8,93 %                  |             |              |         |                            |                   |                    |                    |          |                              |                              |        | 1,11 %                        | 4,50 %                        | 3,83 % | 10,18 %      | 2,22 % |
|                 |                | 170 % 1,0 %     | 0,34 %           | 0,22 %            | 0,04 %            | 0,01 % | 0,43 %                  |             |              |         |                            |                   |                    |                    |          |                              |                              |        | 0,05 %                        | 0,21 %                        | 0,18 % | 0,48 %       | 0,11 % |
| > 100 km/h      | 43 %           | 20 % 24,1 %     | 0,67 %           | 5,37 %            | 2,59 %            | 0,74 % | 14,71 %                 | 8,14 %      | 39,97 %      | 51,89 % | 0,00 %                     | 0,41              | 0,12               | 0,06               | 0,09     | 0,02                         | 0,49                         | 0,22   | 0,06 %                        | 1,73 %                        | 4,94 % | 15,99 %      | 1,36 % |
|                 |                | 50 % 18,1 %     | 0,50 %           | 4,03 %            | 1,94 %            | 0,55 % | 11,03 %                 |             |              |         |                            |                   |                    |                    |          |                              |                              |        | 0,05 %                        | 1,29 %                        | 3,71 % | 12,00 %      | 1,02 % |
|                 |                | 170 % 0,9 %     | 0,02 %           | 0,19 %            | 0,09 %            | 0,03 % | 0,53 %                  |             |              |         |                            |                   |                    |                    |          |                              |                              |        | 0,00 %                        | 0,06 %                        | 0,18 % | 0,57 %       | 0,05 % |

*Einsatzspiegel. Beispiel: RE-Verkehr auf Mittelgebirgslinien.*

*Grundlage für die Messfahrtenplanung und -auswertung sowie zur  
Sicherung der Nachvollziehbarkeit der Entstehung der Lastkollektive.*

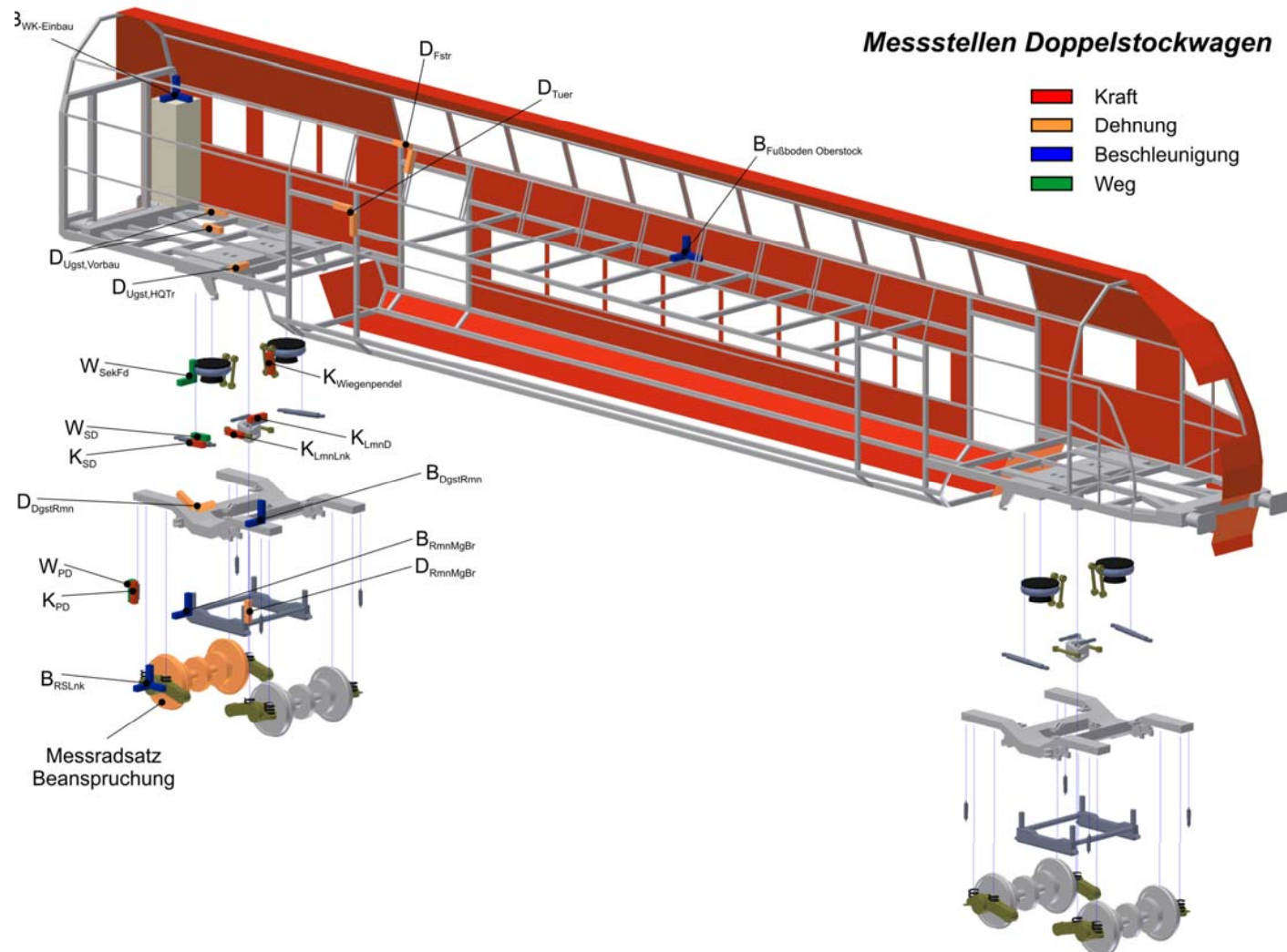
*Mittels Einsatzspiegel werden alle belastungsrelevanten Strecken- und  
Traktionsdaten dokumentiert.*



# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

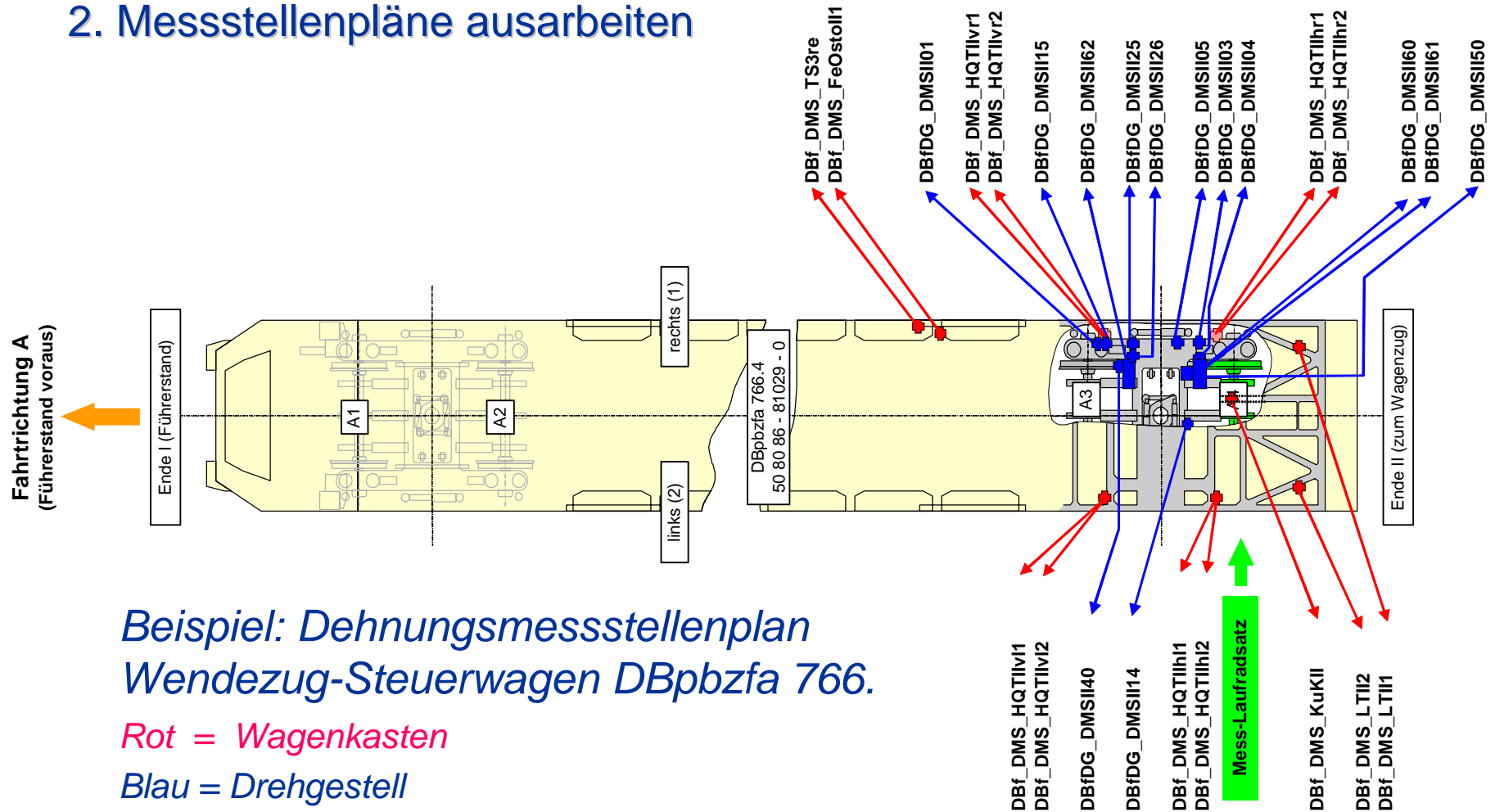
## 2. Messstellenkonzept ausarbeiten

*Beispiel:  
Anordnung der Kraft-,  
Dehnungs-,  
Beschleunigungs-  
und Weg-  
Messstellen an einem  
Wendezug-  
Steuerwagen der  
Bauart DBpbzfa 766*



# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

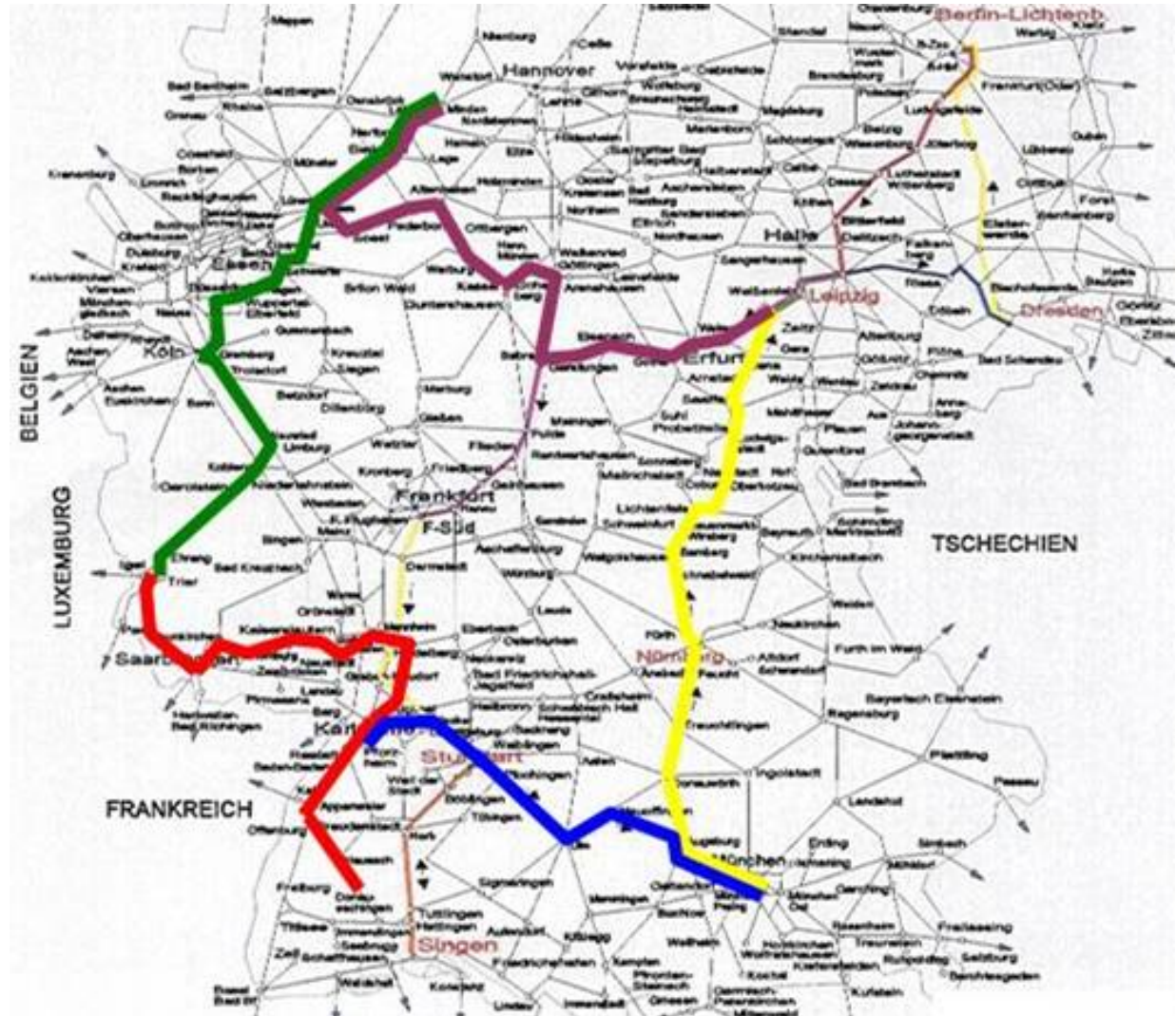
## 2. Messstellenpläne ausarbeiten



# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

## 3. Messfahrten (Betriebsmessungen) nach Einsatzspiegel durchführen

*Übersicht über die RE-  
Messfahrten auf dem  
Netz der DB AG*





# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

## 3. Messfahrten (Betriebsmessungen) nach Einsatzspiegel durchführen

*Auszug aus dem Messprotokoll  
der RE 160 - Messfahrt.*

*BF = Bahnhofsgleise*

*AN = Streckengleise Altnetz*

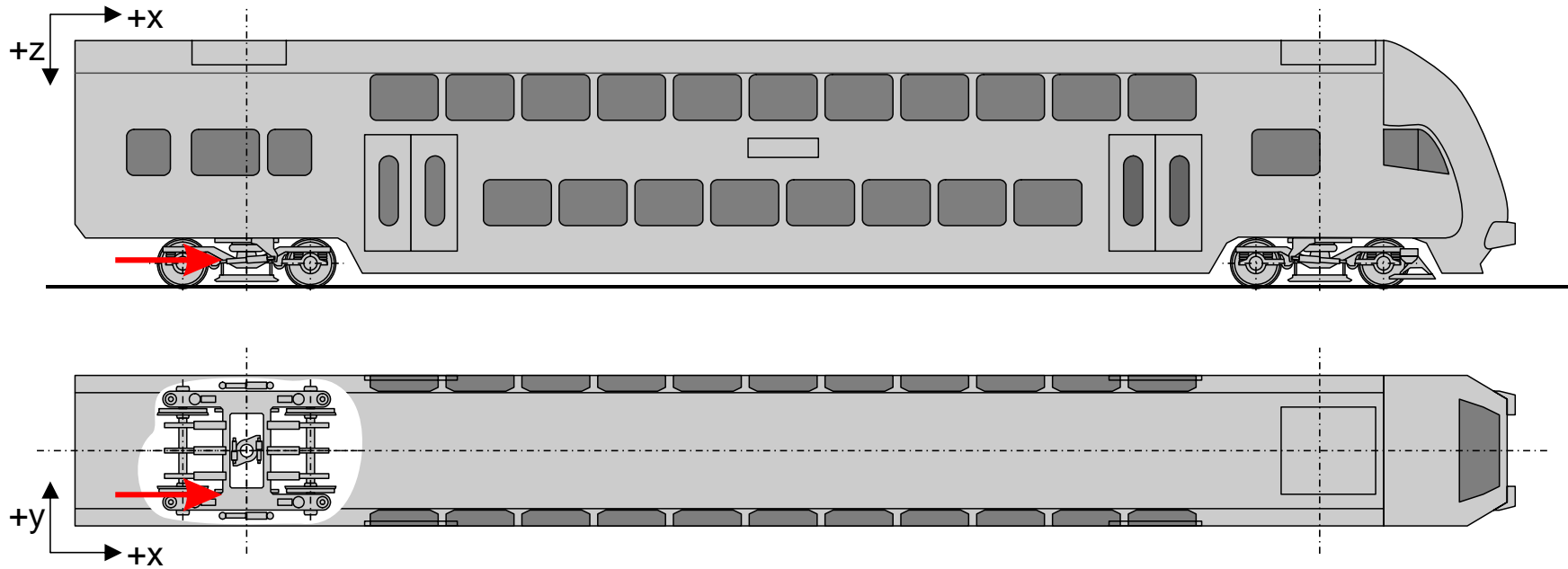
*AK = Streckengleise AN, kurvenreich*

*SF = Schnellfahrstrecke*

| Datum    | Fahrt-Richt. | Uhrzeit  | Strecken-Abschnitt | Strecken-kenart | Strecken-km | Bemerkung<br>(Bahnhof / Wetter / apl. Halt etc.) |
|----------|--------------|----------|--------------------|-----------------|-------------|--|
| 10.05.05 | A            | 14:54:07 | Schwarzwaldbahn    | AK              | 57,5 - 56,7 | Großer Triberger Kehrtunnel                      |
| 10.05.05 | A            | 14:55:25 | Schwarzwaldbahn    | AK              | 56,0        | Triberg  |
| 10.05.05 | A            | 14:59:07 | Schwarzwaldbahn    | AK              | 52,1        | Üst Niederwasser                                 |
| 10.05.05 | A            |          | Schwarzwaldbahn    | AK              | 51,3 - 50,5 | Eisenberg-Tunnel                                 |
| 10.05.05 | A            |          | Schwarzwaldbahn    | AK              | 48,2 - 47,6 | Niederwasserkehr-Tunnel                          |
| 10.05.05 | A            | 15:03:54 | Schwarzwaldbahn    | AK              | 46,6        | Üst Schloßberg                                   |
| 10.05.05 | A            | 15:07:14 | Schwarzwaldbahn    | AK              | 42,6        | Hornberg   |
| 10.05.05 | A            | 15:13:44 | Schwarzwaldbahn    | AK              | 33,2        | Hausach  |
| 10.05.05 | A            | 15:14:18 | Schwarzwaldbahn    | AK / AN         | 32,7        | Wechsel AK auf AN gem. GeH                       |
