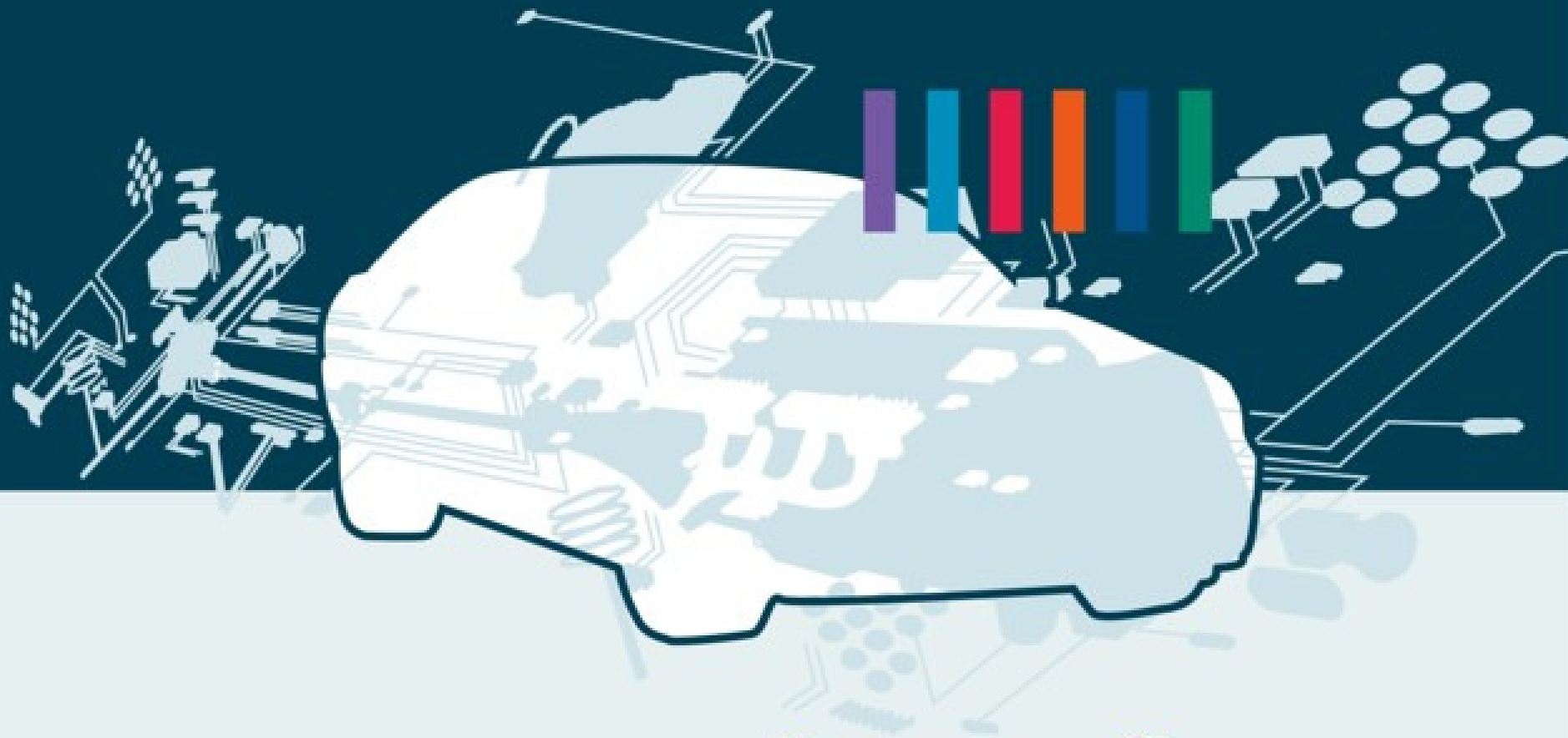


Automobile verstehen.



Optimierungsverfahren im Verkehrswesen

„Entwicklung und Auslegung eines ACC-Systems anhand von evolutionären Algorithmen“

Aachen, 22. August 2007

Dipl.-Ing. Frederic Christen
Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen

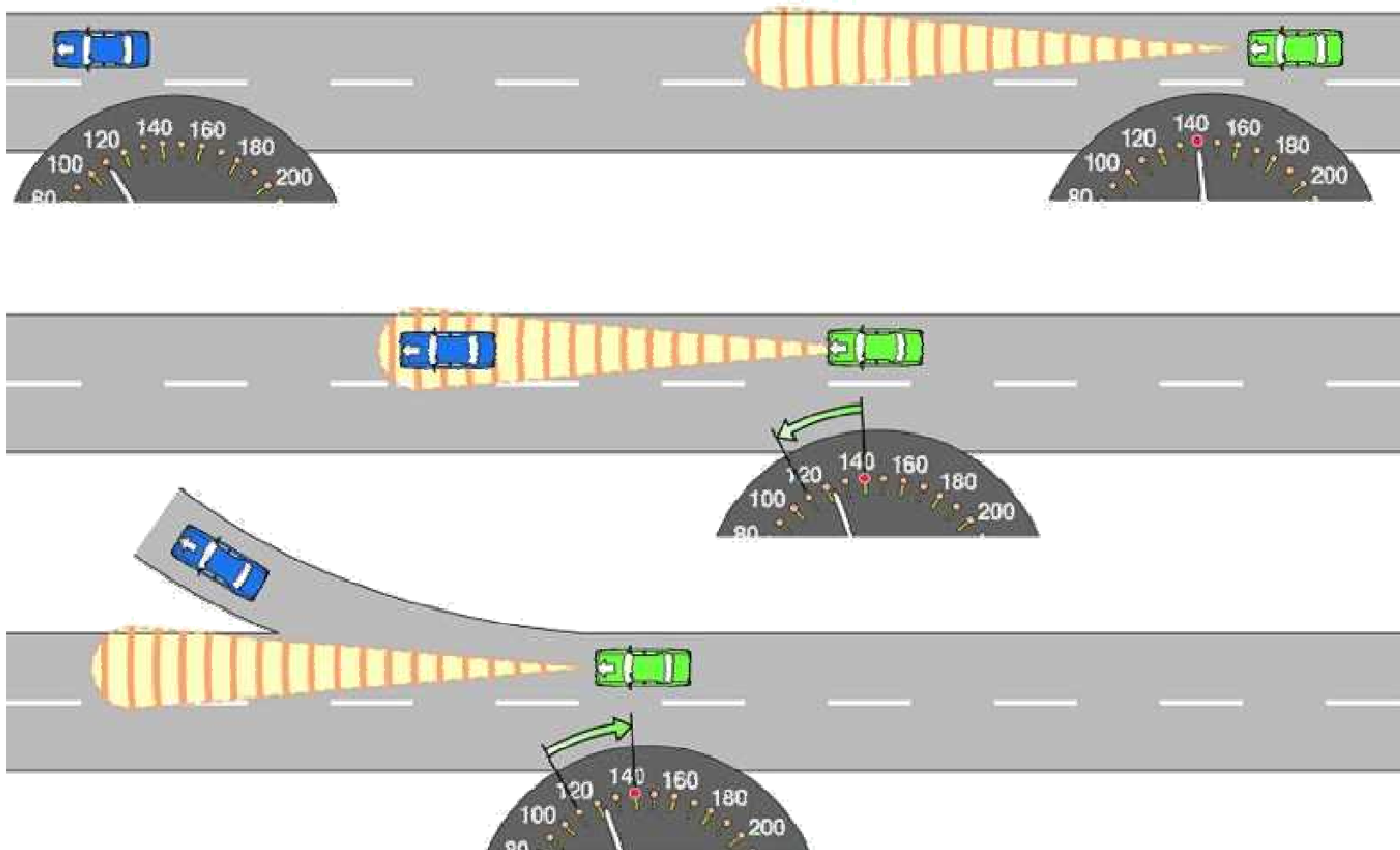
„Entwicklung und Auslegung eines ACC-Systems anhand von evolutionären Algorithmen“ - Gliederung

- Einleitung
 - ACC: Funktion und Historie
 - Anforderungen an ACC
- Systementwicklung und -auslegung des ACC mittels Simulation
 - ACC Reglerstruktur
 - Verkehrsflusssimulation PELOPS
 - Einsatz von evolutionäre Algorithmen
 - Ergebnisse
- Zusammenfassung

„Entwicklung und Auslegung eines ACC-Systems anhand von evolutionären Algorithmen“ - Gliederung

