

2Simulate - Werkzeug zur Online-Trimmmung für die Simulation Dynamischer Systeme

Jürgen Gotschlich

DLR – Institut für Flugsystemtechnik, Braunschweig



Wissen für Morgen



2Simulate - Werkzeug zur Online-Trimmung für die Simulation Dynamischer Systeme

Agenda

1. Motivation
2. AVES (Air VEhicle Simulator)
3. 2Simulate Simulationswerkzeug
4. Grundlagen
5. Trimmverfahren
6. Implementierung
7. Beispiel
8. Zusammenfassung und Ausblick



Motivation

Was versteht man unter Trimmung ?

„Trimmung : Herstellen eines stationären Zustands eines dynamischen Systems“

In der Regel gilt z.B. für mechanische Systeme:

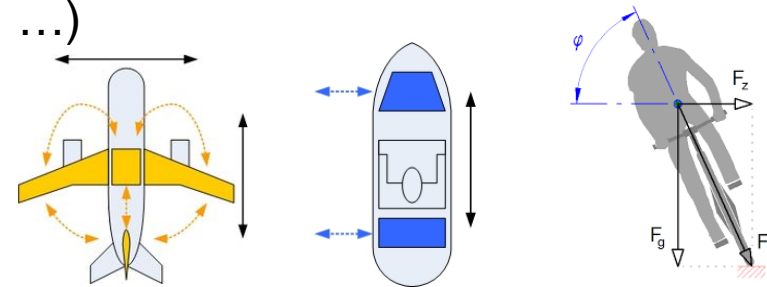
- Ausgleich von Kräften und Momenten
- Keine Beschleunigung
- „Ausrichten“ eines Körpers



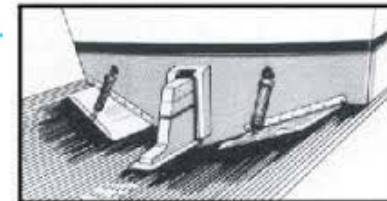
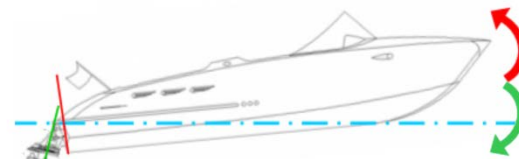
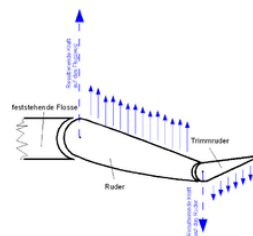
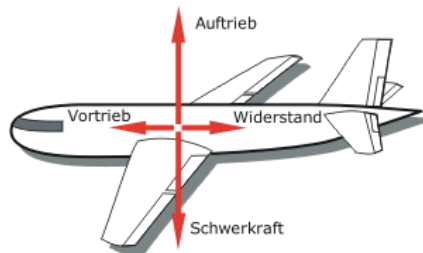
Motivation

Trimmung in **realen** Systemen (z.B. Luft- und Wasserfahrzeuge) erreichbar durch:

- Statische Trimmung
 - Schwerpunkt wird durch Verschieben oder Verändern von Masse variiert (z.B. Treibstoff, Ballast, Ladung, ...)



- Dynamische Trimmung
 - aero- bzw. hydrodynamische Flächen erzeugen zusätzliche Trimmkräfte (z.B. Trimmruder, Trimmklappen)



Motivation

Was bedeutet Trimmung in der **Simulation** dynamischer Systeme ?

- Gezielte Untersuchung von stationären Betriebspunkten im Zeitpunkt t_0
 - Konkretes Szenario (Masse, Position, Lage, Geschwindigkeit, ...)
- Frage:
 - Stellung von Trimmklappen, Trimmruder ?
 - Stellung von Steuerorganen ?
 - Welche Antriebsenergie ?

***„Trimmrechnung in der Simulation :
Berechnung von Anfangswerten der Zustands- und
Eingangsgrößen des Modells eines dynamischen Systems“***



Motivation

Methoden zur Bereitstellung von Trimmzuständen in der Simulation

1. Trimpunkt **vorab** festgelegt und **kompiliert in ausführbarer Modelldatei** („executable files“)
 - Mehrere Varianten durch parallele „executable files“
 - Fest definierte Trimpunkte → unflexibel !
 - Modellwechsel kann aufwändig und lästig sein
2. Trimpunkte werden in **vorab berechneten Datensätzen** abgelegt und zur Laufzeit in das Modell geladen
 - Berechnung der Trimpunkte vorab zum Zeitpunkt $T_{Erstellung}$
 - Spätere Aktivierung mit aktuellem Modell → Diskrepanz ?



