

Estimation of road-tire forces by in-tire accelerometers

David Krier

Betreuer: Dr. Gabriele Zanardo

Gliederung

- Aufgabenstellung/Grundlegende Idee
- Messsystem
- Signalverarbeitung
 - Kraft- bzw. Momentenberechnung
 - Principal Component Analysis
- Identifikation und Validation
- Zusammenfassung und Ausblick

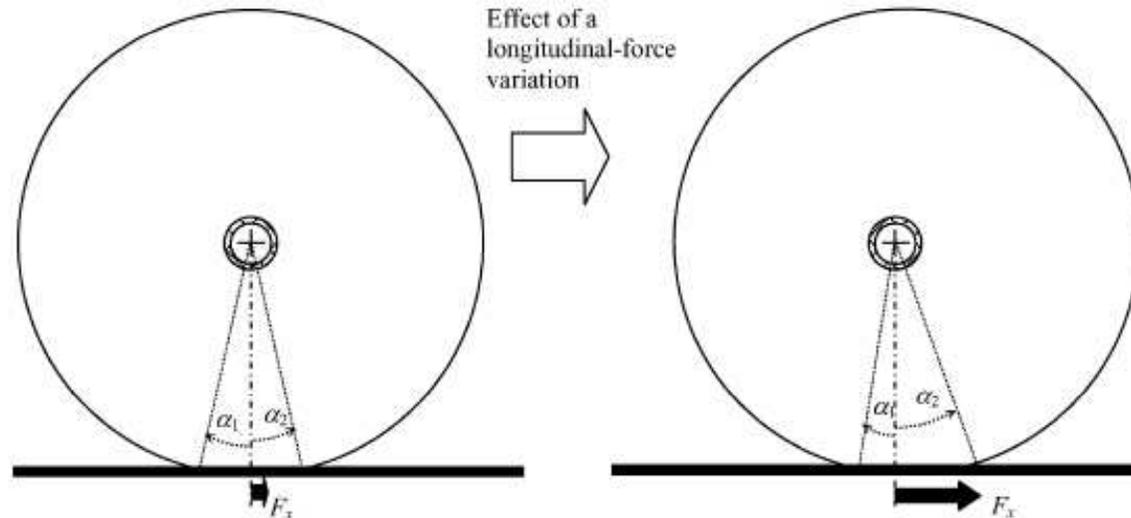
Aufgabenstellung

- Literaturrecherche bezüglich Funktionsweise des Reifens und Signalverarbeitung
- Installation des Messsystems und Aufnahme der Daten
- Implementierung der vielversprechendsten Signalverarbeitungsmethode in Matlab
- Design eines virtuellen Sensors zur Schätzung der Latschkräfte
- Dokumentation und Präsentation der Arbeit

Grundlegende Idee – Latschchar.

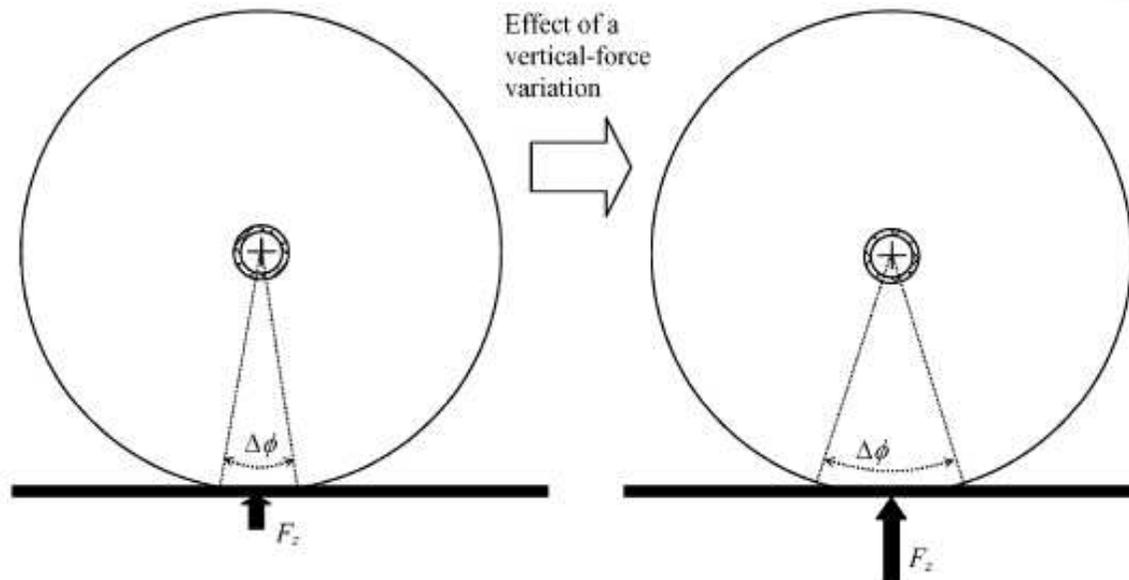
- Horizontalkraft:

$$F_x = F_x \left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \right)$$



- Vertikalkraft:

