

Andreas Haigermoser, Siemens AG Österreich

Der Einfluss der Gleislage auf das Fahrverhalten der Fahrzeuge

Yann Bezin, University of Huddersfield; Frederic Coudert, SNCF; Bridget Eickhoff, RSSB; Gerald Grabner, Siemens AG Österreich; Sönke Kraft, SNCF; Dirk Thomas, Bombardier Transportation Schweden; Manfred Zacher, DB Netz AG

EU Projekt DYNOTRAIN



Ziele:

- “Open Points” in TSI’s schliessen
 - Berührgeometrie
 - Gleislage
- Kostenreduktion der fahrtechnischer Prüfung durch Einsatz von Simulation
- Überprüfung von Kriterien der Fahrwegbeanspruchung für Netzzugang

Projekt-Details:

Budget:	5'556
Dauer:	Juni 2009 – September 2013
Projektleitung:	UNIFE
22 Partner	6 Fahrzeughersteller
	6 Infrastruktur/Betreiber
	9 Unis, 1 admin.)

Ziele WP 2: Gleislage

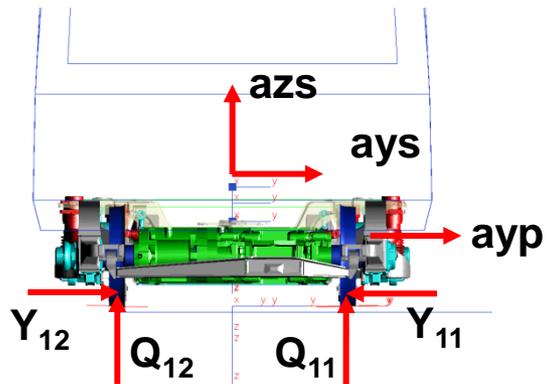
- Beschreibungen der Gleislage finden, die in einer guten Korrelation zu den Fahrzeugreaktionen steht
- Methoden entwickeln, die es erlauben Ergebnisse einer fahrtechnischen Prüfung auf ein Netz mit anderen Gleislagebedingungen umzulegen

Wozu brauchen wir das?

- Sicheres Fahrverhalten ist eine grundlegende Anforderung der EU-Richtlinie 2008/57/EG und der nationalen Eisenbahngesetze
- EN 14363 regelt die Prüfung der fahrtechnischen Eigenschaften und definiert Bedingungen unter denen geprüft wird
- Fahrverhalten hängt von der Gleislage ab
- Gleislage ist der häufigste Grund dafür, dass Zulassungsbehörden eines Mitgliedstaates (oder Netzzugangsverantwortliche) eigene fahrtechnische Prüfungen verlangen.

Bewertung des Fahrverhaltens nach EN 14363

Beurteilungsgrößen



Fahrsicherheit:

- Summe Führungskräfte ΣY
- Verhältnis Y/Q

Fahrwegbeanspruchung:

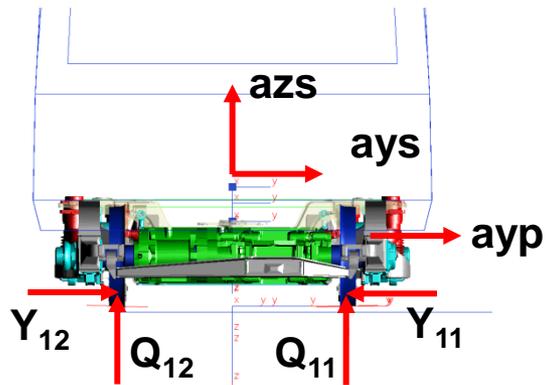
- Maximale Radkraft Q
- Quasistatische Kräfte Y_{qst} , Q_{qst}

Schwingungsverhalten:

- Maximale Beschleunigungen
- rms-Wert Beschleunigungen
- Quasistatische Werte Beschleunigungen im Wagenkasten

Bewertung des Fahrverhaltens nach EN 14363

Beurteilungsgrößen



Fahrsicherheit:

- Summe Führungskräfte ΣY
- Verhältnis Y/Q

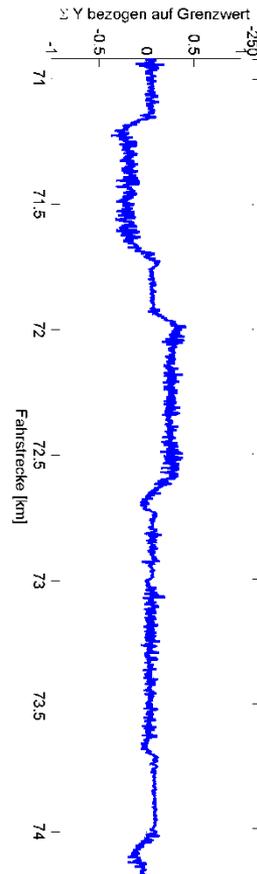
Fahrwegbeanspruchung:

- Maximale Radkraft Q
- Quasistatische Kräfte Y_{qst} , Q_{qst}

Schwingungsverhalten:

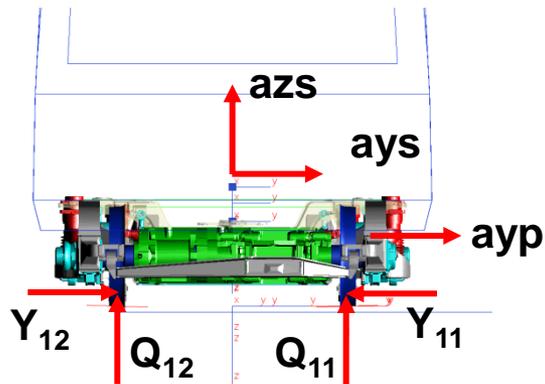
- Maximale Beschleunigungen
- rms-Wert Beschleunigungen
- Quasistatische Werte Beschleunigungen im Wagenkasten

Messung



Bewertung des Fahrverhaltens nach EN 14363

Beurteilungsgrößen



Fahrsicherheit:

- Summe Führungskräfte ΣY
- Verhältnis Y/Q

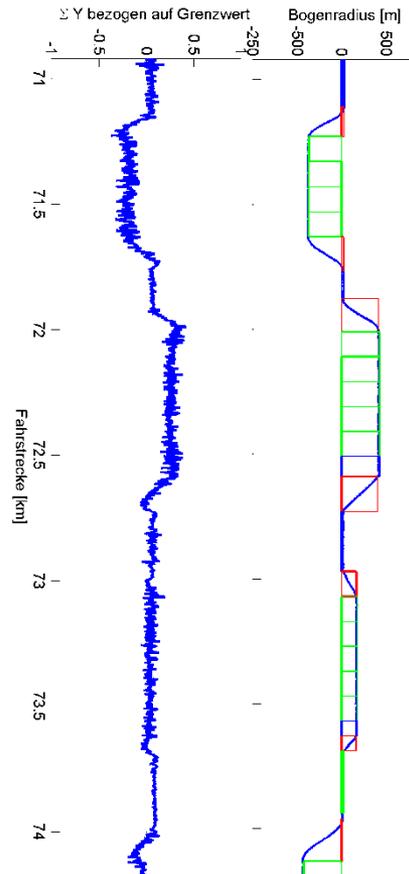
Fahrwegbeanspruchung:

- Maximale Radkraft Q
- Quasistatische Kräfte Y_{qst} , Q_{qst}

Schwingungsverhalten:

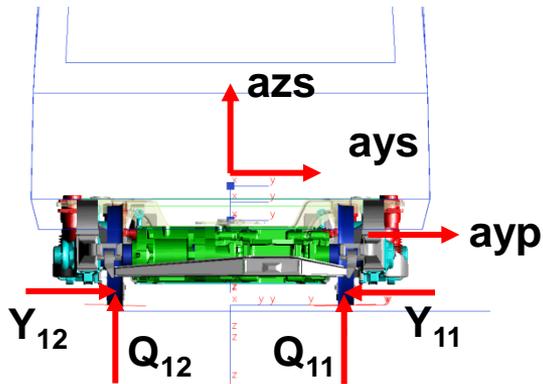
- Maximale Beschleunigungen
- rms-Wert Beschleunigungen
- Quasistatische Werte Beschleunigungen im Wagenkasten

