



# Vom Gelände auf die Rennstrecke

## Die Verwandlung eines SUV

Dipl.-Ing. **Carsten Hoffmann**

Dipl.-Ing. **Ingo Albers**

Dipl.-Ing. **Andreas Carlitz**

Institut für Kraftfahrwesen Aachen

München, 14.-15. Oktober 2004

- ➔ Einleitung
- ➔ Regelkreis Fahrer – Fahrzeug im Motorsport
- ➔ Erstellung einer Bewertungsmethodik
- ➔ Auswahl einer Optimierungsstrategie
- ➔ Grenzen des Optimierungsprozesses
- ➔ Zusammenfassung und Ausblick

➔ **Einleitung**

➔ Regelkreis Fahrer – Fahrzeug im Motorsport

➔ Erstellung einer Bewertungsmethodik

➔ Auswahl einer Optimierungsstrategie

➔ Grenzen des Optimierungsprozesses

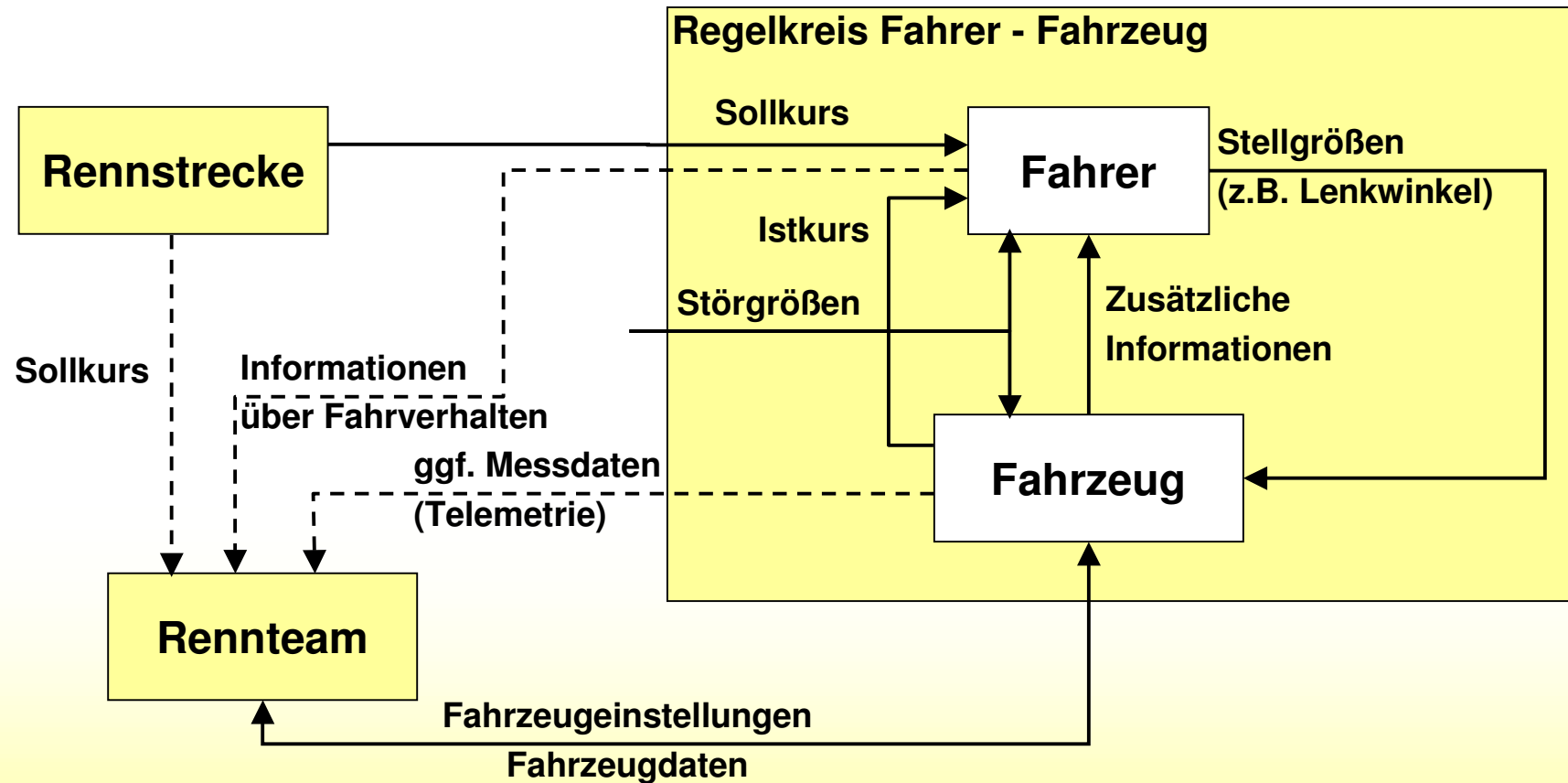
➔ Zusammenfassung und Ausblick

# Ziele der Fahrzeugabstimmung

- ➔ **Kurvenverhalten (neutrales Fahrverhalten) bei maximaler Querbesehleunigung**
- ➔ **Kompromiss zwischen gutem Kurvenverhalten und geringem Luftwiderstand auf Hochgeschwindigkeitsstrecken**
- ➔ **Verminderung und Verringerung von Problemen bezüglich Fahrzeugführung und –stabilität, die der Fahrer an bestimmten Stellen der Strecke feststellt**
- ➔ **...**

