



INSPEKTIONSINTERVALLE FÜR RADSATZWELLEN

ERMITTLUNG VON INSPEKTIONSINTERVALLEN FÜR DIE
INSTANDHALTUNG VON RADSATZWELLEN – EIN ZIELKONFLIKT
ZWISCHEN AUFWAND FÜR DIE ERMITTLUNG DER
INSTANDHALTUNGSINTERVALLE UND
INSTANDHALTUNGSKOSTEN?

18. Internationale
Schienenfahrzeugtagung
Dresden
23.09.2021

T. Josewsky, T. Benker

ERMITTLUNG VON INSPEKTIONSINTERVALLEN FÜR DIE INSTANDHALTUNG VON RADSATZWELLEN – EIN ZIELKONFLIKT ZWISCHEN AUFWAND FÜR DIE ERMITTLUNG DER INSTANDHALTUNGSINTERVALLE UND INSTANDHALTUNGSKOSTEN?

1. EINFÜHRUNG
2. AUFGABENSTELLUNG/HERAUSFORDERUNG
3. LÖSUNGSMETHODE
 - SYSTEMANALYSE
 - DATENERHEBUNG / MESSUNG
 - DATENANALYSE
 - SYNTHESE
 - VERIFIKATION
 - BEWERTUNG
4. ERGEBNISSE
5. UMSETZUNG BEIM BETREIBER
6. OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN BEIM BETREIBER
7. ZUSAMMENFASSUNG
8. AUSBLICK
9. RESÜMEE

- Das Eisenbahn-Bundesamt stellte fest, dass der Festigkeitsnachweis für Radsatzwellen einer Fahrzeugfamilie nicht belastbar vorliegt.
- Im Rahmen eines Aufsichtsverfahrens wurden entsprechende Auskünfte eingeholt.
- Es wurde verfügt, dass:
 - Grenzlaufleistung (Laufleistung innerhalb der nicht mit Ermüdungsanrissen zu rechnen ist – Betriebsfestigkeit)
 - Restlaufleistung (Laufleistung, ausgehend von einem sicher erkennbaren technischen Anriss, bis es zu einer instabilen Rissausbreitung kommen kann)belastbar zu ermitteln sind.
- Im Folgenden betrachten wir das Thema **Restlaufleistung** und das daraus abgeleitete Inspektionsintervall.

INSPEKTIONSINTERVALLE FÜR RADSATZWELLEN

AUFGABENSTELLUNG/HERAUSFORDERUNG

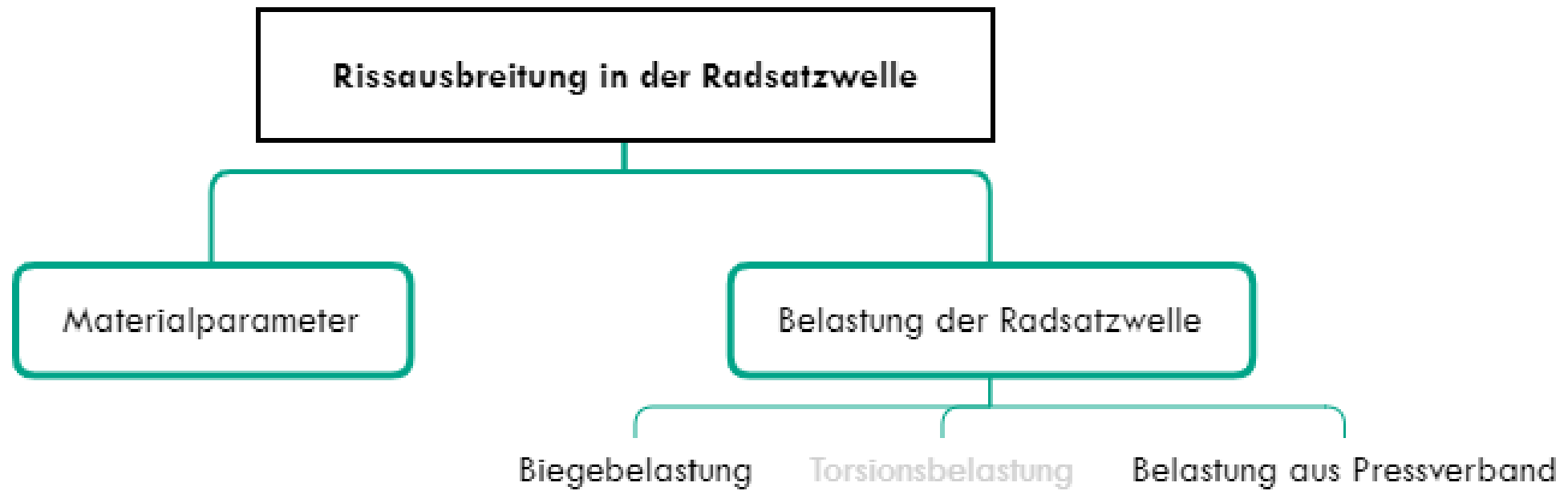
Ziel:

- kostengünstige,
- beanspruchungsgerechte und
- konsistente Ableitung von Inspektionsintervallen für alle Fahrzeuge und Betriebsbedingungen einer Baureihe

Randbedingungen:

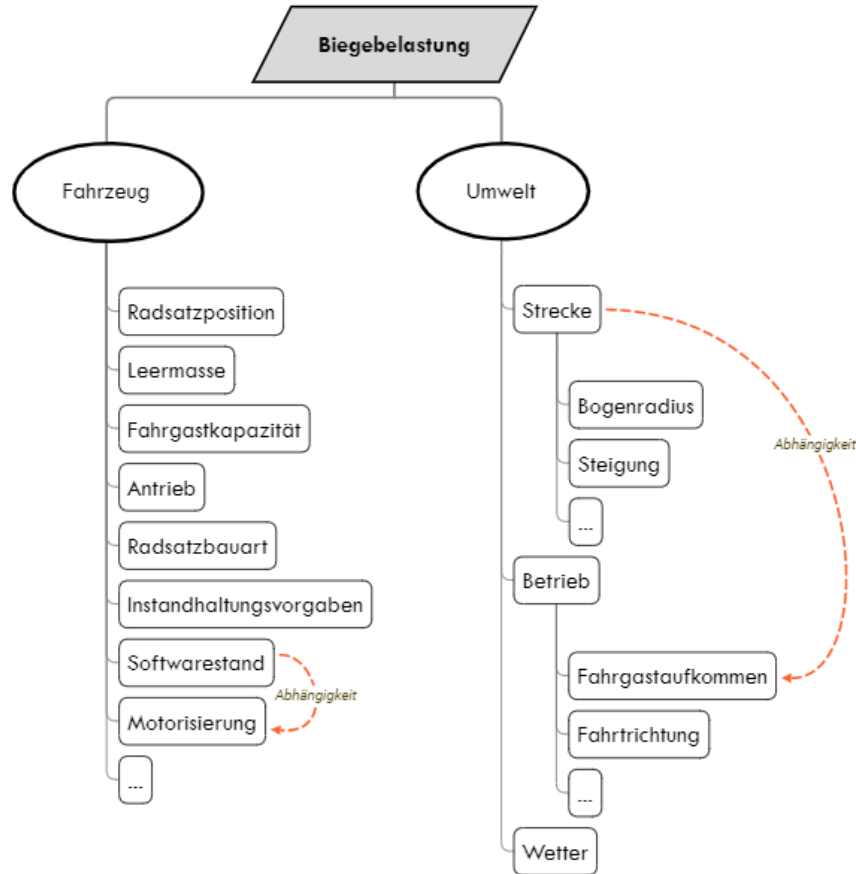
- Fahrzeugbaureihe bei mehreren unterschiedlichen Betreibern, teils in unterschiedlichen Teilnetzen im Einsatz
- Eine Vielzahl von unterschiedlichen Bauzuständen des Fahrzeugs
- Unterschiedliche Radsatzkonstruktionen / Wellenkonstruktionen
- Unterschiedliche Softwarestände und Systemarchitekturen der Antriebs- und Bremssteuerung

- Systemanalyse - Erhebungen und Analysen zur gegebenen Problem-/Aufgabenstellung



INSPEKTIONSINTERVALLE FÜR RADSATZWELLEN

LÖSUNGSMETHODE - SYSTEMANALYSE



1

Festlegung der relevanten, baureihenbezogenen Merkmalklassen (z.B. Bogenradien, Steigung, Radsatzposition, Zuladung, ...)

