



Echtzeitsimulation hochdynamischer Fahrzeugantriebe

M. Sc. Dipl.-Ing.(FH) Jakob Häckh

Steinbeis Transferzentrum Verkehrstechnik.Simulation.Software

Prof. Dr. Günter Willmerding

Steinbeis Transferzentrum Neue Technologien in der Verkehrstechnik, Ulm



Inhalt

1. Aufgaben
2. Antriebstrangsimulation
3. Prüfstandsautomatisierung & Regelung
4. Reglerauswahl
5. Validierung
6. Zusammenfassung



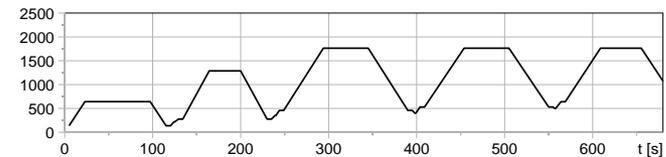
Aufgaben der Antriebsstrangerprobung auf Prüfständen

Erprobungsarten

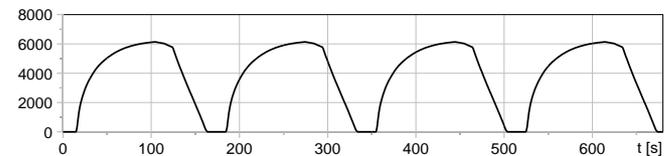


Prüfprogramme

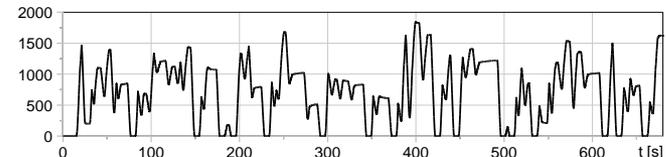
a) Stationäre Prüfprogramme



b) Synthetische Prüfprogramme

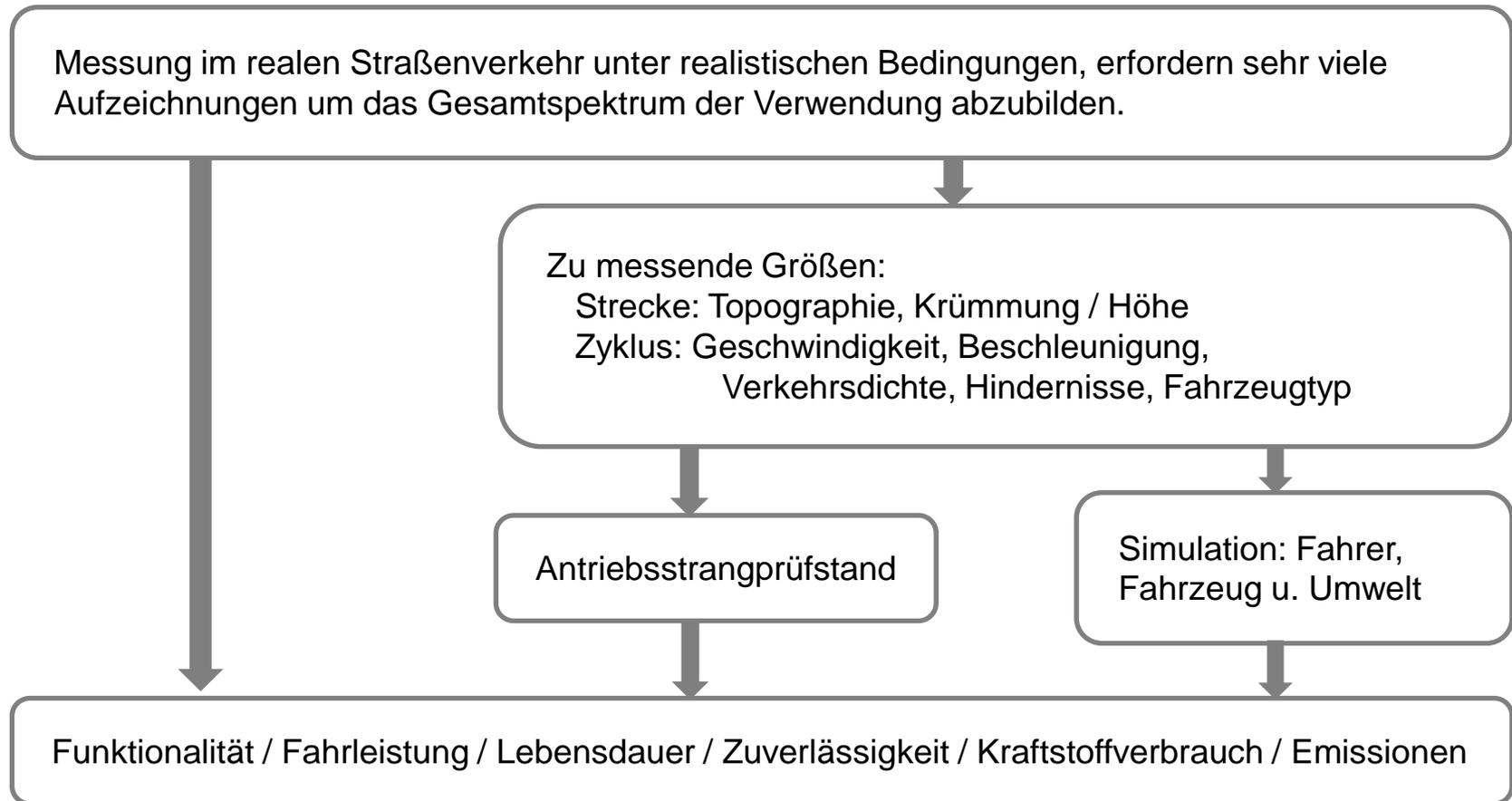


c) Dynamische Prüfprogramme





Aufgaben der Antriebsstrangerprobung auf Prüfständen Systemüberblick





Aufgaben der Antriebsstrangerprobung auf Prüfständen Erprobungsfahrten

Messung im realen Straßenverkehr unter realistischen Bedingungen, erfordern sehr viele Aufzeichnungen um das Gesamtspektrum der Verwendung abzubilden.



Funktionalität / Fahrleistung / Lebensdauer / Zuverlässigkeit / Kraftstoffverbrauch / Emissionen



Aufgaben der Antriebsstrangerprobung auf Prüfständen Offline-Simulation

Messung im realen Straßenverkehr unter realistischen Bedingungen, erfordern sehr viele Aufzeichnungen um das Gesamtspektrum der Verwendung abzubilden.

