

Aspekte der Regelung und Identifikation eines 6-DOF Fahrsimulators

GMA-Fachausschuss 1.40, 25.09.2006

Dipl.-Ing. Martin Fischer, DLR Braunschweig

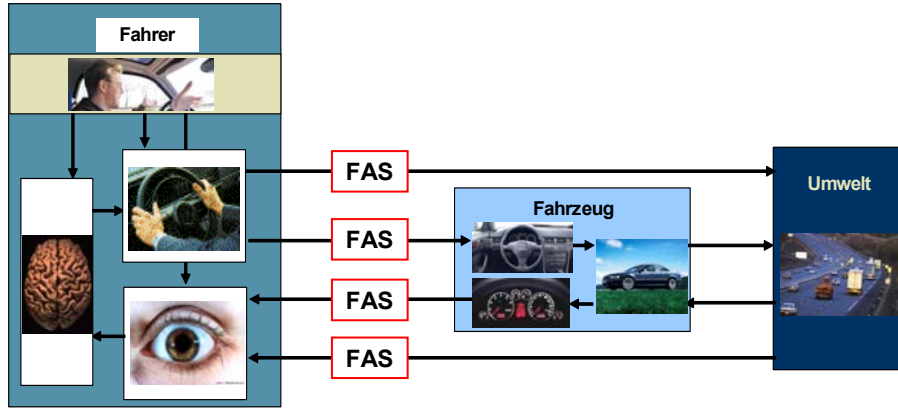


1. Frage: Woran erkennt man das Kind im Mann? An seinem Spielzeug...



2. Frage: Warum Fahrerassistenzsysteme (FAS)?