Messung und Auswerteabschnitte



Bewertung des Fahrverhaltens nach EN 14363

Beurteilungsgrößen



Fahrsicherheit:

- Summe Führungskräfte ΣY
- Verhältnis Y/Q

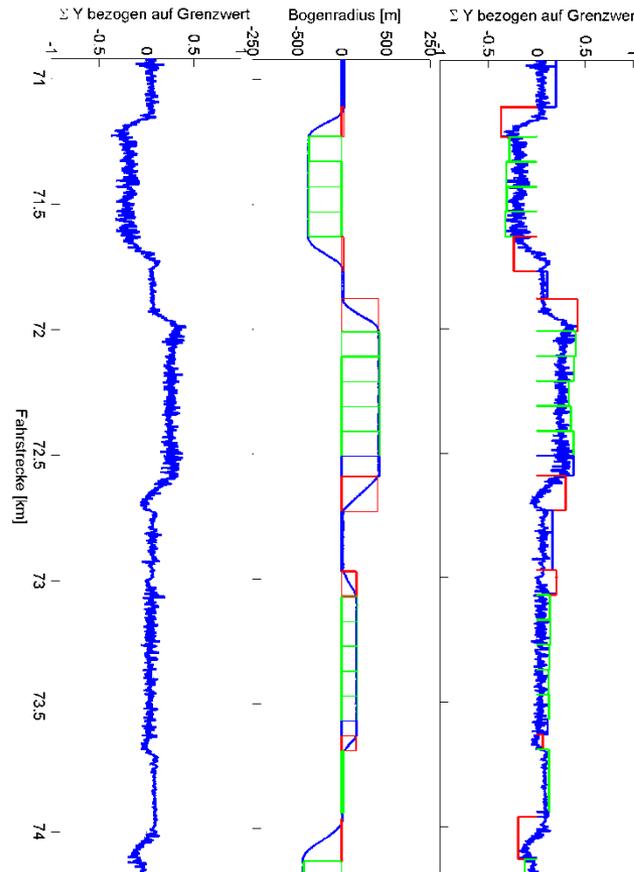
Fahrwegbeanspruchung:

- Maximale Radkraft Q
- Quasistatische Kräfte Y_{qst} , Q_{qst}

Schwingungsverhalten:

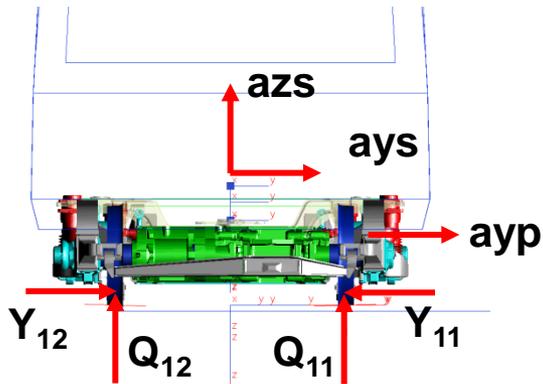
- Maximale Beschleunigungen
- rms-Wert Beschleunigungen
- Quasistatische Werte Beschleunigungen im Wagenkasten

Messung, Auswerteabschnitte, charakteristische Größen



Bewertung des Fahrverhaltens nach EN 14363

Beurteilungsgrößen



Fahrsicherheit:

- Summe Führungskräfte ΣY
- Verhältnis Y/Q

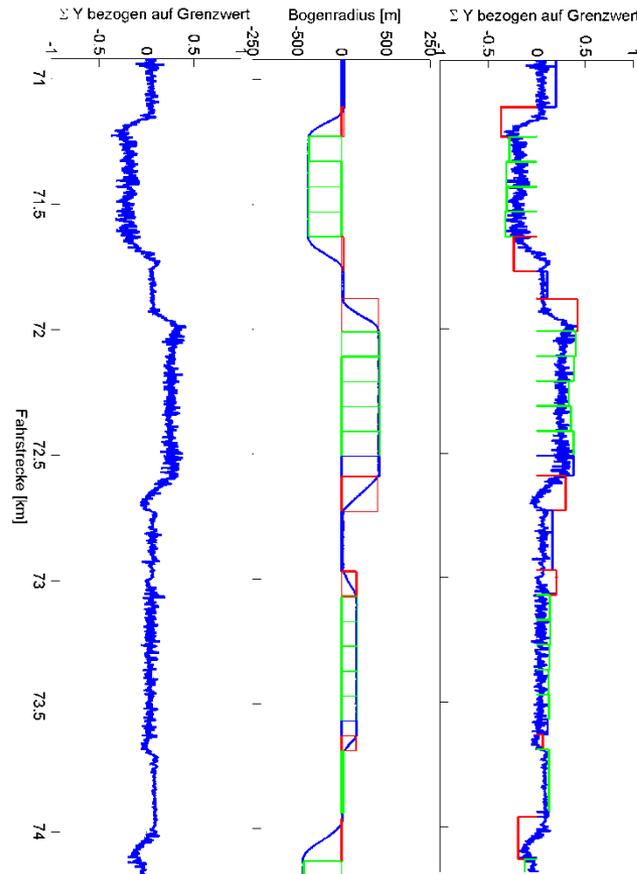
Fahrwegbeanspruchung:

- Maximale Radkraft Q
- Quasistatische Kräfte Y_{qst} , Q_{qst}

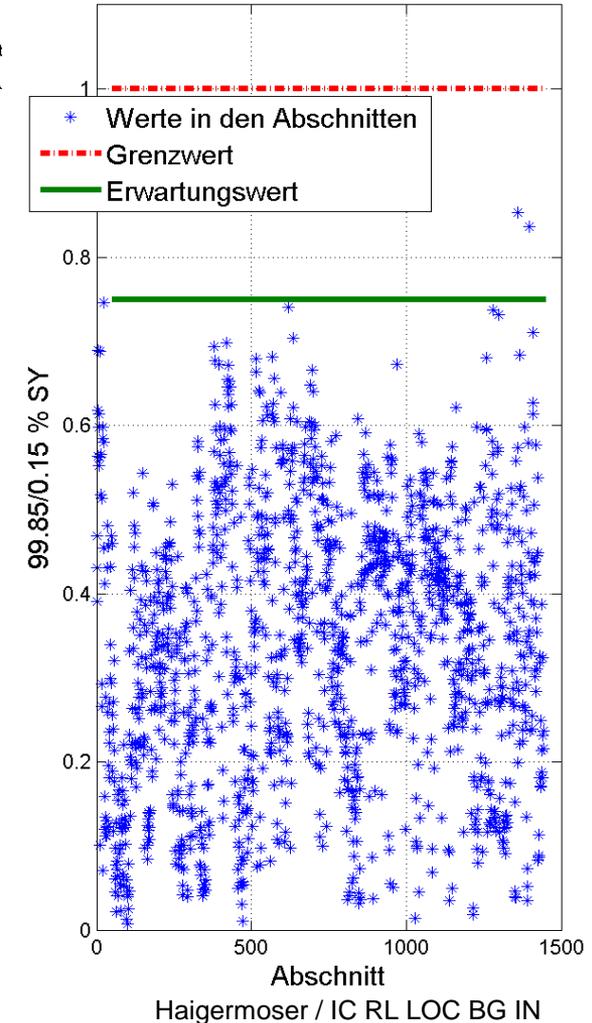
Schwingungsverhalten:

- Maximale Beschleunigungen
- rms-Wert Beschleunigungen
- Quasistatische Werte Beschleunigungen im Wagenkasten