$$F_z = F_z(\Delta\phi)$$

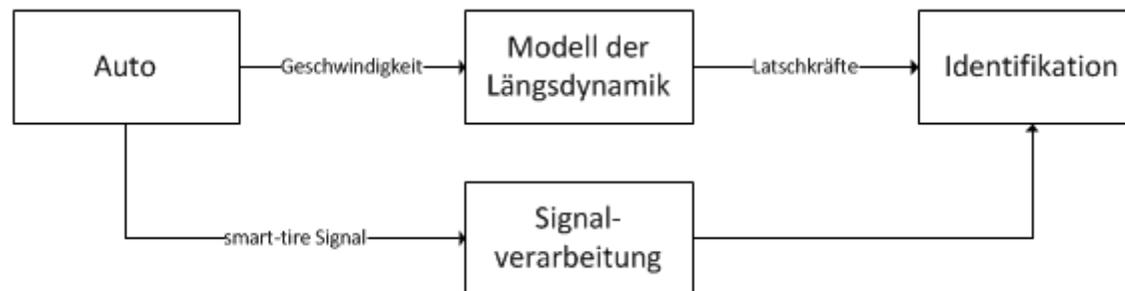


Grundlegende Idee - Umsetzung

- Latschcharakteristik durch Beschleunigungssensor bestimmen



- vertikale und tangentielle Kräfte schätzen



- Zusammenhang zwischen smart-tire Signal und Latschkraften finden

Messsystem

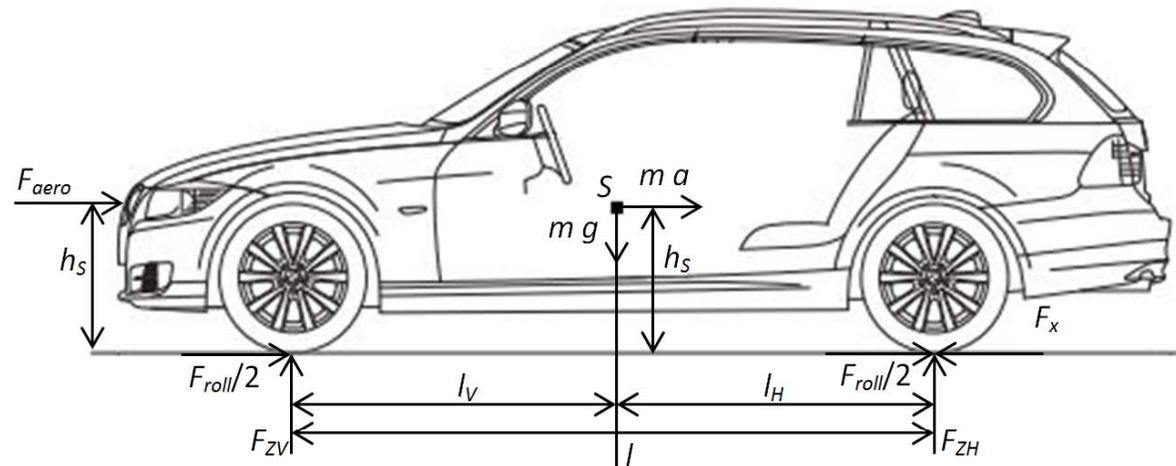
- derzeitige Basis
 - optischer Geschwindigkeitssensor
 - Inkrementalgeber
 - Beschleunigungssensor im Reifen + Funkübertragung
- Erweiterung
 - 3-Achsen-Gyroskop und Beschleunigungssensor
 - CAN-Bus (ECU)
 - Motormoment
 - Motordrehzahl
 - ...
 - Bremsdruck
- Aufzeichnung mit dSpace Autobox (Abtastzeit 0.1 ms)



Kraftberechnung

- Latschkräfte nicht direkt messbar
- modellhafte Berechnung aus Daten des optischen Geschwindigkeitssensors bzw. der daraus berechneten Beschleunigung
- Modell berücksichtigt lediglich Luftwiderstand, Rollwiderstand der Reifen und Beschleunigung des Fahrzeuges
- vernachlässigt Auswirkungen durch Steigung, Kurvenfahrten, Feder- und Dämpfungseigenschaften, Straßenverhältnisse,...

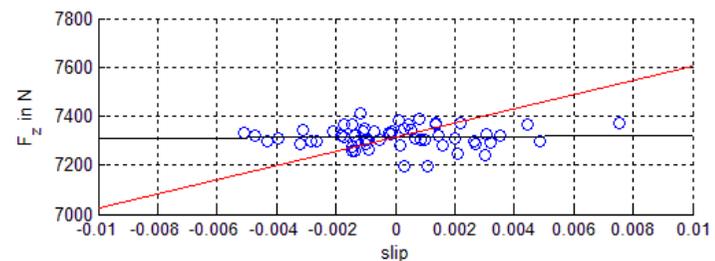
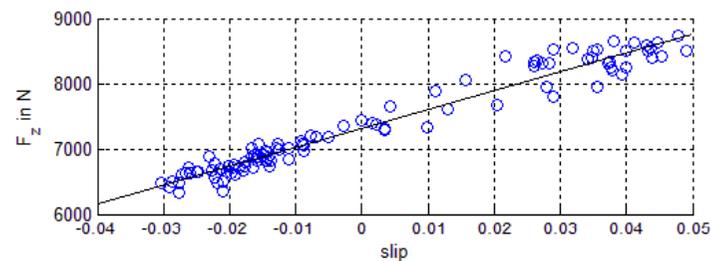
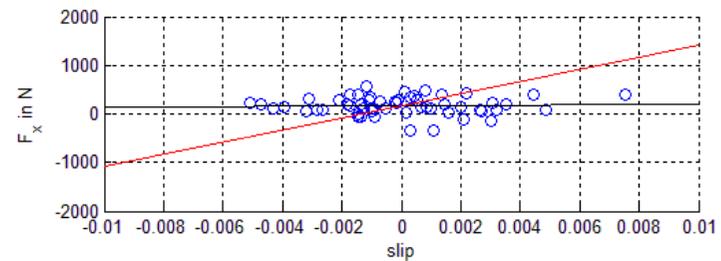
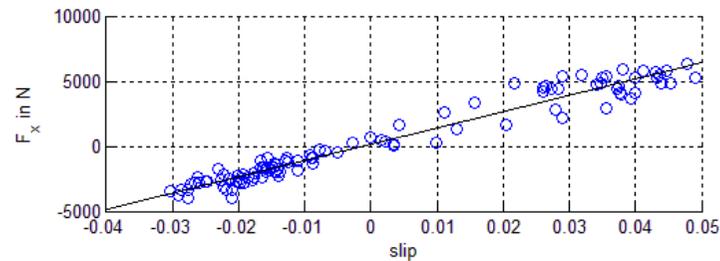
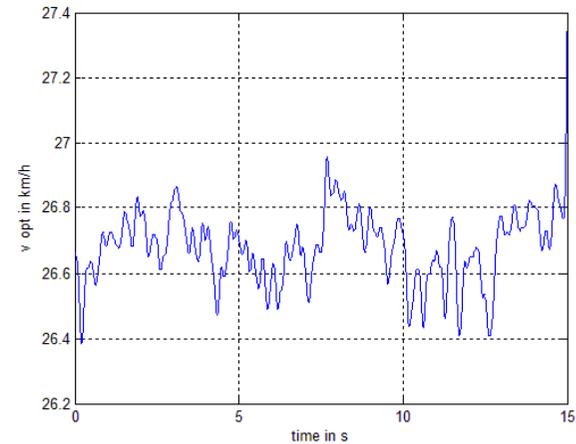
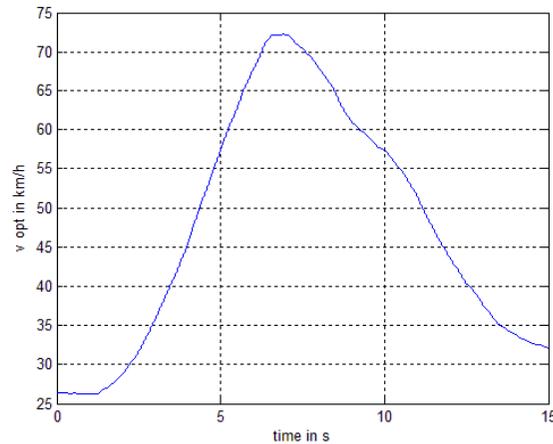
Kraftberechnung