- Höhere Belastungen und Anforderungen durch steigende Komplexität



3. Frage: Warum Simulation?

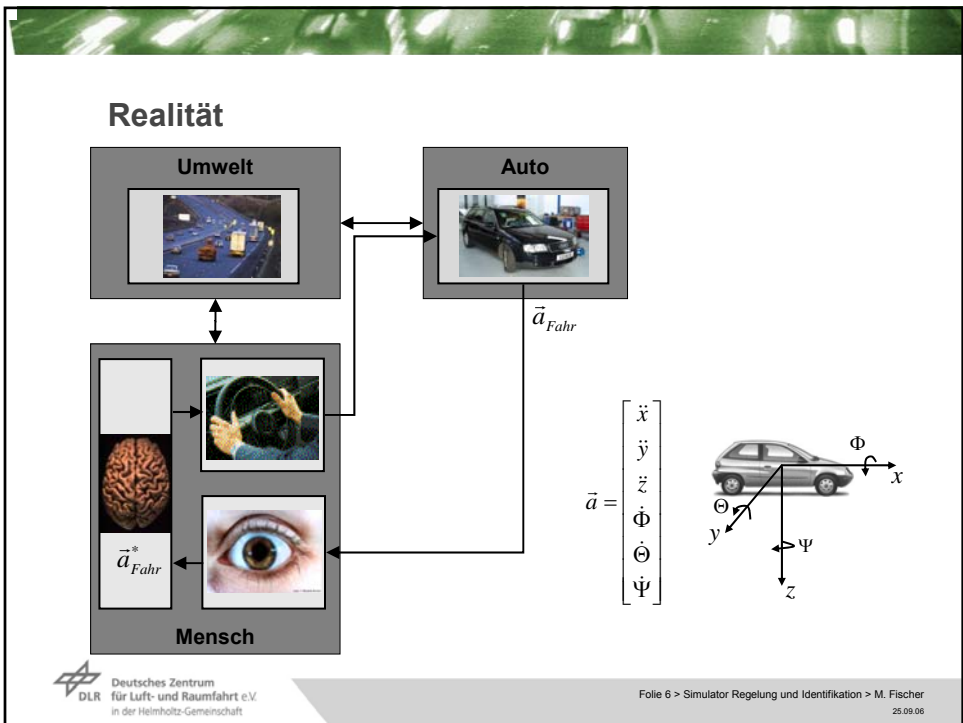
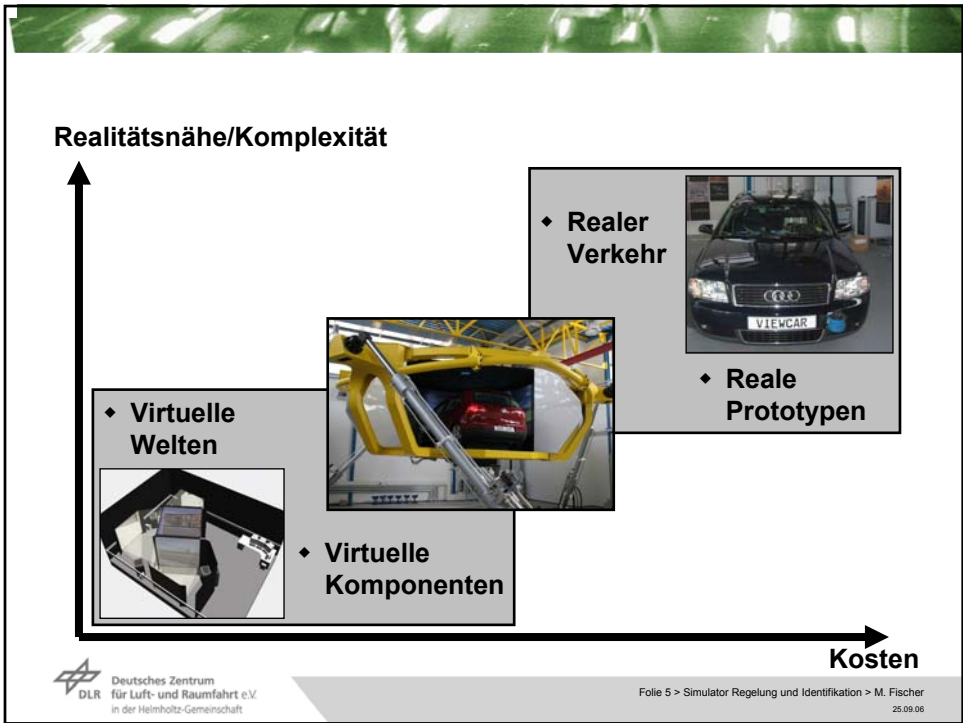
- Zu untersuchende Fahrbedingungen, Fahrerzustände o. ä. sind in der Realität nicht leicht herstellbar oder aus ethischen Gründen nicht durchzuführen.