Messung, Auswerteabschnitte, charakteristische Größen

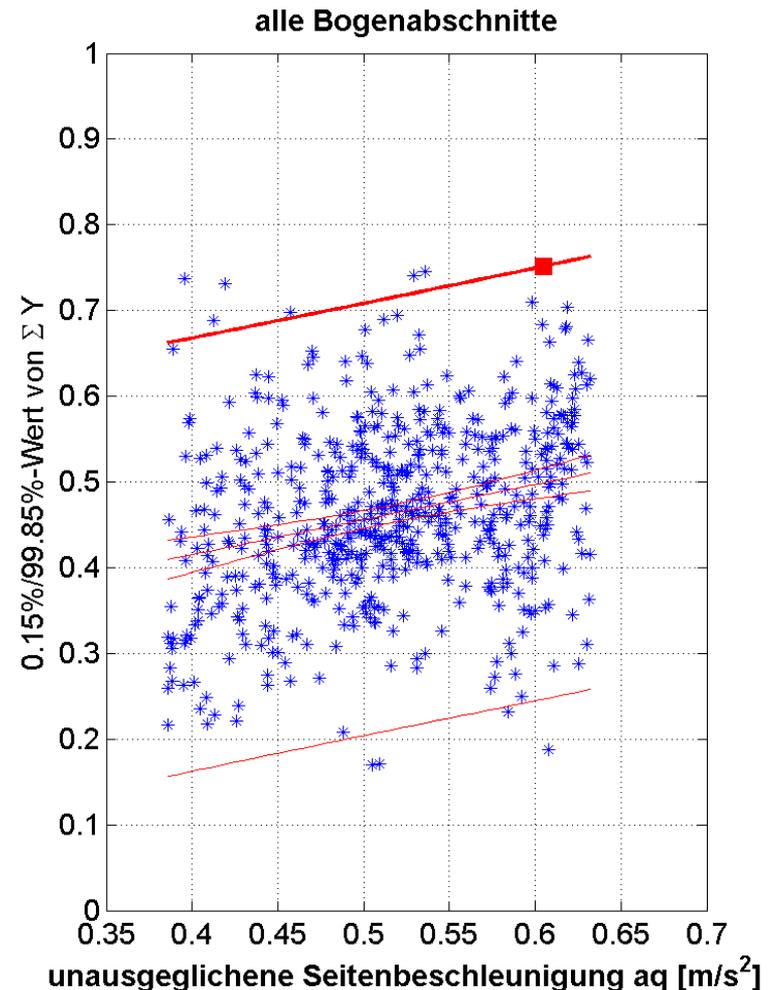


Analyse

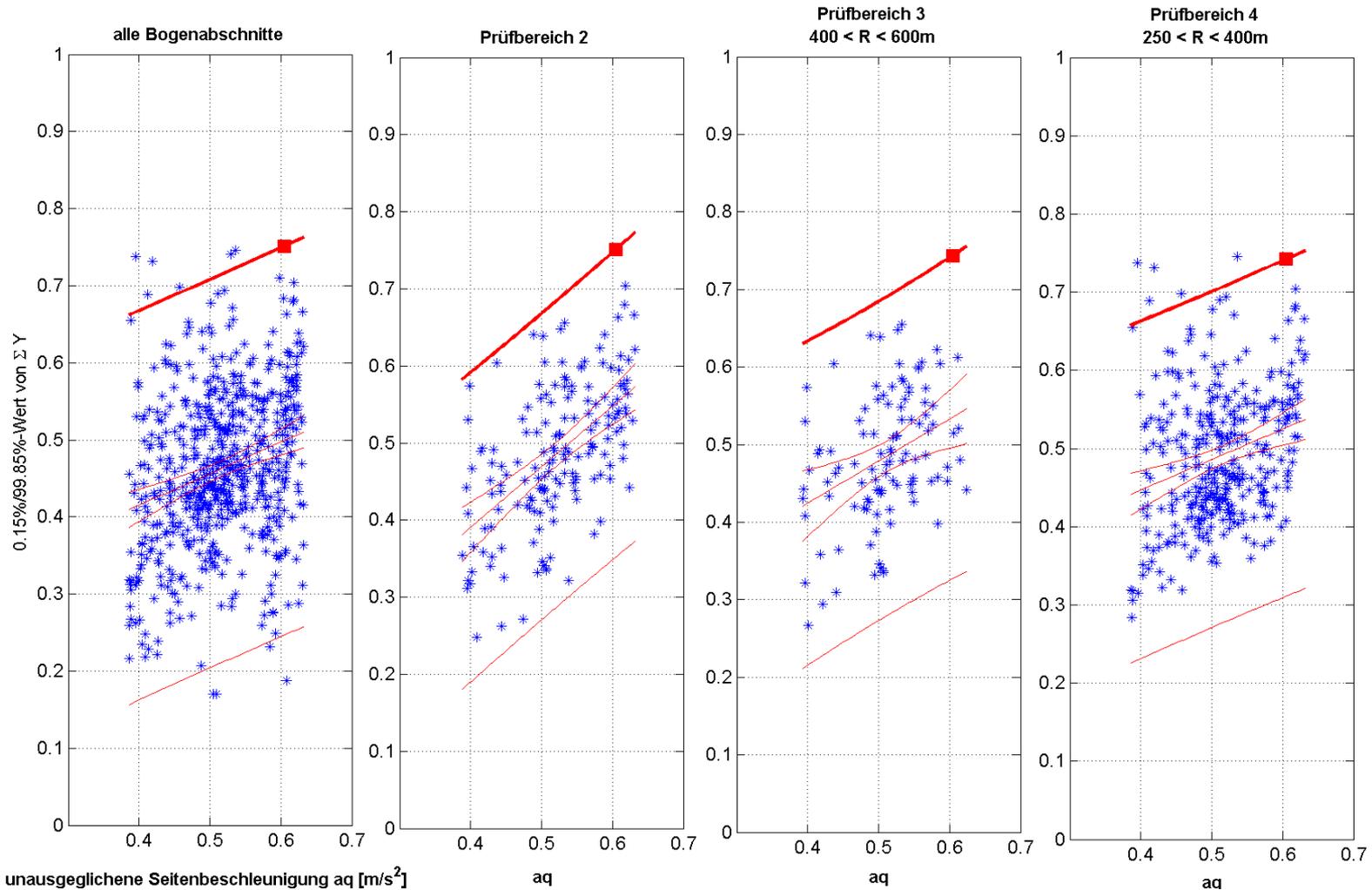


Wie kann die Variabilität in den Ergebnissen erklärt und reduziert werden?

1. Den Einfluss der freien Seitenbeschleunigung in die statistische Analyse einbeziehen



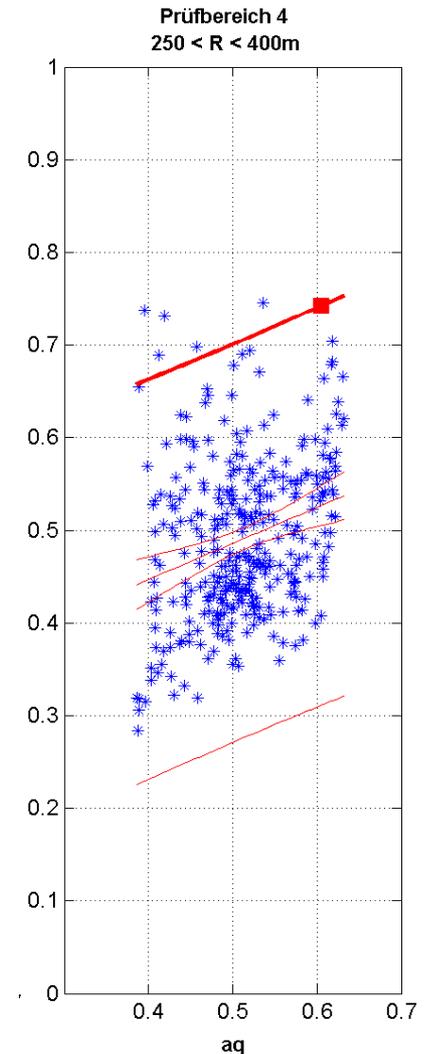
Der zweite Ansatz ist die Aufteilung in Prüfbereiche



Was ist der Grund für die verbleibende hohe Variabilität?