- $F_x = F_{aero} + F_{roll} + F_{acc}$
- $F_{ZH} = \frac{m a h_S + m g l_V + F_{aero} h_S}{l}$

modellhafte Beschreibung der
Längsdynamik

Kraftberechnung - Validierung



vorläufige Validierung zeigt gute Übereinstimmung bei dyn. Datensätzen

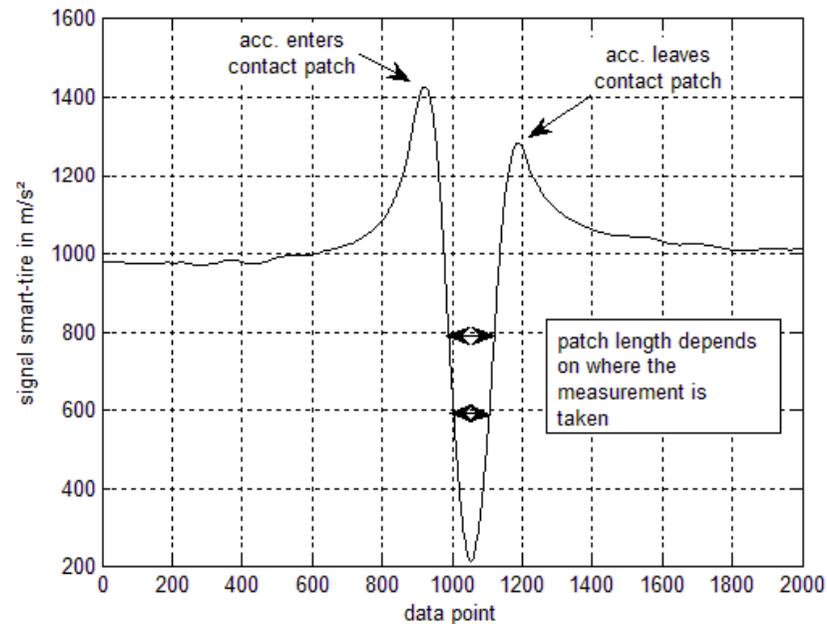
vorläufige Validierung zeigt schlechtere Übereinstimmung bei stat. Datensätzen

Momentenberechnung

- alternative Datenquelle zur Methode der Kraftberechnung
- Berechnung der Übersetzung durch Motordrehzahl (ECU) und Winkelgeschwindigkeit des Reifens (Inkrementalgeber)
- Berechnung des am Reifen wirkenden Moments durch Motormoment (ECU) und Übersetzungsverhältnis
- ungültig für Motorbremsung bzw. „normaler“ Bremsung

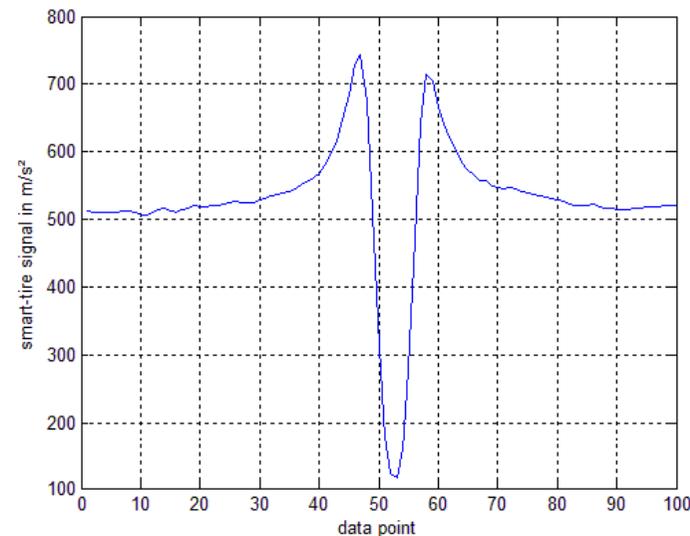
Bisheriger Ansatz zur Bestimmung der Latschchar.