- Einleitung
 - ACC: Funktion und Historie
 - Anforderungen an ACC
- Systementwicklung und -auslegung des ACC mittels Simulation
 - ACC Reglerstruktur
 - Verkehrsflusssimulation PELOPS
 - Einsatz von evolutionäre Algorithmen
 - Ergebnisse
- Zusammenfassung

Funktionsprinzip ACC (Adaptive Cruise Control)



Historie ACC

- Erste Einführung 1995 in Japan
- 1999 in Europa in der Mercedes-Benz S-Klasse
- Seit 2002 in europäischen Nfz erhältlich
- Heutzutage ist ACC in Europa in mehr als 20 Fahrzeugmodellen erhältlich
- Als Sensorik werden Radarsensoren mit 76-77 GHz oder Lidarsensoren mit infrarotem Licht
- Primär ein Komfortsystem



Quelle: DaimlerChrysler

Übernahme von FAS-Systemen aus dem Pkw in das Nfz

- Unterschiede zwischen Pkw und Nfz:
 - Fahrzeugarchitektur
 - Variantenvielfalt
 - Produktionsmethoden
 - Lebensdauer
 - Fahrverhalten
 - Einsatzgebiet
 - gesetzlichen Rahmenbedingungen
 - Wirtschaftliche Nutzung vs. Prestigeobjekt
 - Bei Nfz Käufer nicht Fahrer
- ➔ unterschiedliche Anforderungen an Pkw und Nfz-Systemen

Anforderungen an ACC im Nfz

• Rahmenbedingungen Pkw

- Teilautomatisierung der Fahraufgabe zur Erhöhung des Fahrkomforts
- Fokus auf Fahrkomfort
 - Nachvollziehbares Fahrverhalten
 - Situationsangepasstes Verhalten
- Bei Erfüllung dieser Hauptaufgabe werden eventuelle Nachteile (z.B. geringer Kraftstoffmehrverbrauch) in Kauf genommen

• Rahmenbedingungen Nfz

- Teilautomatisierung und Fahrkomfort steht nicht im Vordergrund, da der Fahrer „sowieso“ bezahlt wird
- Abwägung des Nutzens und der Kosten des Systems aus Sicht des Käufers
- Zusätzlicher Nutzen muss gegeben sein

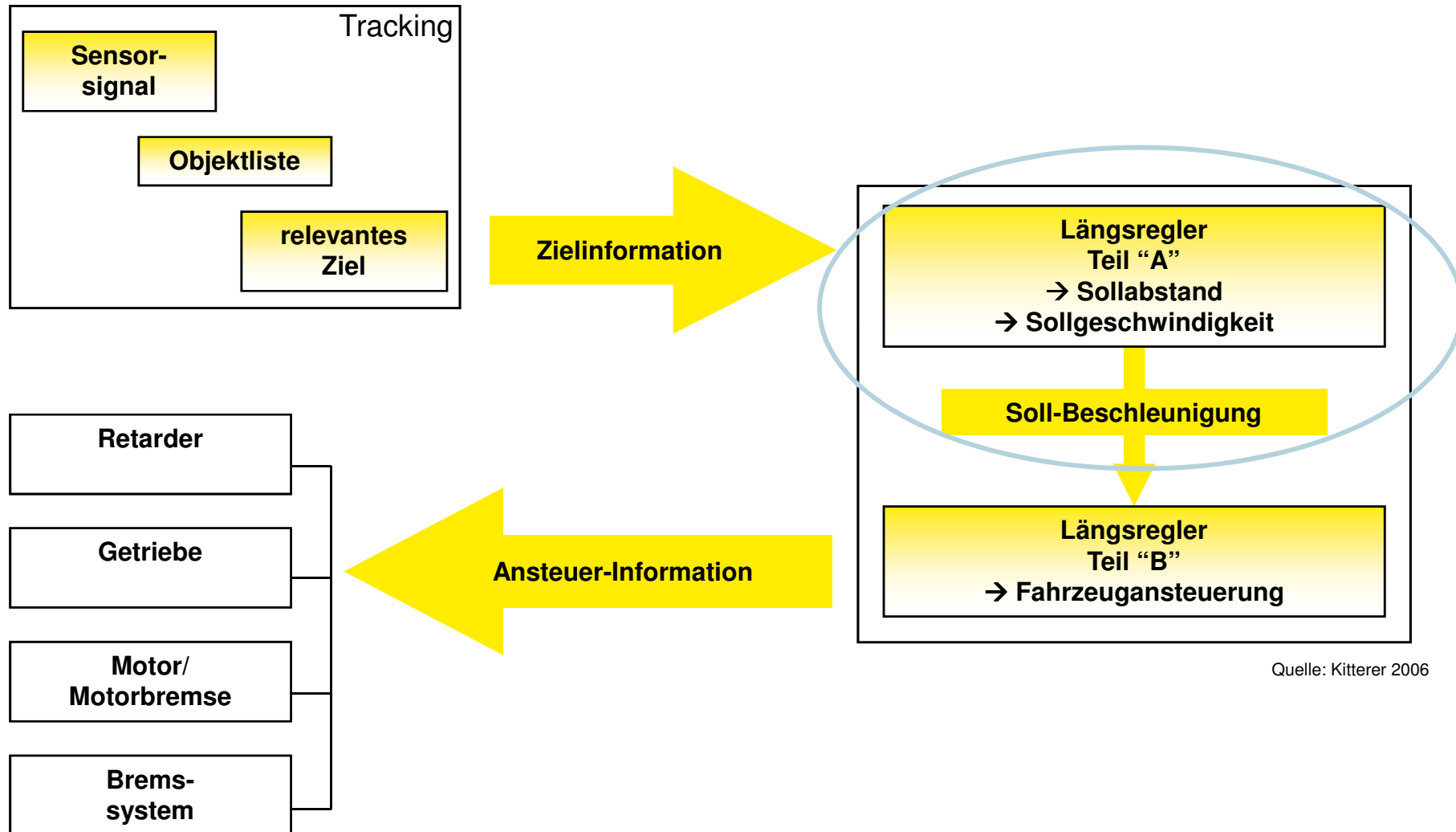
➔ Anforderungen an ACC im Nfz

- Wirtschaftlichkeit: System muss den Kraftstoffverbrauch reduzieren
- Sicherheit: System muss zur Unfallvermeidung bzw. Unfallfolgenminderung beitragen
- Fahrkomfort: Fahrer muss das System akzeptieren, sonst wird er es nicht nutzen

Gliederung

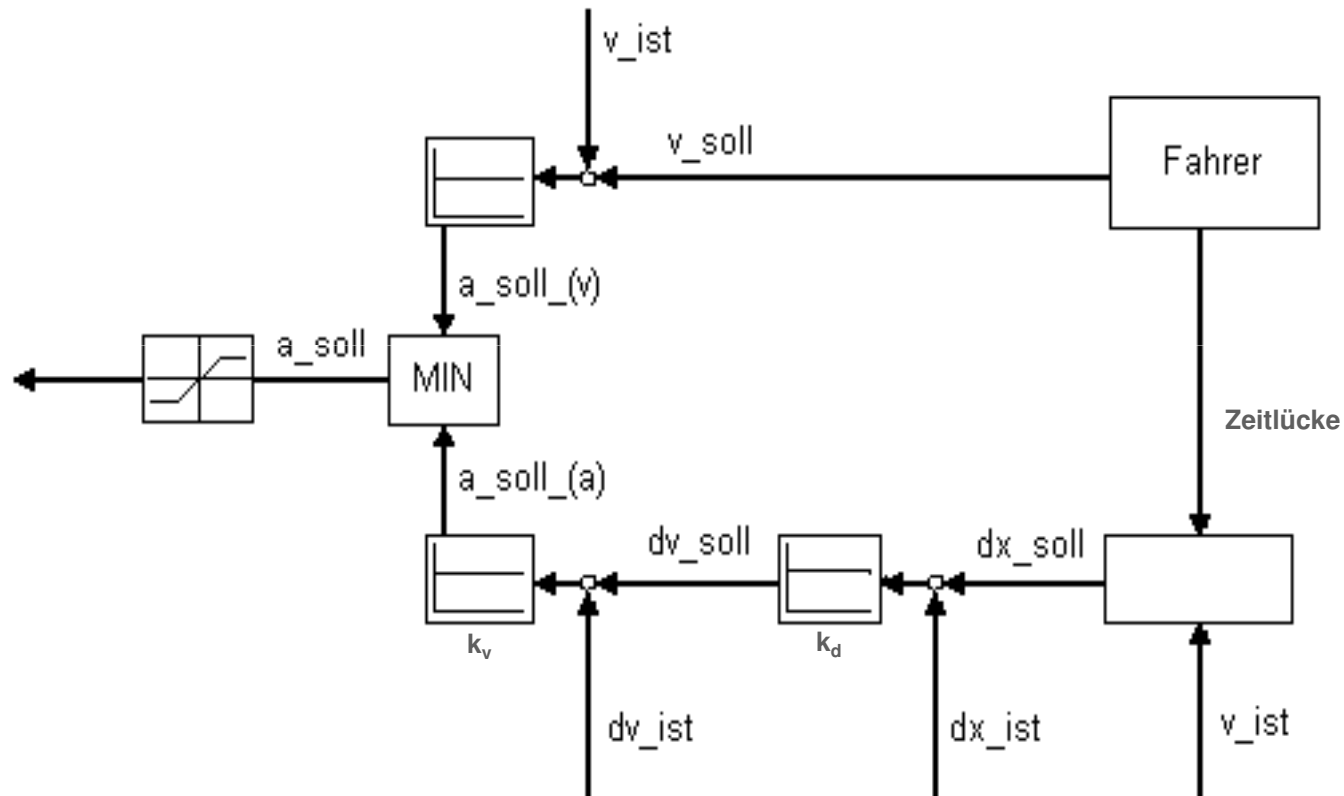
- Einleitung und Motivation
 - ACC: Funktion und Historie
 - Anforderungen an ACC
- Systementwicklung und -auslegung des ACC mittels Simulation
 - ACC Reglerstruktur
 - Verkehrsflusssimulation PELOPS
 - Einsatz von evolutionäre Algorithmen
 - Ergebnisse
- Zusammenfassung?