Zu messende Größen:

Strecke: Topographie, Krümmung / Höhe

Zyklus: Geschwindigkeit, Beschleunigung,

Verkehrsdichte, Hindernisse, Fahrzeugtyp

Simulation: Fahrer,
Fahrzeug u. Umwelt

Funktionalität / Fahrleistung / Lebensdauer / Zuverlässigkeit / Kraftstoffverbrauch / Emissionen



Aufgaben der Antriebsstrangerprobung auf Prüfständen Bandvorgabe am Prüfstand

Messung im realen Straßenverkehr unter realistischen Bedingungen, erfordern sehr viele Aufzeichnungen um das Gesamtspektrum der Verwendung abzubilden.

Zu messende Größen:

Strecke: Topographie, Krümmung / Höhe

Zyklus: Geschwindigkeit, Beschleunigung,
Verkehrsdichte, Hindernisse, Fahrzeugtyp

Antriebsstrangprüfstand

Funktionalität / Fahrleistung / Lebensdauer / Zuverlässigkeit / Kraftstoffverbrauch / Emissionen



Aufgaben der Antriebsstrangerprobung auf Prüfständen Online-Simulation

Messung im realen Straßenverkehr unter realistischen Bedingungen, erfordern sehr viele Aufzeichnungen um das Gesamtspektrum der Verwendung abzubilden.

Zu messende Größen:

Strecke: Topographie, Krümmung / Höhe

Zyklus: Geschwindigkeit, Beschleunigung,

Verkehrsdichte, Hindernisse, Fahrzeugtyp

Antriebsstrangprüfstand

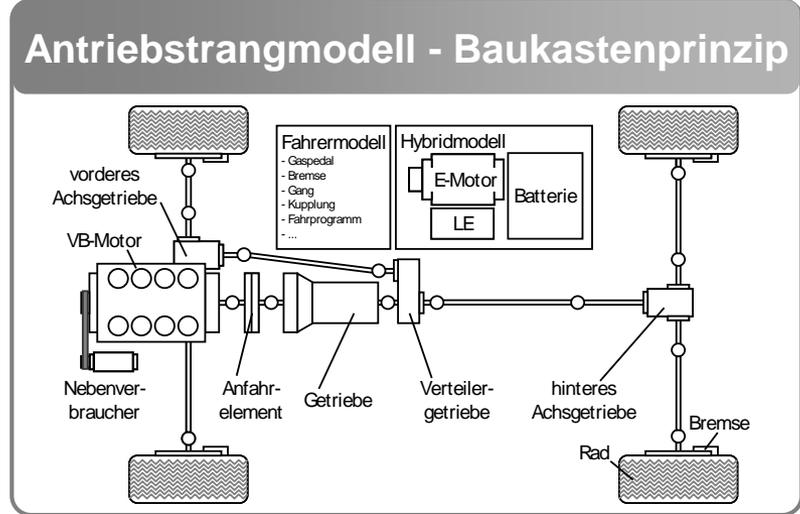
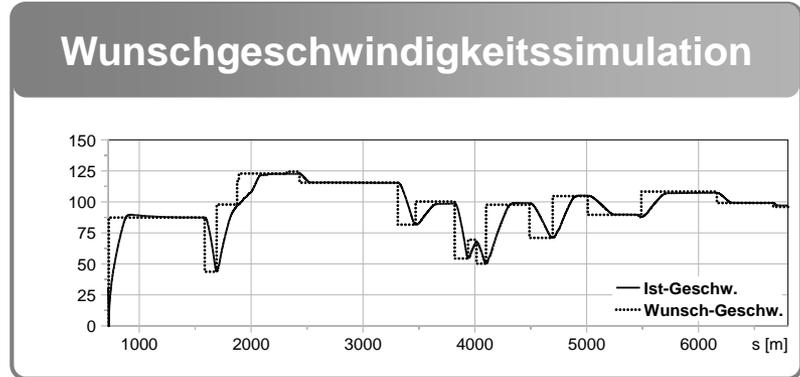
Simulation: Fahrer,
Fahrzeug u. Umwelt