- Problem: exakte Bestimmung der Breite und Phase
- neuer Ansatz: Principal Component Analysis (PCA)

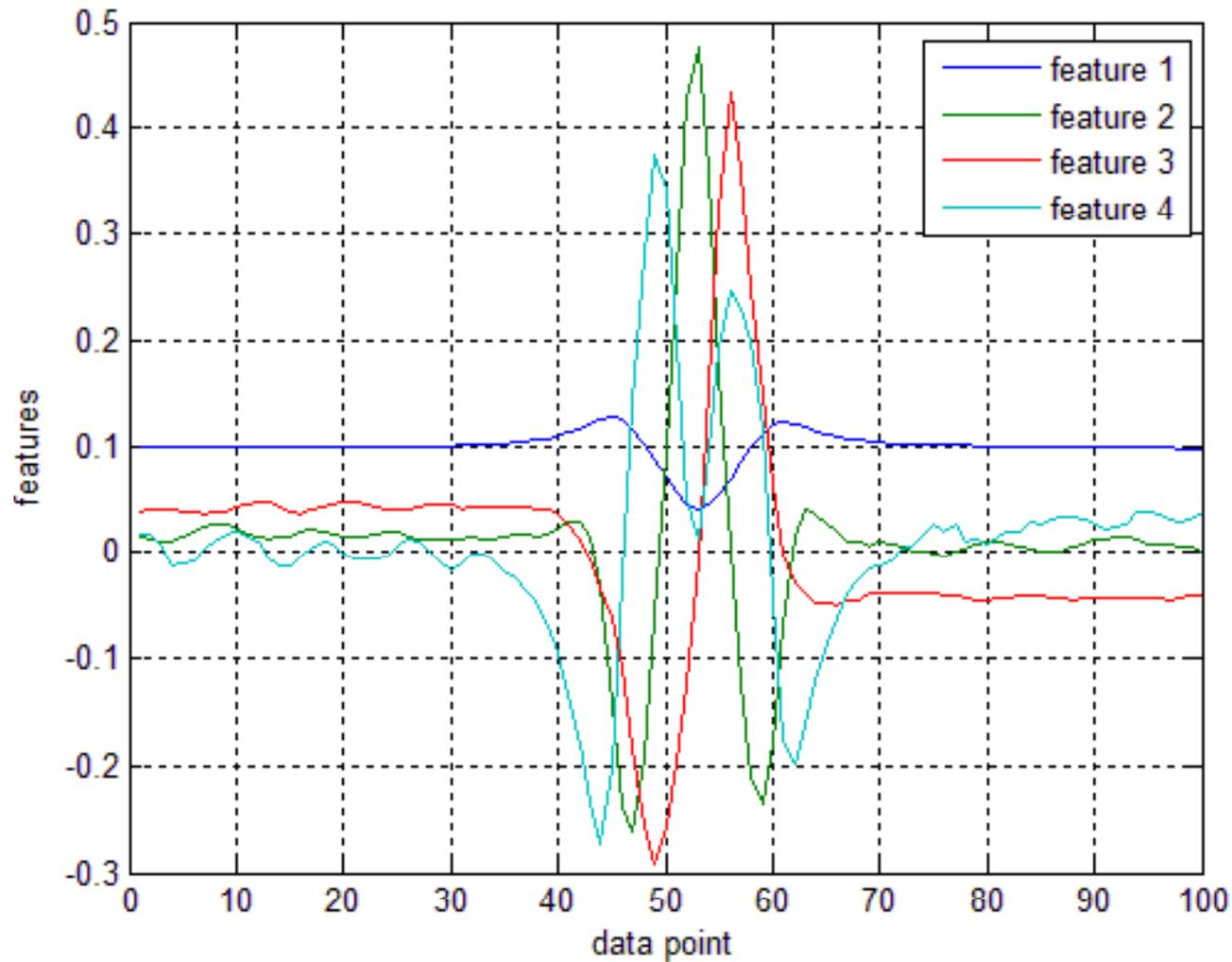


PCA - Vorbereitung

- Zerschneiden der Daten pro Radumdrehung und lineare Interpolation über die Zeit für konst. Datenzahl/Umdrehung
- Zusammenfügen aller Datensätze, wobei Kurvenfahrten entfernt werden (Gyroskop), da diese bei der Modellbildung vernachlässigt wurden
- Aufteilung in Identifikations- und Validationsdatensatz
- Durchführung PCA