Mögliche Erklärungen sind:

- Unterschiede in den Bedingungen der Berührgeometrie
- Unterschiede in der Reibung zwischen Rad- und Schiene
- Ungenauigkeiten in der Messung und Auswertung
-
- und die **Gleislage !!**



Messung der Gleislage



aus: Boldt, Arend (ed.) Fahrwegmessung. Lok Rundschau Sonderheft 2003

Beschreibung der Gleislage in Gesetzen, Normen, Vorschriften

EN 13848-1/5, EN 14363, TSI INF	Standardabweichung 3-25m (D1), 25-70m (D2), 70-150m (D3) Maximalwert im Wellenlängenbereich
RGS GC/RT5021	Mitte-Spitze, Standardabweichung bis 35m & 70m
FRA 49 CFR Part 213 C	Auslenkung Sehnenmitte für 31 foot und 62 foot
Rußland	Sehnensignal, Spitze-Spitze Wert in 20 m Fenster
DB RiL 821	Sehnensignal, Mitte-Spitze, Standardabweichung
prEN 13848-6	verschiedene alternative Methoden

Einige alternative Vorschläge zur Gleislagebeschreibung

ORE/ERRI Ausschüsse	C116, D177, D152, C210, Studiengruppe UIC UA 7A
„Fahrzeugfilter“	VRA [Esveld, Niederlande] Pupil [ProRail, Lloyds Register Rail, Niederlande] Furukawa [Japan] Typical Transfer Function [Virtual Vehicle, Siemens]
Geometrische Parametrisierung	Wavelet Transformation [C210, DB AG, SNCF, ...] Dreiecke [SNCF] Interaction map [Magel, Kanada]
Ableitungen	Li, Berggren, Berg [KTH, Banverket] Point Mass Acceleration, MDZ [ÖBB]
Neuronale Netze	Performance Based Track Geometry PBTG [TTCI USA] ERRI C 210
Regressionsmodell	Wirkungsbezogene Gleislagebewertung WGB [Zacher, DBAG]

Wie können wir die Wirksamkeit einer bestimmten Art der Gleislagebeschreibung bewerten ?

Basis sind Messungen mit Messradsätzen

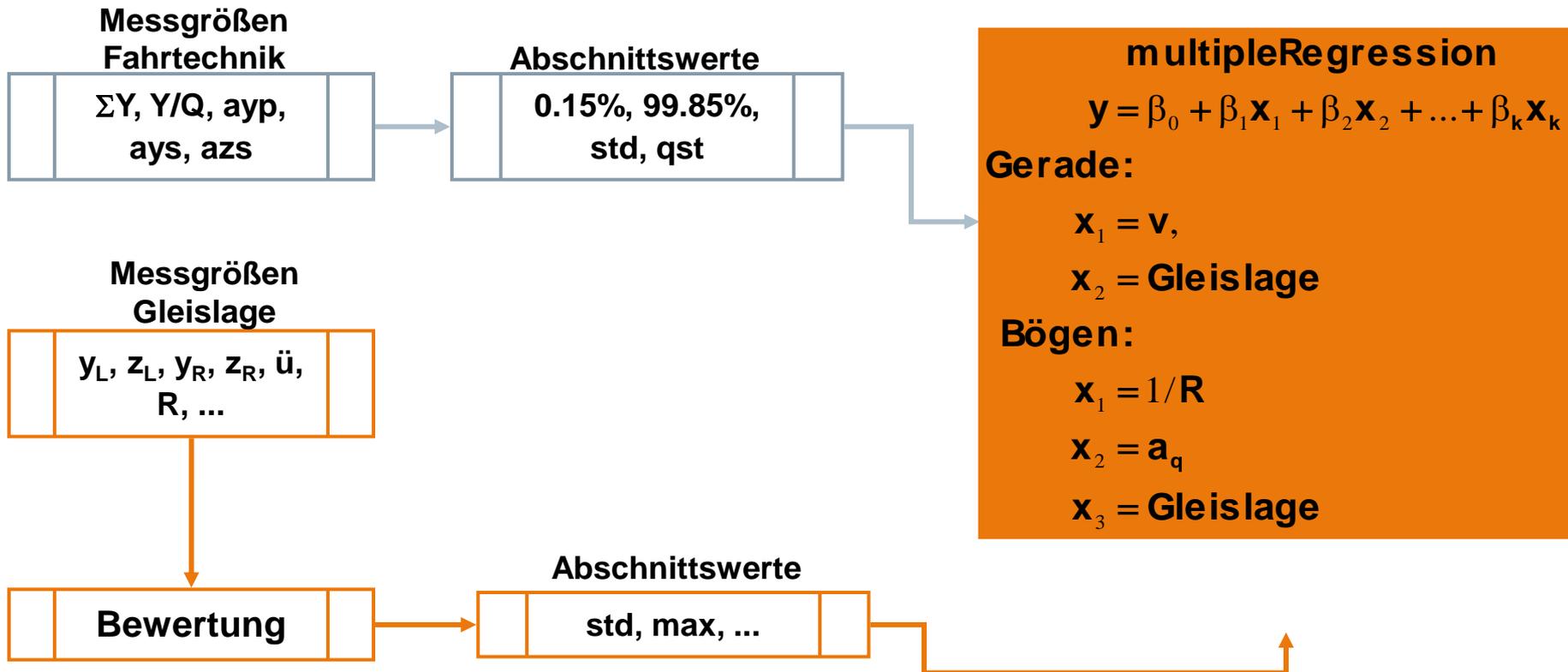
- an 6 Fahrzeugen
- in 4 Ländern

Mit gleichzeitiger Messung der

- Gleislage
- Schienenprofile

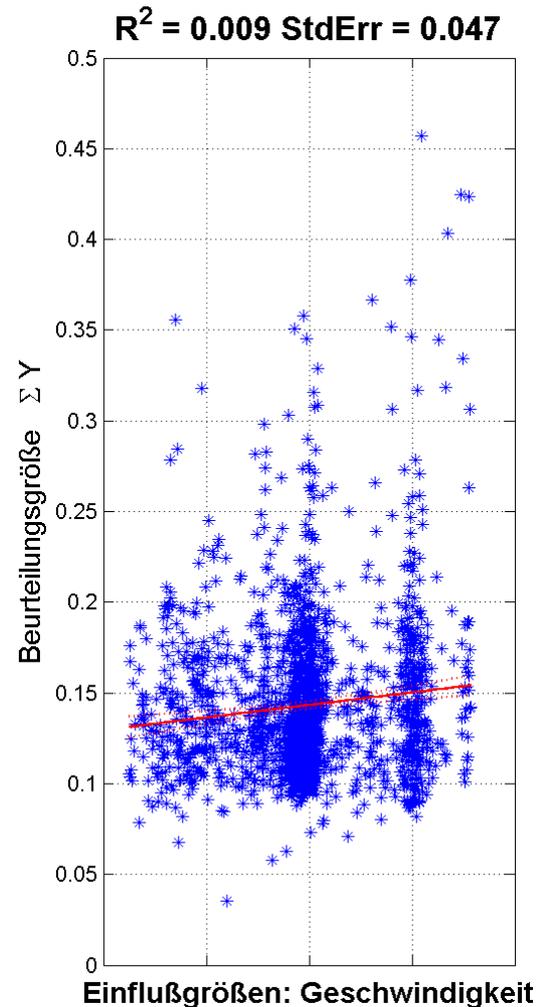


Wie können wir die Wirksamkeit einer bestimmten Art der Gleislagebeschreibung bewerten ?