Funktionalität / Fahrleistung / Lebensdauer / Zuverlässigkeit / Kraftstoffverbrauch / Emissionen



Antriebsstrangsimulation

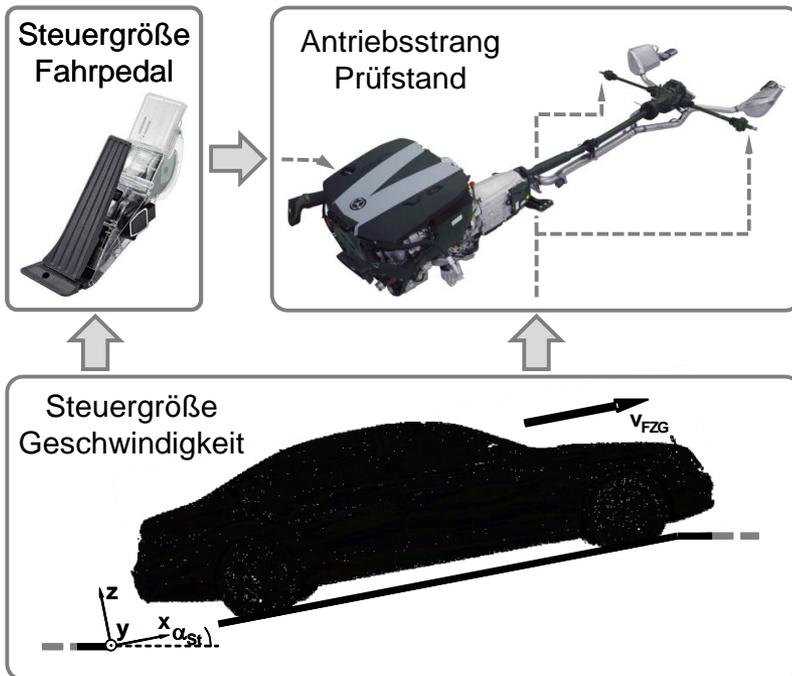
- Streckenbasierte Wunschgeschwindigkeits-simulation → Beschreibung der Geschwindigkeitsstufen in größeren Intervallen, analog Geschwindigkeitsangaben auf öffentlichen Straßen
- Detailliertes Antriebsstrangmodell
- Komplexes Fahrermodell unter Berücksichtigung von Streckendaten wie Steigung, Krümmung und Geschwindigkeit sowie Fahrereingriffe wie Gangbegrenzung, Fahrprogramme, ...
- Unmittelbare Reaktion der Online-Simulation auf das Prüflingsverhalten in Echtzeit
- Systemabgleich durch Lernzyklen
- Einheitliches Vorgabesystem für alle Prüfstandssteuerungen



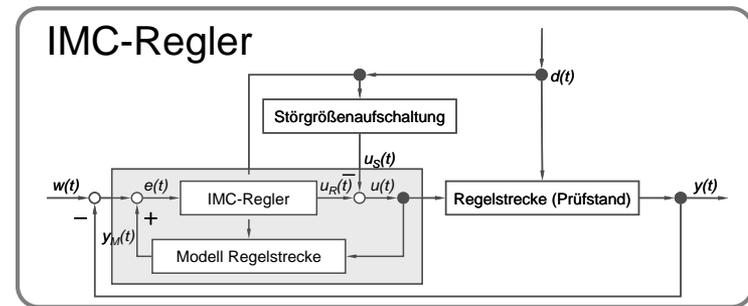
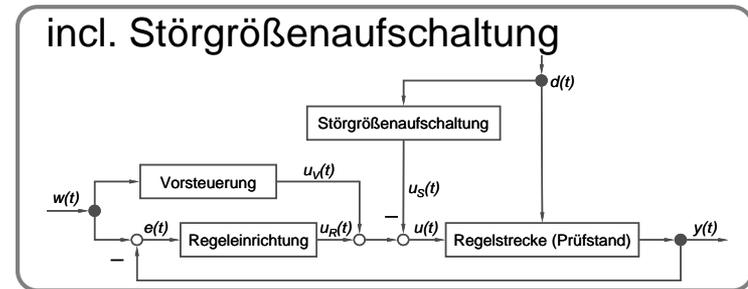
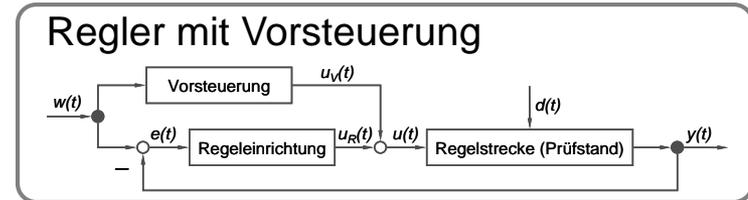
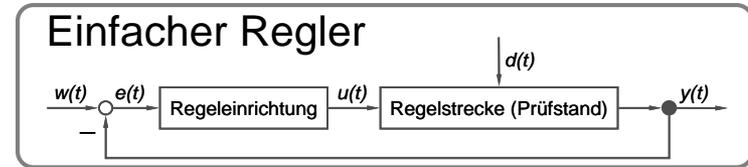


Prüfstandsautomatisierung

- Sicherheitssysteme,
 - Hilfsbetriebe wie Kraftstoff, Kühlwasser, Luft, el. Versorgung...,
 - Bussysteme incl. Restbussimulation,
 - Mess- u. Applikationssysteme,
- ➔ Übertragung und Regelung der Vorgabewerte ...