2

Festlegung des Prüflings, so dass möglichst alle Bauzustände abgedeckt werden können (z.B. Fahrzeugmassen, Radsatzbauarten, Software)

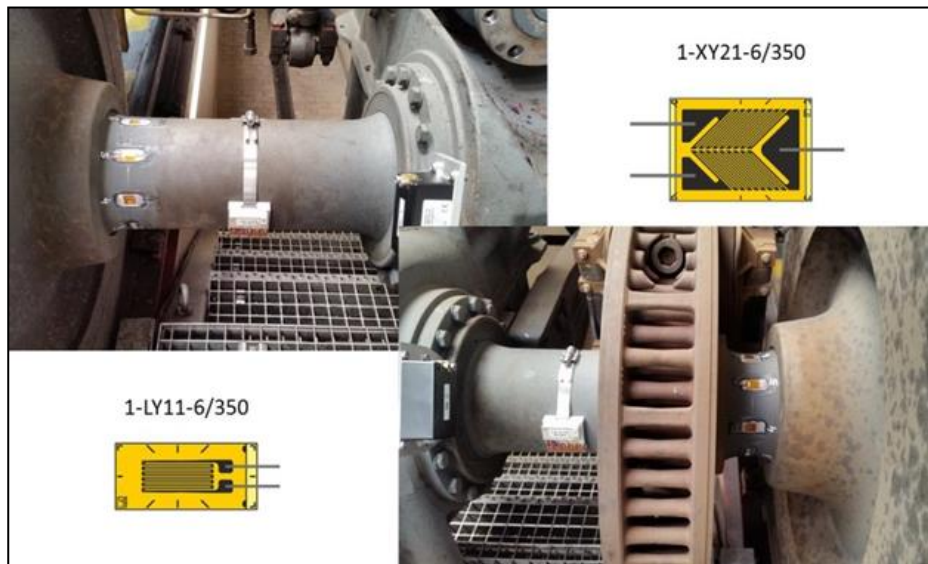
3

Festlegung der Prüfstrecken, so dass alle Einsatzszenarien abgedeckt werden (z.B. Bogenradien, Steigungen)

INSPEKTIONSINTERVALLE FÜR RADSATZWELLEN

LÖSUNGSMETHODE – DATENERHEBUNG/MESSUNG

- Festlegung Prüfling und Prüfbedingungen auf Basis der Systemanalyse der Fahrzeuge **aller** zum Zeitpunkt involvierten Unternehmen
- Ausrüstung des Fahrzeuges mit Messtechnik
- Messung und Aufzeichnung von Belastungsgrößen und der relevanten Umfeldgrößen

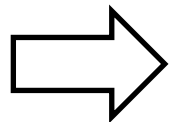


INSPEKTIONSINTERVALLE FÜR RADSATZWELLEN

LÖSUNGSMETHODE - DATENANALYSE

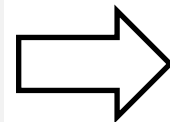
1

Aufbereiten der
Messdaten
(filtern,
entstören,
umrechnen, ...)



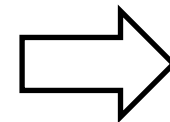
2

Zuordnung der
Messdaten zu
den definierten
Merkmalklassen
(Radien,
Schienenzustand,
RS-Position,...)



3

Auswertung der
Lastzyklen in der
jeweiligen
Merkmalklasse
(Rainflow-
Zählung)



4

Teillastkollektive
für die
unterschied-
lichen
Merkmalklassen

INSPEKTIONSINTERVALLE FÜR RADSATZWELLEN

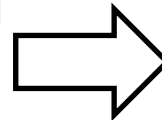
LÖSUNGSMETHODE - SYNTHESE

1

Bestimmung der anteiligen Fahrzeugkilometer je Merkmalklasse für jeden unterschiedlichen Einsatzfall

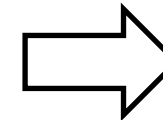
2

Umrechnung der Teillastkollektive auf die Parameter des betreffenden Fahrzeuges (z.B. Radsatzlast)



3

Zusammenstellung der Bewertungskollektive auf Basis der im Rahmen der Systemanalyse ermittelten Parameter



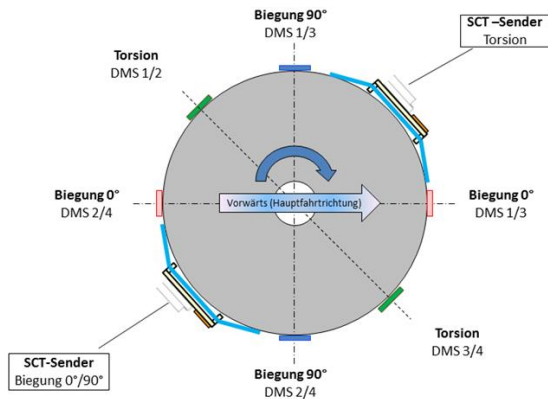
4

Rissfortschrittsberechnung auf Basis der Bewertungskollektive für unterschiedliche Netze, Betriebe, Bauzustände, Radsatzkonstruktionen,...