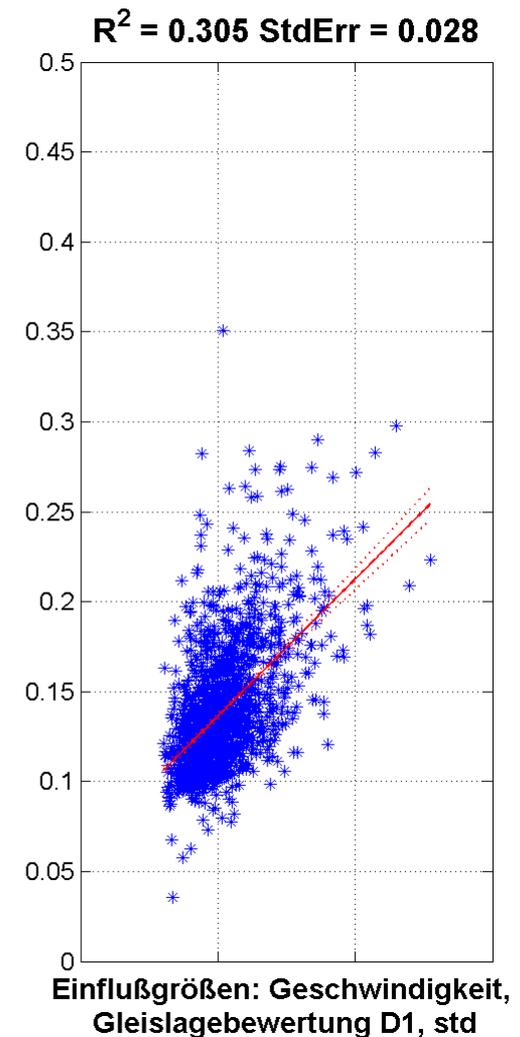
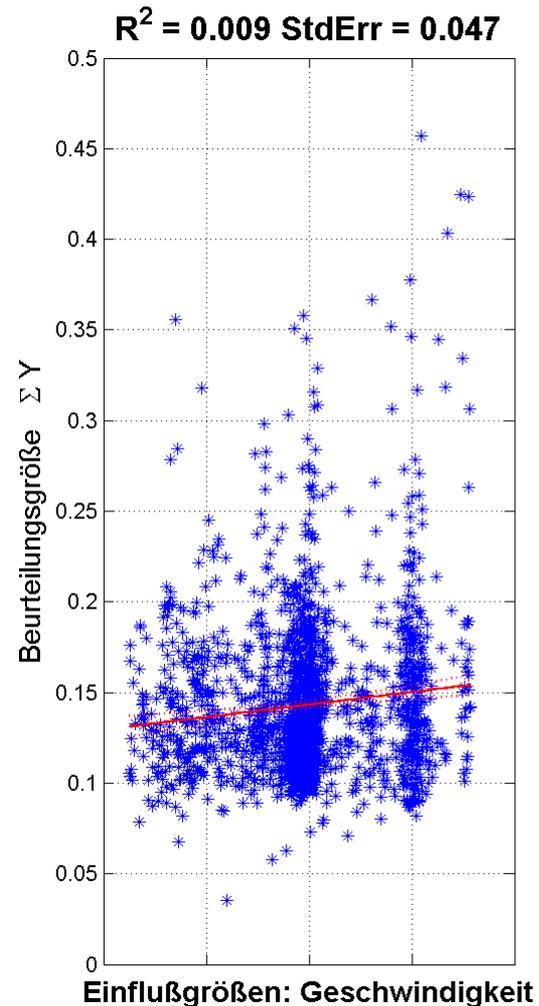
Anwendungsbeispiel: ΣY , gerades Gleis

- Mit der Geschwindigkeit allein als Einflussgröße kann die Varianz nicht erklärt werden
- Ein Maß für die Signifikanz der Regressionsanalyse ist das Bestimmtheitsmaß R^2
- R^2 kann zwischen 0 („nichts wird erklärt“) und 1 („Regression erklärt alles“) liegen

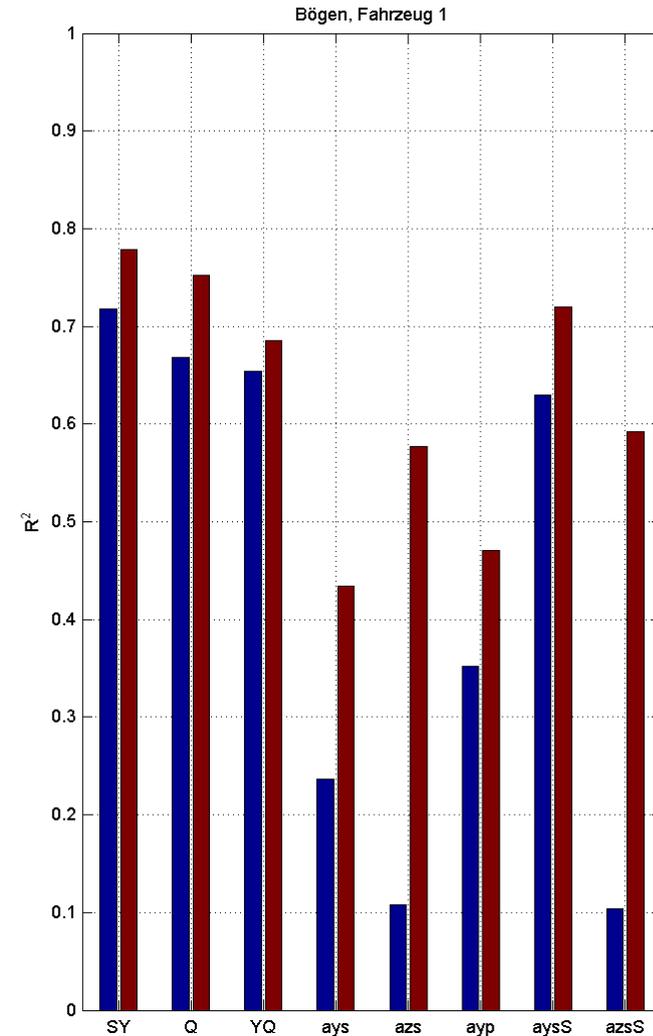
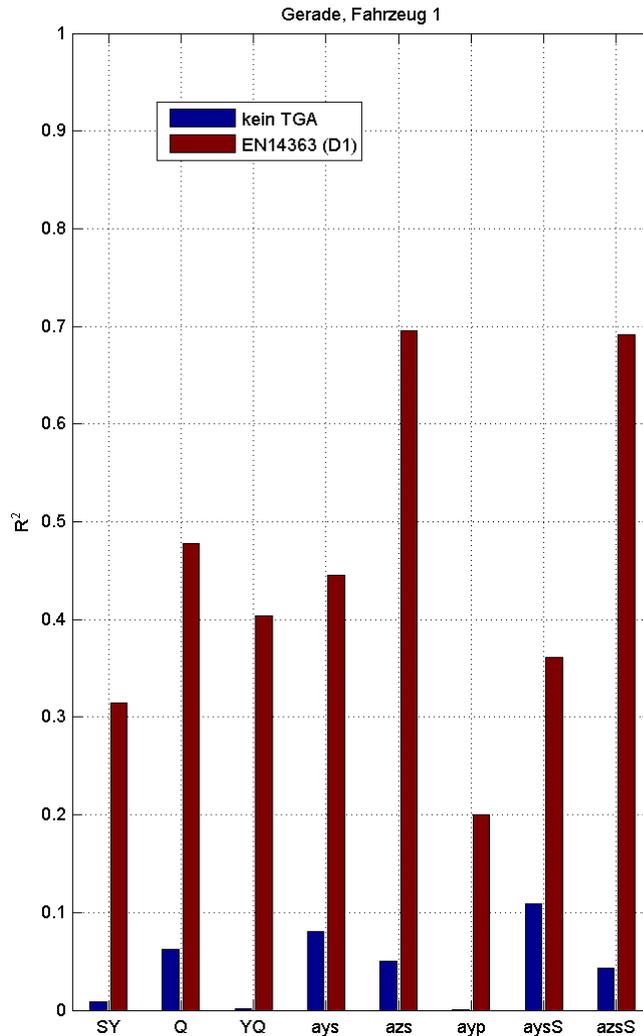


Anwendungsbeispiel: ΣY , gerades Gleis

- Wenn Gleislage (D1, 3-25m) einbezogen wird, kann ein wesentlich größerer Teil der Variabilität erklärt werden
- Die gleiche Untersuchung kann für andere Beurteilungsgrößen und Prüfbereiche gemacht werden
- Maß für die „Qualität“ der Gleislagebeschreibung ist das Bestimmtheitsmaß R^2