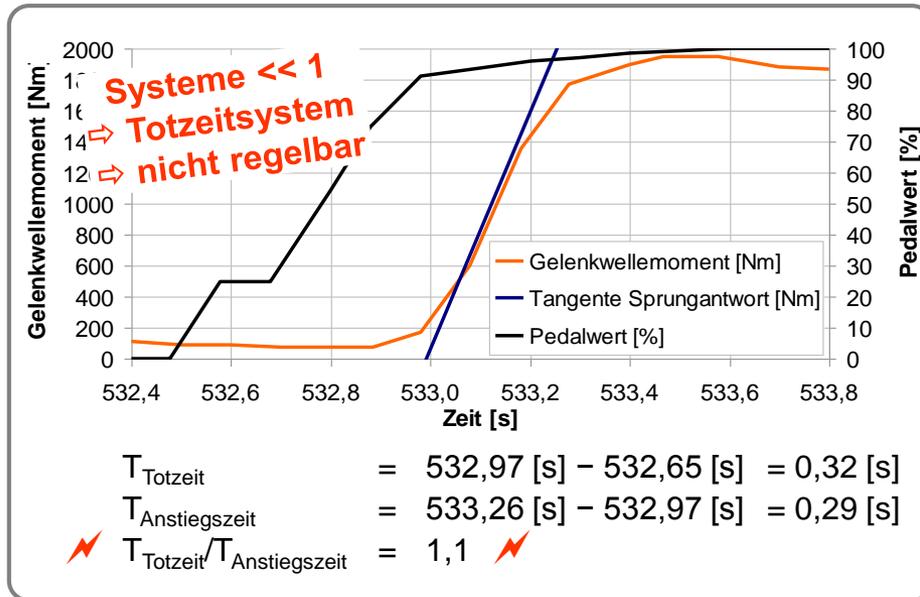


Untersuchte Reglerausführungen





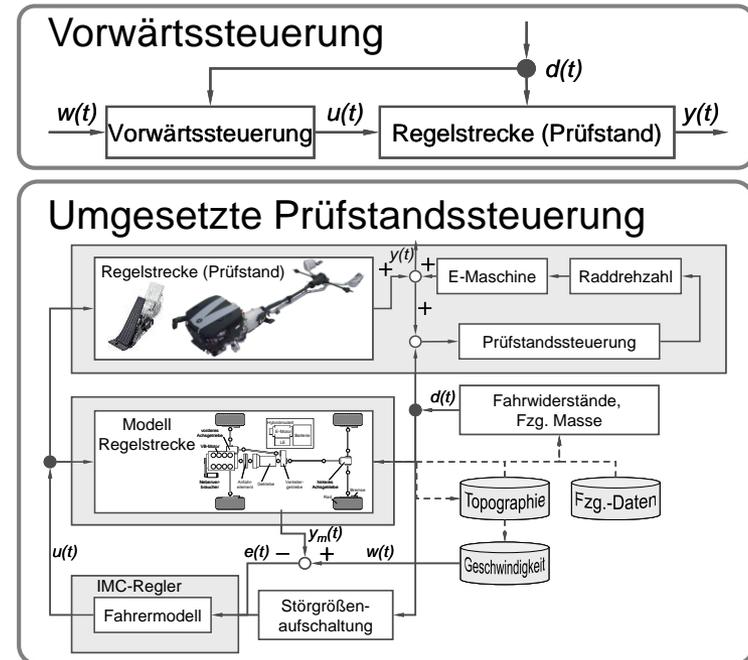
Reglerauswahl



Kenngrößen zur Bewertung der Regelungsgüte

- Stabilität
- Störkompensation und Sollwertfolge
- Dynamikanforderung
- Robustheitsanforderung