| 10.05.05 | A            | 15:17:32 | Schwarzwaldbahn    | AN              | 26,1        | Haslach  |
| 10.05.05 | A            | 15:18:47 | Schwarzwaldbahn    | AN / AK         | 23,5        | Wechsel AN auf AK gem. vmax im GeH               |
| 10.05.05 | A            |          | Schwarzwaldbahn    | AK              | 22,7        | Steinach Awanst                                  |
| 10.05.05 | A            | 15:20:25 | Schwarzwaldbahn    | AK / AN         | 20,6        | Wechsel AK auf AN gem. GeH                       |
| 10.05.05 | A            | 15:21:48 | Schwarzwaldbahn    | AN              | 17,9        | Biberach   |
| 10.05.05 | A            | 15:21:59 | Schwarzwaldbahn    | AN / AK         | 17,6        | Wechsel AN auf AK gem. vmax im GeH               |
| 10.05.05 | A            | 15:22:08 | Schwarzwaldbahn    | AK / AN         | 17,3        | Wechsel AK auf AN gem. GeH                       |
| 10.05.05 | A            | 15:25:30 | Schwarzwaldbahn    | AN / AK         | 10,8        | Wechsel AN auf AK gem. vmax im GeH               |
| 10.05.05 | A            |          |                    |                 | 9,5         | Gengenbach, Wechsel AK auf AN gem. vmax im GeH   |
| 10.05.05 | A            | 15:26:29 | Schwarzwaldbahn    | AK / AN         |             |  |
| 10.05.05 | A            | 15:28:47 | Schwarzwaldbahn    | AN              | 5,0         |  |
| 10.05.05 | A            | 15:31:27 | Schwarzwaldbahn    | AN              | 0,6         |  |
| 10.05.05 | A            |          |                    | BF              | 145,5/0,0   | Offenburg, Strecken- und km- Wechsel             |
| 10.05.05 | A            | 15:33:18 |                    | AN              | 144         | in Gegenrichtung Esig Offenburg                  |
| 10.05.05 | A            |          |                    | AN              | 139,3       | Esig Appenweiler                                 |
| 10.05.05 | A            | 15:37:03 |                    | AN/SF           | 138,9       |  |