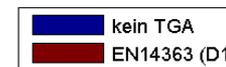
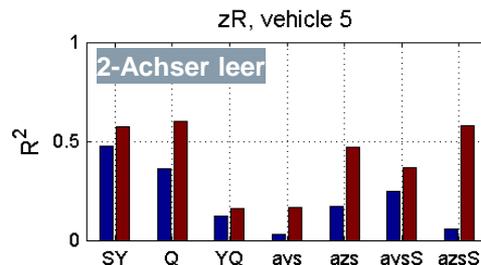
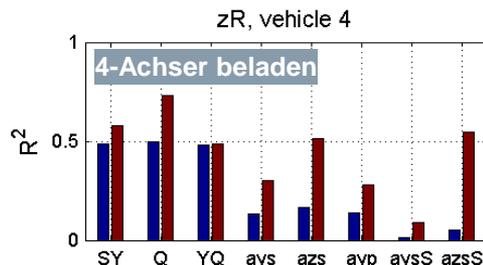
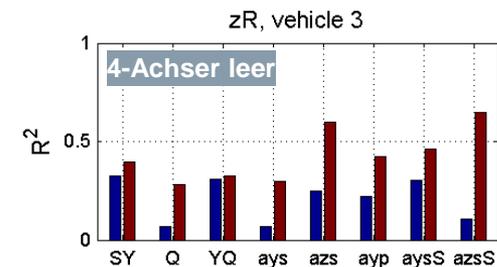
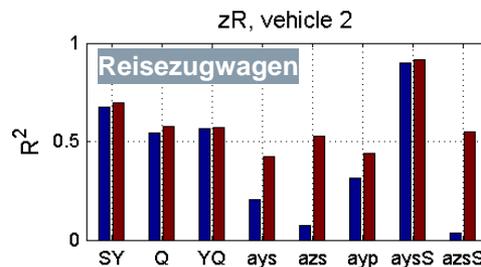
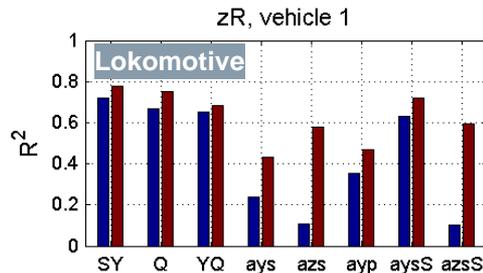
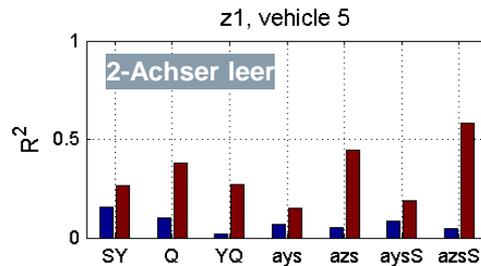
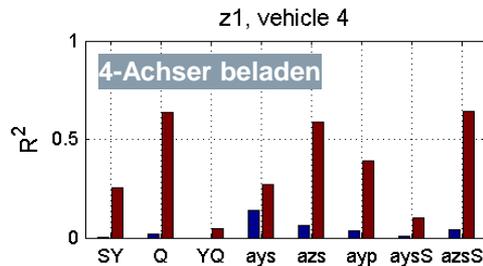
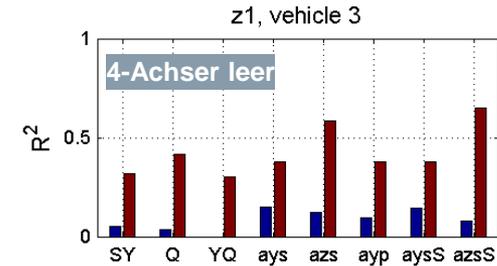
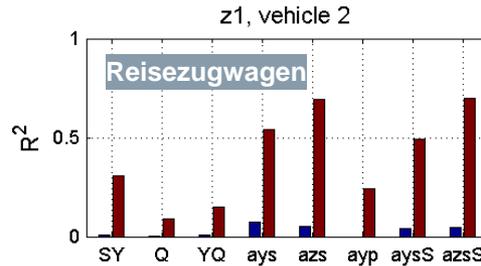
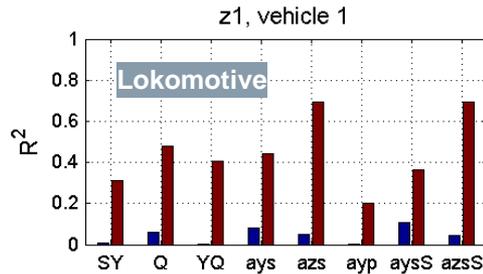
Anwendung auf andere Beurteilungsgrößen und Prüfbereiche zeigt unterschiedliche Einflüsse



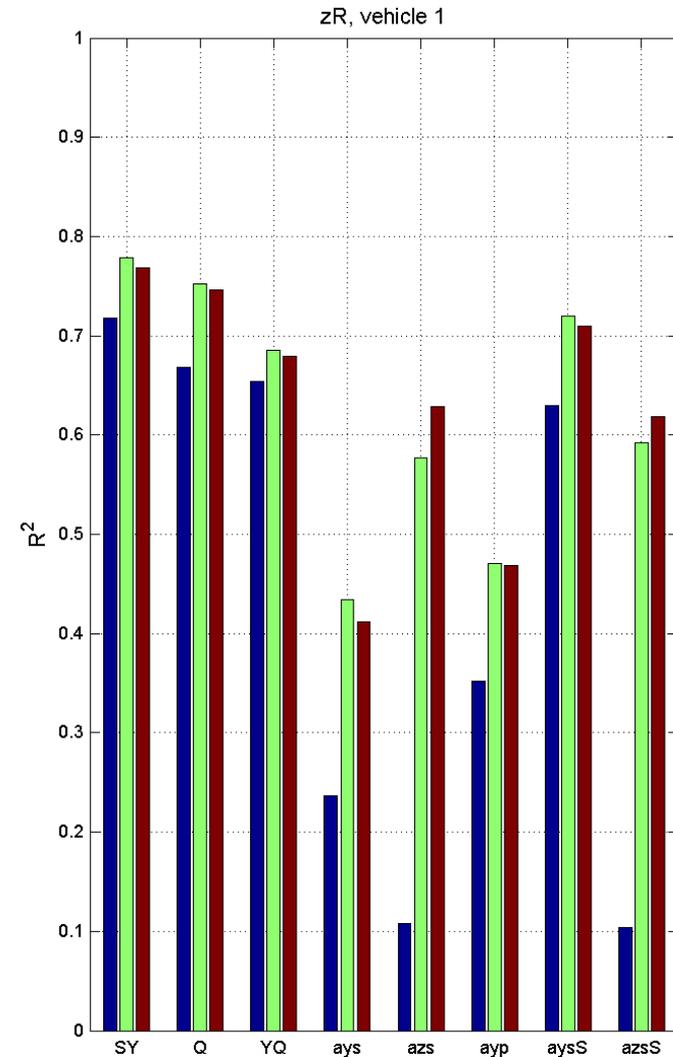
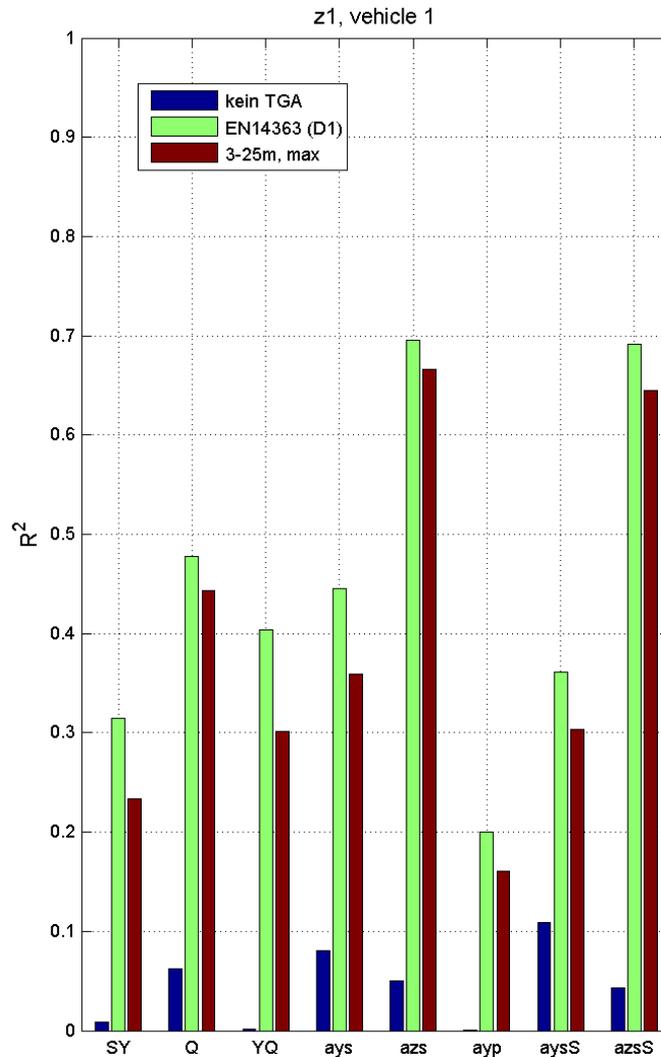
Der Einfluss der Gleislage stellt sich bei allen Fahrzeugen in ähnlicher Weise dar