ACC: Signalfluss im Nfz



ACC: Längsregler, Teil A

Typischer ACC-Kaskadenregler



Das Verkehrssimulationsprogramm PELOPS

• PELOPS Kurzbeschreibung

- Submikroskopisches Simulationstool
- Abbildung von mikroskopischen bis makroskopischen Verkehrseffekten
- Verknüpfung der drei Hauptelemente des Verkehrs:

- Fahrer
- Fahrzeug
- Umwelt

- Anwendungsspektrum von der Verkehrsforschung bis zur Auslegung von Fahrzeugkomponenten oder Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen

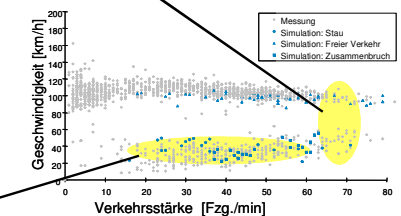
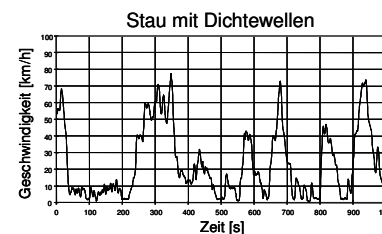
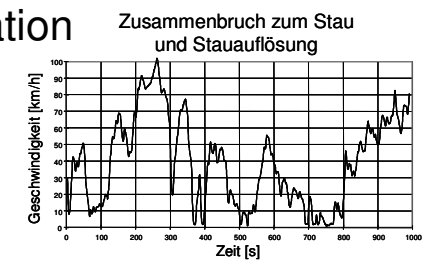
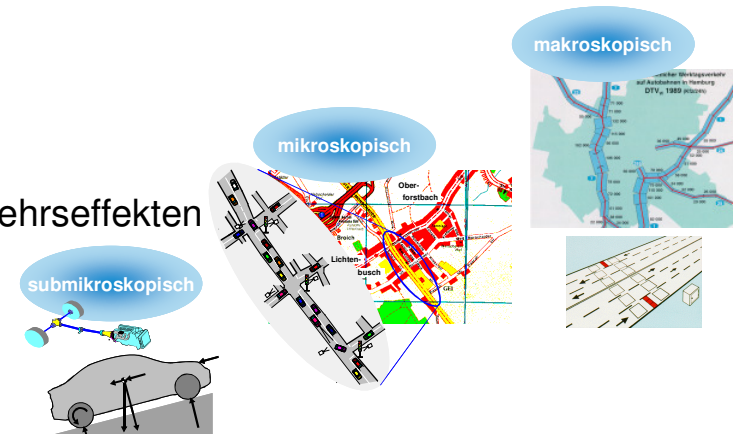
- Einsatz des PELOPS-Fahrermodells im Fahrsimulator losgelöst von PELOPS selbst möglich

• Motivation zur Entwicklung der fahrzeugorientierten Verkehrssimulation

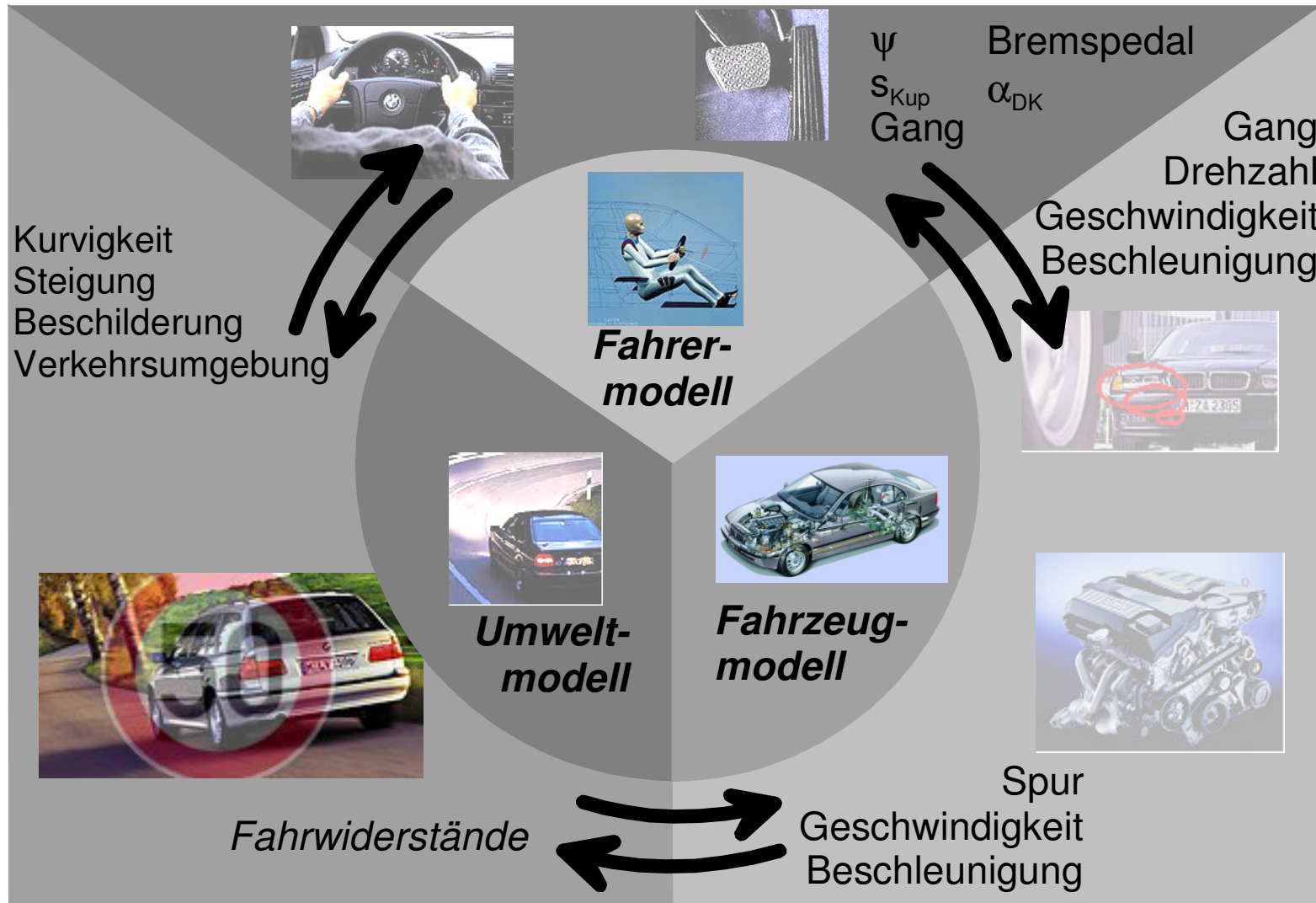
- Verkehr verstehen
- Verkehrsphänomene untersuchen (Staubildung, Stauauflösung, ...)
- Maßnahmen bewerten