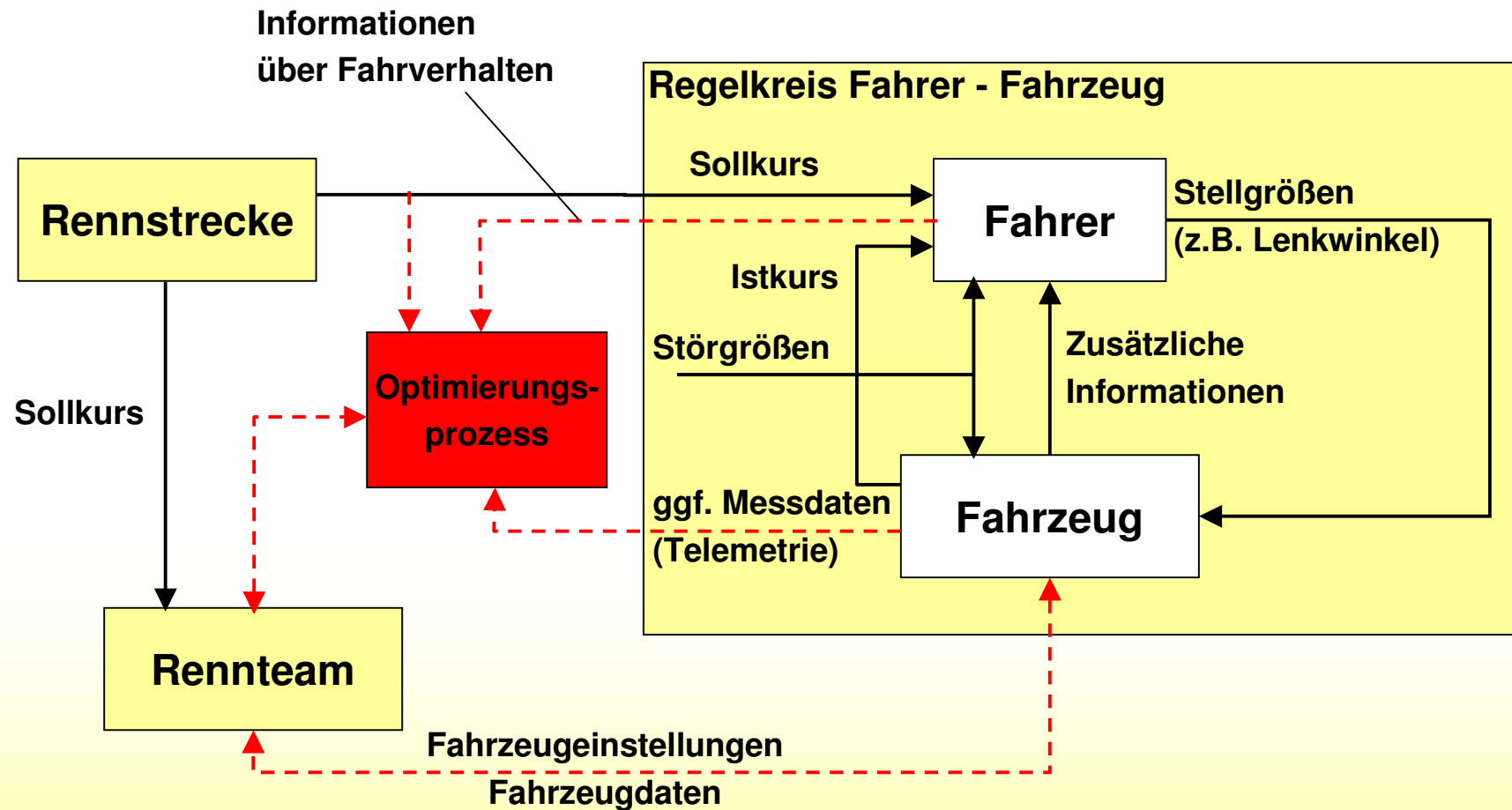
- ⇒ Einleitung
- ⇒ Regelkreis Fahrer – Fahrzeug im Motorsport
- ⇒ Erstellung einer Bewertungsmethodik
- ⇒ Auswahl einer Optimierungsstrategie
- ⇒ Grenzen des Optimierungsprozesses
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

# Regelkreis Fahrer – Fahrzeug im Motorsport



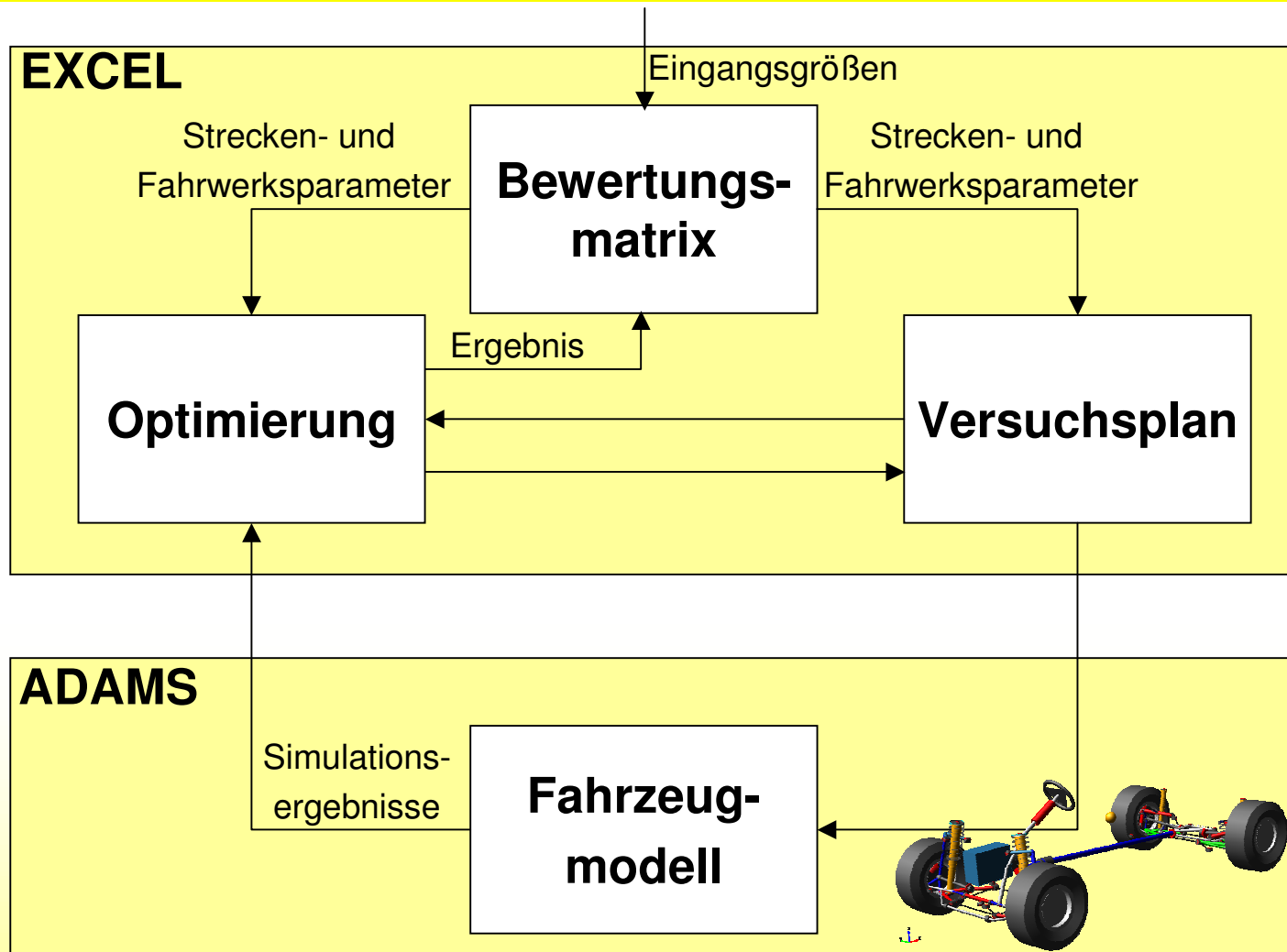
- **Wechselwirkungen einzelner Optimierungsmaßnahmen**
- **Große Anzahl an Optimierungsmöglichkeiten**
  - **Reifen**
  - **Fahrwerkseinstellungen (Feder, Dämpfer, Stabilisatoren, Sturz- und Spurkennlinien)**
  - **Schwerpunktlage (vorne / hinten, Schwerpunkthöhe – Bodenfreiheit)**
  - **Aerodynamik**
- **Der Regelkreis Fahrer – Fahrzeug muss optimiert werden; eine alleinige Optimierung des Fahrzeug liefert nicht notwendigerweise das beste Ergebnis**
  - **Kommunikation Fahrer – Team (Umsetzung des vom Fahrer beschriebenen Fahrverhaltens des Fahrzeugs in neue Fahrzeugeinstellungen)**