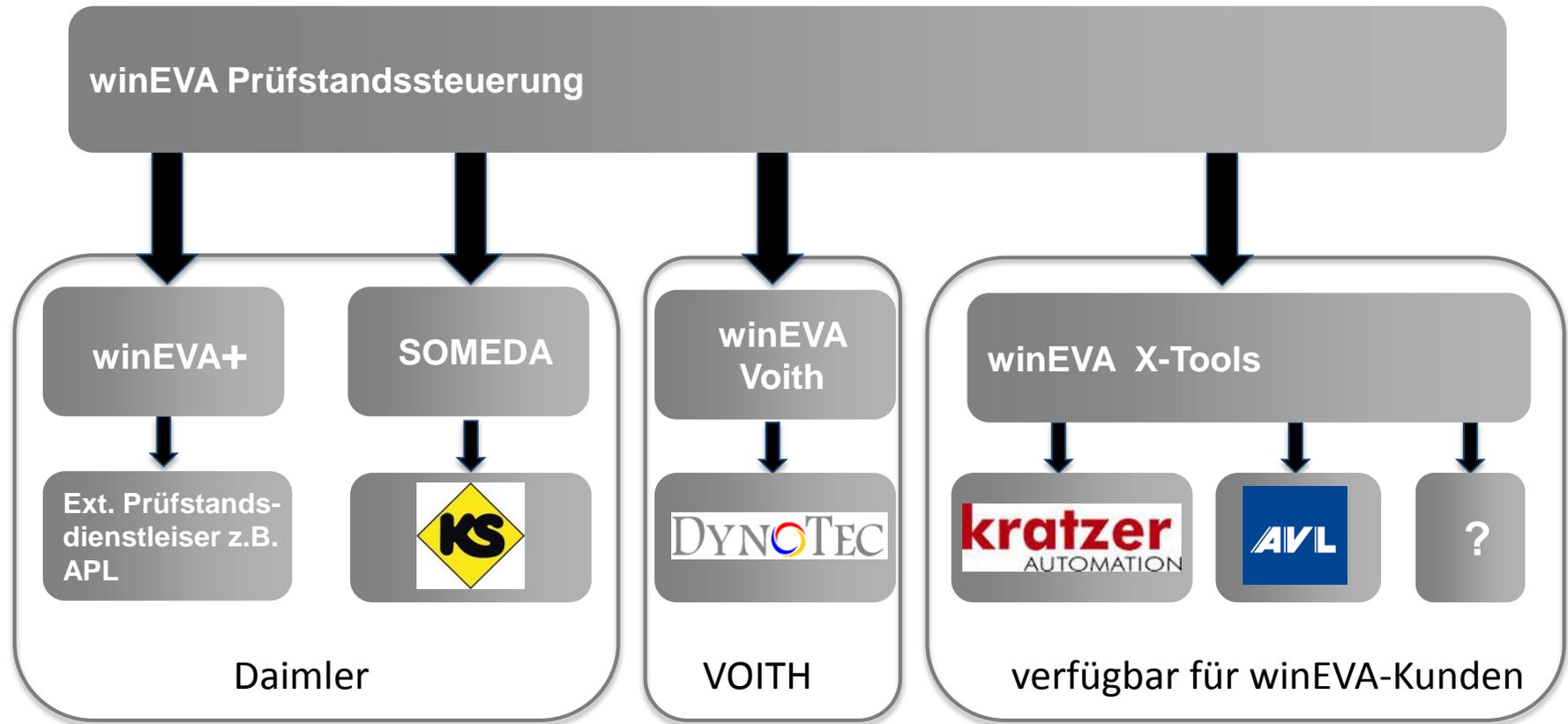
Vorwärtssteuerung mit idealem Modell



- Prüfstandsregelung als Vorwärtssteuerung mit idealem Modell
- Beurteilung idealen Modellverhaltens
- ➔ Ideales Modell = Exakte Übereinstimmung aller Kenngrößen des Modells mit der Regelstrecke



Schnittstellen zu verschiedenen Prüfständen





Validierung

1. Direkter Vergleich von Last-Zeit-Daten zw. Modellverhalten und Regelstrecke

Nachteil: Bewertung kleiner Zeitabschnitte

2. Vergleich anhand klassischer statistischer Kenngrößen der Dauererprobungen.

Vorteil: Statistische Verfahren erlauben Bewertung der Regelungsgüte über längere Zeitabschnitte

➔ Bewertung durch statistische Verfahren

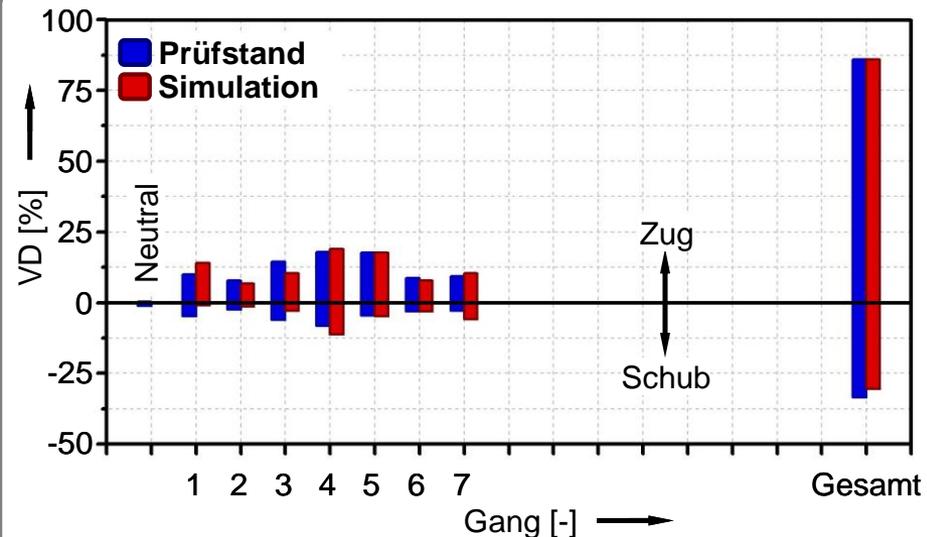
Dauerlauf mit Gesamtlänge von mehreren 10.000 km bei durchmischten Kundenbetrieb

Aufbau:

- aktuellen S-Klasse (V221)
- mit 4-Zylinder Dieselmotor (OM651) und
- NAG2 incl. Stopp/Start-Funktion

Dynamisches Prüfprogramm

Gangverteilung



- Die Gangverteilung zeigt die prozentuale Fahrzeit in den Gängen im Dauerlauf zw. einer vor dem Prüflauf durchgeführten
 - Offline-**Simulation** (Soll- o. Erwartungswert) u.
 - Online-Simulation am **Prüfstand** (Ist-Wert)
- Der Prüfaufbau in der Online-Simulation besitzt freie Fahrzustandswahl