Motivation

Methoden zur Bereitstellung von Trimmzuständen in der Simulation

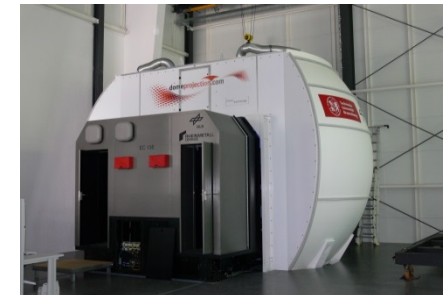
3. Berechnung eines Trimpunktes zum **aktuellen Zeitpunkt unter Nutzung des aktuellen Modells**
 - Flexible Definition des aktuellen Szenarios
 - Keine Diskrepanz zwischen Modellen
 - Speziell wichtig in der HIL-Echtzeitsimulation

→ Online Trimmrechnung !



DLR – AVES (Air VEHICLE Simulator)

- 2 Simulatoren
 - Bewegungssimulator (14 t Hexapod)
 - Festsitzsimulator
- Cockpit-Wechselsystem
 - Schienensystem
 - Kranunterstützung
- 2 Cockpits
 - A320
 - EC135
- Projektionssystem
 - 15-Kanal-Frontprojektion, LED
 - Auflösung 1920 x 1200 (WUXGA)
- Zugangsbrücke
 - 1 t / 5 t Belastung



DLR – AVES (Air VEHICLE Simulator)

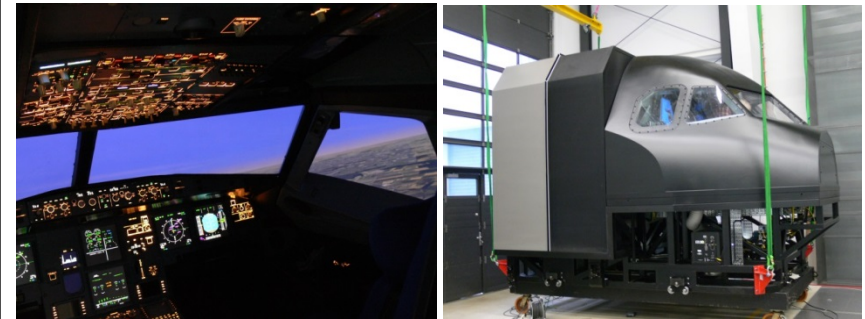
EC135 Cockpit

- EC135-FHS-Replikat
- Modell: 2Simulate Modeling Language



A320 Cockpit

- A320-ATRA-Replikat
- Modell: Simulink → Coder → 2Simulate



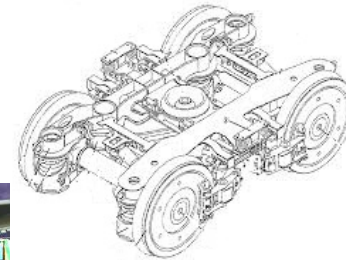
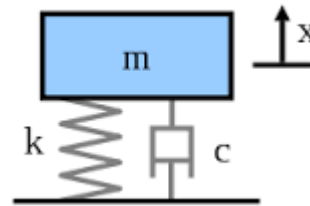
- aktives Steuerkraftsystem / Sidesticks (Wittenstein)
- Standard PC-Komponenten (COTS)
- Ansteuerung der Instrumente via CAN-Bus
- Interface Computer (QNX, 2Simulate)
- Alle Software vom DLR



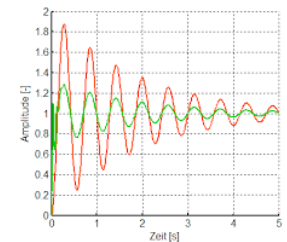
2Simulate – Das Simulationswerkzeug

- Simulation dynamischer Systeme in Echtzeit

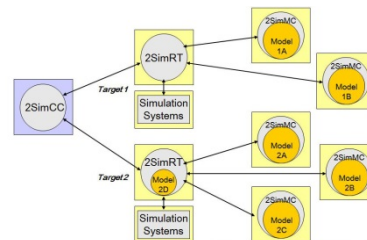
- kleine Teilmodelle
- komplexe Modelle
- High-Level Simulatoren



- Meß-, Steuer- und Regelungsaufgaben



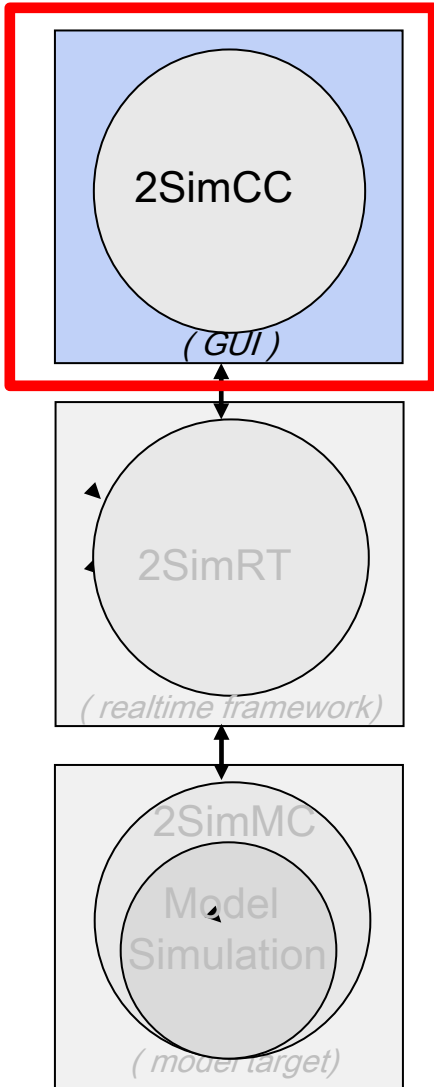
- Verteilte Simulationen



2Simulate – Das Simulationswerkzeug

2SimCC - 2Simulate Control Center

- GUI zur **generischen** Konfiguration und Steuerung von Simulatoren
- Nutzer-, Projekt- und Targetverwaltung
- Data Dictionary