# Regelkreis Fahrer - Fahrzeug im Motorsport mit Optimierungsprozess



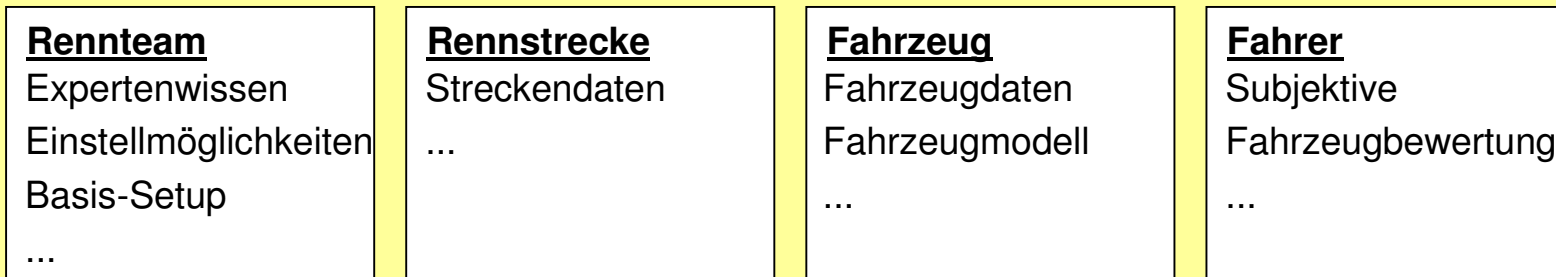
- ⇒ Einleitung
- ⇒ Regelkreis Fahrer – Fahrzeug im Motorsport
- ⇒ **Erstellung einer Bewertungsmethodik**
- ⇒ Auswahl einer Optimierungsstrategie
- ⇒ Grenzen des Optimierungsprozesses
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

# Überblick Optimierungsprozess



# Notwendige Informationen für den Optimierungsprozess

## Eingangsgrößen / notwendige Informationen



## Bewertungsmatrix

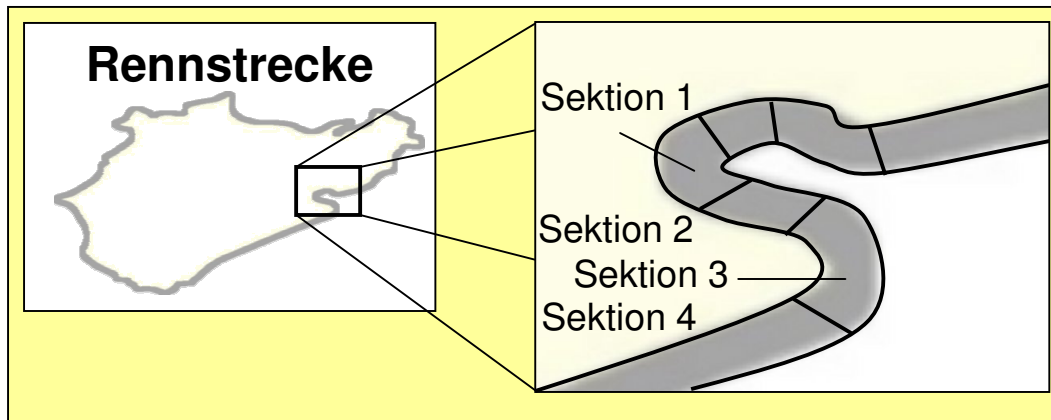
<b><u>Einteilung Rennstrecke</u></b>				<b><u>Bewertungskriterien</u></b>				<b><u>Einstellmöglichkeiten</u></b>			
	S1	S2	S3		M1	...	Mn		min	z	max
Manöver 1				Kriterium 1				Feder vorn			
Manöver 2				Kriterium 2				Feder hinten			
Manöver 3				Kriterium 3				Dämpfer vorn			
								...			
Manöver n				Kriterium m				Schwerpunktlage			

S1...S3 : Rennstrecke 1...3  
 M1...Mn : Fahrmanöver 1...n

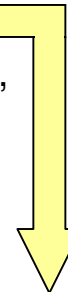
# Bewertungsmatrix

## Einteilung Rennstrecke

### Einteilung der Rennstrecke in Open-loop Fahrmanöver



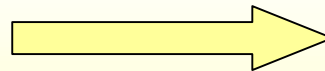
Durchschnittsgeschwindigkeit, Streckenlänge,  
Geometrische Daten,



**Open-loop  
Standard-Fahrmanöver**

---

Sinuslenken  
Lastwechsel  
Lenkwinkelsprung  
...



	Renn- strecke 1	Renn- strecke 2
Sektion 1 (Manöver 1)	$X_1\%$	$X_2\%$
Sektion 2 (Manöver 2)	$Y_1\%$	$Y_2\%$
Sektion 3 (Manöver 3)	$Z_1\%$	$Z_2\%$
...	...	...
Summe	100%	100%

# Bewertungsmatrix

## Bewertungskriterien



### 1. Standardbewertungsgrößen aus der Fahrwerksentwicklung

maximale Querschleunigung

Eigenlenkgradient

Giereigenfrequenz und -dämpfung,

Aufbaueigenfrequenz und –dämpfung

...