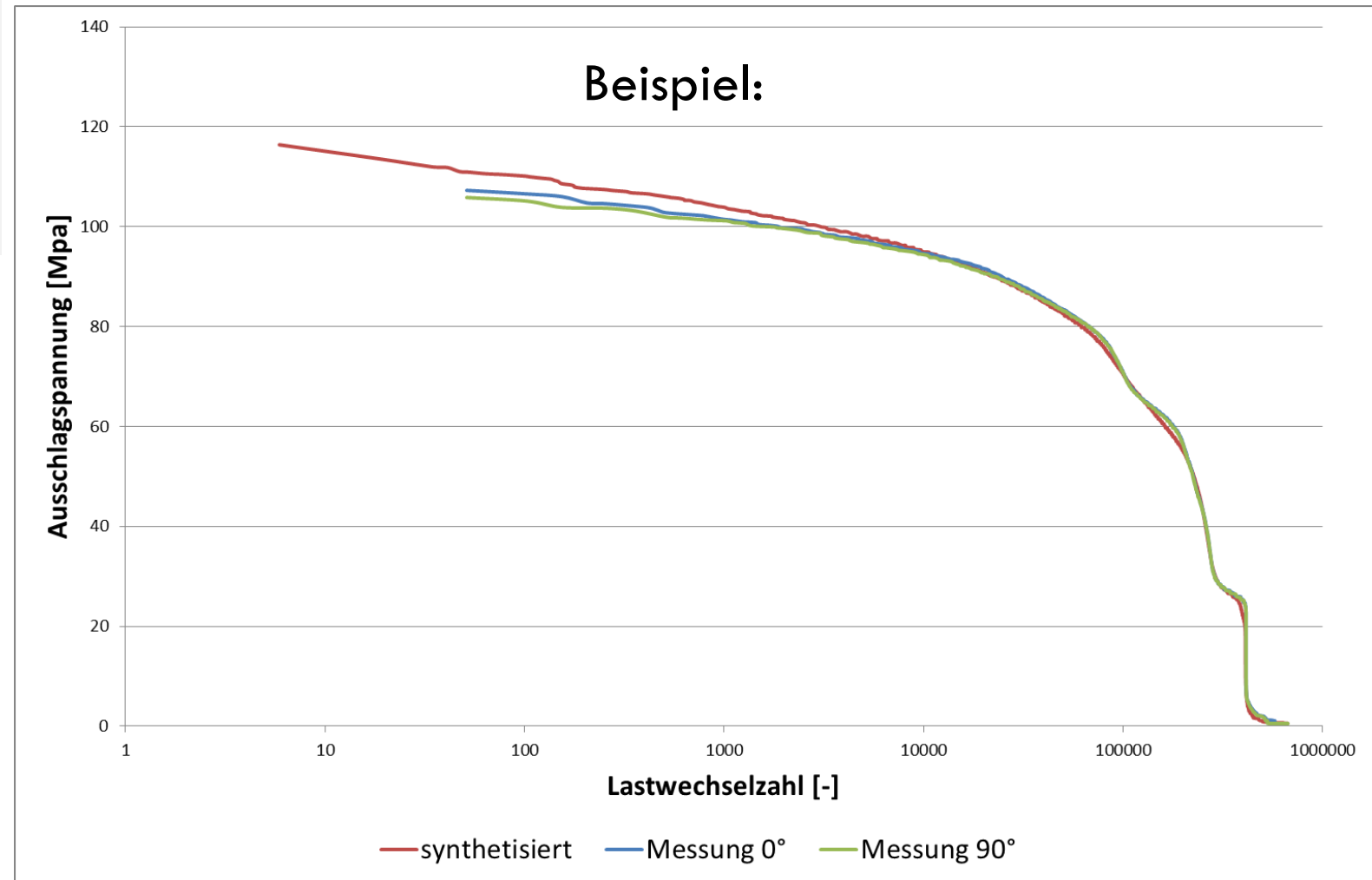
INSPEKTIONSINTERVALLE FÜR RADSATZWELLEN

LÖSUNGSMETHODE - VERIFIKATION

Vergleich 0° und 90° zur Validierung der Güte der Messung

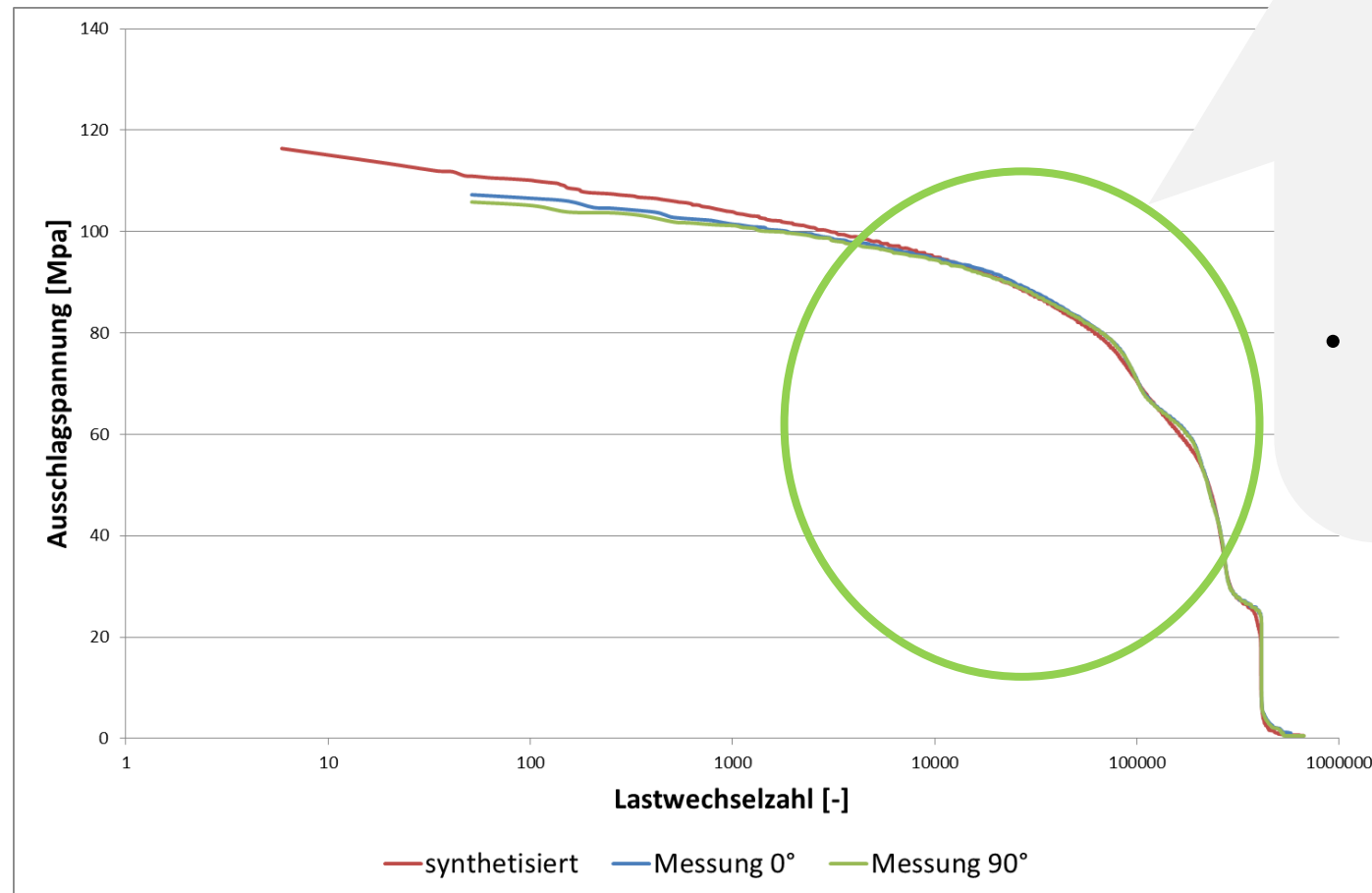


Vergleich auf Basis aller Messdaten: synthetisierte Kollektive mit den Messkollektiven