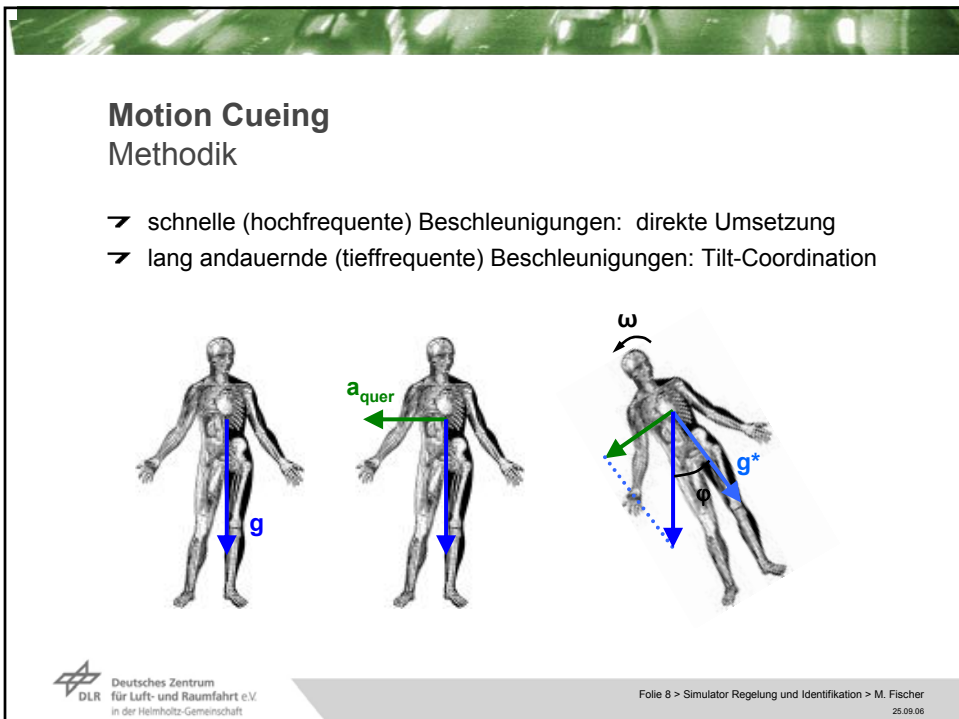
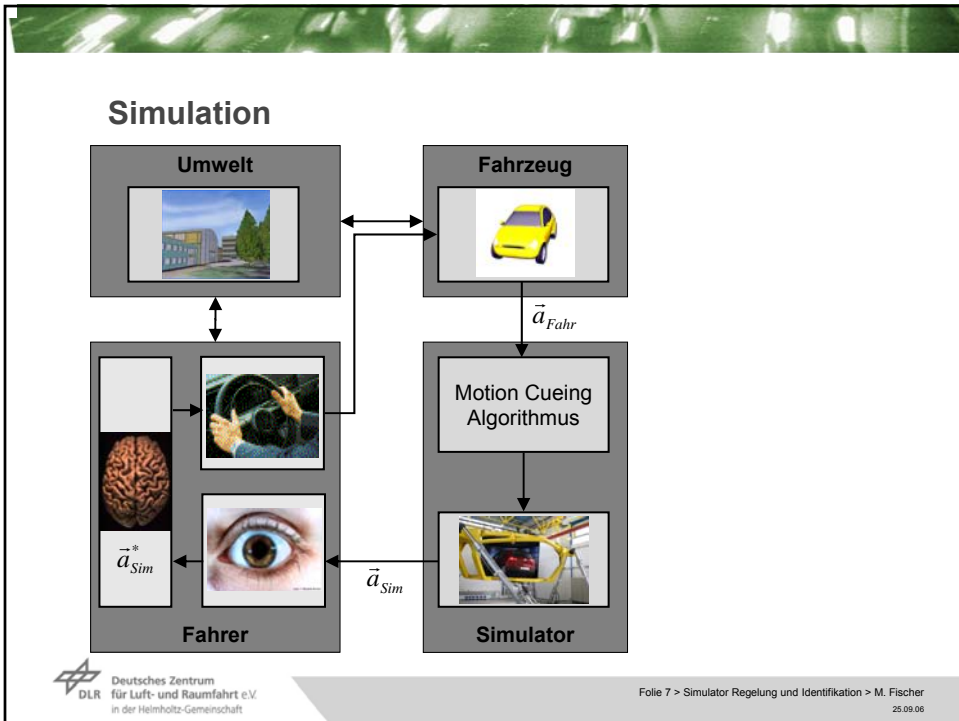
	Realität	Simulation
Wach	x	x
Schläfrig	?	x
Müde		x