| 10.05.05 | A            |          |                    | SF              | 137,9       | Appenweiler                                      |
| 10.05.05 | A            | 15:40:51 |                    | SF              | 130,0       |  |
| 10.05.05 | A            |          |                    | SF              | 128,4       | Üst Önsbach                                      |
| 10.05.05 | A            |          |                    | SF              | 127,0/127,7 | Kilometrierungssprung                            |
| 10.05.05 | A            |          |                    | SF              | 124,1       | Achern   |
| 10.05.05 | A            |          |                    | SF              | 119,2       | Ottersweier                                      |
| 10.05.05 | A            |          |                    | SF              | 116,9       | Bühl Hp  |
| 10.05.05 | A            | 15:47:22 |                    | SF              | 112,5       | Steinbach  |
| 10.05.05 | A            | 15:47:29 |                    | SF              |             | Schnellbremsung                                  |
| 10.05.05 | A            | 15:51:43 |                    | SF              |             | Halt km107,2                                     |
| 10.05.05 | A            | 15:52:06 |                    |                 |             | Stopp (Datenerfassung)                           |
| 10.05.05 | A            | 15:52:15 |                    |                 |             | Start (Datenerfassung)                           |
| 10.05.05 | A            | 15:55:19 |                    | SF              | 105,3       | Baden-Baden                                      |
| 10.05.05 | A            | 15:56:35 |                    | SF              |             | Halt   |
| 10.05.05 | A            | 15:56:47 |                    | SF              |             | Weiter   |
| 10.05.05 | A            | 15:57:25 |                    | SF              | 103,609     | DafuR Haueneberstein                             |

# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

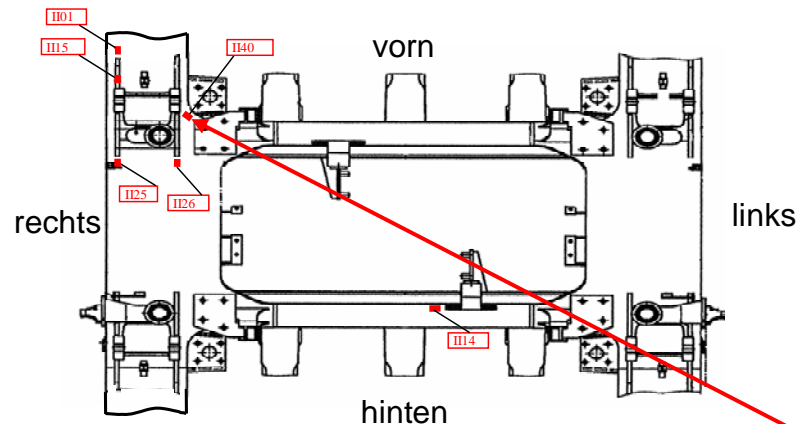
## 4. Lastkollektive für die Fahrzeugkomponenten ermitteln



*Beispiel einer Dehnungsmessstelle am rechten Drehgestellangträger-Untergurt, vorn innen, an der Stützbockanbindung im Drehgestell II. Messstelle DBfDG\_DMSII40.*

# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

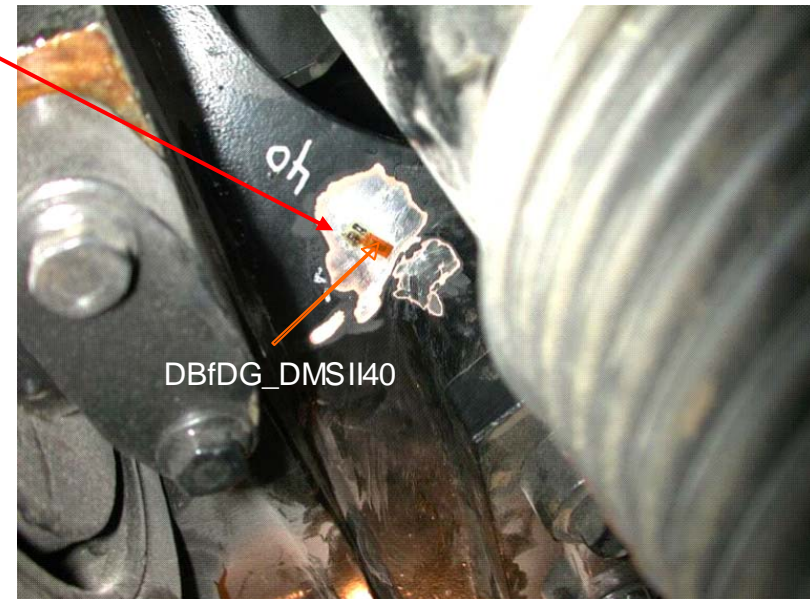
## 4. Lastkollektive für die Fahrzeugkomponenten ermitteln



- Messstelle untergurtseitig  
In der Messstellenliste mit  
Kennzeichen „DBfDG\_DMS-