INSPEKTIONSINTERVALLE FÜR RADSATZWELLEN

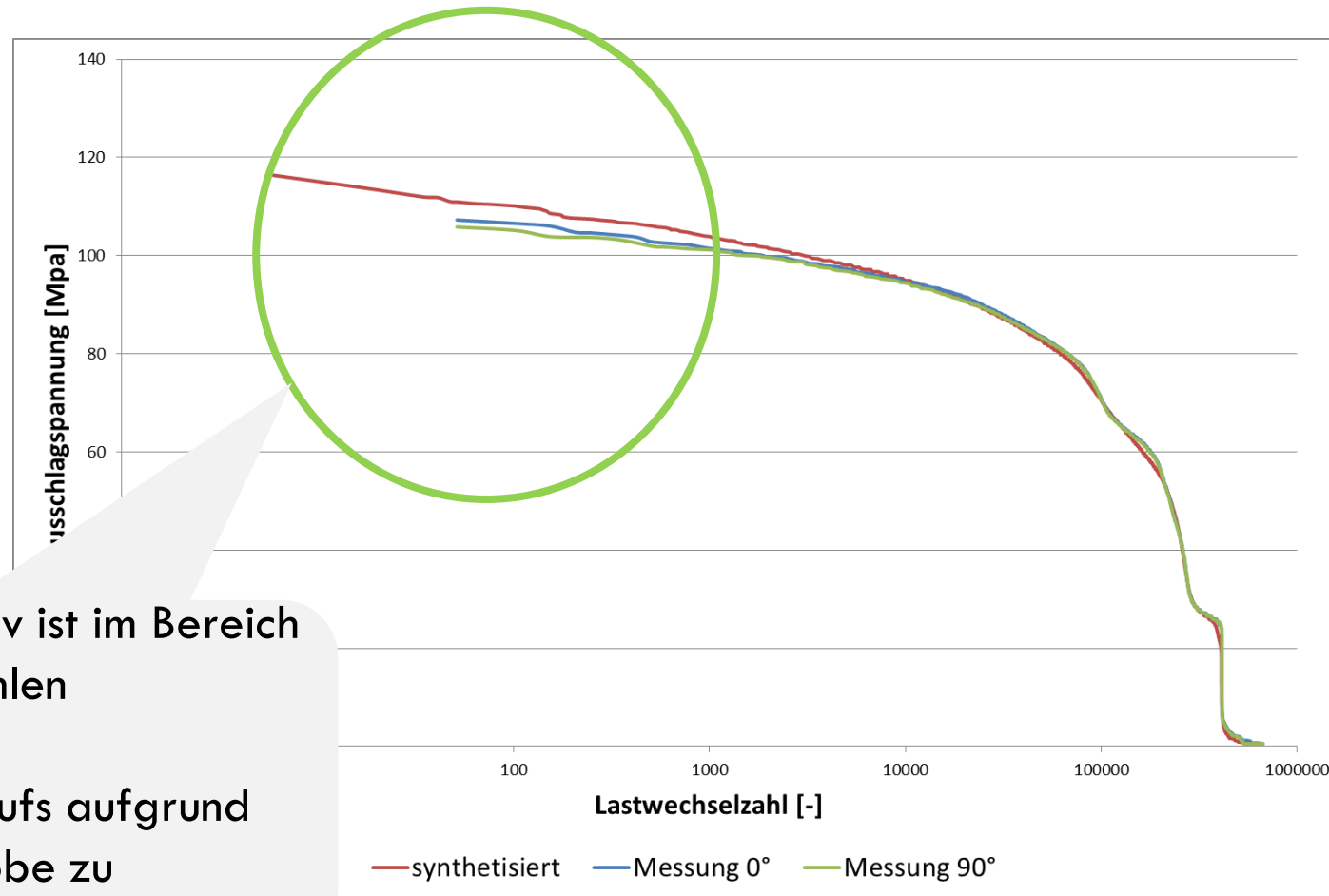
LÖSUNGSMETHODE - VERIFIKATION



- Sehr gute Übereinstimmung des synthetisierten Kollektives mit den Messkollektiven im relevanten Bereich.
- Gute Messqualität, da Messung 0° und 90° fast identisch.

INSPEKTIONSINTERVALLE FÜR RADSATZWELLEN

LÖSUNGSMETHODE - VERIFIKATION



- Synthetisiertes Kollektiv ist im Bereich kleiner Lastwechselzahlen konservativ.
- Unterschied des Verlaufs aufgrund der größeren Stichprobe zu erwarten.

INSPEKTIONSINTERVALLE FÜR RADSATZWELLEN

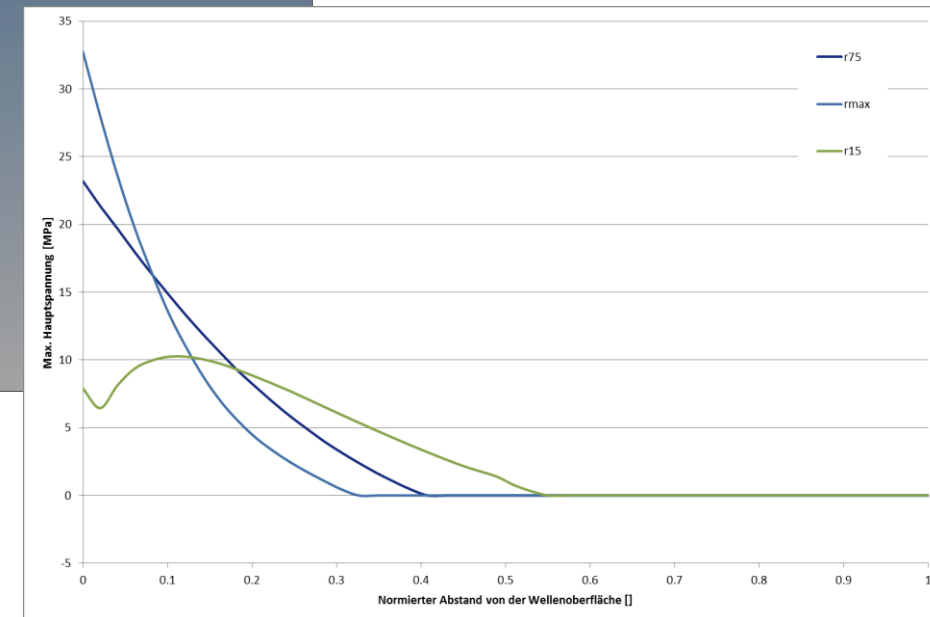
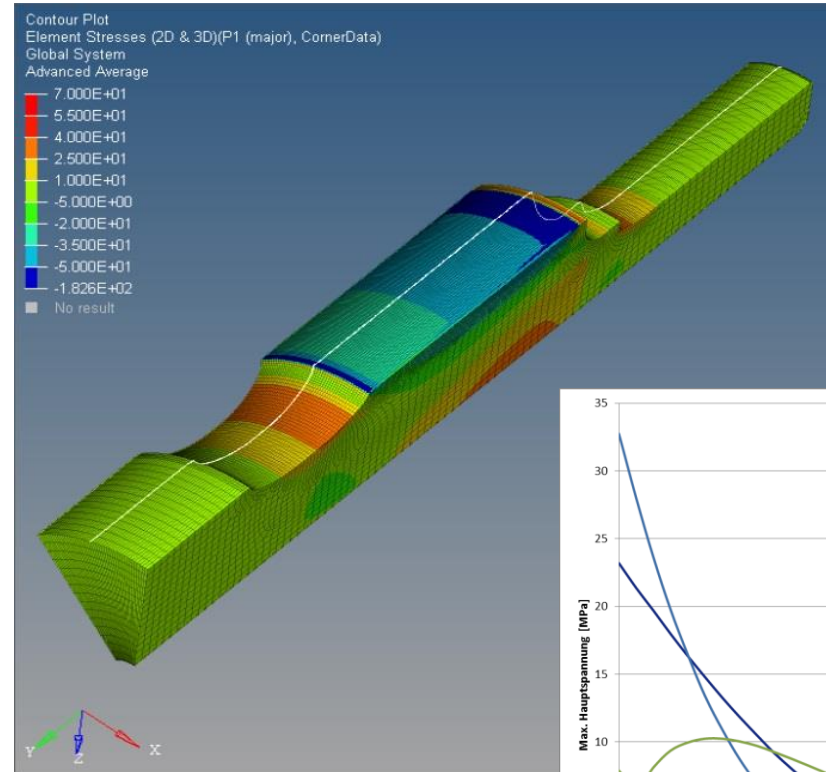
BEWERTUNG - ZUGSPANNUNGEN AUS DER RAD-WELLE-VERBINDUNG

1

Modellierung
Rad und Welle
zur Ermittlung
der Spannungs-
verteilung in der
Welle aus
Presssitz

2

Relevante Stelle:
höchste
überlagerte
Zugspannungen
aus der Rad-
Welle-
Verbindung im
Korbbogen der
Welle