### 2. Motorsportrelevante Bewertungsgrößen

Sektorzeit

maximale Geschwindigkeit

...

### 3. Bewertungsgrößen aus dem Bereich der Fahrdynamikregelung

**Sollgiergeschwindigkeit**

Sollquerbeschleunigung

**Sollradlasten**

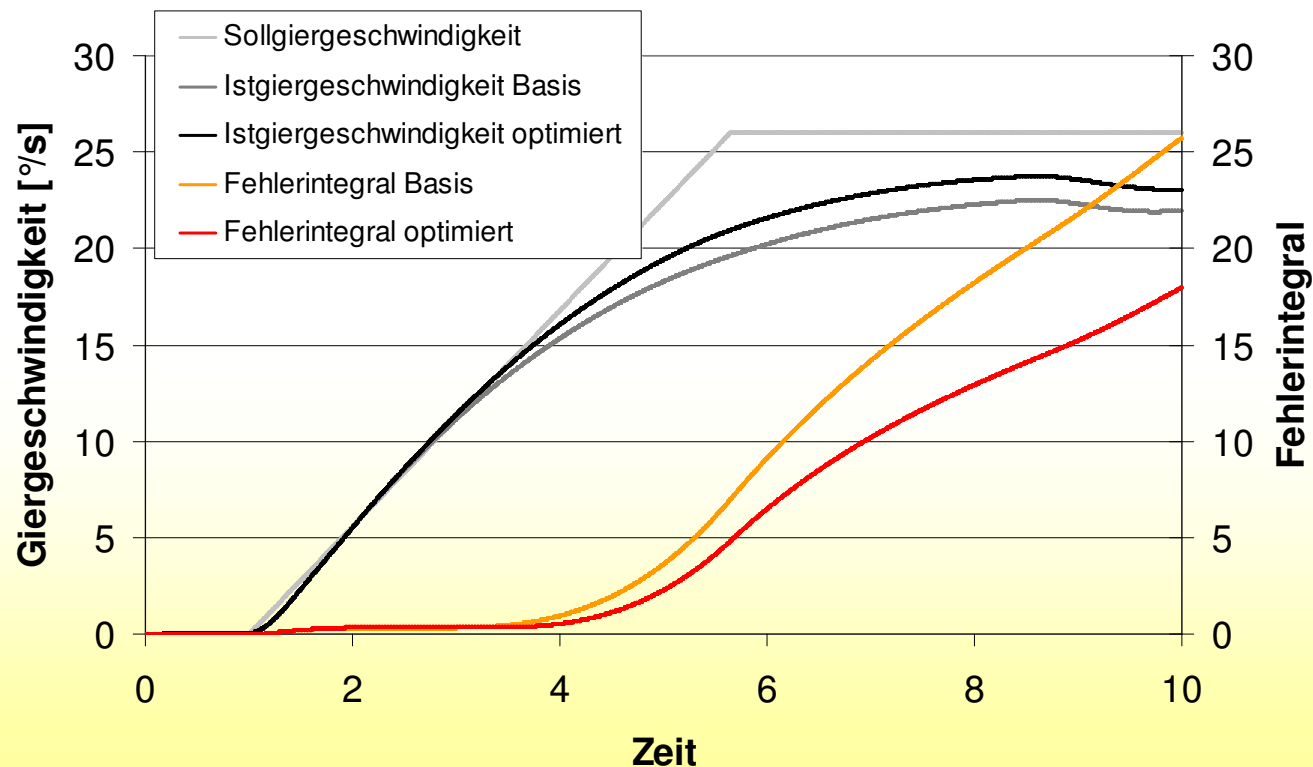
...

# Bewertungsmatrix Sollgiergeschwindigkeit

Bewertung des Fahrzeugverhalten anhand des linearen Einspurmodells

$$\frac{\dot{\psi}_V}{\delta_F} = G_F(s) = \left( \frac{\dot{\psi}_V}{\delta_F} \right)_{\text{stat.}} \cdot \frac{1 + T_z \cdot s}{1 + \frac{2 \cdot D}{\omega_e} \cdot s + \frac{1}{\omega_e^2} \cdot s^2}$$

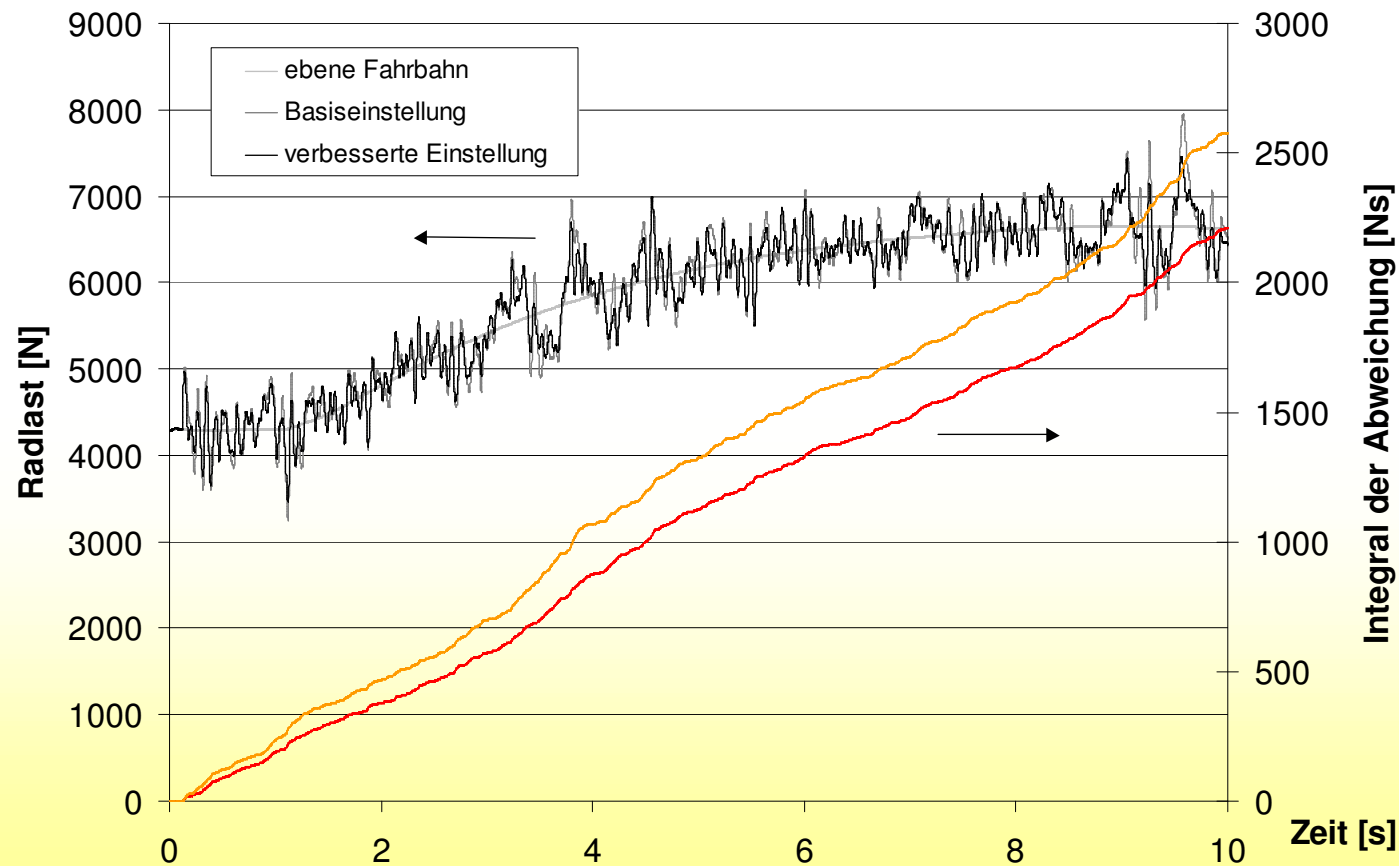
Ziel : Definition des neutralen Fahrverhalten  
Erkennung von Unter- und Übersteuern