Gerade

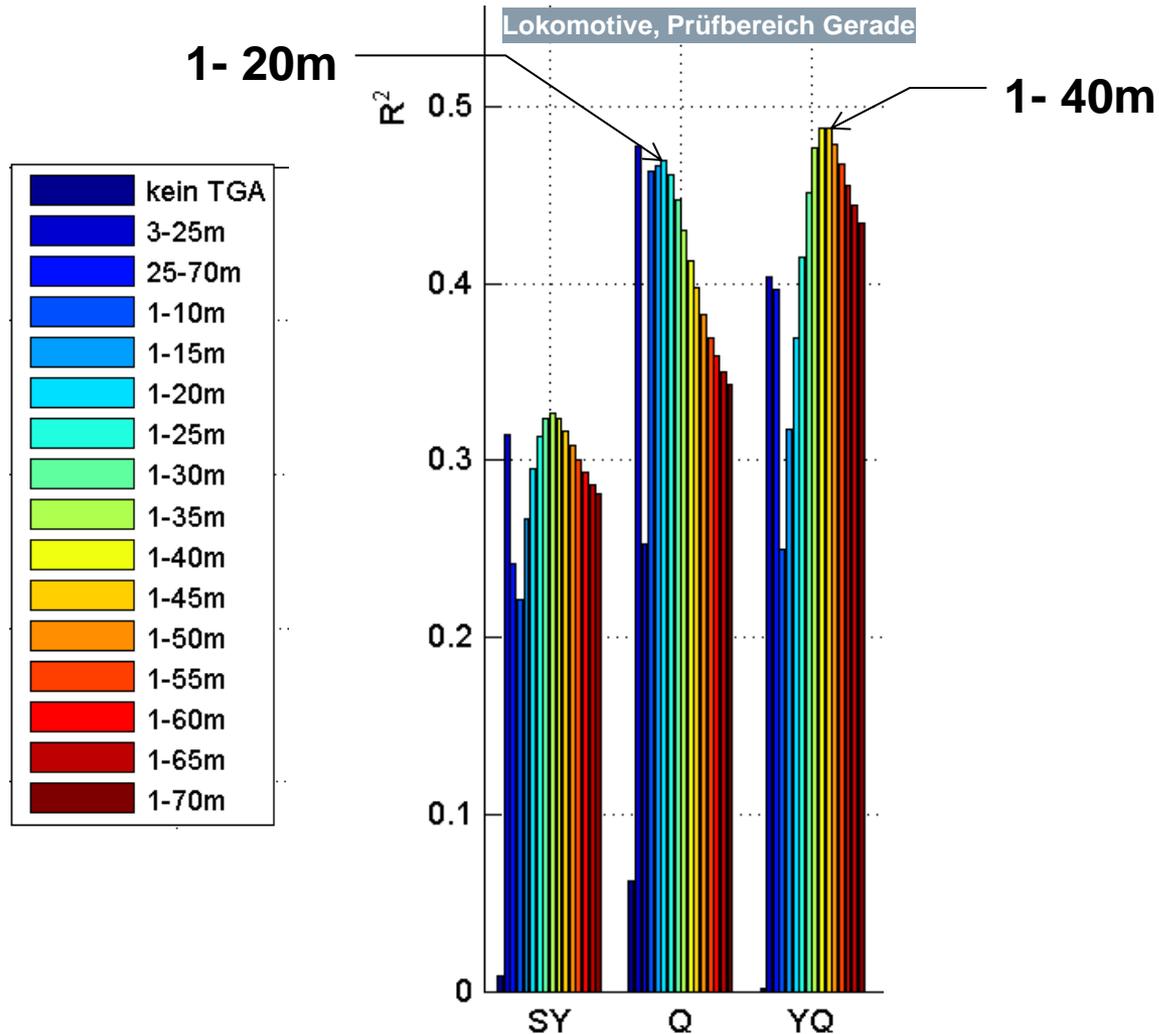
Bögen



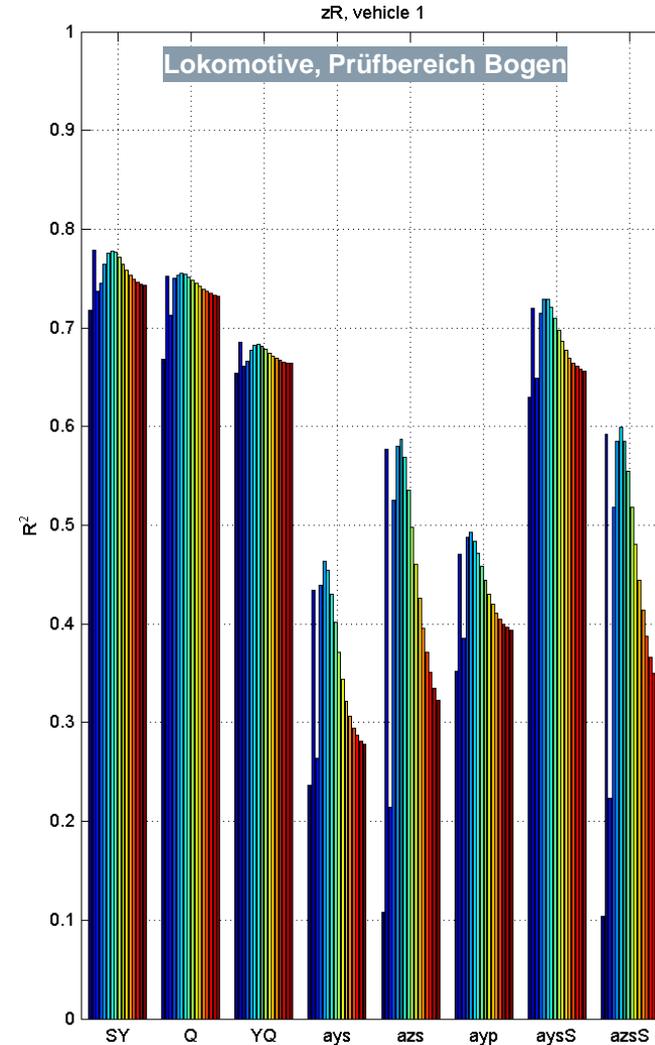
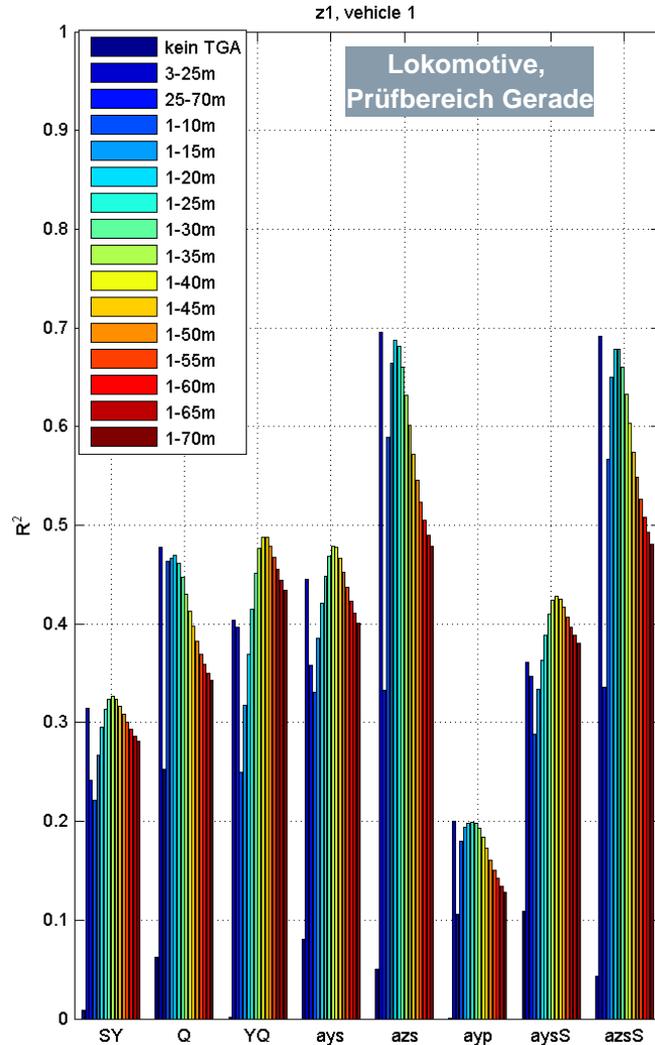
Wird das Fahrzeugverhalten besser beschrieben, wenn Maximalwerte verwendet werden?