INSPEKTIONSINTERVALLE FÜR RADSATZWELLEN

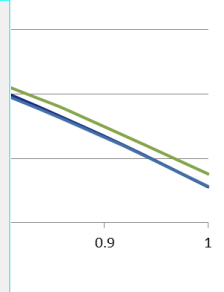
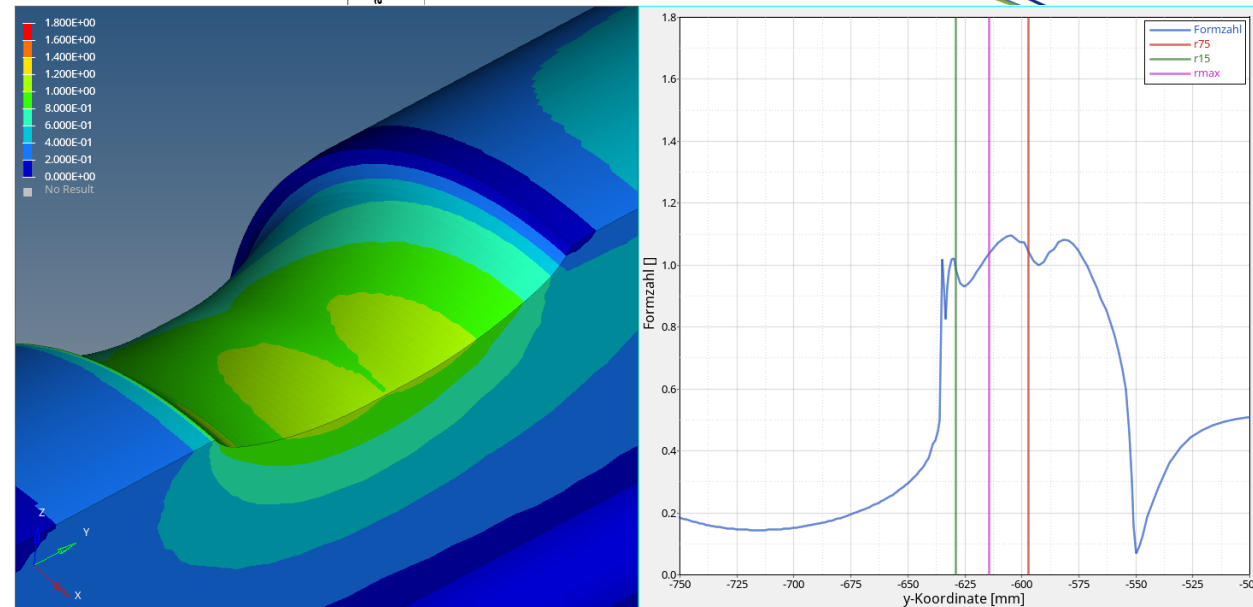
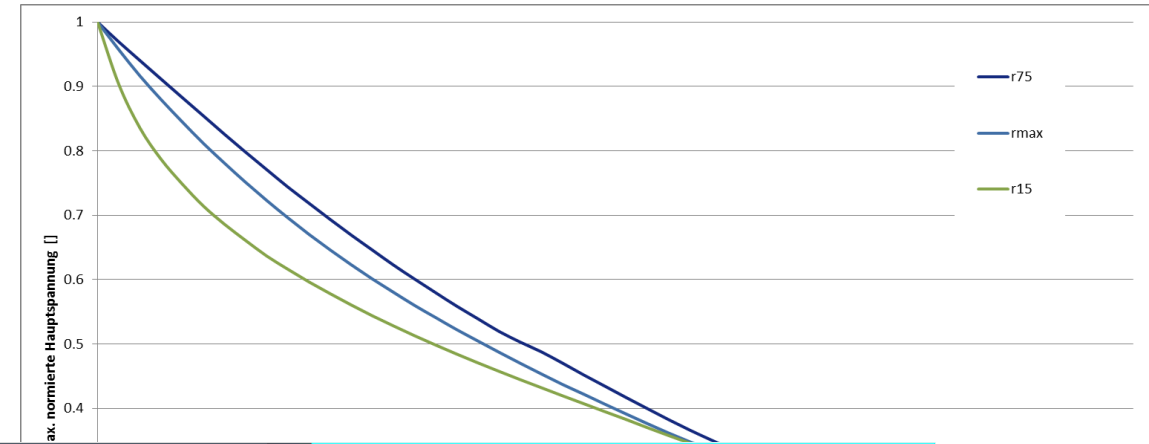
BEWERTUNG – FORMZAHLEN/BIEGESpannungsVERTEILUNG

1

Modellierung
Rad und Welle
zur Ermittlung
der Spannungs-
verteilung in der
Welle aus
Biegebelastung

2

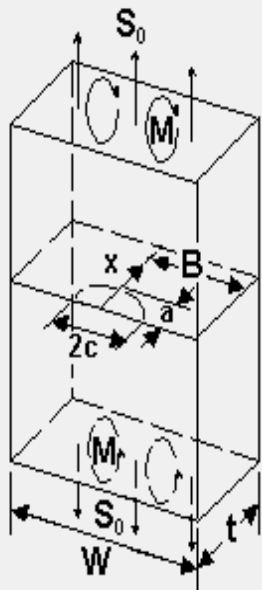
Relevante
Stellen:
Radien-
übergänge und
Spannungs-
konzentrationen



INSPEKTIONSINTERVALLE FÜR RADSATZWELLEN

BEWERTUNG – BRUCHMECHANISCHE BERECHNUNG

SC30



$$S_1 = 6M / Wt^2$$

$$\frac{|W/2 - B|}{W/2} \leq 0.9$$

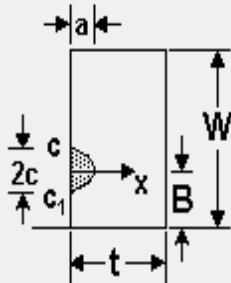
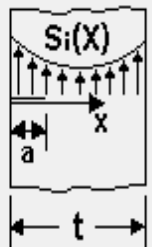
$$\frac{c}{\text{Min}(B, |W - B|)} < 1$$

$$0 \leq a/t \leq 0.95$$

$$0 \leq a/c \leq 8$$

$$X = x/t, 0 \leq X \leq 1$$

$$S_i(X), i = 0, 1, 2, 3$$

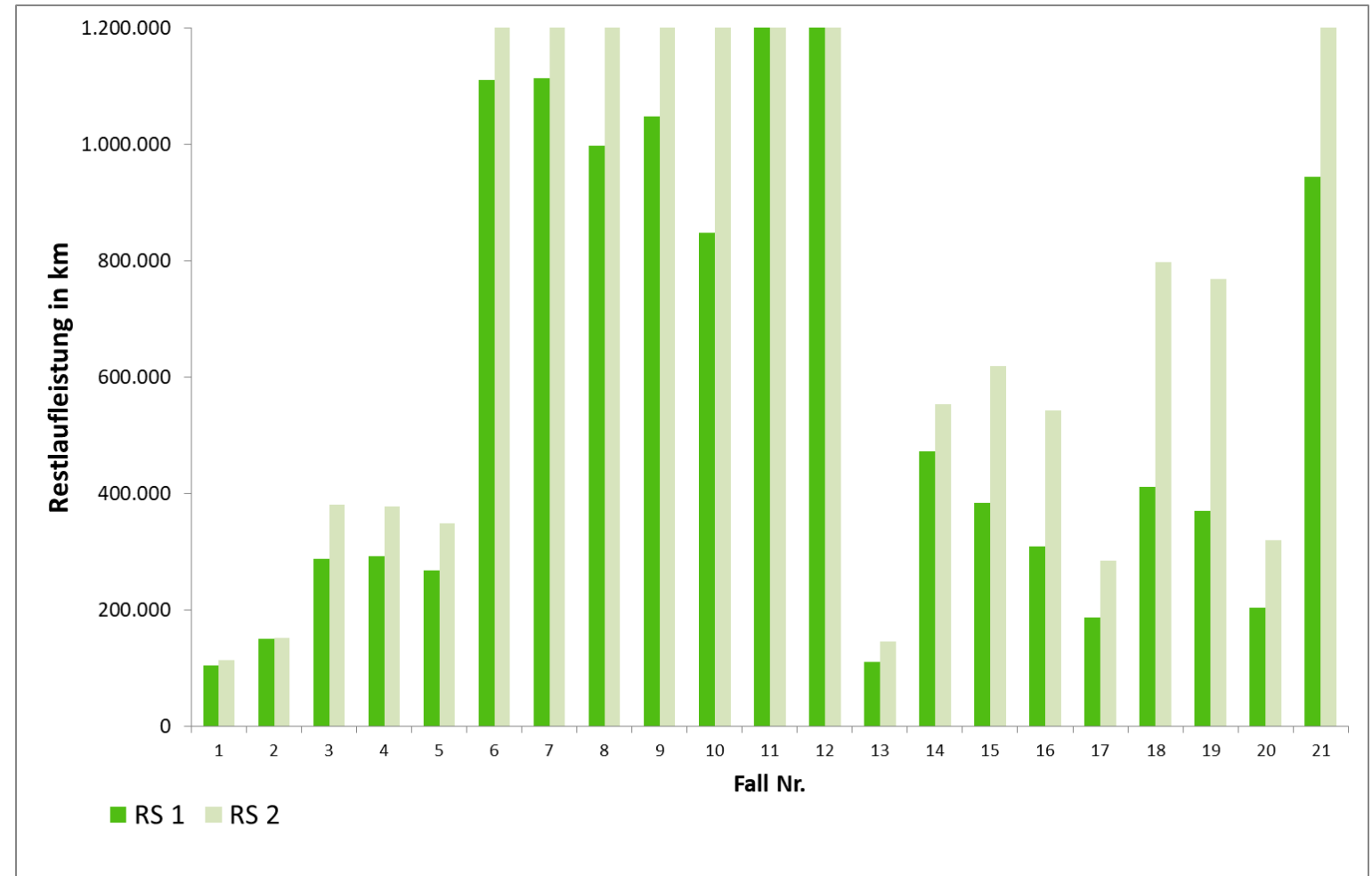


- Ausgangsrisstiefe: 2 mm
- a/c -Verhältnis 0,8
- Konservative Materialparameter
- Überlagerung Zugspannungen aus der Rad-Welle-Verbindung mit der Biegespannung
- Berechnung des Risswachstums und Bestimmung der Restlebensdauer
- Differenzierung Bauzustand, Wellenkonstruktion und Betriebsbedingungen