	Realität	Simulation
Trocken	x	x
Nass	?	x
Eis		x

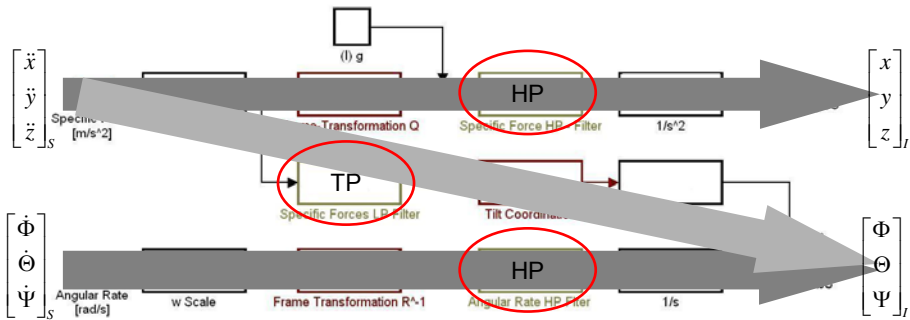
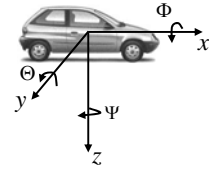
	Realität	Simulation
Hell	x	x
Dunkel	?	x
Nebel		x

	Realität	Simulation
Ohne FAS	x	x
Information	?	x
Unterstützung		x





„Classical Washout“ Algorithmus (CWA)



Filtereigenschaften Hochpass (HP)

➤ Übertragungsfunktion

➤ HP 1. Ord. $F(s) = \frac{s}{s + \omega}$

➤ HP 2. Ord. $F(s) = \frac{s}{s + \omega} \cdot \frac{s}{s + \omega} \Big|_{\theta=1}$ $F(s) = \frac{s^2}{s^2 + 2 \cdot D \cdot \omega \cdot s + \omega^2}$

➤ HP 3. Ord. $F(s) = \frac{s}{s + \omega} \cdot \frac{s}{s + \omega} \cdot \frac{s}{s + \omega}$ $F(s) = \frac{s^3}{s^3 + 3 \cdot \omega \cdot s^2 + 3 \cdot \omega^2 \cdot s + \omega^3}$

➤ Sprungantwort $H(s) = F(s) \cdot \frac{1}{s}$

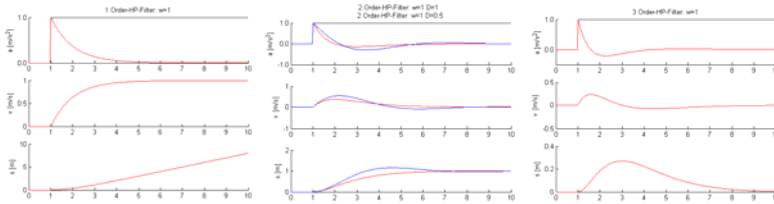
➤ Endwertsatz $\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot X(s)$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} h(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot H(s) = \lim_{s \rightarrow 0} F(s)$$