- Effizienz / Leistungsfähigkeit
- Sicherheit
- Komfort
- Umweltwirkung

- (Fahrzeug-)Systementwicklungen unterstützen



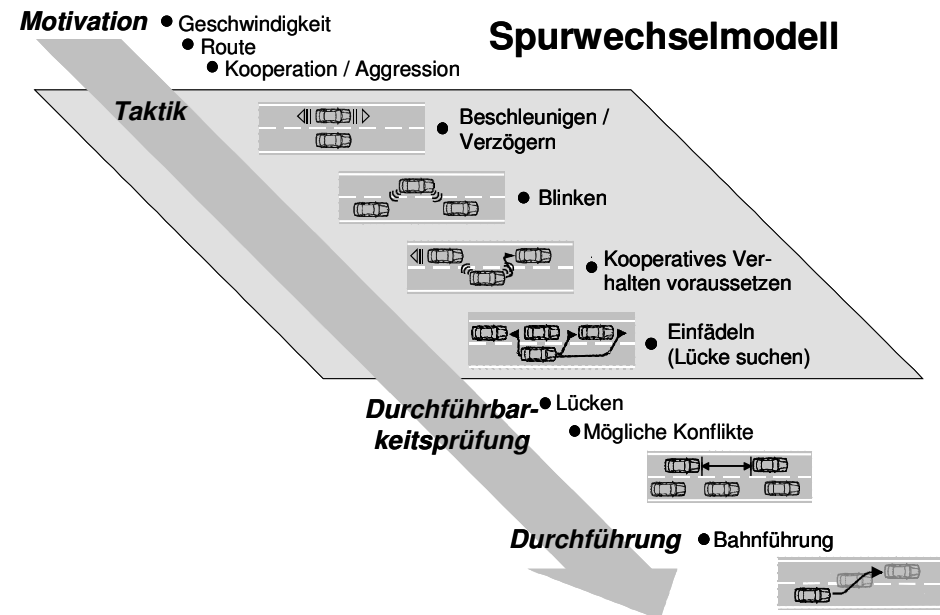
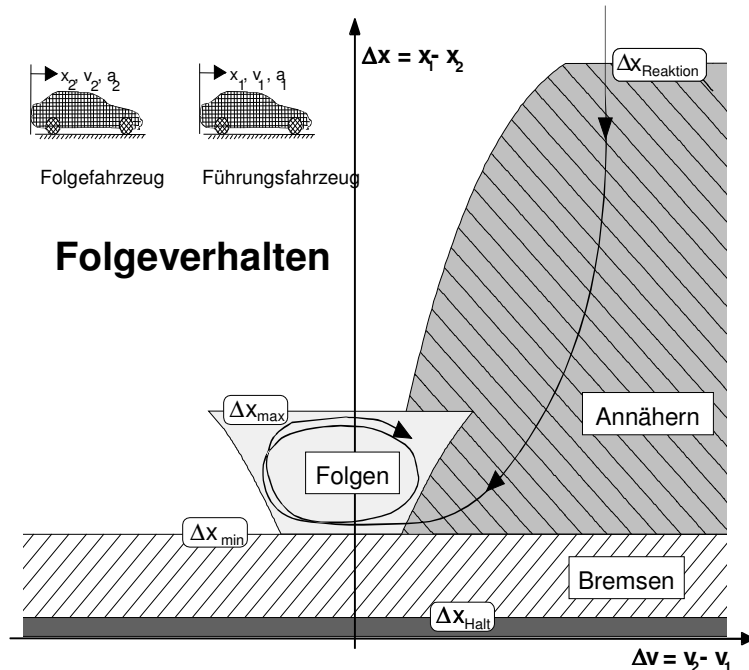
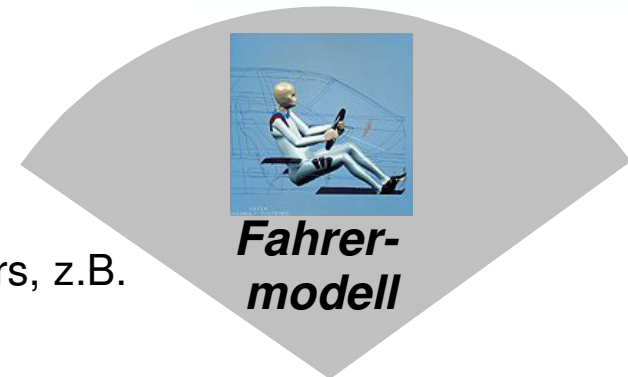
PELOPS: Programm- und Modellaufbau



PELOPS: Fahrermodell

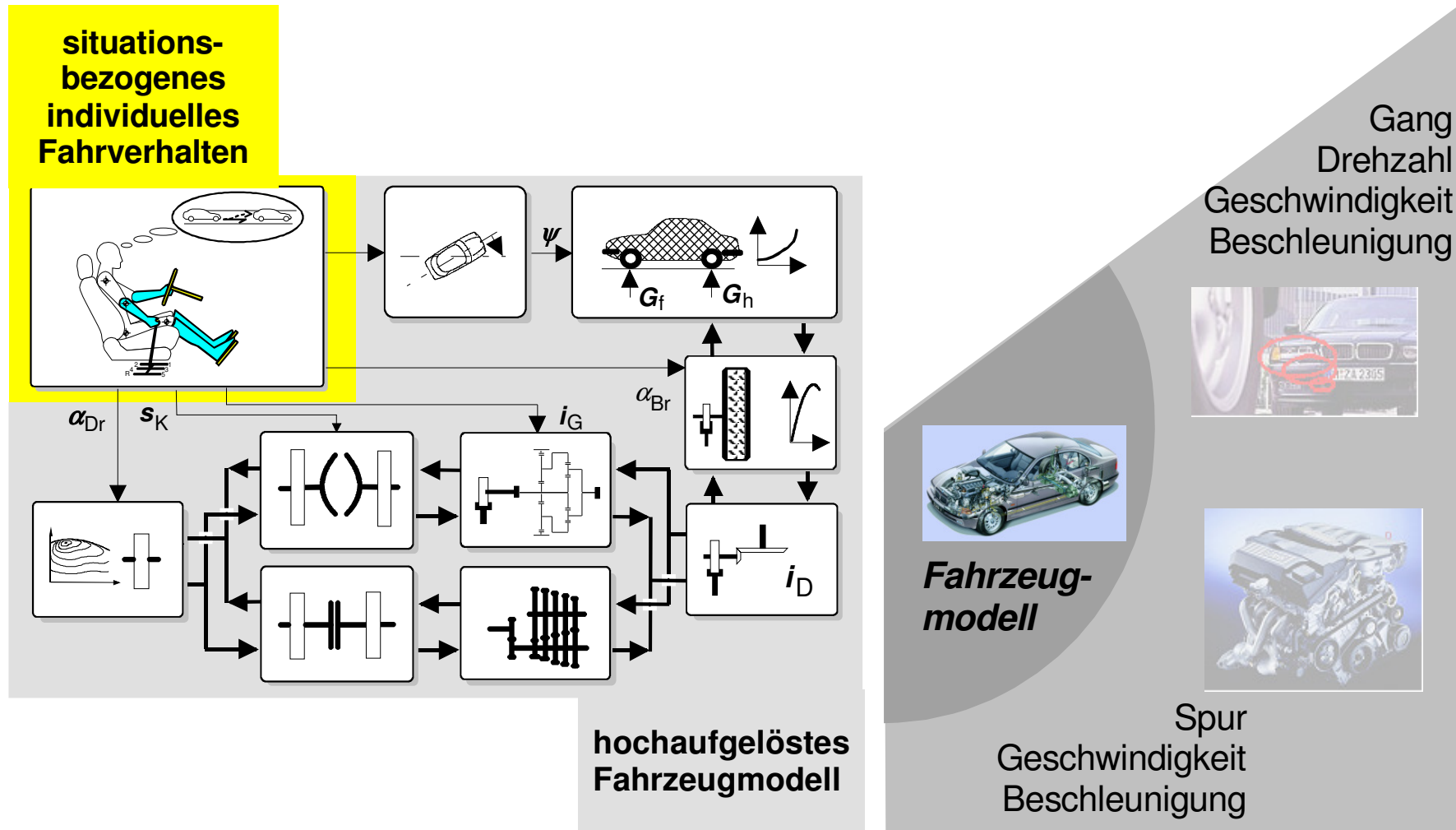
Folge- und Spurwechselmodell

- Betrachtung des Verkehrs aus der Sicht des Fahrers
- „Reale“ Eigenschaften und Fähigkeiten des virtuellen Fahrers, z.B.
 - Verschiedene Reaktionszeiten
 - Abstandsverhalten
 - Abschätzen von Abständen und Geschwindigkeiten
 - Befolgung von Geboten und Verboten