INSPEKTIONSINTERVALLE FÜR RADSATZWELLEN

ERGEBNISSE - ÜBERSICHT

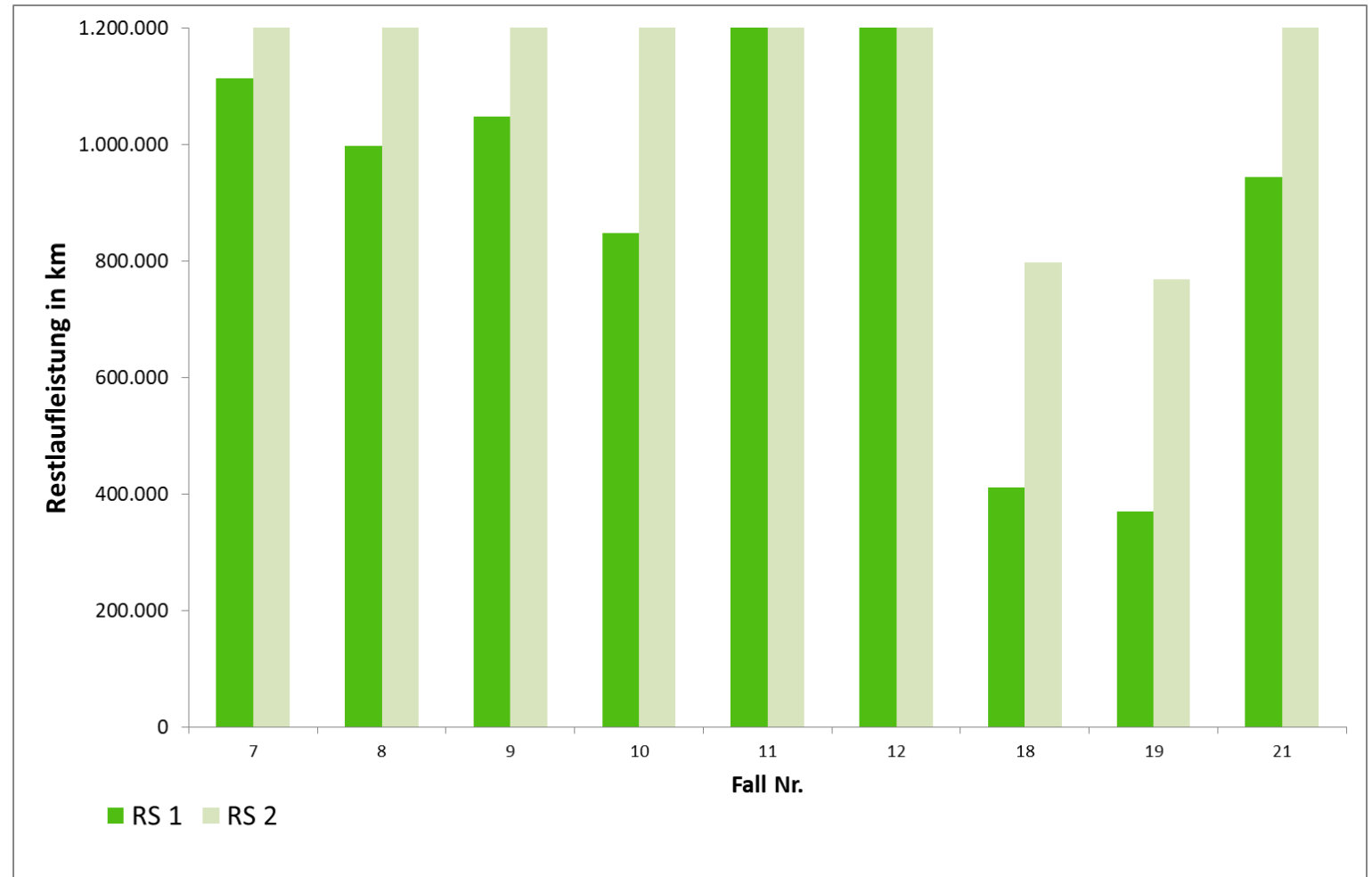
- Ergebnisse liegen vor für:
 - 21 Einsatzfälle
 - 4 Wellenkonstruktionen (je 2 Ausführungen in Abhängigkeit der Einbauposition)
- Extremer Einfluss der Randbedingungen, wie:
 - Betriebsbedingungen,
 - Einbauposition,
 - Fahrzeugmasse,
 - Wellenkonstruktion
 - ...
- Unterschied bis Faktor 30 bei gleicher Einbauposition! (im Diagramm abgeschnitten)



INSPEKTIONSINTERVALLE FÜR RADSATZWELLEN

ERGEBNISSE - ÜBERSICHT

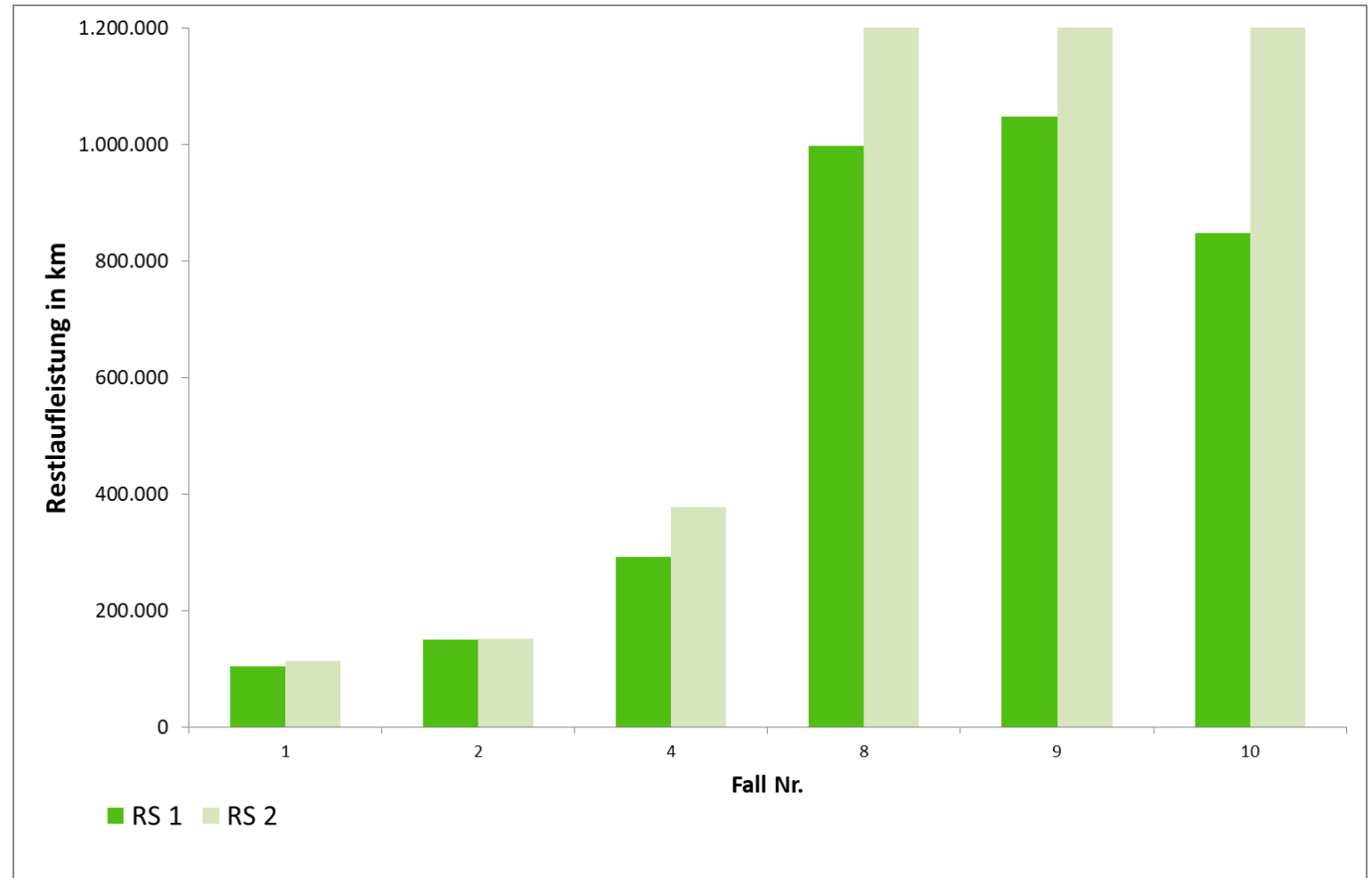
- Vergleich der Ergebnisse für eine Wellenbauform in einer Einbausituation
- Extremer Einfluss der Randbedingungen, alleine durch Fahrzeugparameter (ohne Radsatzposition) und **Betriebsbedingungen** ergibt sich ein Faktor 10 (im Diagramm abgeschnitten)