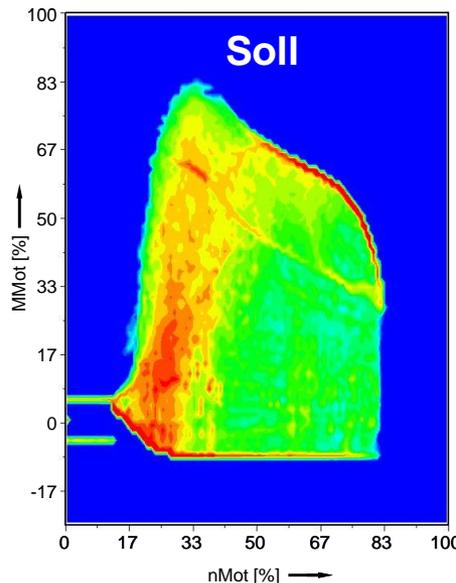
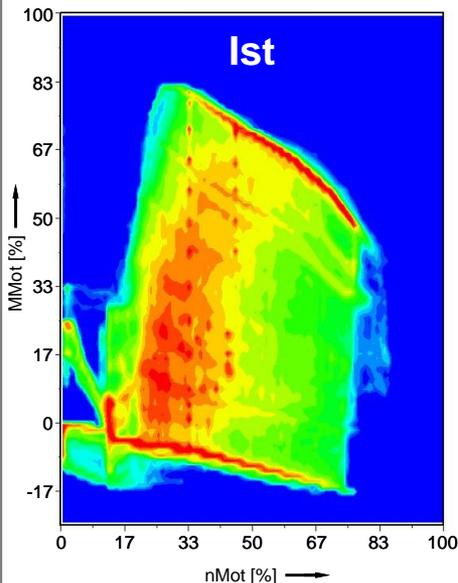


Motorkollektiv

Getriebeabtriebskollektiv

Prüfstand

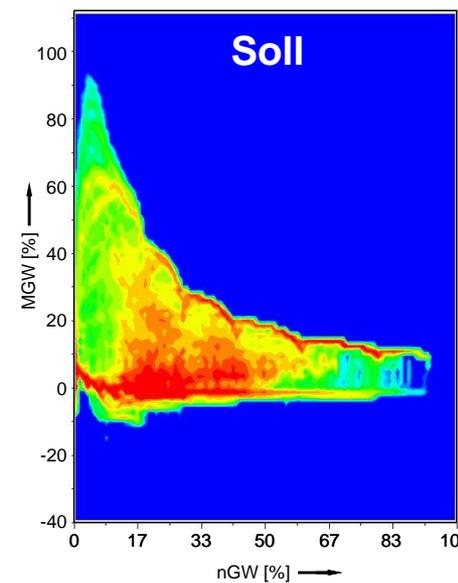
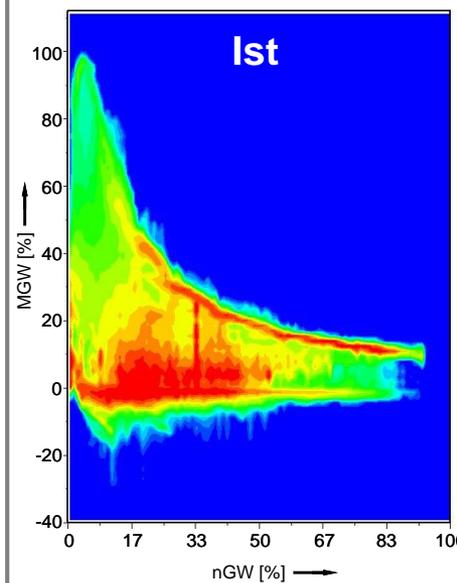
Simulation



- Die Motorenkollektive zeigen gute Übereinstimmung
- Die Modellierung der Schubmomentenlinie der Offline-Simulation könnte verbessert werden
- Die Schubmomentenlinie besitzt keinen schwerwiegenden Einfluss auf die Bewertung