# Bewertungsmatrix Sollradlasten

Erhöhung der Fahrzeugstabilität durch Reduzierung der Radlastschwankungen

$$\int (|G_{XX,ohne\_Bodenunebenheit} - G_{XX,mit\_Bodenunebenheit}|) dt$$



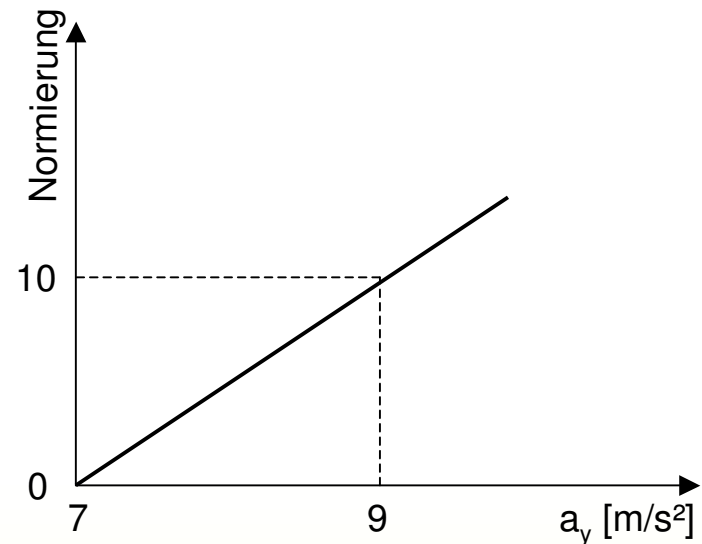
# Bewertungsmatrix

## Normierung und Gewichtung

Bewertungsgrößen besitzen unterschiedliche physikalische Einheiten

⇒ Normierung der Bewertungsgrößen ist notwendig

Einführung einer Skala von  
0 (schlecht) bis 10 (sehr gut)



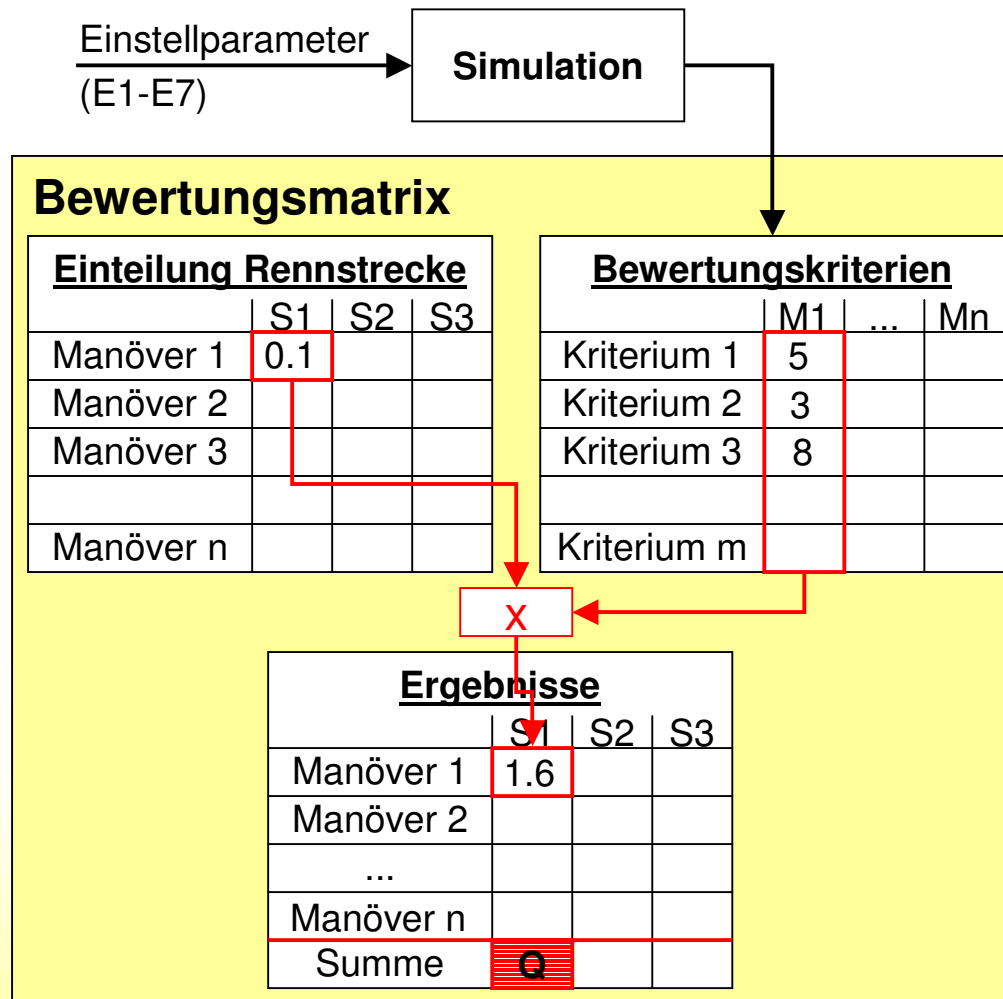
### Gewichtung der Bewertungsgrößen

	<u>Bewertungskriterien</u>					
	Manöver 1			...	Manöver n	
	G	0 Pkt.	10 Pkt.	G	0 Pkt.	10 Pkt.
Kriterium 1	1			1		
Kriterium 2	1			1		
...	...	...	...	...	...	...
Kriterium m	1			1		