INSPEKTIONSINTERVALLE FÜR RADSATZWELLEN

ERGEBNISSE - ÜBERSICHT

- Vergleich der Ergebnisse aus Sicht einer ECM.
- Durch den Einsatz unterschiedlicher Wellenkonstruktionen, unterschiedlicher Fahrzeugausstattungen auf unterschiedlichen Infrastrukturen Faktor 18
- Herausforderung für die ECM, aber auch eine Chance!

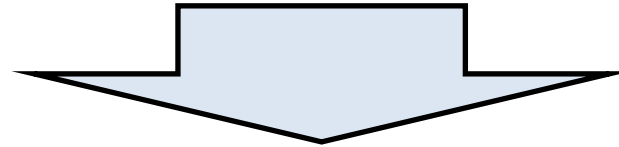


- Was weiß ich als ECM (Betreiber) nach diesen Untersuchungen?
 - Extremer Einfluss der Randbedingungen, wie:
 - Betriebsbedingungen,
 - Einbauposition,
 - Fahrzeugmasse,
 - Wellenkonstruktion
 - Unterschied bis Faktor 30!
 - unterschiedliche Fahrzeugausstattungen auf unterschiedlichen Infrastrukturen eines Betreibers alleine Faktor 18!

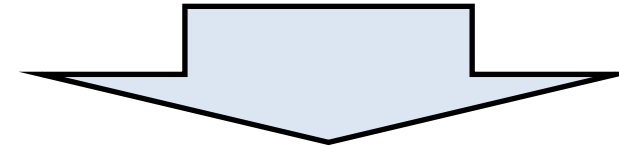
- Wie **kann/könnte** ich mir die Erkenntnisse als ECM zu Nutzen machen?
 - Möglichkeiten sind:
 - Differenzierung der Vorgaben für Instandhaltungsintervalle (ZfP) nach:
 - Wellenbauform
 - Radsatzposition
 - Fahrzeugeinsatz
 - Anpassung der Fahrzeugeinsatzplanung, so dass ungünstige Wellenbauformen auf weniger belastenden Strecken eingesetzt werden.
- ⇒ Harmonisierung der Vorgaben für die Intervalle

Differenzierung nach beeinflussbaren und nicht beeinflussbaren Einflussgrößen:

Faktoren mit Einfluss auf das Rissfortschrittsverhalten



Einflussnahme nur über die Betriebsbedingungen möglich!



Analyse der Betriebsbedingungen mit Differenzierung unter Beachtung der Vorgaben der Verkehrsverträge

INSPEKTIONSINTERVALLE FÜR RADSATZWELLEN

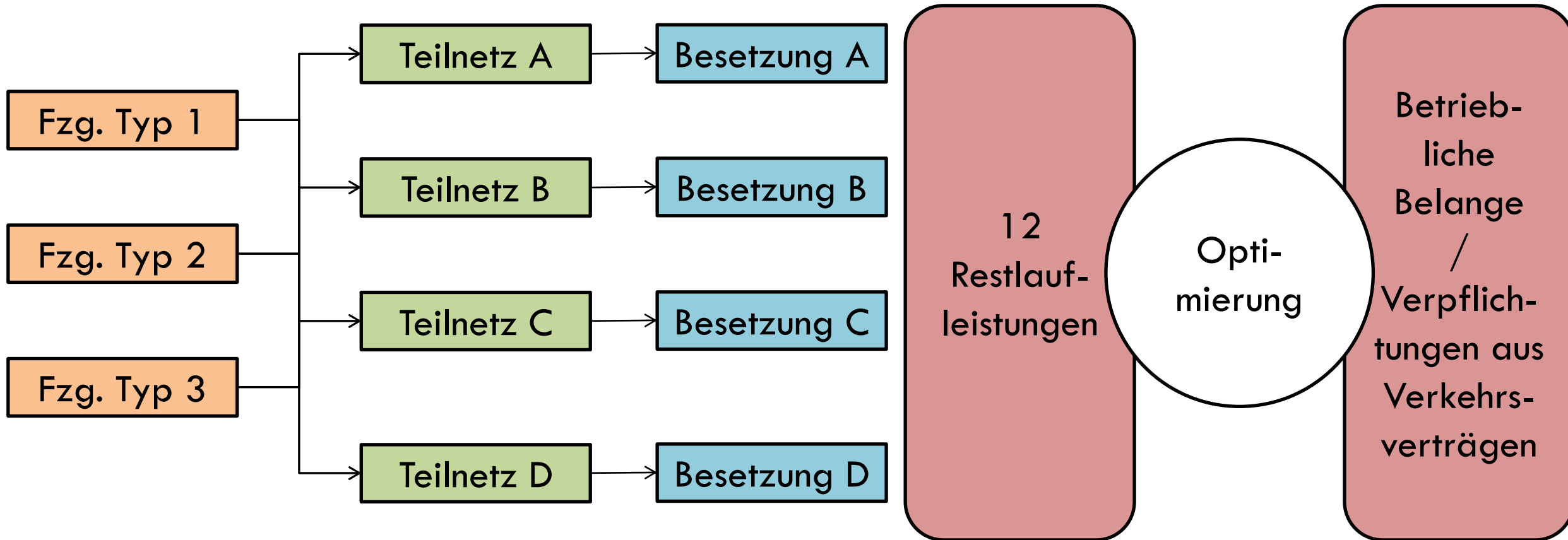
SYSTEMANALYSE – STRECKEN/FAHRGASTAUFKOMMEN

Trasse	A-Netz [%]	B-Netz [%]	C-Netz [%]	D-Netz [%]
0m < Radius < 400m	7	15	14	2
400m <= Radius < 600m	16	16	16	3
600m <= Radius < 1000m	17	16	13	10
1000m <= Radius	14	11	19	23
Gerade	46	42	38	62
Mittlere Besetzung*	x_1	x_2	x_3	x_4

* nicht öffentlich

INSPEKTIONSINTERVALLE FÜR RADSATZWELLEN

OPTIMIERUNG BETRIEB



- Methode zur Bestimmung von Restlaufleistungen/Inspektionsintervallen für eine Fahrzeugfamilie, die bei vielen Betreibern/auf unterschiedlichen Netzen eingesetzt werden, ist vorhanden .