PELOPS: Fahrzeugmodell

Das „Realfahrzeug“



PELOPS: Umweltmodell

Kurvigkeit
Steigung
Beschilderung
Verkehrsumgebung



Fahrwiderstände



*Umwelt-
modell*

- Strecke:
 - Anzahl und Breite der Fahrspuren
 - Höhenprofil mit Steigungen, Gefällen und Ausrundungen
 - Kurvenverlauf mit Radien und Klothoidenparametern
- Beschilderung:
 - Geschwindigkeitsbegrenzungen, Überholverbote, Streckenhinweise
 - Lichtsignalanlagen
- Umwelt:
 - Kraftschlussbeiwerte
 - Windgeschwindigkeiten
 - Wasserfilmhöhen
 - Sichtweiten

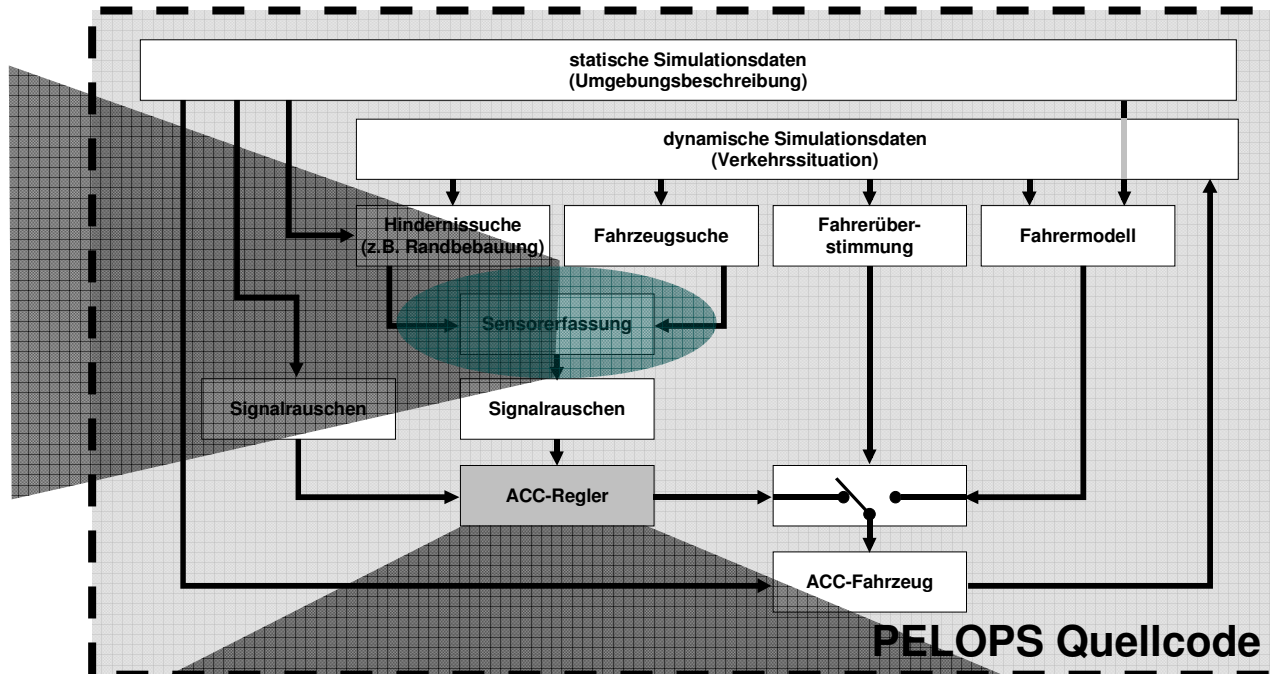
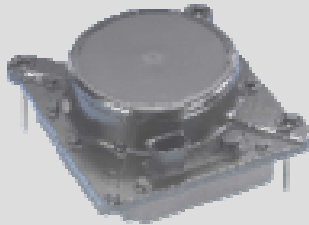
PELOPS: Bedieneroberfläche

The screenshot displays the PELOPS software interface. On the left is the 'PELOPS Bedieneroberfläche' control panel with various settings. In the center is a table listing simulation parameters. On the right is a 'GView - Diagramm 2' window showing a line graph of emissions over time, and a simulation view of a road with cars.

Nr	Art	Name	FFE-Generator	Pos	Spur	v0	Zyklus
1	syn.	Mittelklasse	Fahrer_1	2191.0	1	0.0	nein ja
2	syn.	Transporter	Fahrer_2	2185.5			
3	syn.	untere_Mittelkl.	Fahrer_3	2178.4			
4	syn.	Kleinwagen	Fahrer_4	2171.5			
5	syn.	Transporter	Fahrer_5	2165.4			
6	syn.	Kleinwagen	Fahrer_6	2158.5			
7	syn.	obere_Mittelkl.	Fahrer_7	2152.4			
8	syn.	Mittelklasse	Fahrer_8	2145.5			
9	syn.	Transporter	Fahrer_9	2140.5			
10	syn.	Mittelklasse	Fahrer_10	2133.4			
11	syn.	Mittelklasse	Fahrer_11	2127.4			
12	syn.	Mittelklasse	Fahrer_12	2120.5			
13	syn.	obere_Mittelkl.	Fahrer_13	2113.5			
14	syn.	untere_Mittelkl.	Fahrer_14	2106.5			
15	syn.	untere_Mittelkl.	Fahrer_15	2100.4			
16	syn.	untere_Mittelklasse	Fahrer_16	2093.5			
17	syn.	obere_Mittelkl.	Fahrer_17	2087.4			