PCA - Ergebnis



feature	latent
1	2.6874e+07
2	3.6878e+04
3	2.6335e+04
4	3.2343e+03
5	8.0363e+02

Zusammenhang der features 1-7 mit den Messgrößen

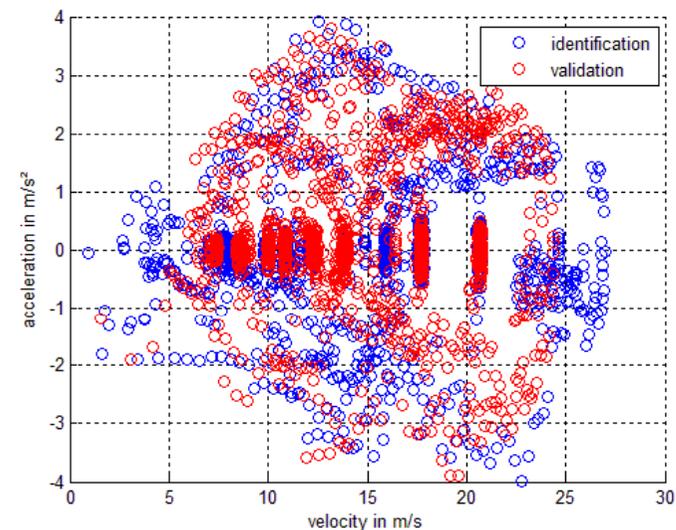
- mithilfe ARX Identifikation

- $y = a_1 f_1 + \dots + a_7 f_7 + a_8$

- Daten für Identifikation

- möglichst „gute“ Verteilung bei Geschwindigkeits/
Beschleunigungsplot

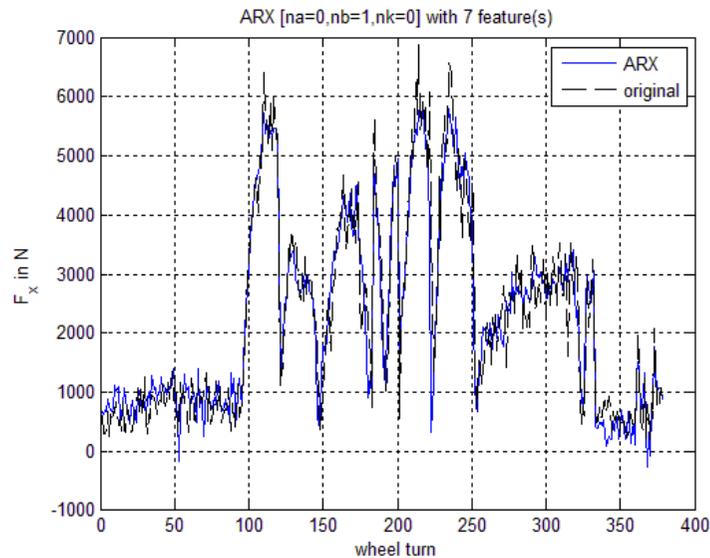
- nur Bereiche pos.
Beschleunigung



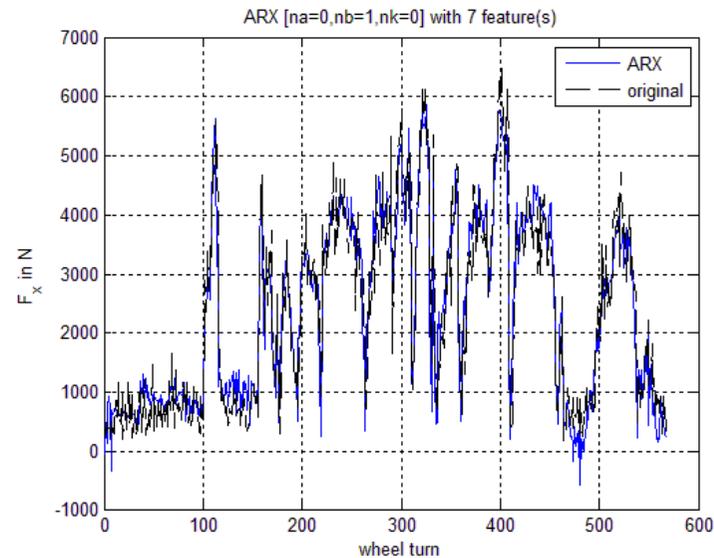
ARX – Latschkräfte F_x features

1-7

Identifikation



Validation

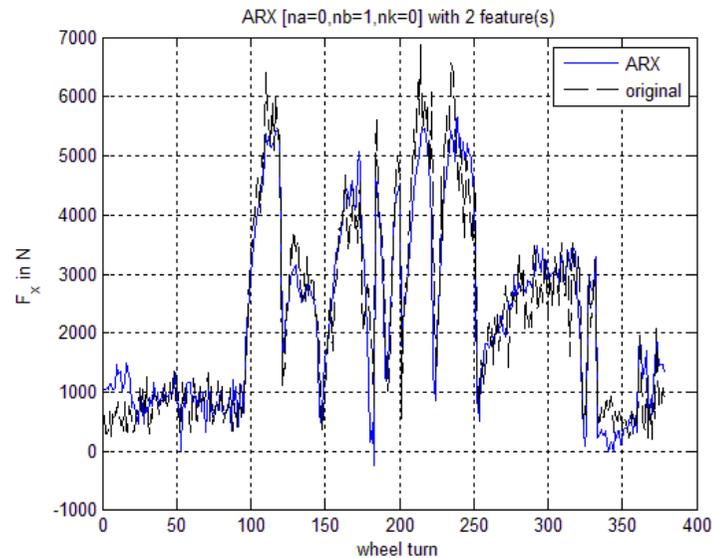


	Identifikation	Validation
R^2	0.913255	0.893346
Final Prediction Error	247594.232359	247594.232359
Model Fit	70.547444	67.241813
Maximum Prediction Error	3483.372809	2743.875818