Vorteile:

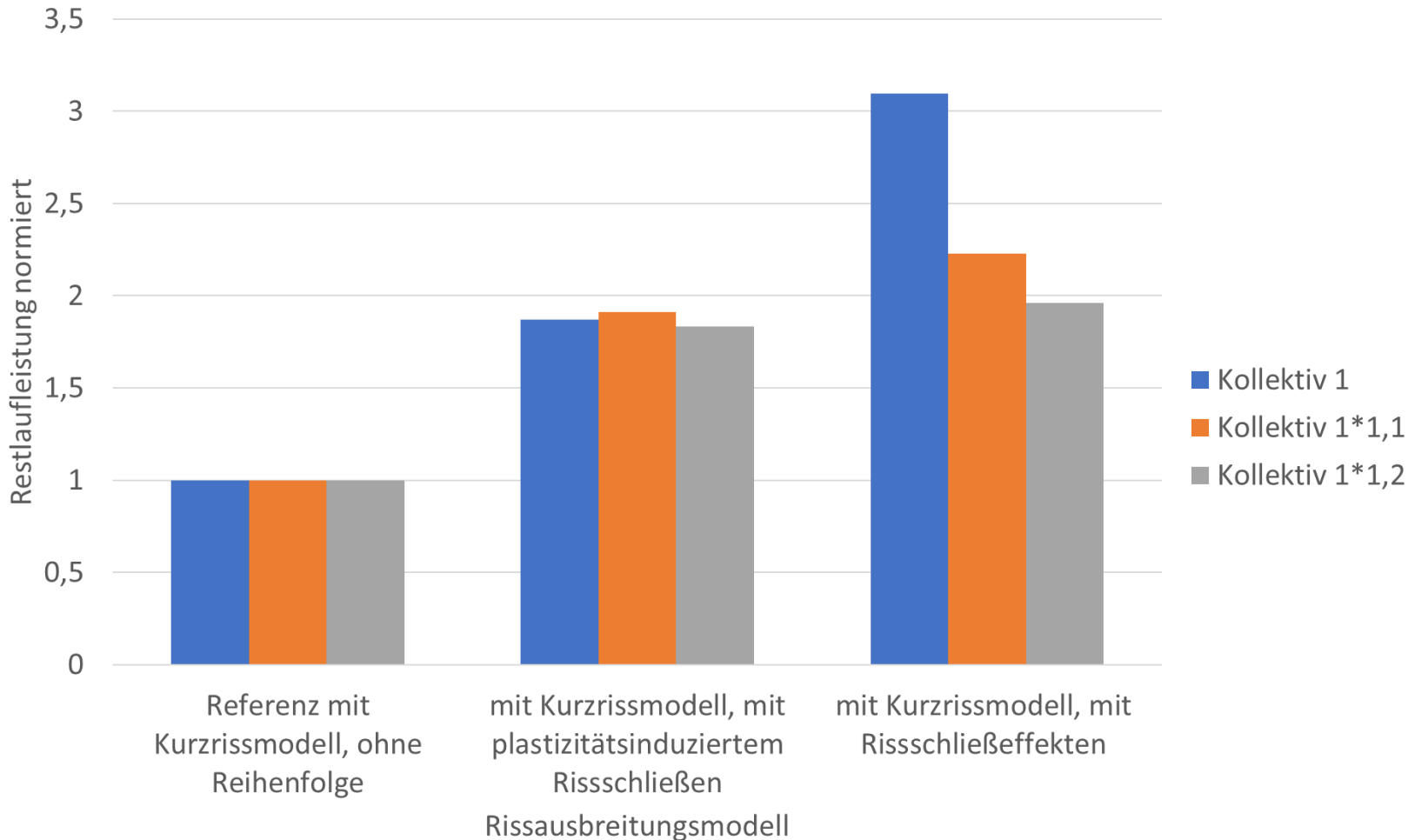
- Vertretbare Kosten bei verbreiteten Fahrzeugflotten
- Auch kleine Fahrzeugflotten eines Betreibers können im Rahmen der Kooperation mehrerer Betreiber behandelt werden
- Festgelegte Intervalle sind beanspruchungsgerecht und damit fachlich akzeptiert!
- **Sichere Entscheidungsgrundlage für Verantwortliche!**

Nachteile:

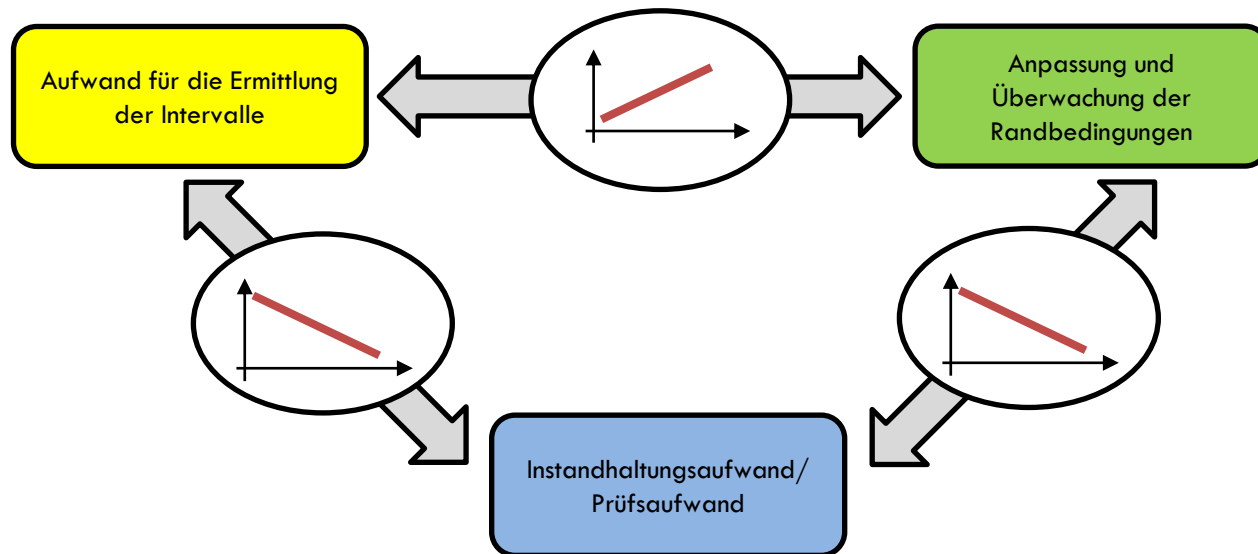
- Aufwand für Einzelfahrzeuge bei denen keine Kooperation mehrerer Betreiber möglich ist relativ hoch.
- Inspektionsintervalle nicht allgemeingültig sondern abhängig vom Einsatz →regelmäßige Überprüfung erforderlich, ob Änderungen der Betriebsbedingungen vorhanden

- Die vorgetragenen Ergebnisse basieren auf Werkstoffkennwerten „ICE3“ und beinhalten weder
 - das negativ wirkende Kurzrisssmodell noch
 - die positiv wirkenden Reihenfolgeeffekte.
- Aktuell wird diskutiert, ob diese Effekte mit berücksichtigt werden dürfen.
- Erste Untersuchungen, die diese Effekte berücksichtigen, zeigen deutliche Einflüsse.
- Leider sind diese Einflüsse aber nicht in allen Fällen gleich groß!

rechnerische Auswirkung der Berücksichtigung von Risschließeffekten



- Selbst bei Kollektiven/Reihenfolgen, die sich nur der Höhe nach unterscheiden, ist der Einfluss der Risschließeffekte stark unterschiedlich!
- Es stellt sich die Frage, ob ein für den Betrieb von Radsatzwellen allgemeingültiger Ansatz gefunden werden kann.



- Die Berücksichtigung von, der Höhe nach nicht allgemeingültigen Effekten, erfordert eine Differenzierung der Instandhaltung/Rissfreiheitsprüfung nach Einsatzbedingungen.
- Daraus resultieren durchaus Chancen zur Optimierung, aber auch Risiken/Aufwand.
- Das vorgestellte Verfahren ist grundsätzlich in der Lage weitere Effekte zu berücksichtigen.
- Dem Betreiber wird empfohlen, Risiken und Chancen sowie Kosten und Nutzen einer Differenzierung abzuwägen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit! Bleiben Sie gesund!

Tilo Josewsky,
Süd-Thüringen-Bahn
Am Rasenrain 16

99086 Erfurt

Tilo.Josewsky@sued-thueringen-bahn.de

www.sued-thueringen-bahn.de

Thomas Benker
LogoMotive GmbH
Am Tullnaupark 4

90402 Nürnberg

Thomas.benker@logomotive.eu

www.logomotive.eu