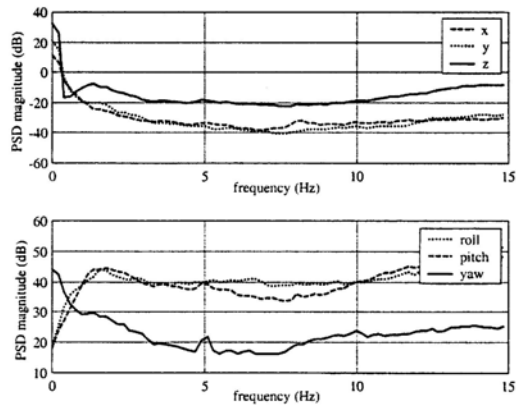
Filtereigenschaften

Konvergenz der Sprungantwort

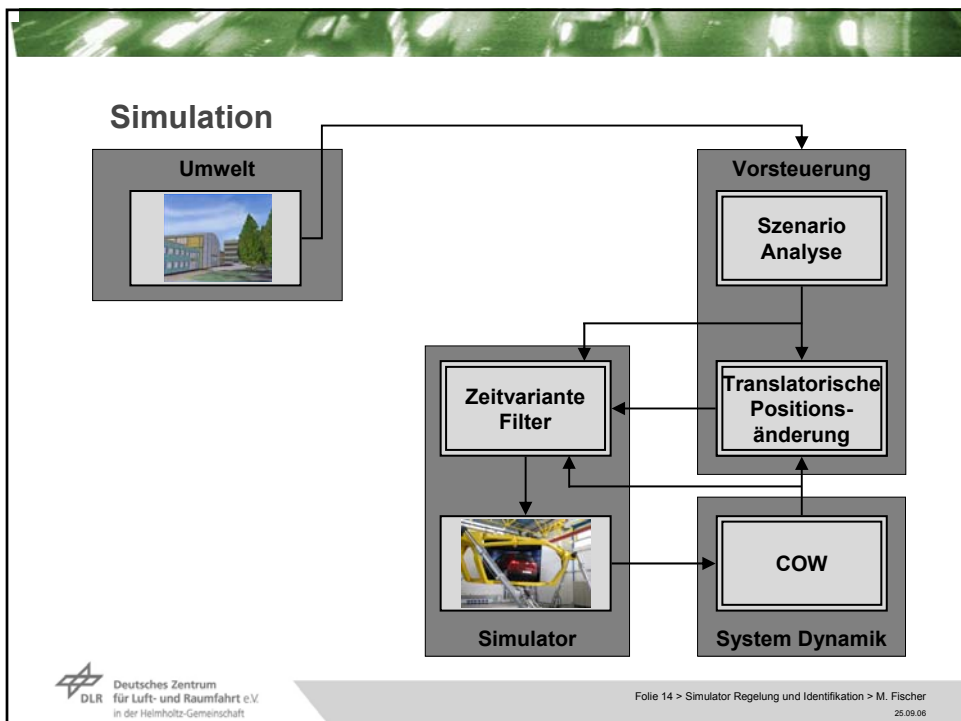
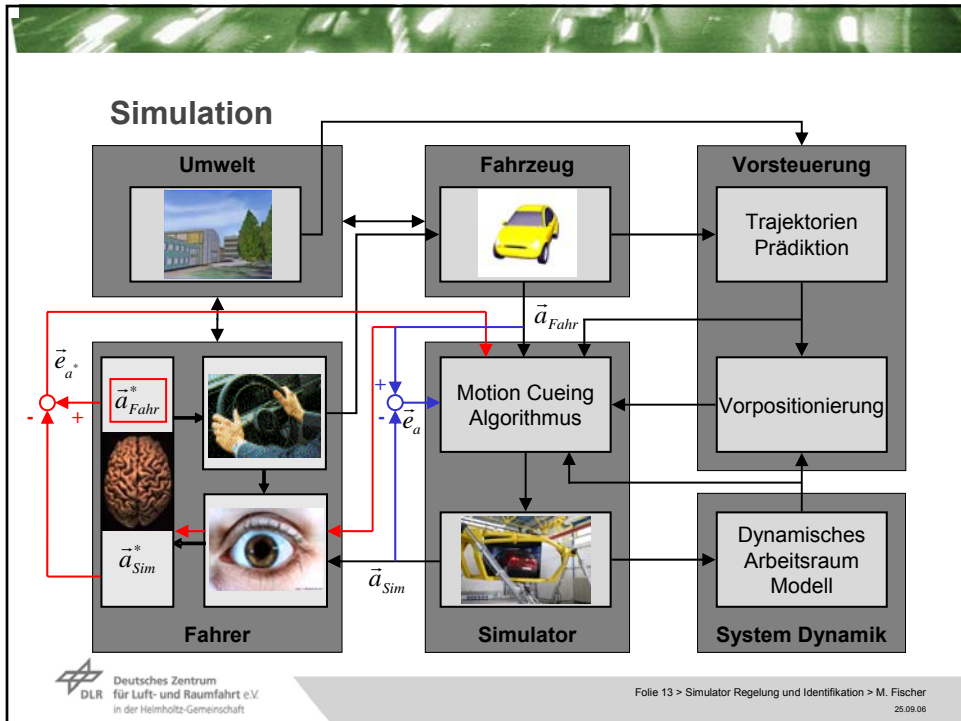
	$F(s)$	$\lim_{t \rightarrow \infty} h(t)$	$\hat{a}(t)$	$\hat{v}(t)$	$\hat{d}(t)$
		$\lim_{s \rightarrow 0} H(s)$	$F(s)$	$\frac{1}{s} F(s)$	$\frac{1}{s^2} F(s)$
HP 1.Ordnung	$\frac{s}{s + \omega}$		0	const.	∞
HP 2.Ordnung	$\frac{s^2}{s^2 + 2 \cdot D \cdot \omega \cdot s + \omega^2}$		0	0	const.
HP 3.Ordnung	$\frac{s^3}{s^3 + 3 \cdot \omega \cdot s^2 + 3 \cdot \omega^2 \cdot s + \omega^3}$		0	0	0



Spektrale Leistungsdichte einer Autofahrt



Quelle: G. Reymond, A. Kemeny - „Motion Cueing in the Renault Driving Simulator“

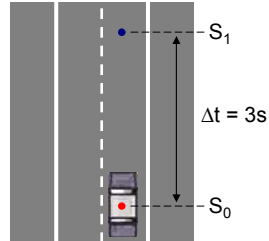


Vorpositionierung

Szenario Analyse

➤ Umweltsensoren

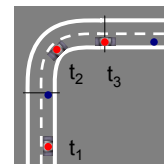
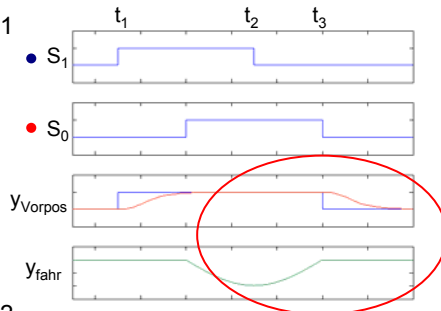
- Straßentyp
- Straßeneigenschaften (Länge, Radius, etc.)
- ...



Vorpositionierung

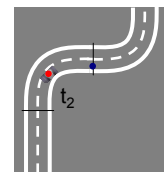
Translatorische Positionsänderung

➤ Szenario 1



➤ Szenario 2

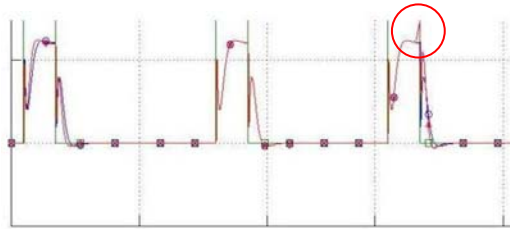
➤ Überlagerte Bewegung von Vorpositionierungs- und Fahrsignal !!



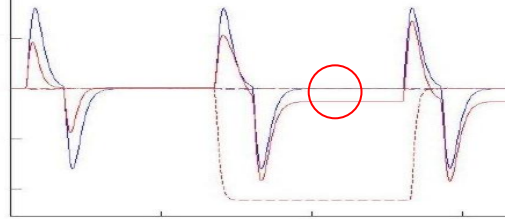
Motion Cueing Algorithmus

Zeitvariante Filter

➤ Artefakte

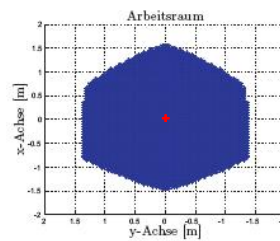
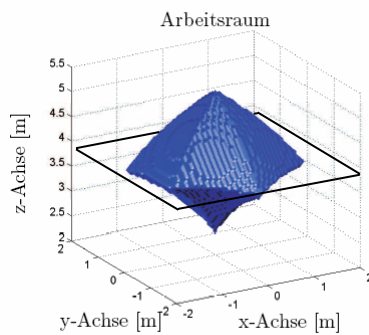
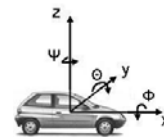


➤ Offset

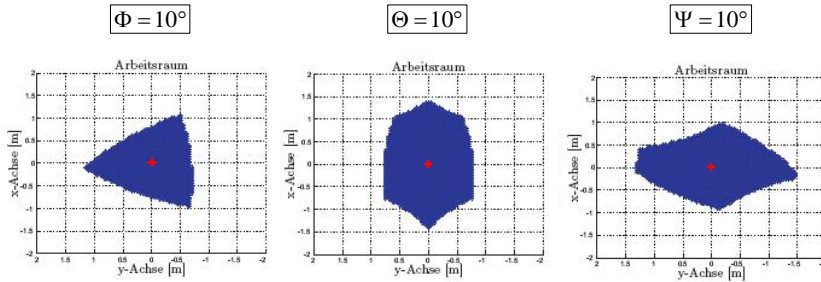
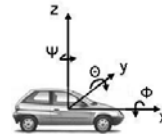


Constant Orientation Workspace (COW)

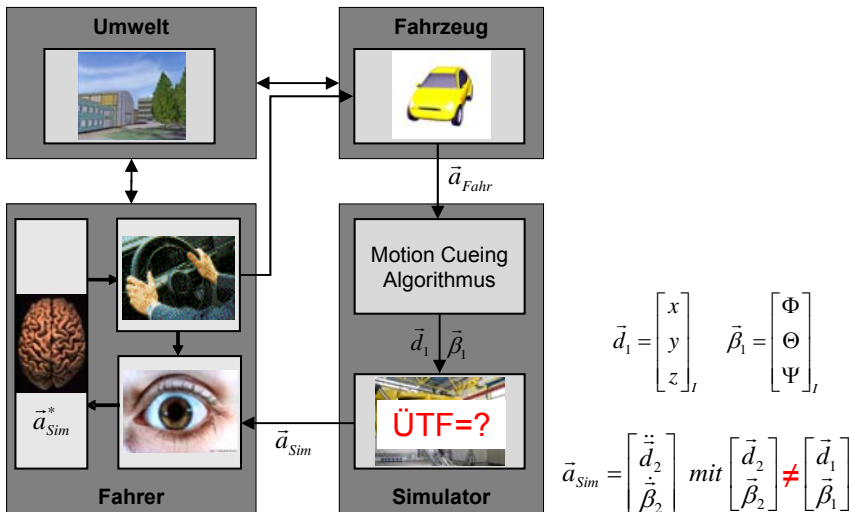
$$\Phi = \Theta = \Psi = 0^\circ$$



Constant Orientation Workspace (COW)



Simulation



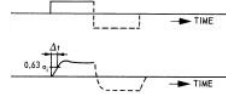
Identifikation Systemeigenschaften

- Limits (in den 6 DOF)
 - Frequenz/Amplituden-Test

$$u(t) = A_j \cdot \sin(\omega_j \cdot t)$$

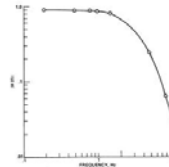
- Dynamischer Schwellenwert

$$\Delta t: y(t) = 0,63 \cdot a \cdot 1(t)$$



- Lineare Beschreibungsfunktionen (DFT)

$$H(\omega_i) = \frac{Y(\omega_i)}{U(\omega_i)} \Big|_{A_j=0,1 \dots A_{\text{lim}}}$$

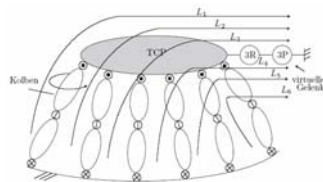


Identifikation Übertragungsverhalten

- Übertragungsverhalten
 - Empirisches Modell („Black Box“)