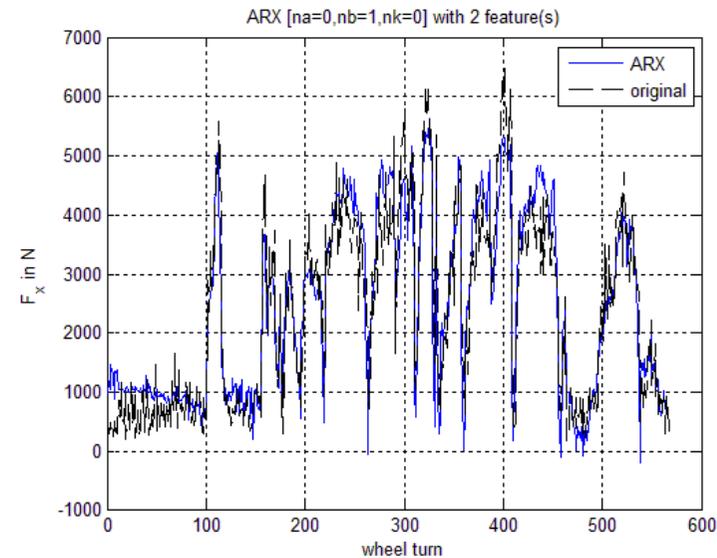
ARX – Latschkräfte F_x features

2-3

Identifikation



Validation

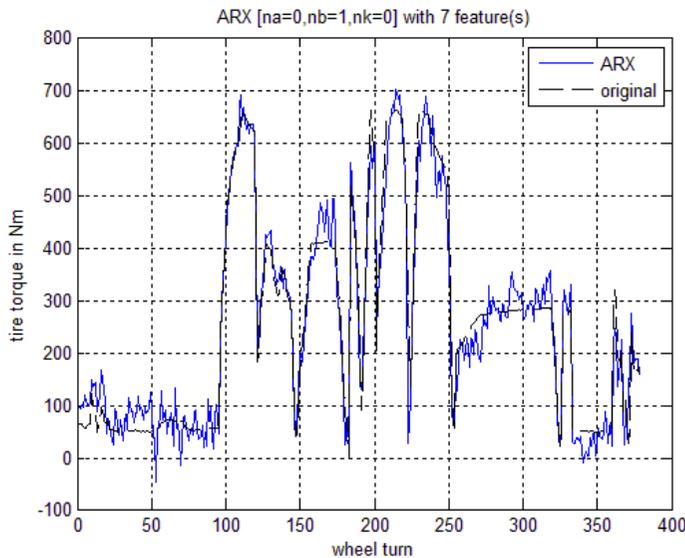


	Identifikation	Validation
R^2	0.883627	0.862665
Final Prediction Error	323730.285018	323730.285018
Model Fit	65.886452	62.558494
Maximum Prediction Error	2487.432422	2380.100910

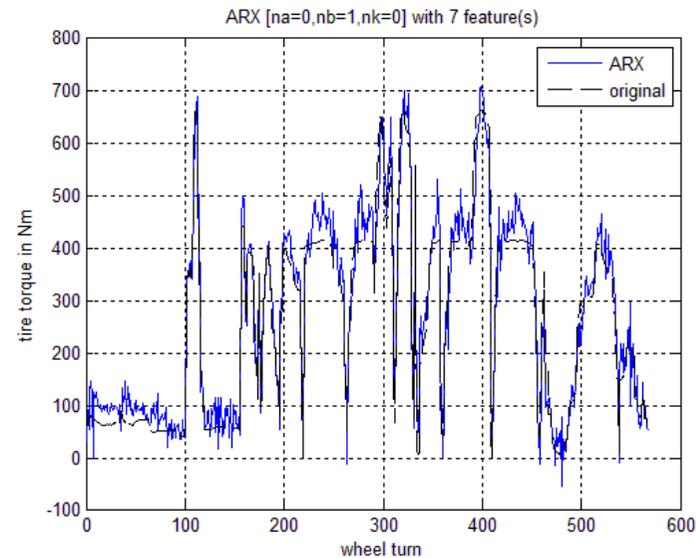
ARX – Reifenmoment features

1-7

Identifikation



Validation

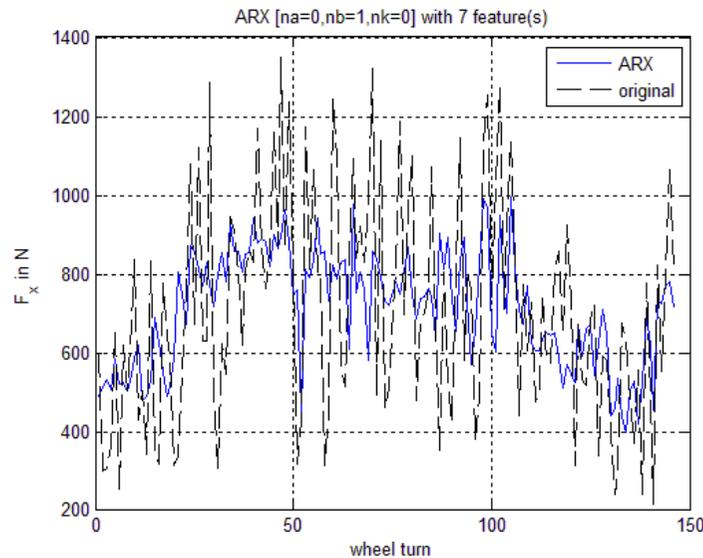


	Identifikation	Validation
R ²	0.959438	0.956054
Final Prediction Error	1675.267876	1675.267876
Model Fit	79.860017	77.531297
Maximum Prediction Error	261.511526	165.682255

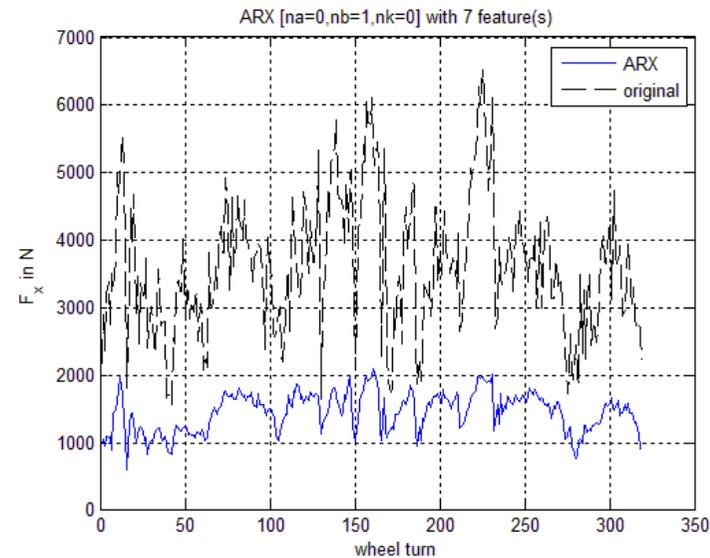
Identifikation mit stat. Daten

Validation mit dyn. Daten - F_x

Identifikation



Validation

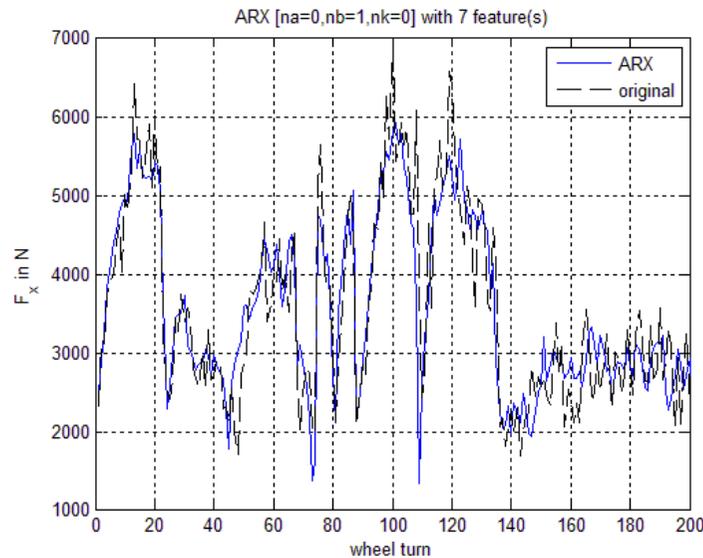


	Identifikation	Validation
R^2	0.280214	0.578261
Final Prediction Error	59156.381265	59156.381265
Model Fit	15.159790	-133.265088
Maximum Prediction Error	550.262880	4544.079498

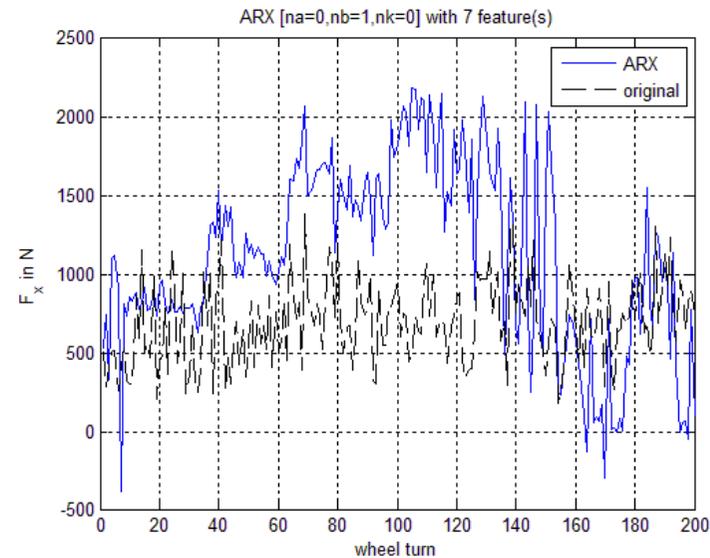
Identifikation mit dyn. Daten

Validation mit stat. Daten - F_x

Identifikation



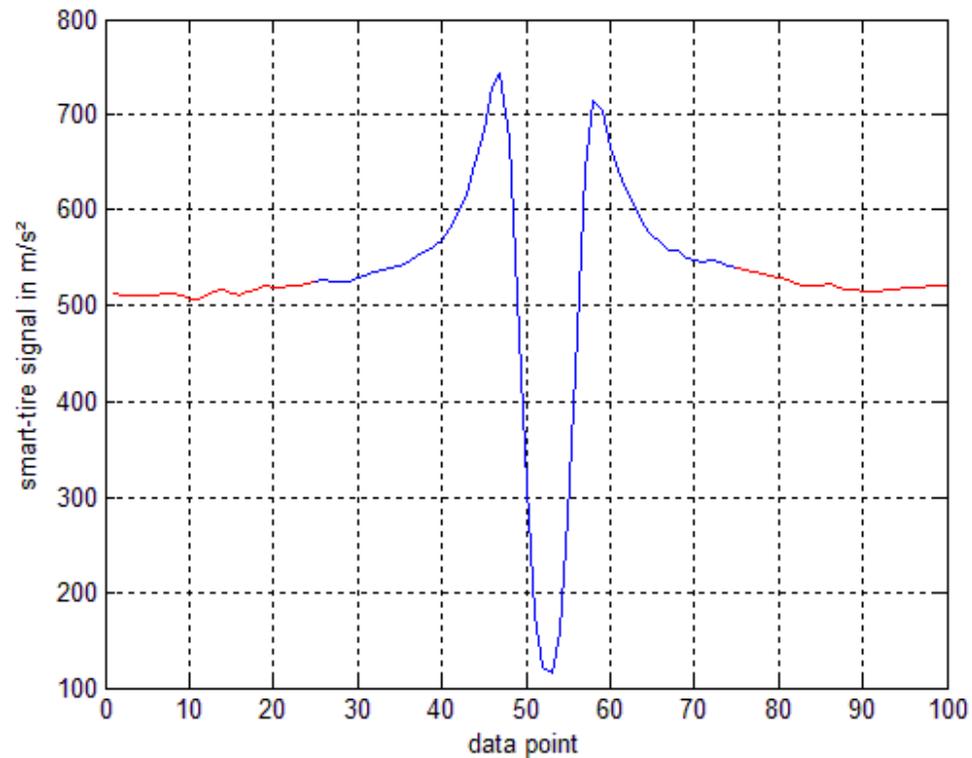
Validation



	Identifikation	Validation
R^2	0.818258	0.040613
Final Prediction Error	292528.966346	292528.966346
Model Fit	57.368773	-176.810346
Maximum Prediction Error	2476.178374	1699.902426

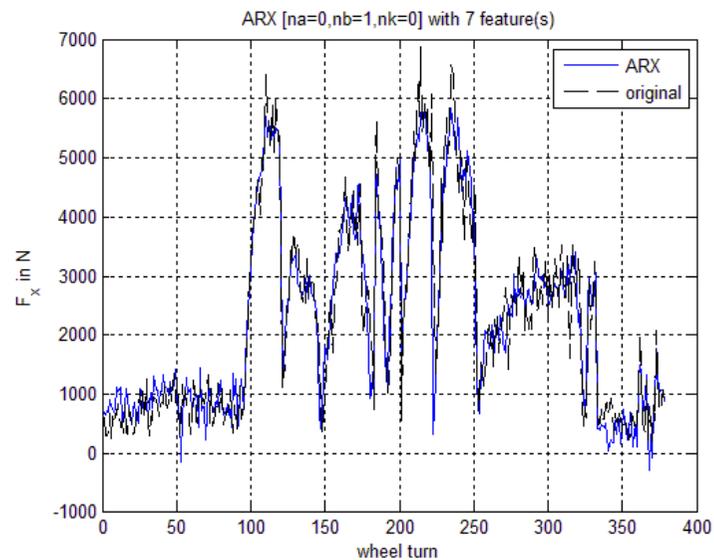
ARX mit Teilbereich

- Datenpunkte 25-75 scheinen Latschcharakteristik zu bestimmen
- Datenpunkte 1-25 und 75-100 entspricht grundsätzlich der Fliehkraft