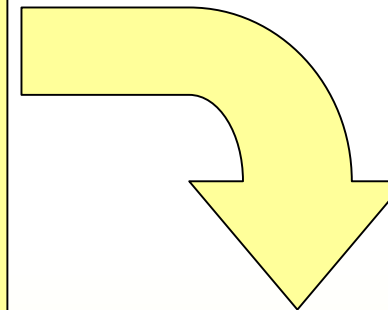
G : Gewichtungsfaktor  
M : Fahrmanöver / Sektion

# Bewertungsmatrix

## Bildung einer Gütefunktion



- Einstellparameter E1-E7:
- Schwerpunktlage
  - Wankfederrate vorne und hinten
  - Hubfederrate vorne und hinten
  - Dämpfer vorne und hinten



Gütefunktion  $Q=f(E1, \dots, E7)$

Ziel der Optimierung :  
**Maximiere Q**

- ⇒ Einleitung
- ⇒ Regelkreis Fahrer – Fahrzeug im Motorsport
- ⇒ Erstellung einer Bewertungsmethodik
- ⇒ **Auswahl einer Optimierungsstrategie**
- ⇒ Grenzen des Optimierungsprozesses
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

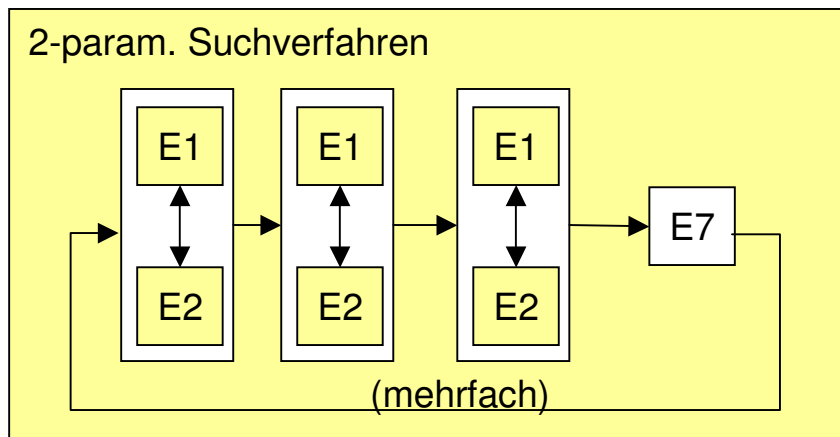
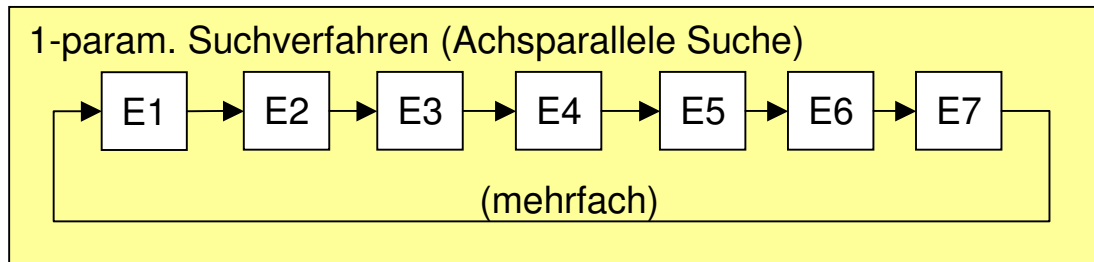
## ➔ Ausgangslage

- ➔ Lösung eines höherdimensionalen Problems mit Wechselwirkungen zwischen den Parametern

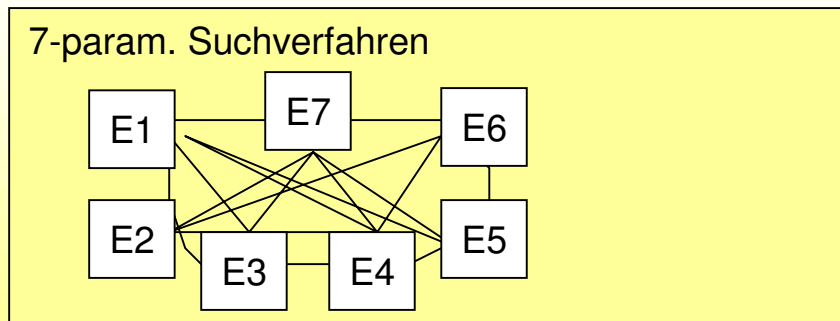
## ➔ Lösungsmöglichkeiten

- ➔ Vollfaktoriell (alle Möglichkeiten ausprobieren)
- ➔ Achsparallele Suche
- ➔ Design of Experiment (DoE)
- ➔ ... (weitere Optimierungsmethoden)

# Optimierungsstrategie untersuchte Suchverfahren



...

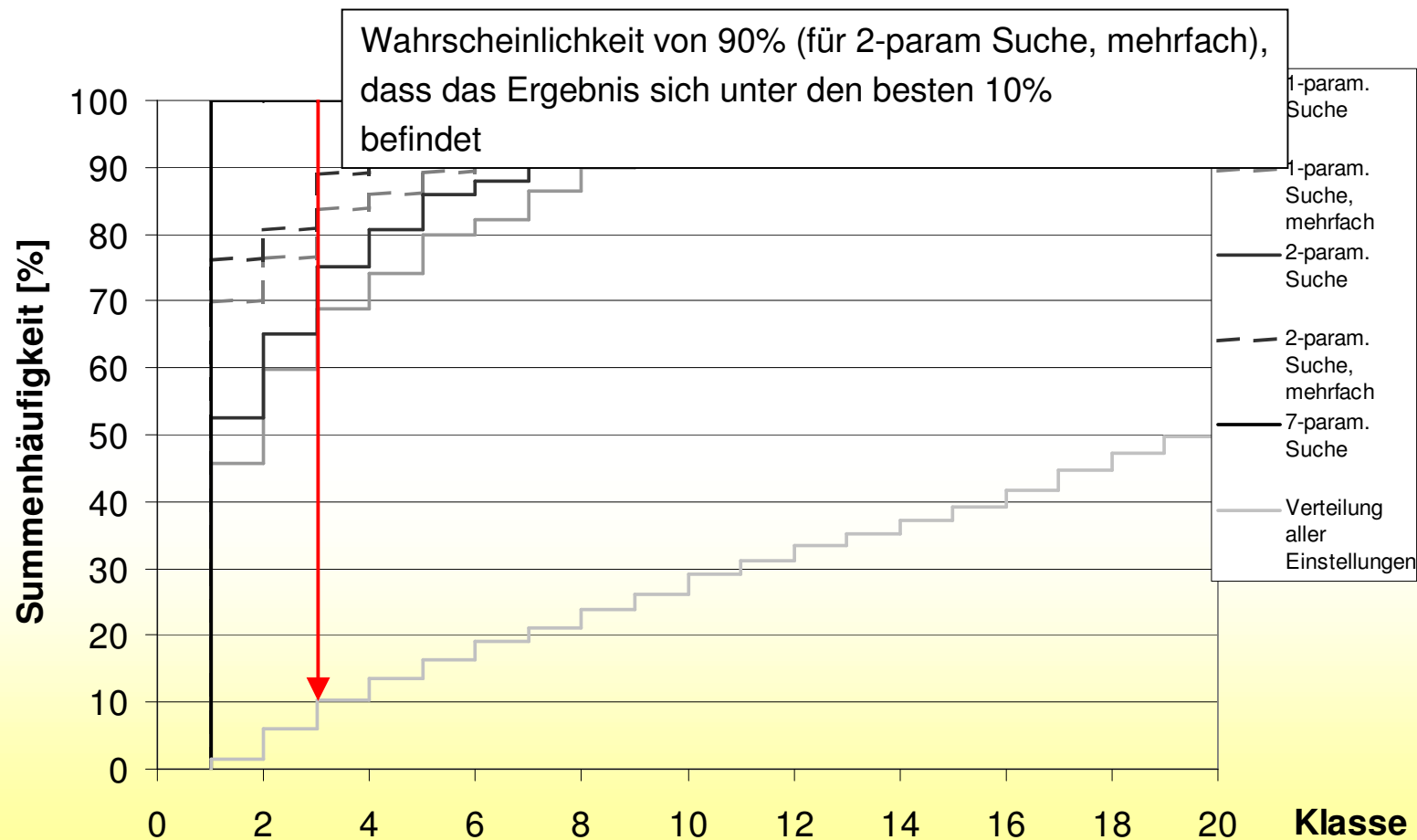


# Optimierungsstrategie

## Ergebnisse Suchverfahren

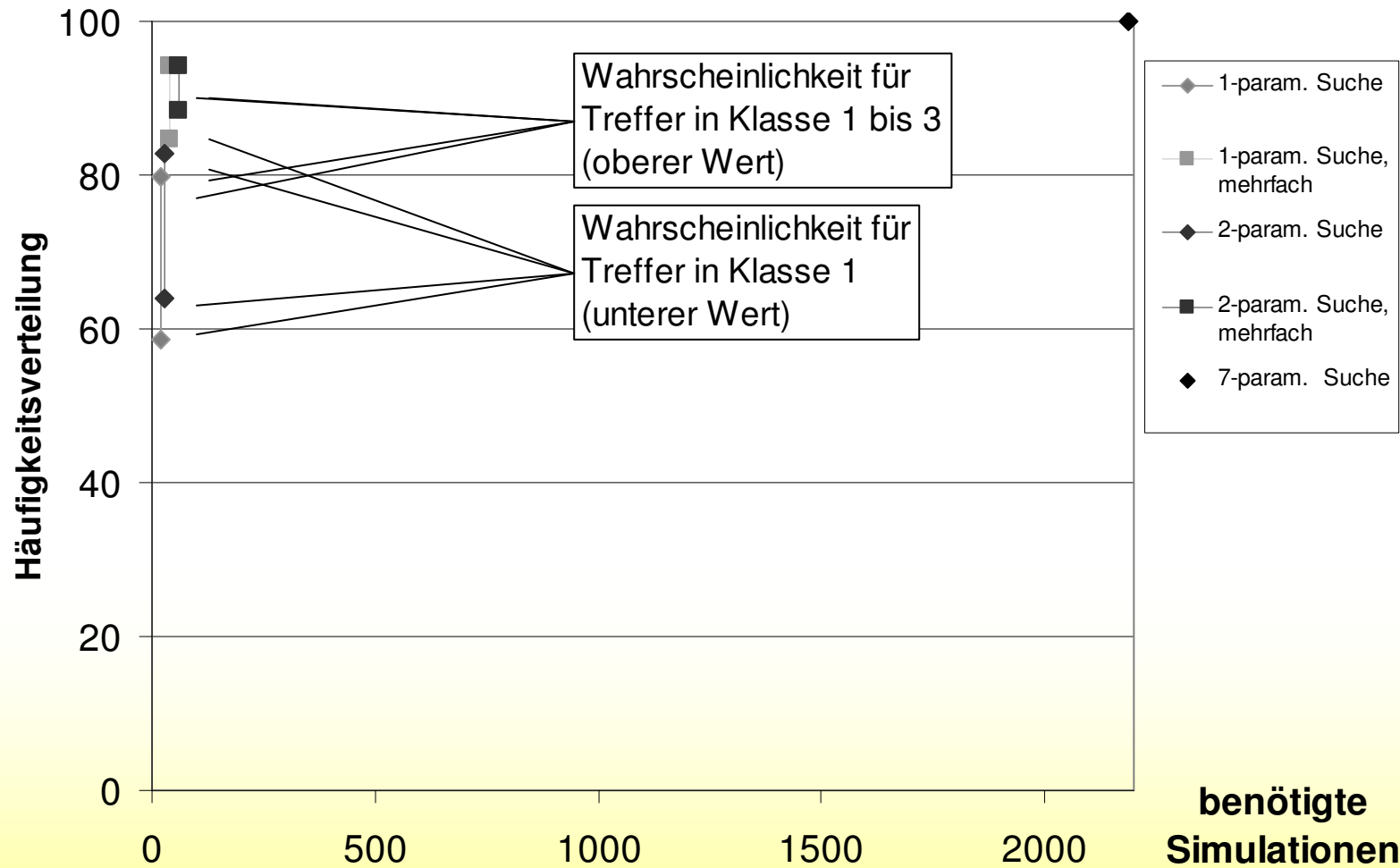
Einteilung aller erzielten Ergebnisse in 50 Klassen

Klasse 1 beinhaltet die besten Ergebnisse

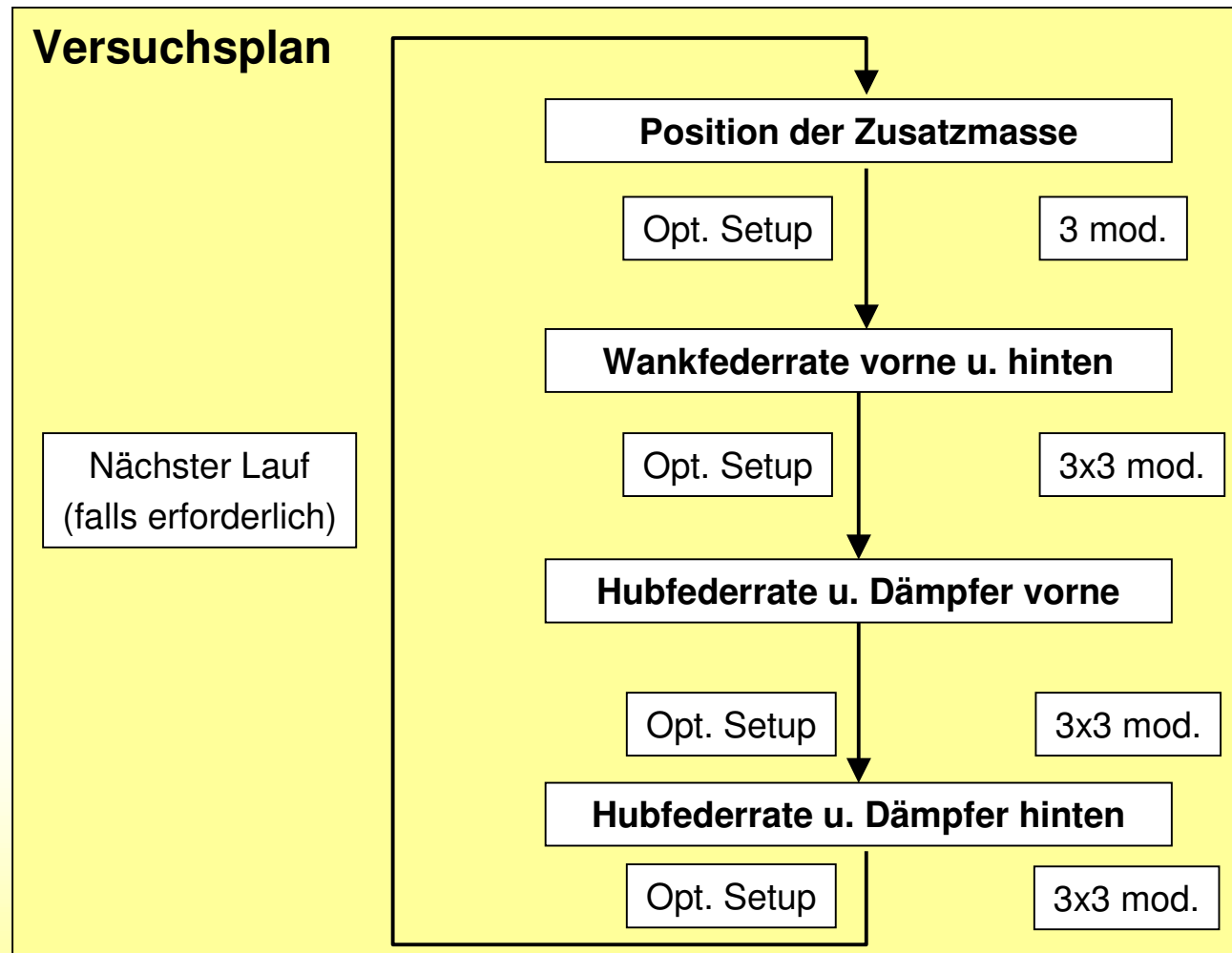


# Optimierungsstrategie

## Häufigkeitsverteilung – Anzahl Simulationen



# Versuchsplan



- ⇒ Einleitung
- ⇒ Regelkreis Fahrer – Fahrzeug im Motorsport
- ⇒ Erstellung einer Bewertungsmethodik
- ⇒ Auswahl einer Optimierungsstrategie
- ⇒ Grenzen des Optimierungsprozesses**
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

- ➔ Für die Erstellung und die Bedienung der Bewertungsmatrix ist Erfahrung / Expertenwissen notwendig
- ➔ Der Optimierungsprozess liefert nicht mit einer Wahrscheinlichkeit von 100% die optimale Fahrwerkseinstellung
- ➔ Die Optimierung des Regelkreises Fahrer – Fahrzeug muss in Zusammenarbeit mit dem Fahrer erfolgen

- ⇒ Einleitung
- ⇒ Regelkreis Fahrer – Fahrzeug im Motorsport
- ⇒ Erstellung einer Bewertungsmethodik
- ⇒ Auswahl einer Optimierungsstrategie
- ⇒ Grenzen des Optimierungsprozesses
- ⇒ **Zusammenfassung und Ausblick**

- **Über eine geeignete Bewertungsmethodik kann die Optimierung der Fahrwerkseinstellung durch das Rennteam unterstützt werden**
- **Hierzu wird der Rennkurs in open-loop Fahrmanöver unterteilt und objektive Bewertungsgrößen eingeführt.**
- **Über eine geeignete Optimierungsstrategie wird hinreichend schnell ein sehr gutes Ergebnis bezogen auf die Gütefunktion erzielt.**
  
- **Die in der Simulation erzielten Ergebnisse müssen im Fahrversuch verifiziert werden, da nur durch die Optimierung des Regelkreises Fahrer – Fahrzeug ein Performancegewinn erzielt werden kann.**
- **Erweiterung des Optimierungsprozesses um Aerodynamik, Sturz- und Spurkennlinien, Reifenverschleiß ...**