Prüfstand

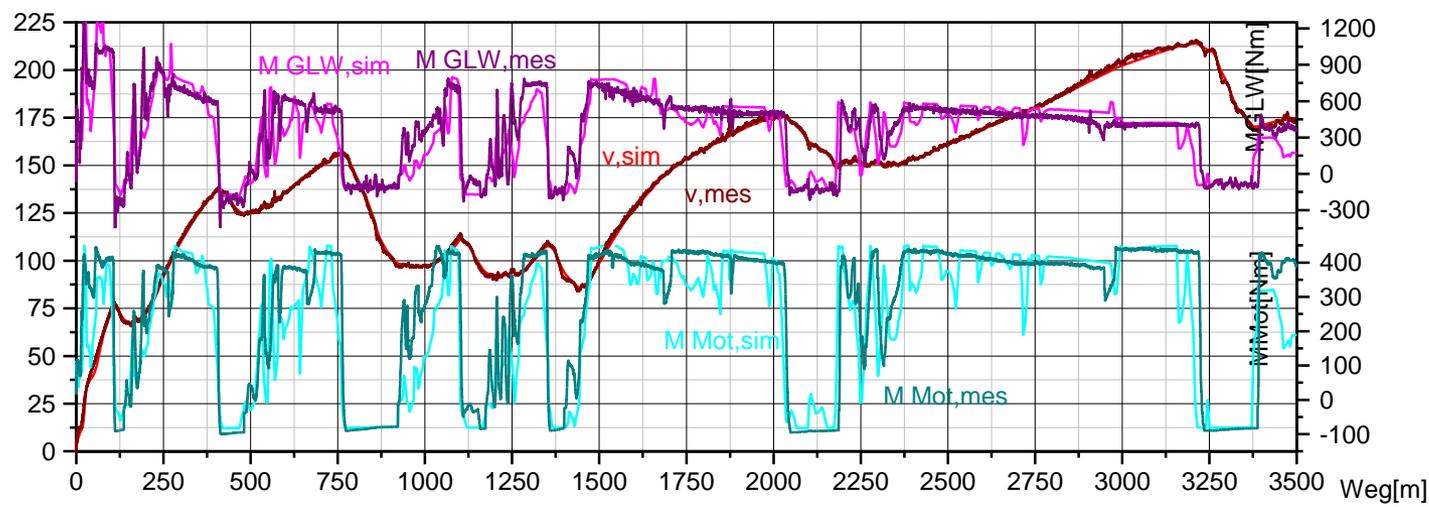
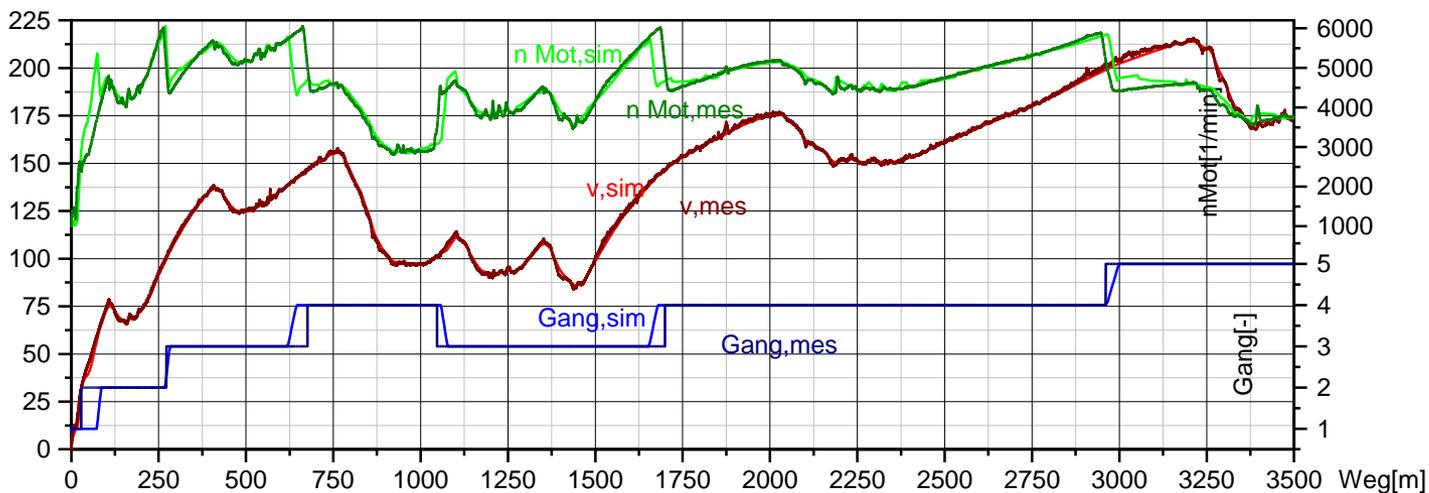
Simulation



- Die Getriebeabtriebskollektive zeigen nahezu identische Ausprägung hinsichtlich den Momentenniveaus und deren Verteilung
- Gemessen an der freien Fahrzustandswahl des Prüflaufs erreicht die Online-Simulation bisher unbekannt gute Ergebnisse zw. Ist- u. Soll-Werten