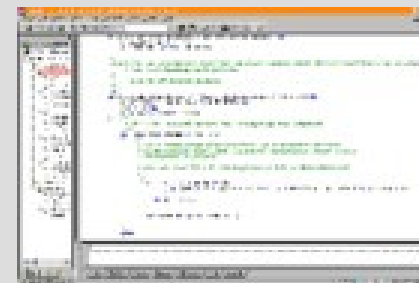
PELOPS: Integration des ACC-Systems

Modell des ACC-Radarsensors



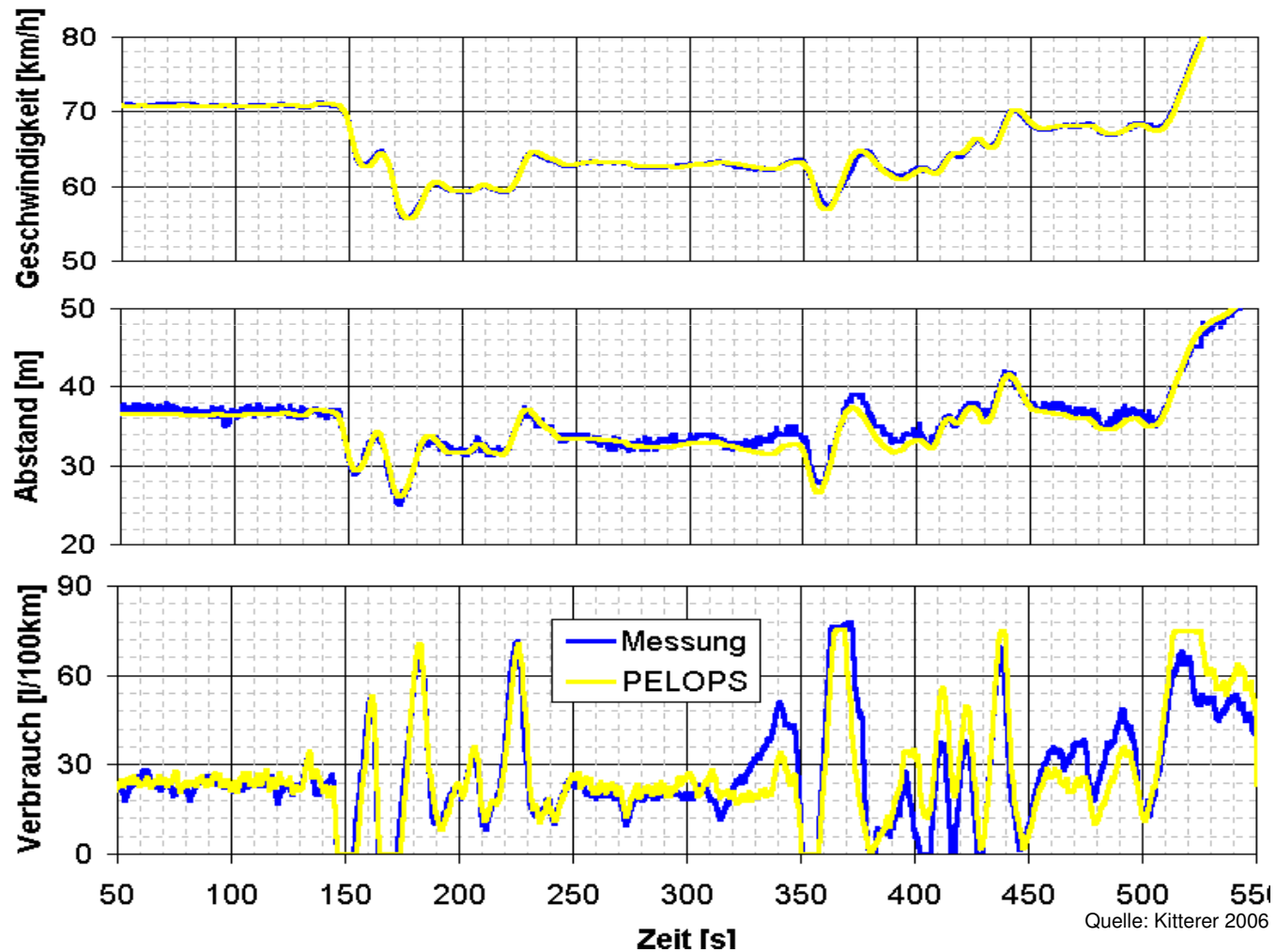
Quelle: Kitterer 2006

Quellcode des ACC-Reglers für das Steuergerät im Fahrzeug

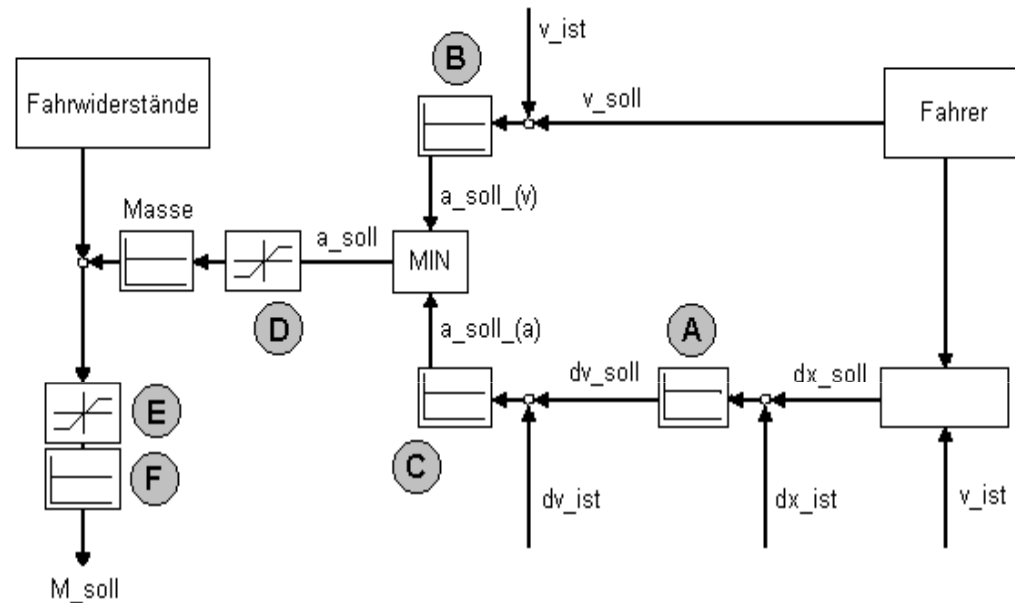


PELOPS: Validierung

anhand von real gemessener Folgefahrten



Parametereinstellung des ACC-Reglers



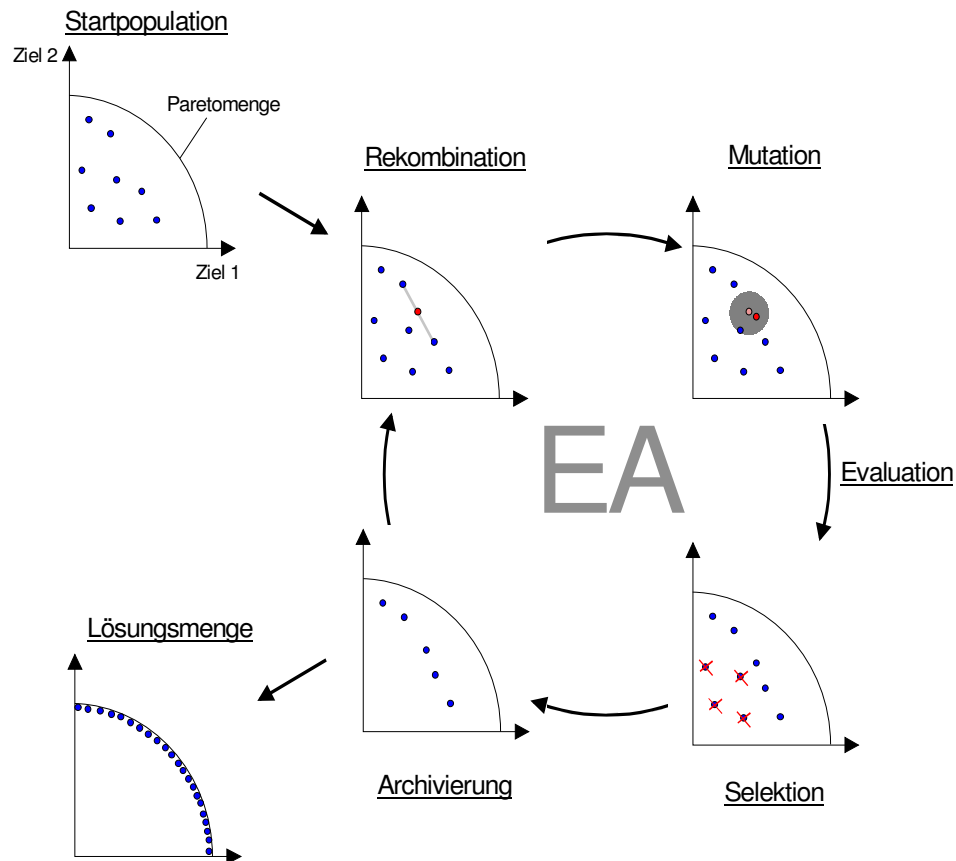
- A:**Proportionalfaktor der Abstandsabweichung
- B:**Proportionalfaktor der Geschwindigkeitsabweichung
- C:**Proportionalfaktor der Relativgeschwindigkeitsabweichung
- D:**Begrenzung der Sollbeschleunigung
- E:**Begrenzung des Sollmoments
- F:**zusätzlicher Proportionalfaktor des Sollmoments

- Mathematische Optimierung: mathematisches Lösungsverfahren zur Interaktion eines ACC-Reglers mit seiner Verkehrsumgebung nicht möglich
- Rastersuche: 6 Parameter mit jeweils 10 Abstufungen → 1 Mio. Simulationen
- → heuristisches Verfahren: Evolutionäre Algorithmen

Optimierungsverfahren

- Exakte mathematische Lösungsverfahren
 - Optimale Lösung
 - i.d.R. hoher Rechenaufwand
 - Anwendbarkeit sinkt mit steigender Modellkomplexität
- Heuristische Verfahren
 - i.d.R. nicht die optimale Lösung
 - Akzeptabler Rechenaufwand
 - Beispiel: Evolutionäre Algorithmen
 - Abbildung der Evolution
 - Abdeckung eines breiten Spektrums von Optimierungsproblemen
 - Vier Strömungen
 - Genetische Algorithmen (Genetic Algorithms, GA)
 - Evolutionsstrategien (Evolution Strategies, ES)
 - Evolutionäre Optimierung (Evolutionary Programming, EP)
 - Genetische Programmierung (Genetic Programming, GP)

Evolutionären Algorithmus



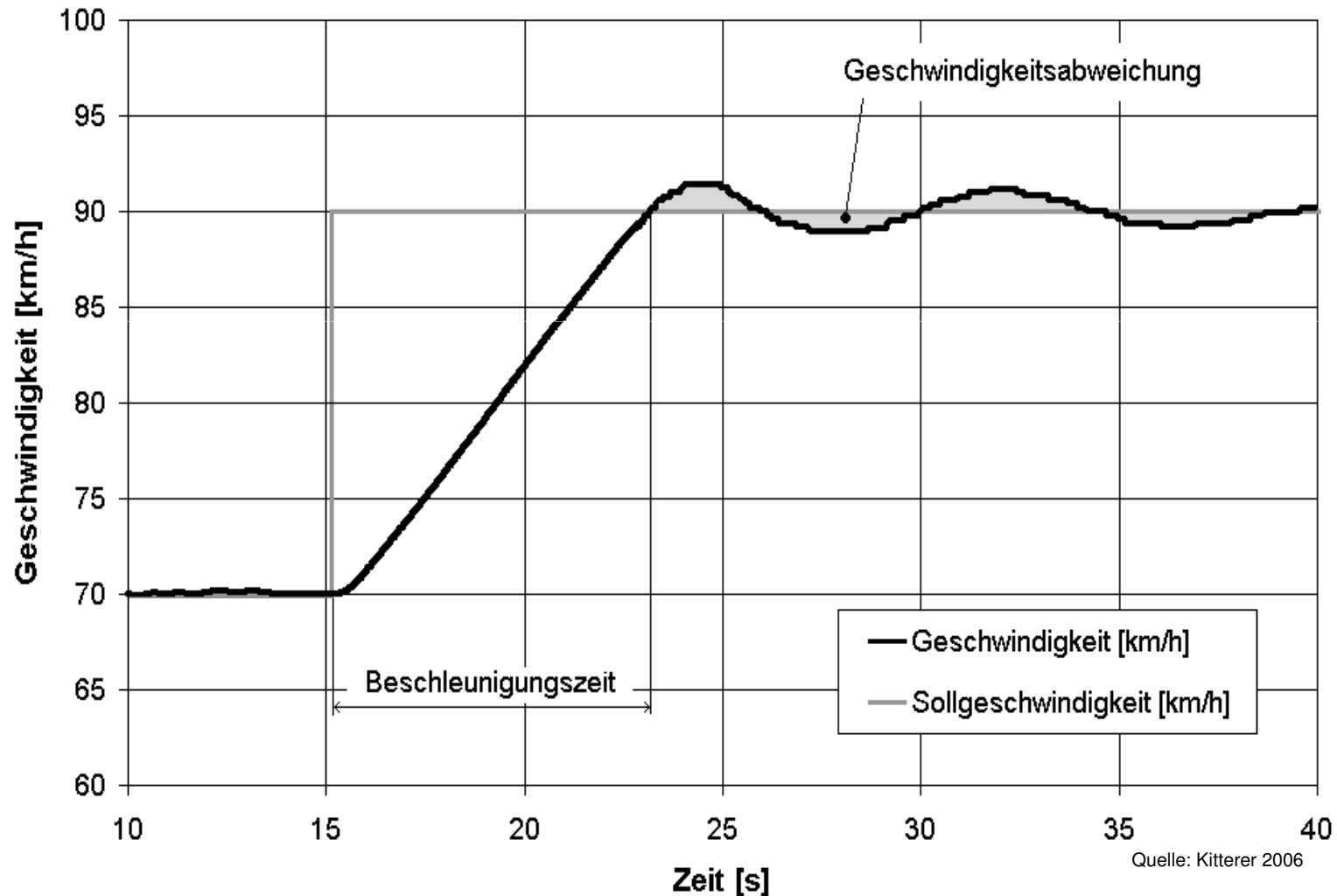
- Individuum: ACC-Parametereinstellung
- Funktionsprinzip
 - Bildung einer Startpopulation von verschiedenen Parametereinstellungen
 - Rekombination: Vermischen der Reglerparameter zweier Individuen
 - Mutation: zufällige Veränderung der Parameter des erzeugten Individuums
 - Evaluation durch PELOPS
 - Selektion der stärksten Individuen
 - Archivierung der nicht dominierten Lösungen (Konzept der Pareto-Dominanz)
 - Lösungsmenge
- Leistungsfähigkeit abhängig von Strategieparametern (Populationsgröße, Art der Rekombination, Mutationsrate, ...)

Evolutionären Algorithmus: Übersicht der PELOPS-Szenarien

	vorausfahrendes Fahrzeug	ACC-Fahrzeug	Zielfunktion
1	gemessener Geschwindigkeitszyklus dichter Autobahnverkehr auf ebenem Streckenprofil	folgt ACC-geregelt	Kraftstoffverbrauch
2	simulierte tempomatgeregelte Fahrt auf anspruchsvollem hügeligen Streckenprofil	folgt ACC-geregelt	Kraftstoffverbrauch
3	nicht vorhanden	Sprungantwort Sollgeschwindigkeit 50-70 km/h	Beschleunigungszeit, Geschwindigkeitsabweichung
4	nicht vorhanden	Sprungantwort Sollgeschwindigkeit 70-90 km/h	Beschleunigungszeit, Geschwindigkeitsabweichung
5	nicht vorhanden	Sprungantwort Sollgeschwindigkeit 70-50 km/h	Beschleunigungszeit, Geschwindigkeitsabweichung
6	nicht vorhanden	Sprungantwort Sollgeschwindigkeit 90-70 km/h	Beschleunigungszeit, Geschwindigkeitsabweichung
7	Konstantfahrt mit 60 km/h	läuft ACC-geregelt auf, macht Spurwechsel, überholt	Geschwindigkeitsabweichung, Abweichung von Sollbeschleunigung, Mindestabstand, Kraftstoffverbrauch

Quelle: Kitterer 2006

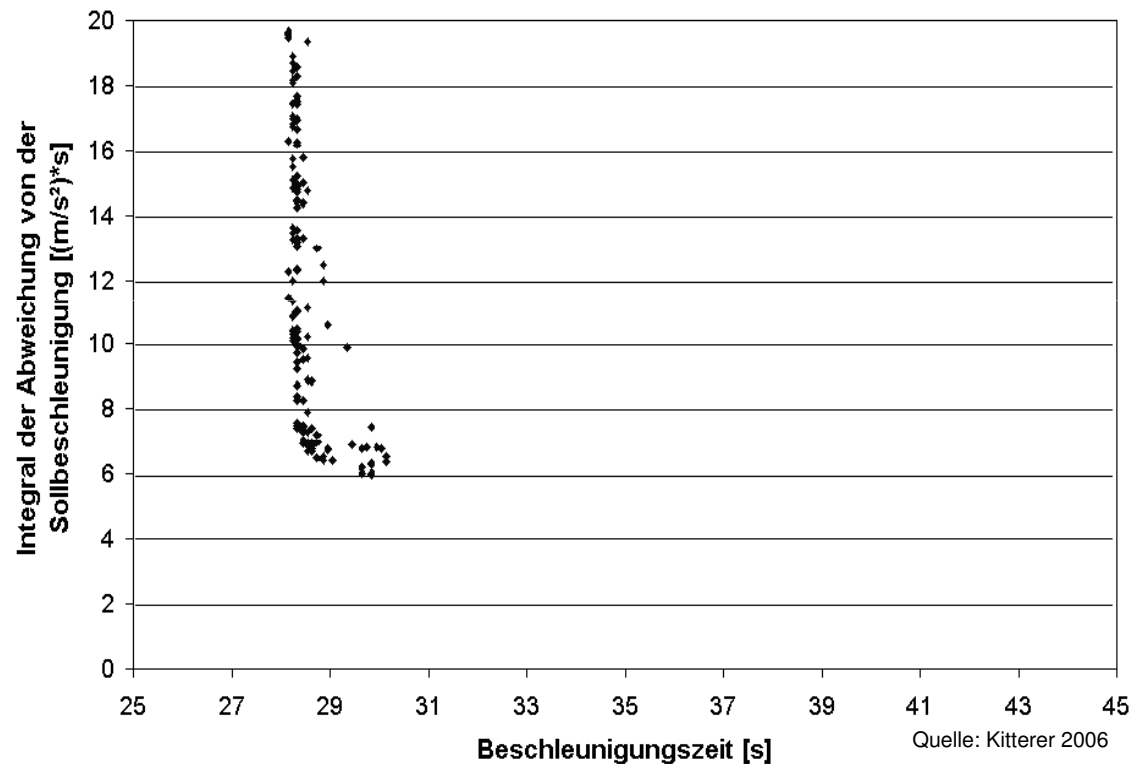
Evolutionären Algorithmus: Prinzipskizze der Bewertungskriterien beim Geschwindigkeitssprung



Evolutionären Algorithmus: Ergebnis (allg.)