Unterseite des  
hinteren  
Drehgestells  
Bauart Görlitz VIII

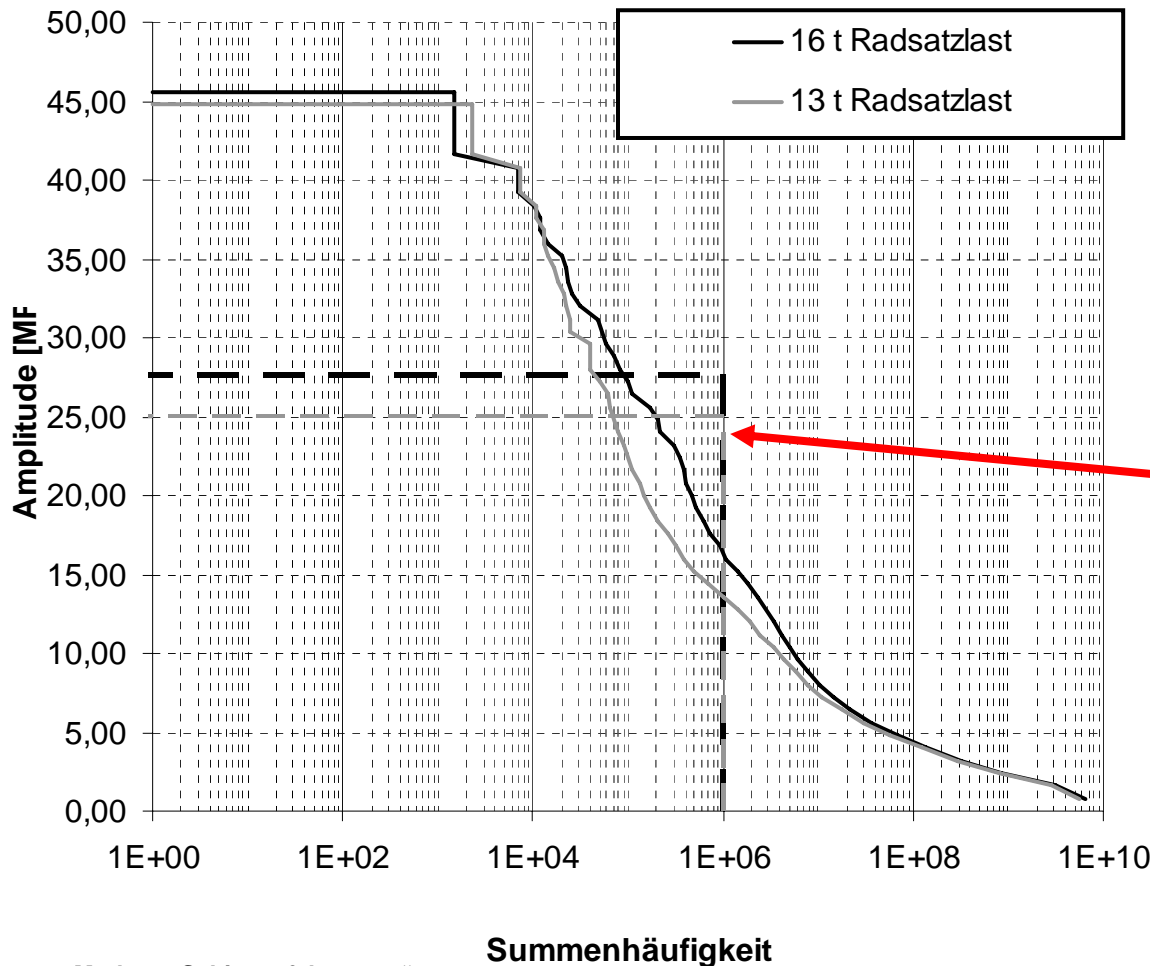
*Dehnungsmessstelle  
DBfDG\_DMSII40.  
DMS-Viertelbrücke,  
Messrichtung des Sensors: xy.*





# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

## 4. Lastkollektive für die Fahrzeugkomponenten ermitteln



*Dehnungsmessstelle  
DBfDG\_DMSII40.  
Lastkollektive für  
13 t und 16 t RSL.*

*Schädigungsäquivalente  
Amplitude:*

*Minor Konsequent,  
( $K = 5$ ;  $D_M = 0,3$ ;  $N_D = 1E+06$ )*

*Bereichspaarzählung für  
7,5 Mio. km (30 Jahre)*

# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

## 4. Lastkollektive für die Fahrzeugkomponenten ermitteln

|   |             |           |           |
|---|-------------|-----------|-----------|
| <i>Beschreibung der Überlagerung:</i>                                   |             |           |           |
| <b>Gesamtkollektiv</b> für 30 Jahre, Überlagerung nach Einsatzspiegel   |             |           |           |
| Hochgerechneter Gesamtfahrweg   | 7,50E+06 km |           |           |
| Gefahrene Strecke 13 t Radsatzlast                                      | 2,73E+03 km |           |           |
| Gefahrene Strecke 16 t Radsatzlast                                      | 2,58E+03 km |           |           |
|   |             |           |           |
|   |             |           |           |
| <i>Kennwerte der Bereichspaarzählung:</i>                               |             |           |           |
| Klassenanzahl   | 100         |           |           |
| Klassierungsbereich   | +/- 80 MPa  |           |           |
| Kollektivhöchstwert 13 t bzw. 16 t Radsatzlast                          | 44,8 MPa    | 45,6 MPa  |           |
| Kollektivumfang 13 t bzw. 16 t Radsatzlast                              | 5,66E+09    | 6,44E+09  |           |
| Völligkeitsmaß (k = 5) 13 t bzw. 16 t Radsatzlast                       | 0,086       | 0,094     |           |
| Völligkeitsmaß (k = 3) 13 t bzw. 16 t Radsatzlast                       | 0,045       | 0,046     |           |
| Äquivalente Amplitude 13 t bzw. 16 t Radsatzlast<br>(Miner Konsequent,  | k = 5       | 25,07 MPa | 27,73 MPa |
|   | k = 3       | 14,97 MPa | 17,97 MPa |
| Wöhlerlinienexponent k = 5 bzw. k = 3                                   |             |           |           |
| ertragbare Minersumme D <sub>M</sub> = 0,3 bzw. D <sub>M</sub> = 0,5    |             |           |           |
| Eckschwingspielzahl N <sub>D</sub> = 1E+06 bzw. N <sub>D</sub> = 5E+06) |             |           |           |