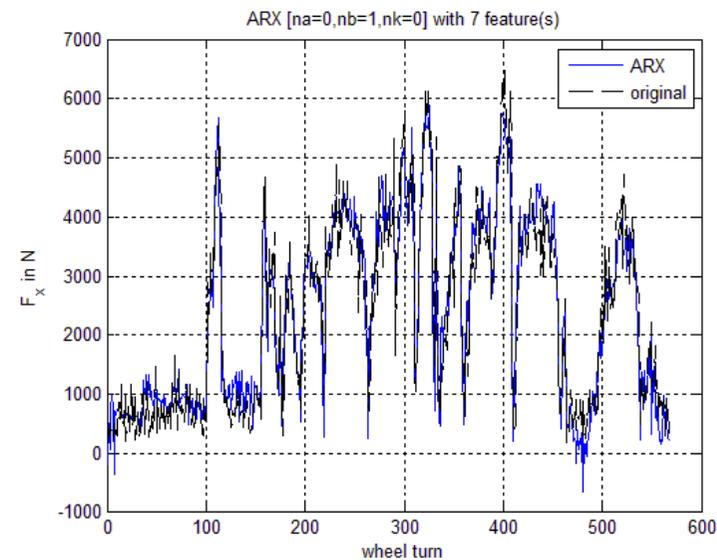


ARX mit Teilbereich 25-75 - F_x

Identifikation



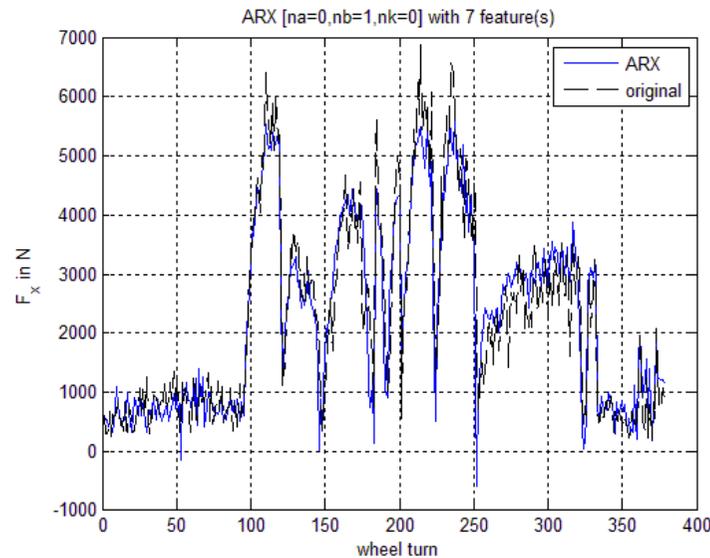
Validation



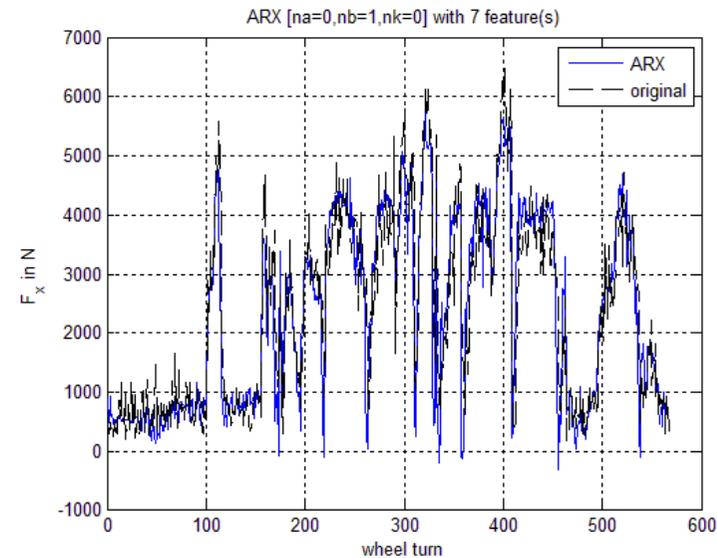
	Identifikation	Validation
R^2	0.912376	0.893555
Final Prediction Error	250102.626156	250102.626156
Model Fit	70.398627	67.261773
Maximum Prediction Error	3484.222290	2612.889089

ARX mit Teilbereich 1-25 und 75-100 - F_x

Identifikation



Validation



	Identifikation	Validation
R^2	0.890537	0.820025
Final Prediction Error	312436.029717	312436.029717
Model Fit	66.914836	56.332297
Maximum Prediction Error	3137.238127	3820.249753

Zusammenfassung & Ausblick

- Zusammenfassung
 - Verbesserung bzw. Erweiterung des Messsystems
 - bewiesen, dass Zusammenhang zwischen smart-tire Signal und Latschkräften besteht
 - bessere Schätzung mithilfe von PCA verglichen mit bisherigen Ansätzen
- Ausblick
 - spezieller Prüfstand zur kontrollierten Aufbringung von Kräften auf Reifen
 - Auswirkung von unterschiedlichen Fahrbahnzuständen (Asphalt/Schotter, Nässe/Trockenheit, Schnee, Glatteis, Temperatur)
 - Überprüfung bei Kurvenfahrten

Vielen Danke für Ihre
Aufmerksamkeit