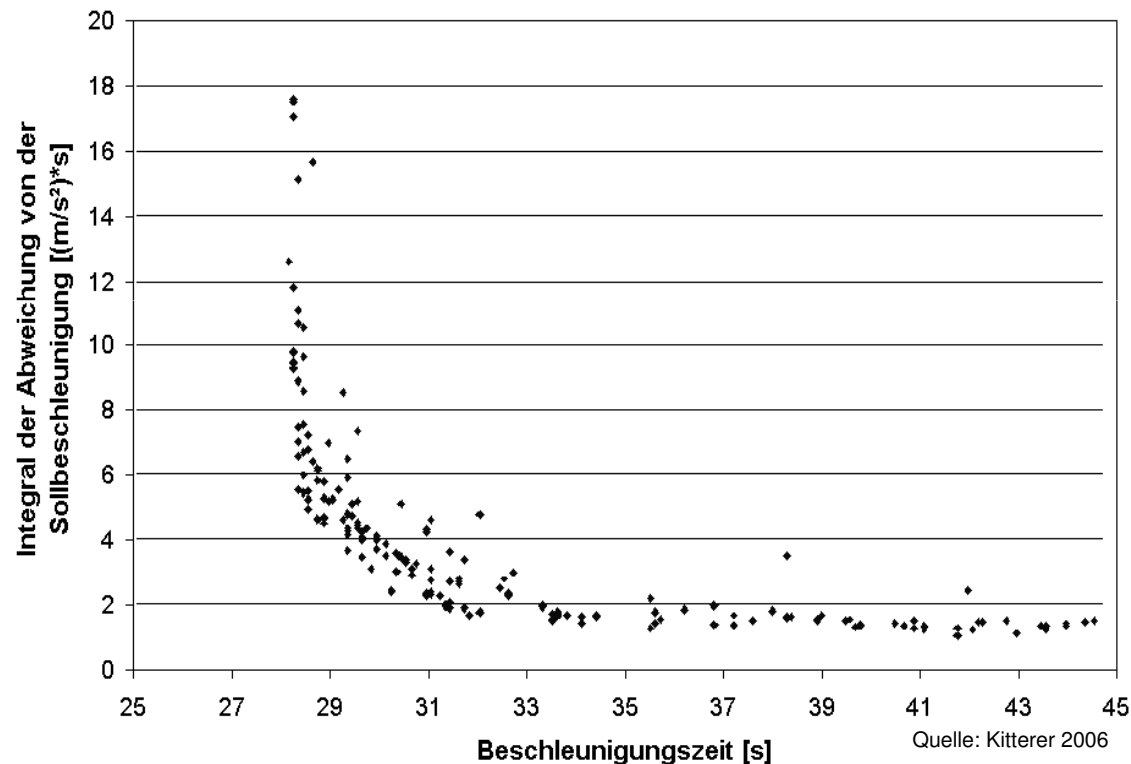
- Bereits definiert:
 - Parametersatz für ein Individuum
 - PELOPS-Szenarien
 - Zielfunktionen zur Bewertung
- Ergebnisse:
 - Algorithmus in Anlehnung an UMMEA (unified model for multi-objective evolutionary algorithm, ETH Zürich)
 - Anhand zwei konfliktärer Zielfunktionen
 - Abweichung von der Sollbeschleunigung zu minimieren (Schwingungsanfälligkeit)
 - Beschleunigungszeit zu minimieren (Spontaneität der Regleraktion)
 - Auswirkung auf Rechenzeit und Ergebnisqualität

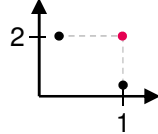
Evolutionären Algorithmus: Ergebnis (I/III)



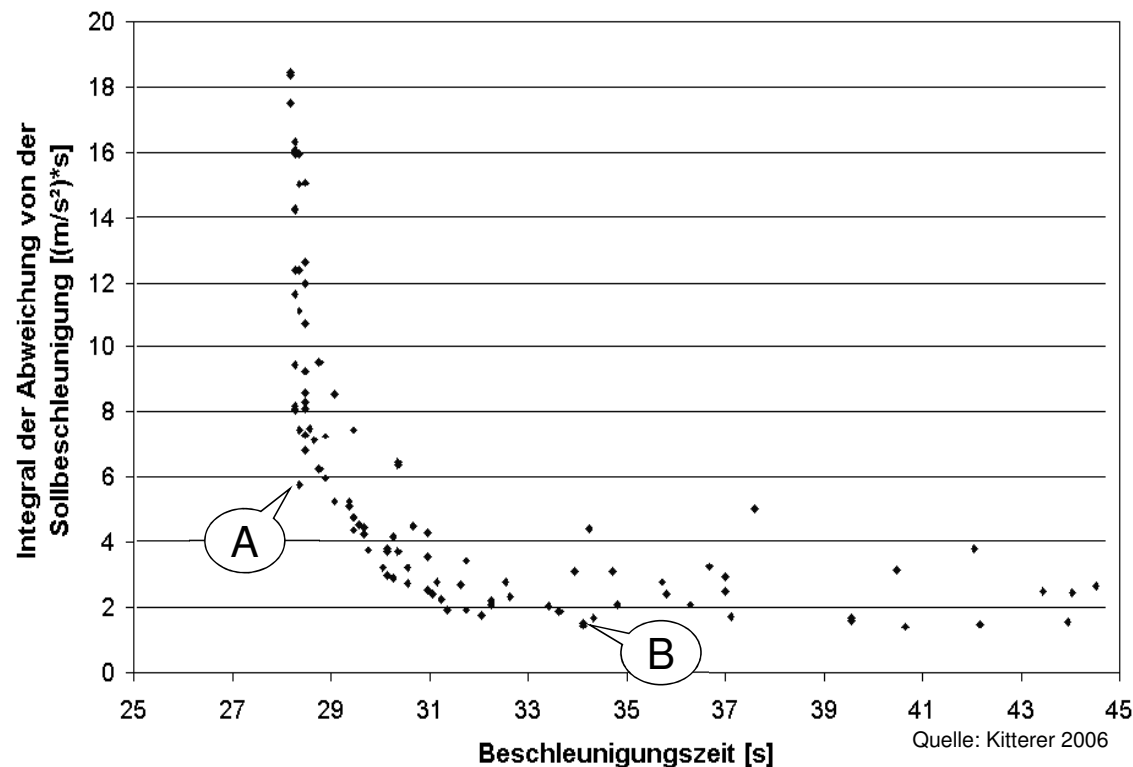
- Lösungsraum nach 2000 erzeugten Individuen
- Mutations-Standardabweichung von $\sigma = 0.04$
- ohne Rekombination
- Lösungsraum nicht vollständig erschlossen
- Starke Konzentration auf Bereich kleiner Beschleunigungszeiten

Evolutionären Algorithmus: Ergebnis (II/III)



- Lösungsraum nach 2000 erzeugten Individuen
- Mutations-Standardabweichung von $\sigma = 0.005$
- Diskrete Rekombination 
- Lösungsraum besser erschlossen
- Leichte Konzentration auf Bereich kleiner Abweichungen von der Beschleunigung

Evolutionären Algorithmus: Ergebnis (III/III)



- Lösungsraum nach 1000 erzeugten Individuen
- Mutations-Standardabweichung von $\sigma = 0.005$
- Rekombination mit Auslenkung
- Lösungsraum ohne nennenswerte freie Gebiete
- Gewichtung der Zielfunktionen
 - A: spontanes Ansprechverhalten
 - B: Schwingungsarmut

Gliederung

- Einleitung und Motivation
 - ACC: Funktion und Historie
 - Anforderungen an ACC
- Systementwicklung und -auslegung des ACC mittels Simulation
 - ACC Reglerstruktur
 - Verkehrsflusssimulation PELOPS
 - Einsatz von evolutionäre Algorithmen
 - Ergebnisse
- Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Systementwicklung und -auslegung des ACC mittels Simulation
 - ACC
 - Funktion
 - Historie
 - Anforderungen
 - Reglerstruktur
 - Verkehrsflusssimulation PELOPS
 - Einsatz von evolutionäre Algorithmen
 - Ergebnisse

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:

Dipl.-Ing. Frederic Christen

Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen
Steinbachstr. 7
52074 Aachen (Germany)

Telefon +49 / 241 88 61 104

Fax +49 / 241 88 61 110

Mobil +49 / 178 4607694

E-Mail christen@fka.de

Internet www.fka.de