## Dehnungsmessstelle DBfDG\_DMSII40. Beschreibung der Lastkollektive.





# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

## 4. Lastkollektive für die Fahrzeugkomponenten auswerten

| Bewertungsgrundlage                                       | IIW       |
|---|-----------|
| <b>Radsatzlast 13 t</b>                                   |           |
| Vorgabewert   | 31,50 MPa |
| Auslastungsgrad 1 ( $k = 3$ ; $D_M = 0,5$ ; $N_D = 5E6$ ) | 47,52 %   |
| Auslastungsgrad 2 ( $k = 5$ ; $D_M = 0,3$ ; $N_D = 1e6$ ) | 79,59 %   |
| <b>Radsatzlast 16 t</b>                                   |           |
| Vorgabewert   | 31,50 MPa |
| Auslastungsgrad 1 ( $k = 3$ ; $D_M = 0,5$ ; $N_D = 5E6$ ) | 57,05 %   |
| Auslastungsgrad 2 ( $k = 5$ ; $D_M = 0,3$ ; $N_D = 1e6$ ) | 88,03 %   |

← ← ←  
Auslastungsgrade \*)

### Bemerkungen

Kerbdetail: 513, FAT63 (hier Amplitude); kein Mittelspannungseinfluss

*Dehnungsmessstelle DBfDG\_DMSII40. Einschätzung der Bauteilbelastung anhand der IIW- Empfehlungen (International Institute of Welding, Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components).*

**\*) Auslastungsgrade nach IIW- Empfehlungen sind ca. 87% höher als nach DS 952.**

**➡ Handlungsbedarf für Regelwerk bezüglich Bahnanwendungen!**

# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

## 4. Lastkollektive für die Fahrzeugkomponenten bewerten

- Die Bewertung von Belastungskollektiven anhand unterschiedlicher Regelwerke kann zu verschiedenen Auslastungen führen.
- Die Bewertung von Kollektiven ist in der DS 952 nicht verankert.
- Ein Dauerfestigkeitsnachweis nur mit dem Kollektivhöchstwert ist nicht sinnvoll.
- Ein Festigkeitsnachweis darf nur mit einem Regelwerk erfolgen, eine Vermischung mehrere Regelwerke ist nicht zulässig.
- **Handlungsbedarf:** Zur Vereinheitlichung der Ergebnisse sollten nach Überprüfung der Auswirkungen (Beispielrechnungen) im Rahmen der Normung allgemeine Regeln für die Bewertung von Betriebsmessungen erarbeitet werden.

# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

## 4. Maßnahmen für Beschaffung, Re-Design und Instandhaltung ableiten

- 0 Allgemein: Geringe Auslastungsgrade weisen auf Betriebsfestigkeitsreserven hin – Optimierungspotenzial!  
Ein Auslastungsgrad  $> 100\%$  erfordert die Ermittlung einer komponentenspezifischen Lebensdauer.
- 1 Verfügbare Belastungsprofile für begründete technische Anforderungen an Fahrzeuge / Fahrzeugkomponenten in Lastenheften für neu zu beschaffende Fahrzeuge nutzen.
- 2 Verfügbare Belastungsprofile vergleichbarer Fahrzeuge / Komponenten als Optimierungshilfe bei Re-Design-Vorhaben anwenden.
- 3 Auslastungsgrade der Fahrzeugkomponenten zur Wartungs- und Instandhaltungsoptimierung heranziehen, z.B. Spreizung der Revisionsabstände bzw. Reduktion des Instandhaltungsaufwands.



# Betriebsgerecht ausgelegte Schienenfahrzeuge durch systematische Ermittlung der Belastungsrealität

*Ein Beitrag des DB-Projekts „Fahrzeugsicherheit“  
Teilprojekt „Betriebsfestigkeit von Schienenfahrzeugen“  
zur Auslegung moderner Schienenfahrzeuge*



**Dr.-Ing. Wilfried Wolter**  
**Deutsche Bahn AG**  
**Technik/Beschaffung, DB Systemtechnik**  
**Fahrzeugbereitstellungs- und Instandhaltungs-Infrastruktur**  
**Bahntechnikerring 74**  
**D-14774 Brandenburg- Kirchmöser**