Erhalten wir bessere Bestimmtheitsmaße, wenn andere Wellenlängenbereiche betrachtet werden?



Einfluss des Wellenlängenbereiches auf die Bestimmtheitsmaße



Mit alternativen Methoden können teilweise bessere Bestimmtheitsmaße erreicht werden

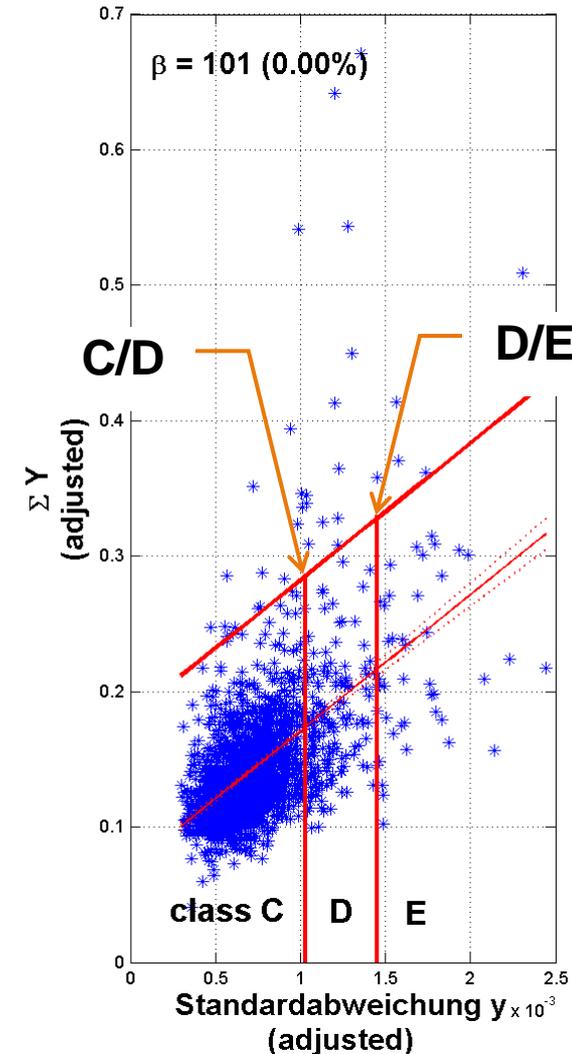
Kombination mehrerer Wellenlängenbereiche D1&D2, 1-10&10-20& ...	
Kombinierte Standardabweichung prEN 13848-6	
Kombination Richtung/Längshöhe mit Querhöhe	
Kombination Richtung/Längshöhe mit Verwindung (2.5m / 14m)	
1. oder 2. Ableitung der Gleislage	
Point Mass Acceleration Method	
Wirkungsbezogene Gleislagebewertung	
Triangle Method	
Mexican hat wavelet	
Pupil (Bewertungsfilter das Fahrzeugreaktion nachbildet)	

Zwischenbilanz zur Gleislagebeschreibung

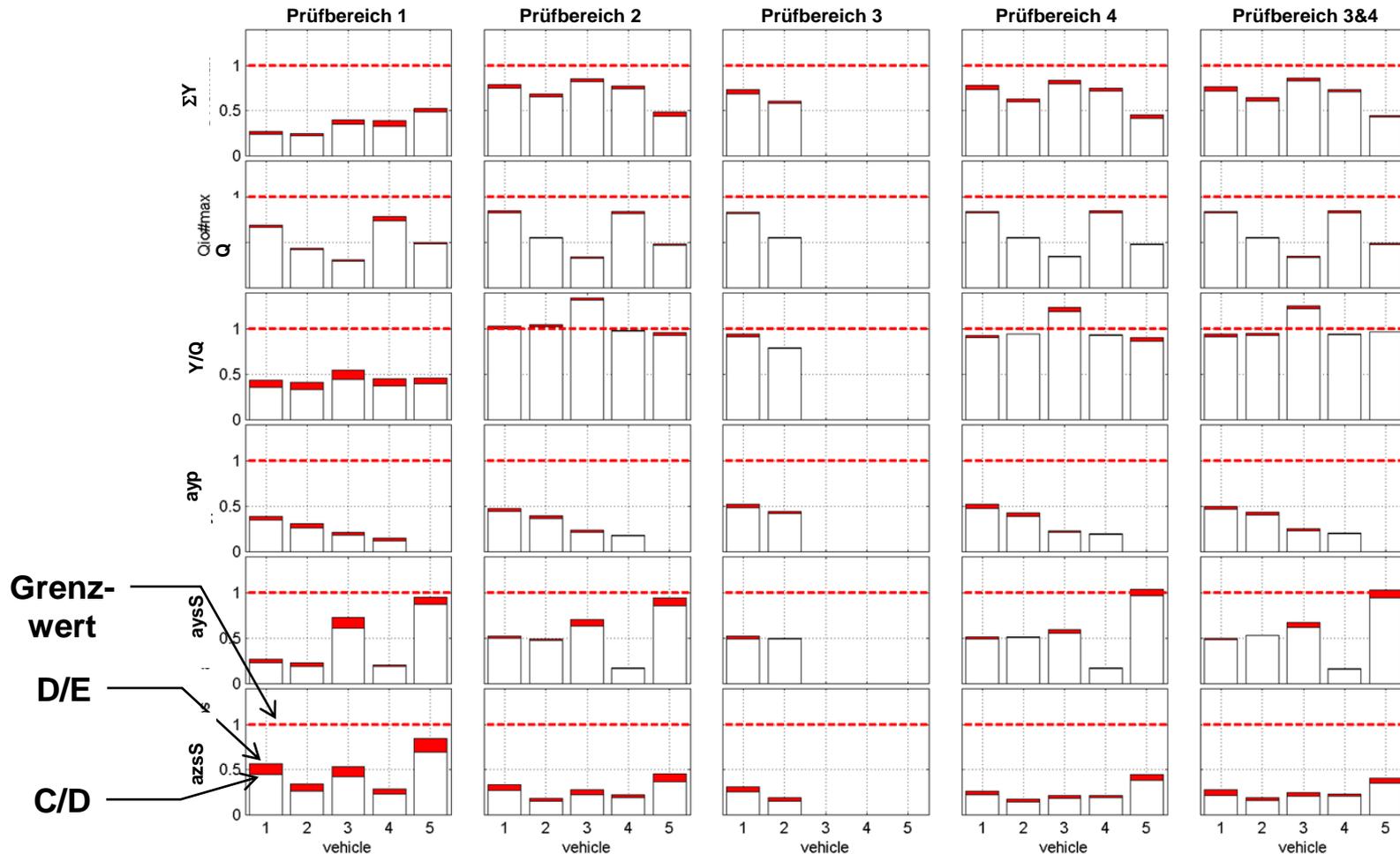
- Gleislage muss als Einflussgröße in die Auswertung der fahrtechnischen Prüfung einbezogen werden
- Standardabweichung D1 (3 – 25 m) ist ein guter Parameter zur Beschreibung des Einflusses der Gleislage auf die Beurteilungsgrößen der Fahrtechnik
- Damit kann ein Teil Variabilität der Ergebnisse erklärt werden.
- Es gibt Potential für bessere Beschreibungen.
Die meisten bekannten Vorschläge können dieses nicht heben.

Multiple Regressionsanalyse erlaubt die Umrechnung von Prüfergebnissen auf andere Randbedingungen

- Wie können wir Versuchsergebnisse aus einem Land auf andere Gleislagebedingungen umlegen?
- Dazu muss bekannt sein, wie ein Fahrzeug auf unterschiedliche Gleislagen reagiert.
- Das multiple Regressionsmodell beschreibt dieses Verhalten
- Maximale Erwartungswerte können bei unterschiedlichen „Zielwerten“ der Gleislage berechnet werden



Umrechnung von Prüfergebnissen auf andere Gleislagebedingungen



Ausblick