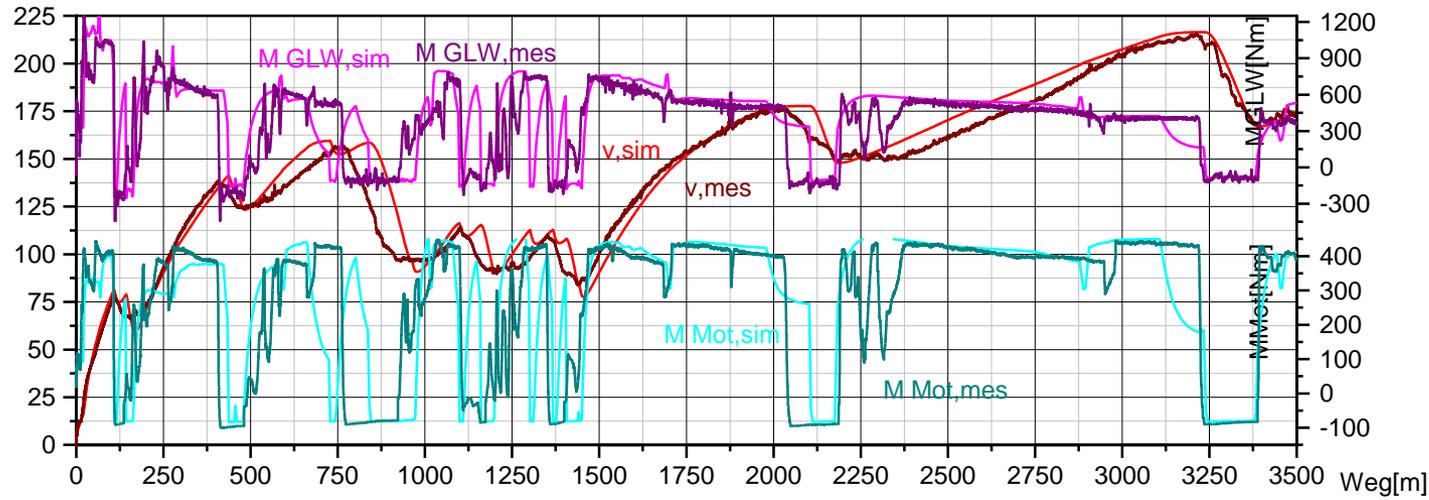
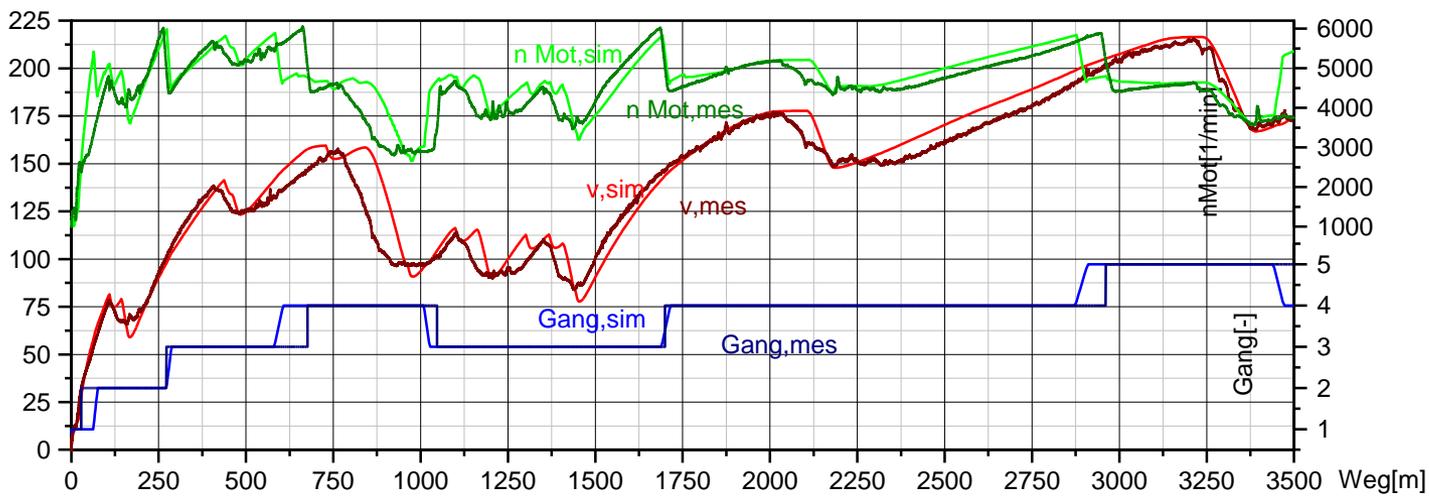


Vergleich Messung-Rechnung (Pilotfahrt) auf dem Nürburgring





Vergleich Messung-Rechnung (Wunschfahrt) auf dem Nürburgring





Zusammenfassung

Ergebnisse

- Abbildungsgüte von Modellverhalten zur Regelstrecke wird als ausreichend klein bewertet
- Dadurch ist ideales Modellverhalten gegeben

Anwendung

- Erste Anwendung 2004 bei Getriebehersteller für Busse
- 2007 Einführung bei Premiumhersteller für Pkw
- 2015 weitere Verbreitung bei weiterem Premiumhersteller und Prüfstandsdienstleistern

Vorteile der Online-Simulation

- Sicherstellung einer zuverlässigen, realitätsnahen und kundenorientierten Funktions- und Dauererprobungen
- Standardisierte Lernzyklen korrigieren ggf. automatisiert Unterschiede zw. Modell und Regelstrecke
- Verbesserte Prüflaufplanung durch voruntersuchtes Triebstrangverhalten
- Schnellere Prüflaufumsetzung durch angemessenen Parametrierungsaufwand
- Effizienzsteigerung durch deutlich reduzierte Abschaltungen aufgrund realitätsnahen Antriebsstrang- und Fahrzeugverhalten



Quellen:

[1] M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Jakob Häckh:

Untersuchung und Optimierung der Steuerung von Prüfständen zur Streckensimulation von Pkw-Antriebssträngen unter realistischen Einsatzbedingungen , Masterarbeit an der Hochschule Ulm, 2007

[2] Gramlich, G.; Häckh, J.; Klos, W.; Willmerding, G. :

Real Time Simulation on Test Benches under Realistic Service Conditions.
Vortrag auf der VDI-Getriebetagung 2012: [VDI-Getriebetagung 2012.](#)

[3] Greiner, J.; Dörr, W.; Klos, W.; Schwämmle, T. :

Lastkollektive 7-Gang Automatikgetriebe W7A700, durchgängige Bewertung und Betrachtung im Entwicklungsprozess bei Mercedes-Benz, Getriebetagung Friedrichshafen 2004, VDI-Berichte



Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit