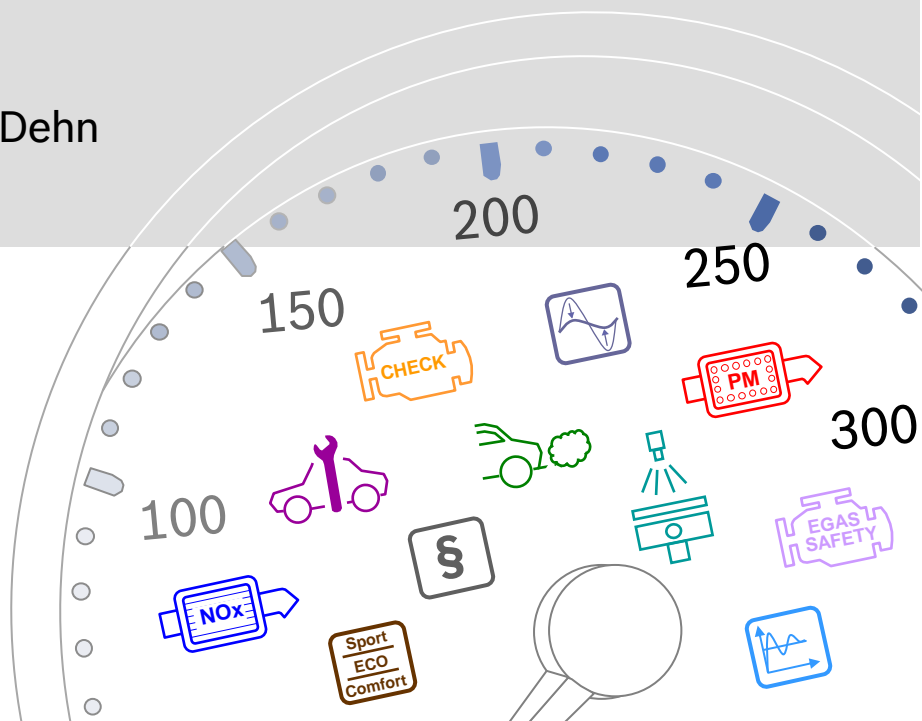
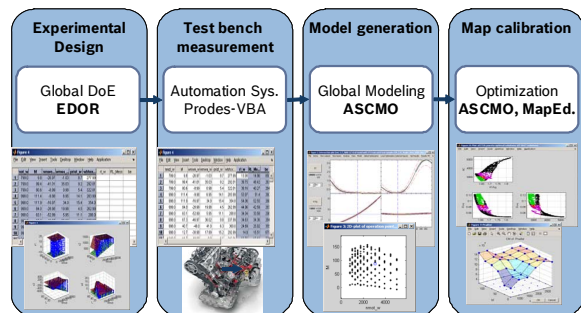


## Tools und Methoden in der Entwicklung und Applikation von Verbrennungsmotoren zur Erfüllung der zukünftigen Abgasgesetzgebung

HeavyDuty Konferenz 2010 Mannheim

T. Huber, Dr. F. Wirbeleit, H. Hartlief, J. Dehn

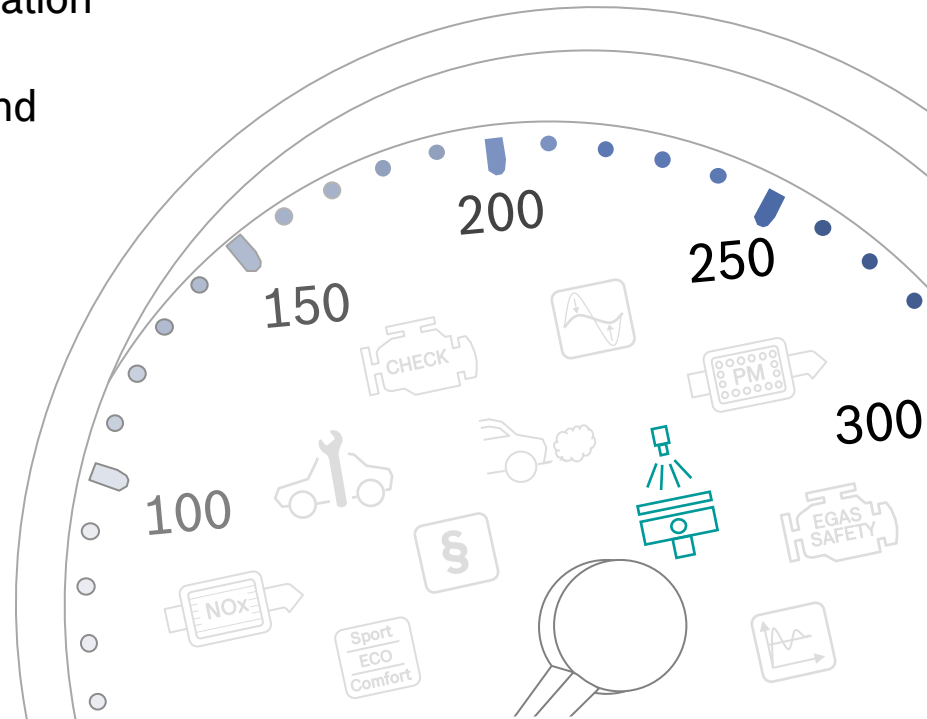
Bosch Engineering GmbH





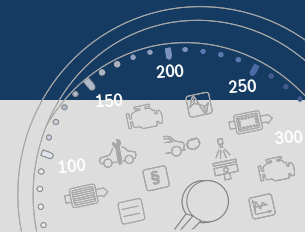
## Agenda

- Steigende Anforderungen an die Applikation
- Applikation => Modellbasierte Applikation
- Anforderungen an den Motorprüfstand
- Globale Modellierung
- Lokale- und Zyklus-Optimierung
- Zusammenfassung





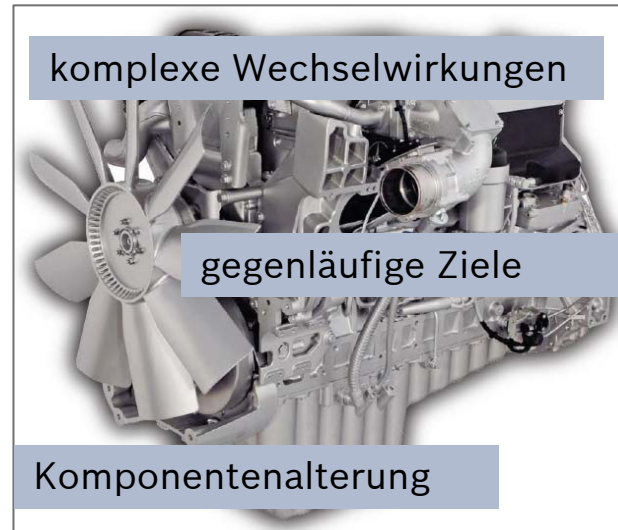
## Anforderung an die Applikation



### Eingangsgrößen

Motordrehzahl  
Motorlast  
Einspritzzeitpunkt  
Einspritzdruck  
AGR-Rate  
Ladedruck  
Voreinspritzung  
Nacheinspritzung  
...

### Motor



### Ausgangsgrößen

#### Emissionen

- NOx
- HC
- CO
- Partikel

#### Kraftstoffverbrauch

Abgasgegendruck  
Abgastemperatur  
Geräusch  
...

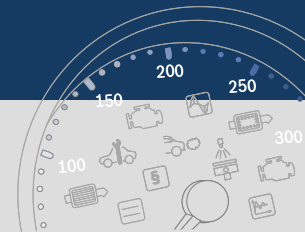


AGR: Abgasrückführung

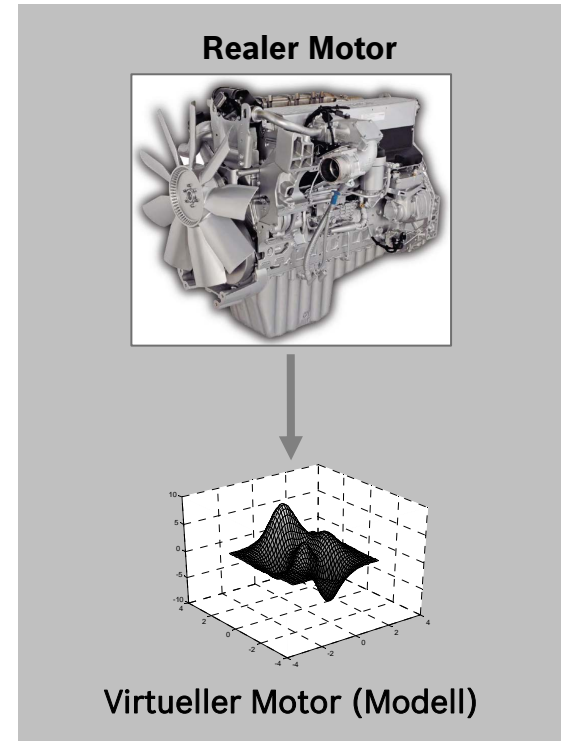




## Modellbasierte Applikation

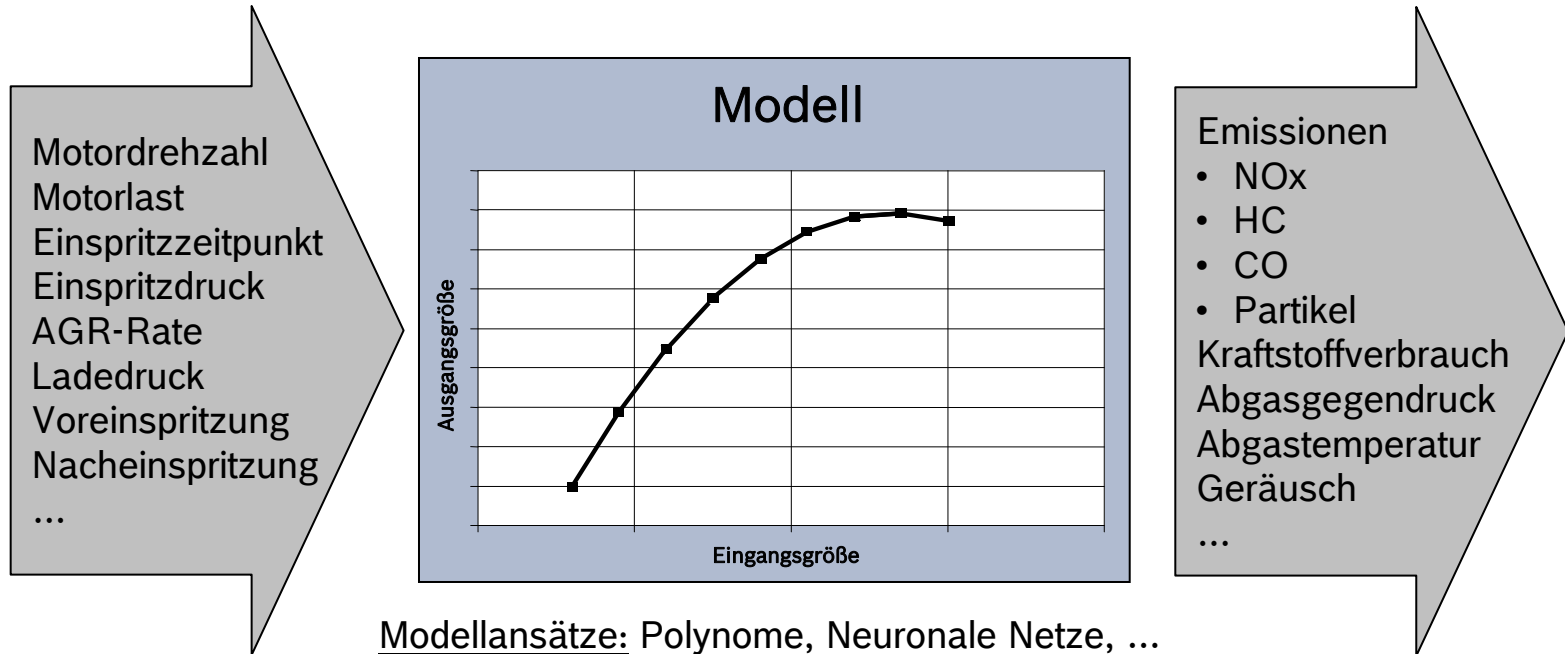
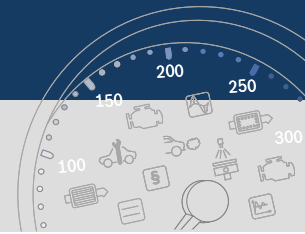


- Applikation ist ein Optimierungsprozess
  - Einparameter-Optimierung nicht zielführend
  - komplette Rastervermessung nicht durchführbar
- Einsatz von datenbasierter Modellierung durch die DoE-Methodik (Design of Experiments)
  - problemangepasste Reduzierung des Messaufwandes
  - Überführung vom realen in ein virtuelles System
  - Beherrschung hoher Freiheitsgrade
- Vorteile eines datenbasierten Motormodells
  - kostengünstiger “virtueller Motorprüfstand”
  - keine Alterungseffekte
  - erleichtert umfassendes Systemverständnis
  - Einsatz von Optimierungsalgorithmen möglich





## Grundlagen DoE (Design of Experiments)



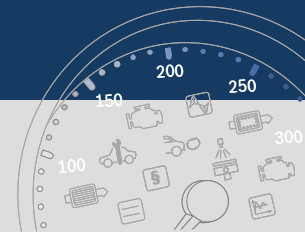
Modellansätze: Polynome, Neuronale Netze, ...

- Modellhafte Beschreibung unbekannter Systeme auf Basis von Messdaten
- Minimierung des Messaufwandes durch **Statistische Versuchsplanung**
- Optimierung am Modell anstatt am realen System



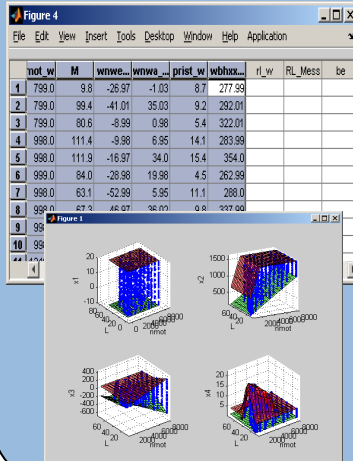


## Toolkette im Bosch Konzern



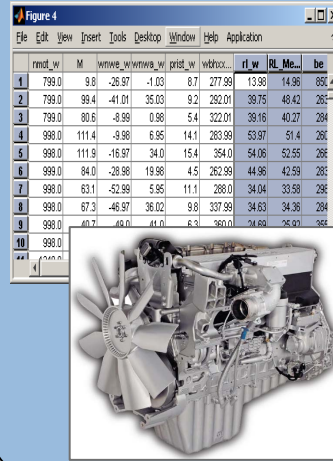
### Versuchsplan Erstellung

Globales DoE  
EDOR



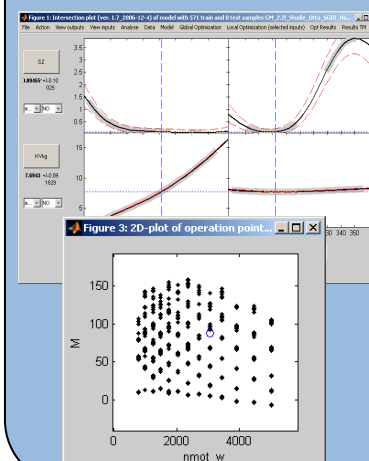
### Automatisierte Messung

Automatisierung  
PUMA®,  
ORION®



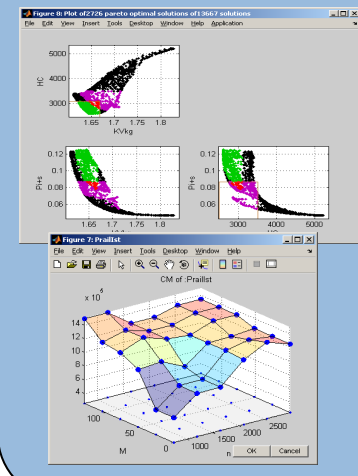
### Model generation

Globales Modell  
ASCMO



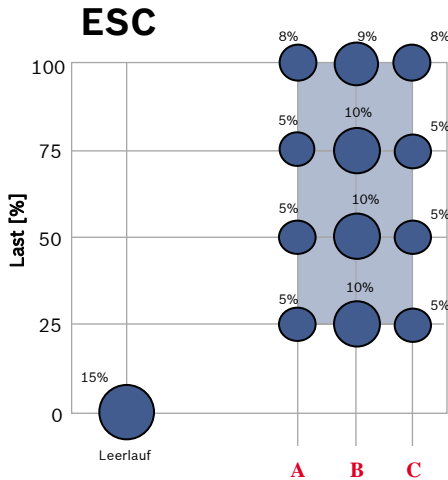
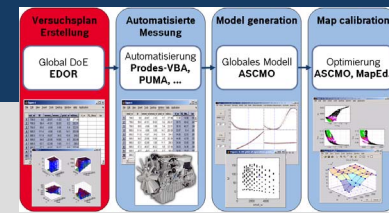
### Map calibration

Optimierung  
ASCMO,  
MapEditor

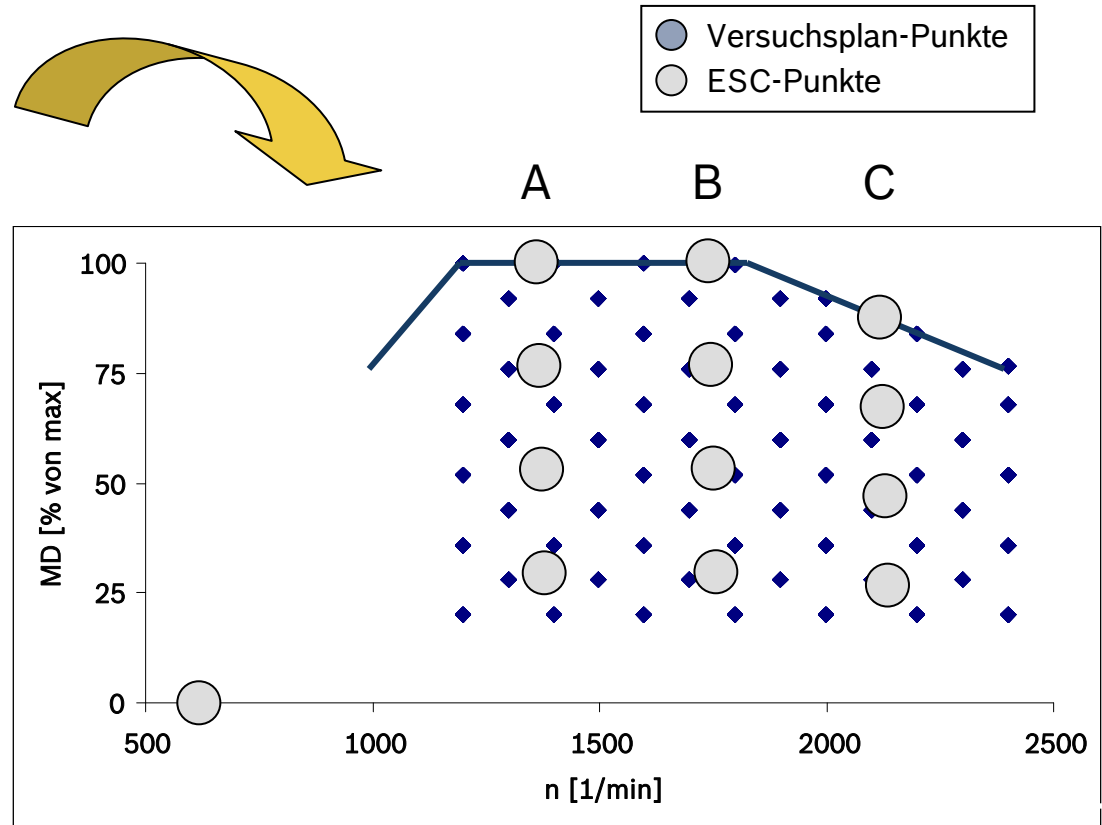
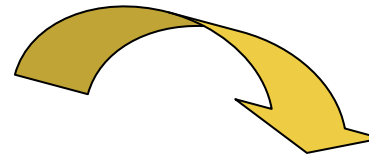




## Versuchsplan für globales Modell

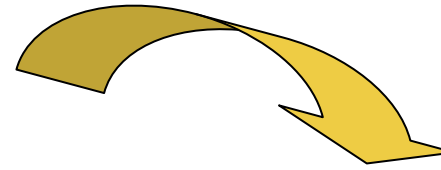
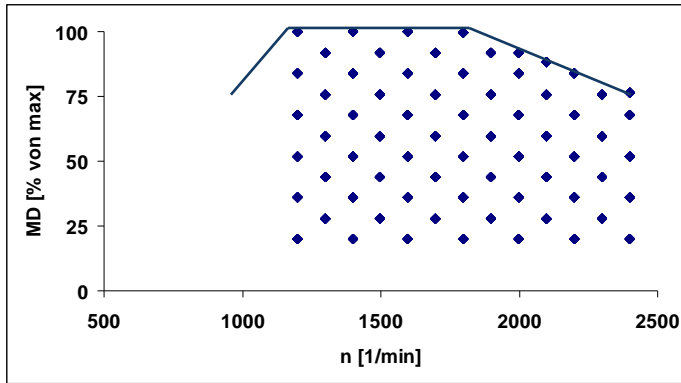
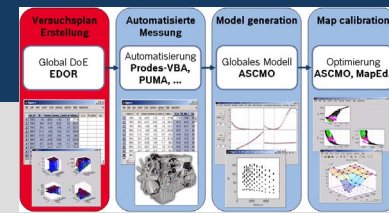


- Der Bereich im Kennfeld um die ESC-Punkte wird zur Vermessung festgelegt
- Für weitere Zyklen kann der Kennfeldbereich beliebig erweitert werden



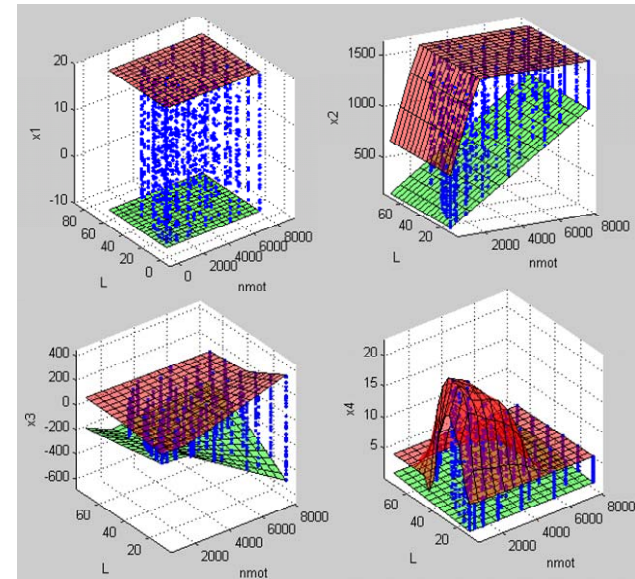


## Stellgrenzen über Drehzahl / Last



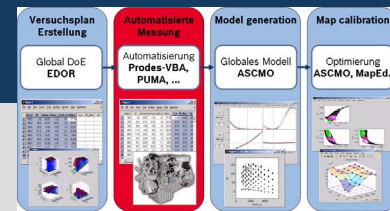
- Über Drehzahl/Last sind unterschiedliche Wertebereiche der einzelnen Parameter möglich
- Hohe Parameteranzahl und Wechselwirkungen erschweren die Auswahl
- Gute Vorauswahl für effiziente und sichere Vermessung am Motorprüfstand nötig

=> Toolunterstützte Auswahl der Grenzen für alle Stellgrößen

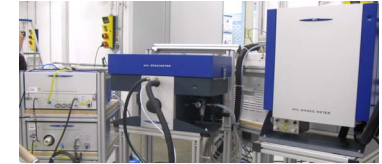




## Anforderungen an Motorprüfstände

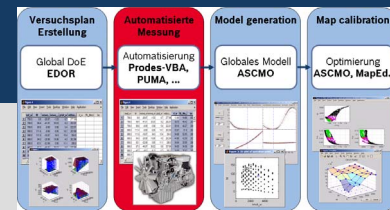


- Prüfstand muss gesetzliche Vorschriften erfüllen hinsichtlich
  - Medienkonditionierung
  - Abgasmesstechnik
  - Betriebszyklen
- Flexible Verfügbarkeit unterschiedlicher Messtechnik und Konditionierung
- Simultane und zeitlich aufgelöste Messungen und Analysen für detaillierte Untersuchungen
- Sicherstellung höchster Messsicherheit durch Plausibilisierungs- und Wartungskonzept
- Höchstmögliche Nutzungsgrade erforderlich

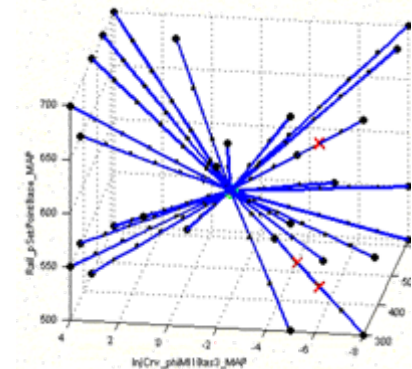
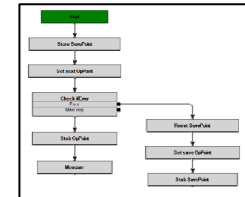




## Anforderungen an Motorprüfstände

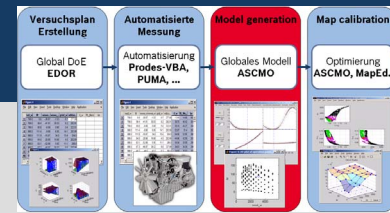


- Komplexe Messaufgaben erfordern flexibles Automatisierungssystem
- Einfache Programmierung der Abläufe
  - Wechselnde Aufgaben erfordern laufend geänderte Abläufe
  - Intuitive Bedienung vermeidet Fehler
- Flexible Anfahrstrategien an die Messpunkte
  - Schnellstmöglicher Ablauf vs. Bestmöglicher Qualität
  - Vermeidung von Motorproblemen vs. Erreichung der Applikationsziele
- Geeignete Reaktionen bei Grenzwertverletzung
  - Abbruch der Messreihen möglichst vermeiden
  - Unterschiedliche Reaktionen bei verschiedenen Grenzwerten

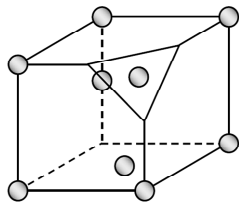




## Globale Modellierung (Training)



→ Modelltraining aus den gewonnenen Messpunkten

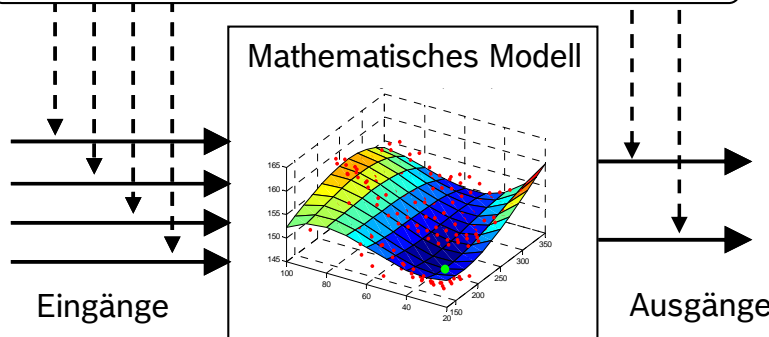


A	B	C
MLH_IDC	ABHE_EDC	CRP_IDC
400	-5	600
410	-3	600
420	-1	600
430	1	600
440	3	600
450	5	600
460	7	600
470	9	600
480	11	600

Versuchsplan für min.  
Anzahl an Messungen



Modelltraining mit Messungen vom Prüfstand



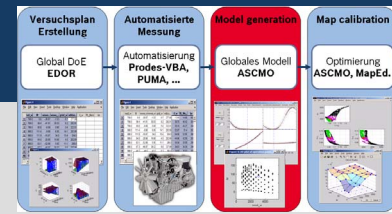
- Aufbereiten der Rohdaten
- Modelltraining mit geeignetem Algorithmus
  - Bosch Standard: Statistische Lernverfahren
- Beurteilung der Modellqualität
  - Maßzahlen
  - Testdaten
  - Erfahrung des Anwenders
- Modellverbesserung

**=> Freigabe des Modells für den Applikationseinsatz**

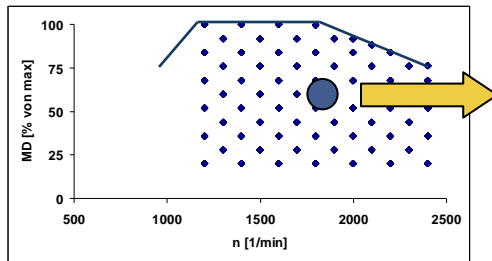




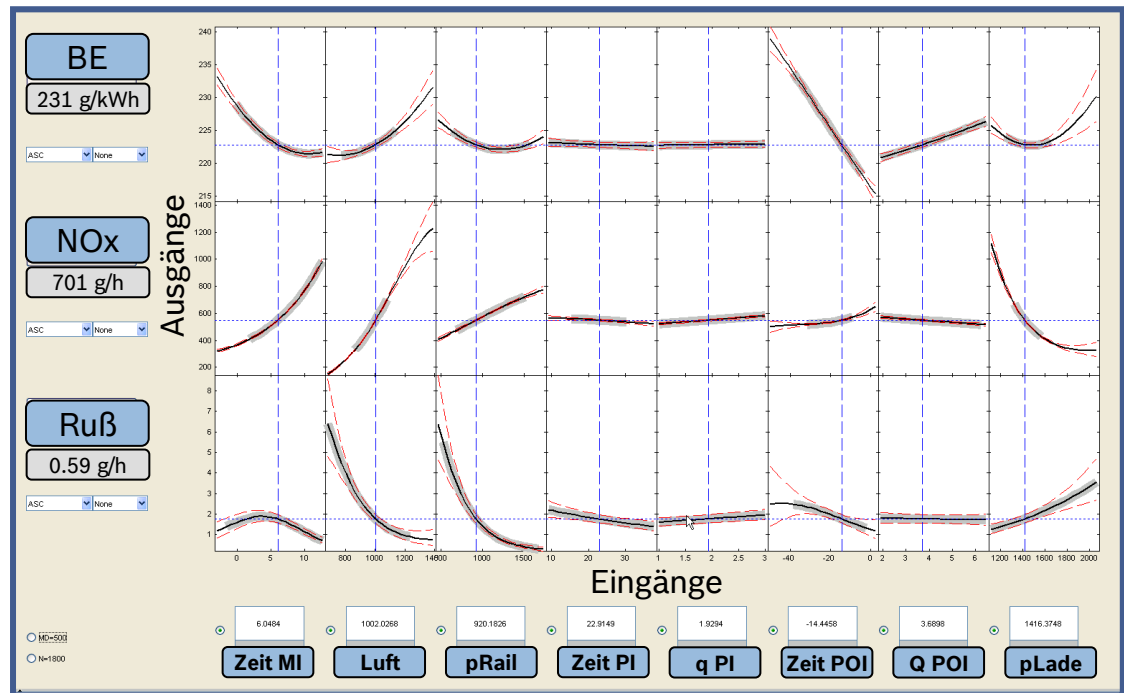
## Globale Modellierung



→ Darstellung der Abhängigkeiten zwischen Ein- und Ausgängen für beliebige Betriebspunkte im gesamten Kennfeld

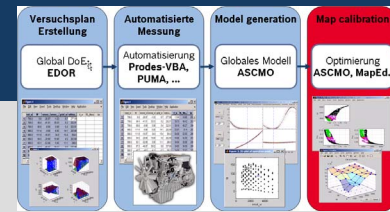


- Parameterstudie
- Potentialanalyse
- „Manuelle Applikation“ am Modell statt am Motor
- Modellbasierte Optimierung
  - lokal
  - auf Zykluswerte

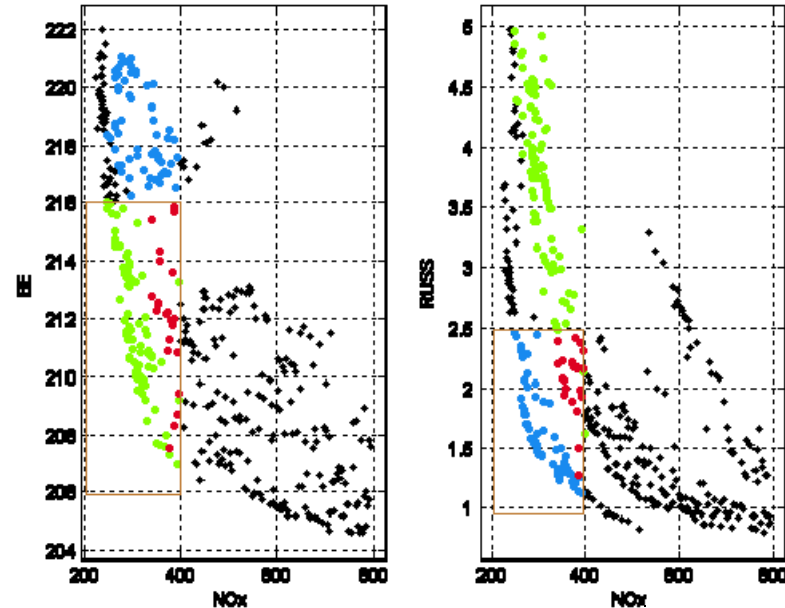
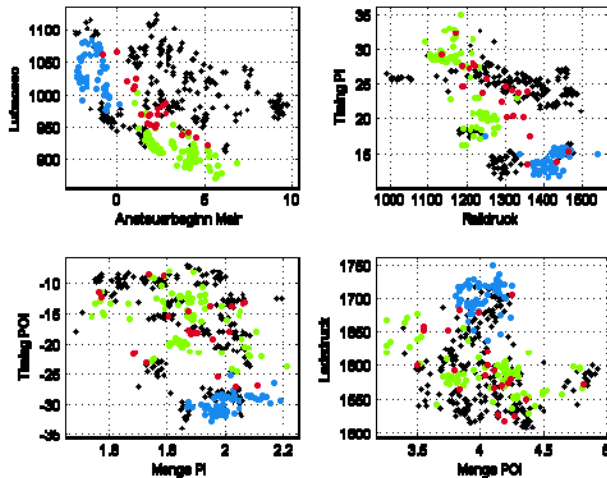




## Lokale Mehrziel-Optimierung



- ➔ Auswahl der gewünschten lokalen Grenzwerte aus den Optimiervorschlägen
- ➔ Anzeige der zugehörigen Parameter-Kombinationen

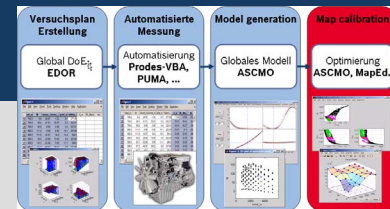


- Mögliche Lösungen bezüglich Optimierkriterien
- ● Lösungen der jeweiligen Auswahl
- Gemeinsame Lösungen über alle Auswahlen

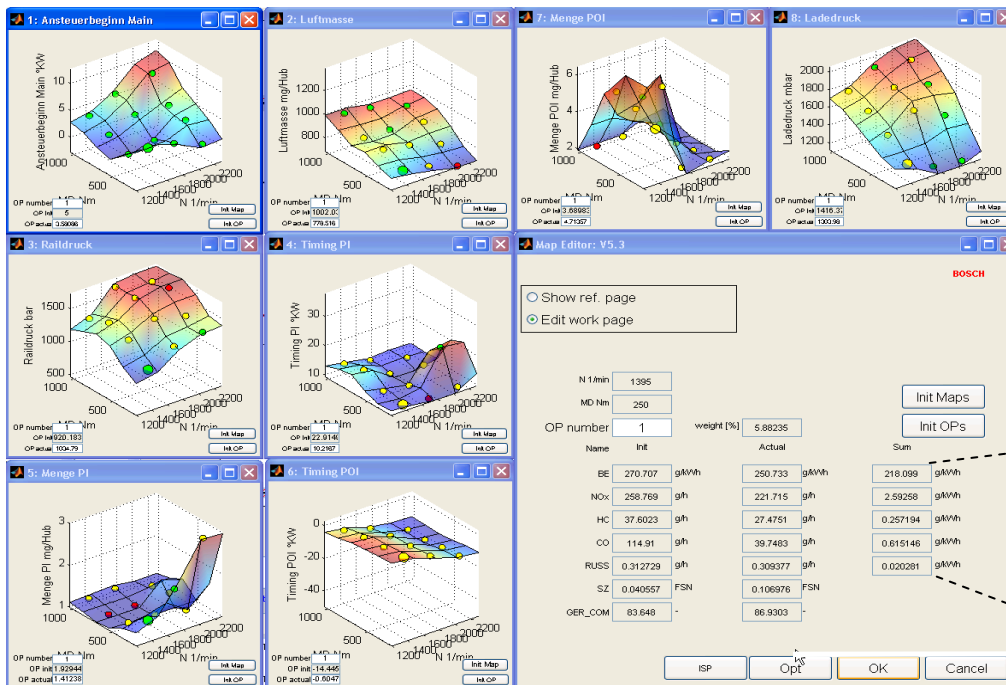




## Zyklus-Optimierung (EURO V)



- ➔ Darstellung aller Kennfelder mit den ESC-Punkten
- ➔ Zyklus-Hochrechnung für Emissionen und Verbrauch



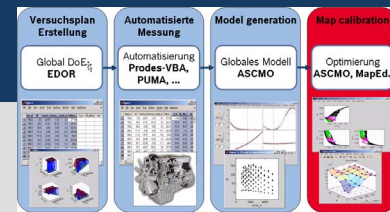
- ➔ Manuelle Anpassung der Kennfelder
- ➔ Simultane Optimierung der Kennfelder bezüglich:
  - lokaler Werte
  - Zyklus Werte
  - Kennfeldglattheit

Zyklussumme [g/kWh]	
BE	218
NOx	2.6
HC	0.26
CO	0.61
Ruß	0.02

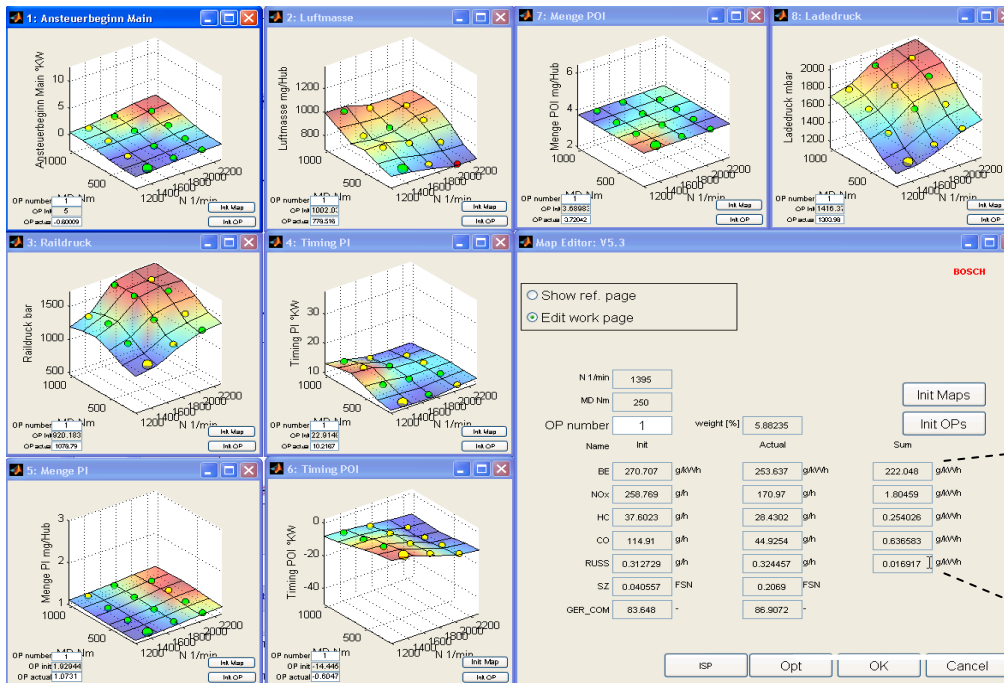




## Zyklus-Optimierung (EURO V)



- ➔ Darstellung aller Kennfelder mit den ESC-Punkten
- ➔ Zyklus-Hochrechnung für Emissionen und Verbrauch



*Vor der Optimierung*

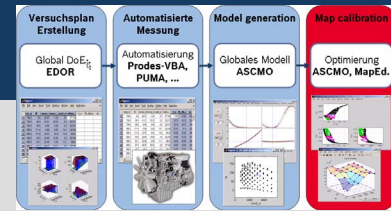
Zyklussumme [g/kWh]	
BE	218
NOx	2.6
HC	0.26
CO	0.61
Ruß	0.02



*Nach der Optimierung*

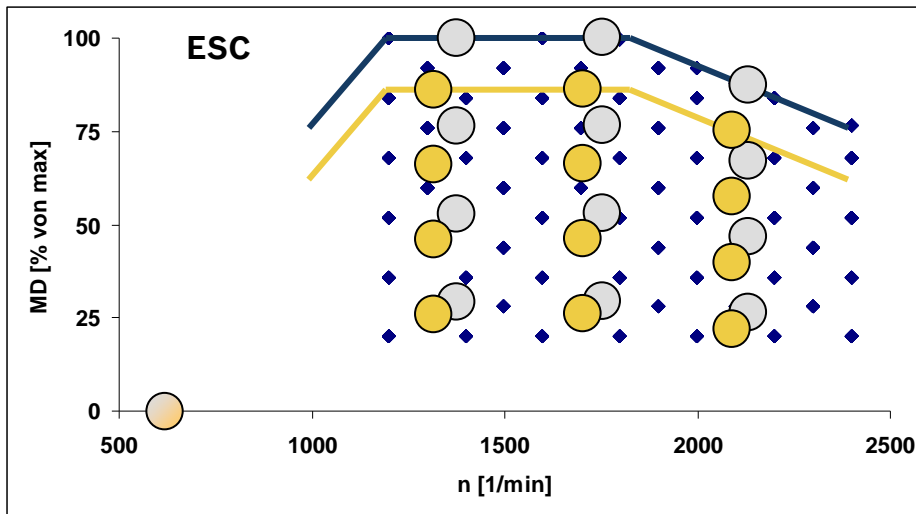
Zyklussumme [g/kWh]	
BE	222
NOx	1.80
HC	0.25
CO	0.64
Ruß	0.017



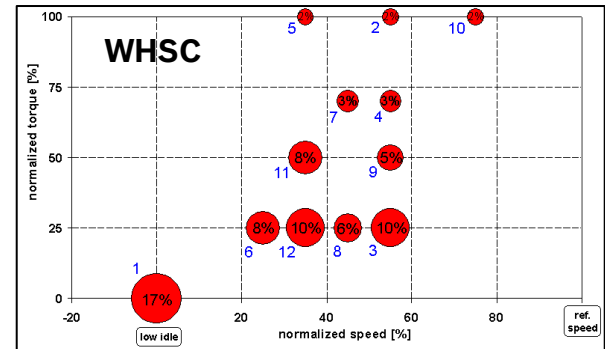


## Zyklus-Optimierung (weitere Tests)

- ➔ Anpassung der ESC-Punkte ermöglicht Berechnung weiterer Leistungsvarianten mit identischem Modell ohne weitere Messungen
- ➔ Beliebige weitere Zyklen (WHSC, C1, ...) möglich



○ Variante 1    ● Variante 2

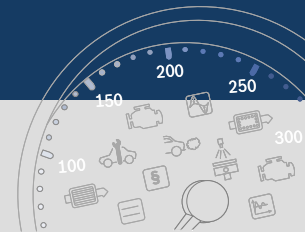


**Versuchsplan muss  
Kennfeldbereich für alle  
notwendigen Testzyklen  
abdecken !**

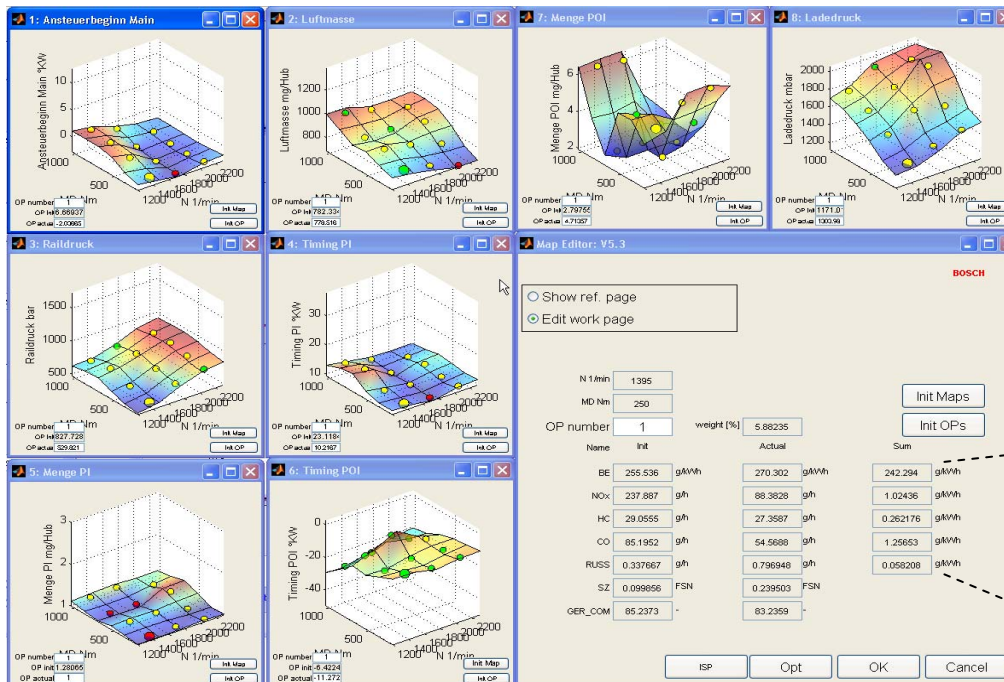




## Zyklus-Optimierung (EURO VI)



- ➔ Potentialdarstellung für strengere Grenzwerte
- ➔ Entscheidungshilfe für Auswahl einer geeigneten Abgasnachbehandlung



### Optimierungs-Variante 2

Zyklussumme [g/kWh]	
BE	219
NOx	3.13
HC	0.27
CO	0.59
Ruß	0.01

X  
X  
α  
α

### Nach der Optimierung

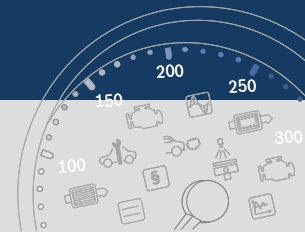
Zyklussumme [g/kWh]	
BE	242
NOx	1
HC	0.26
CO	1.26
Ruß	0.06

X  
X  
α  
X





## Zusammenfassung



- Künftige Emissionsgrenzen erfordern eine zunehmend größere Anzahl gleichzeitig zu berücksichtigender und optimierender Parameter
- Motorprüfstand mit Automatisierung und Messtechnik muss den steigenden Anforderungen komplexerer Aufgaben gerecht werden
- Modellbasierte Applikation kann Messaufwände reduzieren, ermöglicht mehr Automatisierung und vereinfacht die Beherrschung des Systems
- Zykluswerte können mit einem einzigen Modell für verschiedene Leistungsvarianten und Zyklen berechnet und optimiert werden
- Tätigkeiten des Applikateurs verändern sich durch neue Vorgehensweise

Der Einsatz moderner Tools und Methoden kann Aufwände reduzieren, macht komplexe Systeme beherrschbarer und steigert dabei die Aussagekraft und Reproduzierbarkeit deutlich



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