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \Phi \\ \Theta \\ \Psi \end{bmatrix}_{Ist} = \mathbf{A} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \Phi \\ \Theta \\ \Psi \end{bmatrix}_{Soll} = \begin{bmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_{xz} & A_{\Phi x} & A_{\Theta x} & A_{\Psi x} \\ A_{yx} & A_{yy} & A_{yz} & A_{\Phi y} & A_{\Theta y} & A_{\Psi y} \\ A_{zx} & A_{zy} & A_{zz} & A_{\Phi z} & A_{\Theta z} & A_{\Psi z} \\ A_{\Phi x} & A_{\Phi y} & A_{\Phi z} & A_{\Phi\Phi} & A_{\Phi\Theta} & A_{\Phi\Psi} \\ A_{\Theta x} & A_{\Theta y} & A_{\Theta z} & A_{\Theta\Phi} & A_{\Theta\Theta} & A_{\Theta\Psi} \\ A_{\Psi x} & A_{\Psi y} & A_{\Psi z} & A_{\Psi\Phi} & A_{\Psi\Theta} & A_{\Psi\Psi} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \Phi \\ \Theta \\ \Psi \end{bmatrix}_{Soll}$$

- Theoretisches Modell



Zusammenfassung und Ausblick

- Für **FAS-Studien** sind **Simulatorfahrten** ein probates Mittel
- **Klassische Algorithmen** sind für die Bewegungssteuerung geeignet, haben aber ihre Grenzen
- Eine umfassende **Szenarioanalyse** ist die Grundlage für eine gute **Vorpositionierung**
- Der Einsatz von **zeitvarianten Filtern** verspricht Vorteile, muss aber noch genauer untersucht werden
- Die genaue Kenntnis des aktuell zur Verfügung stehenden **Arbeitsraumes** eröffnet neue Möglichkeiten für die Ansteuerung
- Ein **erweitertes Systemwissen** ist für die sinnvolle Auslegung von neuen Algorithmen notwendig
- Die Kombination der vorgestellten Methoden und Analysen soll bei der Entwicklung eines **neuen (prädiktiven) MCA** helfen

Weiterführende Literatur

- [1] M. Bruenger-Koch, "Motion Parameter Tuning and Evaluation for the DLR Automotive Simulator", presented at Driving Simulator Conference - North America, Orlando, 2005.
- [2] M. Bruenger-Koch, S. Brist and M. Vollrath, "Do you feel the difference? A motion assessment study", presented at Driving Simulation Conference – Asia/Pacific, Tsukuba, 2006.
- [3] M. Vollrath and J. Rataj, "Virtual and Real Driving - Tools for the Design and Assessment of Driver Assistance", presented at ITS, Hannover, 2005.
- [4] R. Suikat, "The new Dynamic Driving Simulator at DLR", presented at Driving Simulator Conference, Orlando, Florida, 2005.
- [5] P. R. Grant and L. D. Reid, "Motion Washout Filter Tuning: Rules and Requirements", Journal of Aircraft, vol. 34, pp. 145 - 151, 1997.
- [6] L. D. Reid and M. A. Nahon, "Flight Simulation Motion-Base Drive Algorithms: Part 1 - Developing and Testing the Equations", UTIAS Report No. 296, December 1985.
- [7] G. Reymond, A. Kemeny, J. Droulez, and A. Berthoz, "Motion Cueing in the Renault Driving Simulator", Vehicle Dynamics, vol. 34, pp. 249 - 259, 2000.
- [8] N. A. Pouliot, C. M. Gosselin, and M. A. Nahon, "Motion Simulation Capabilities of Three-Degree-of-Freedom Flight Simulators", Journal of Aircraft, vol. 35, pp. 9 - 17, 1998.
- [9] M. A. Nahon and L. D. Reid, "Simulator Motion-Drive Algorithms: A Designer's Perspective", Journal of Guidance, control and dynamics, vol. 13, pp. 356 - 362, 1990.