The screenshot shows the '2Simulate Control Center - AVES EC135 FHS Systemsimulator' interface. It features a central window with a helicopter image and a 'Motion Control' tab. To the right is a 'User Login' dialog box with fields for 'username' and 'password', and 'OK' and 'Cancel' buttons. Below the main interface is a '2SimCC - Data Dictionary' window showing a tree view of simulation elements like 'halas', 'mcp1', 'mcp2', 'mcp3', 'model', 'motion', 'replay', 'rts', 'rtstat', 'rtx', 'sim', 'steerWheel', 'vis', and 'wcls'. At the bottom right is a '2SimCC - Target List' window with a table of targets.

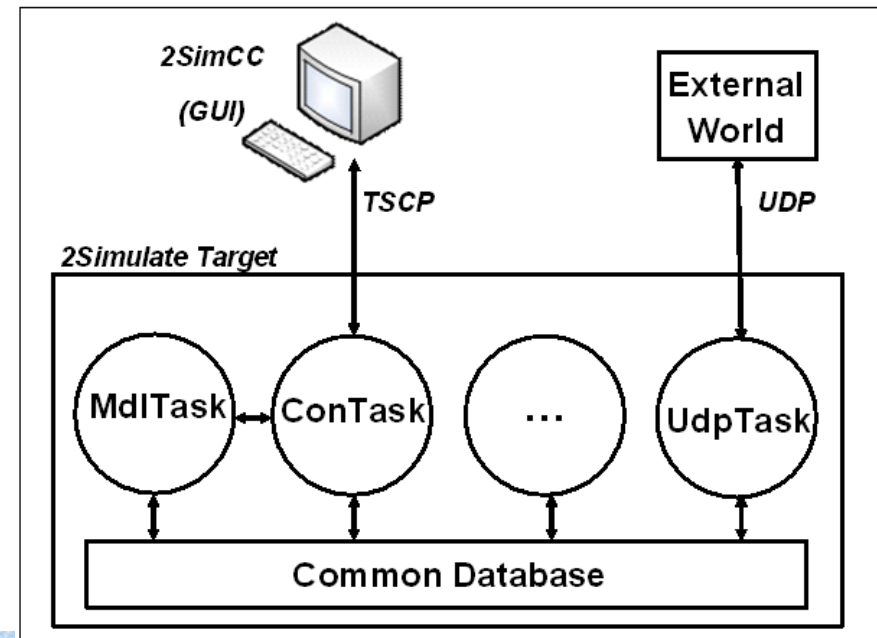
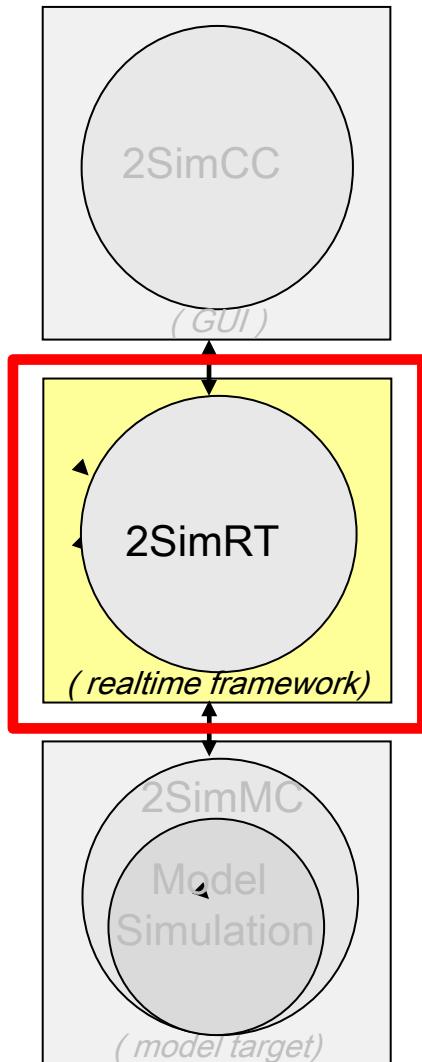
Target Name	IP-address	RcvPort	SndPort	Frame...	Active	
EC135IC	192.168.108.160	15556	15555	10	Yes	Add
Model	192.168.220.160	3001	3000	10	Yes	Delete



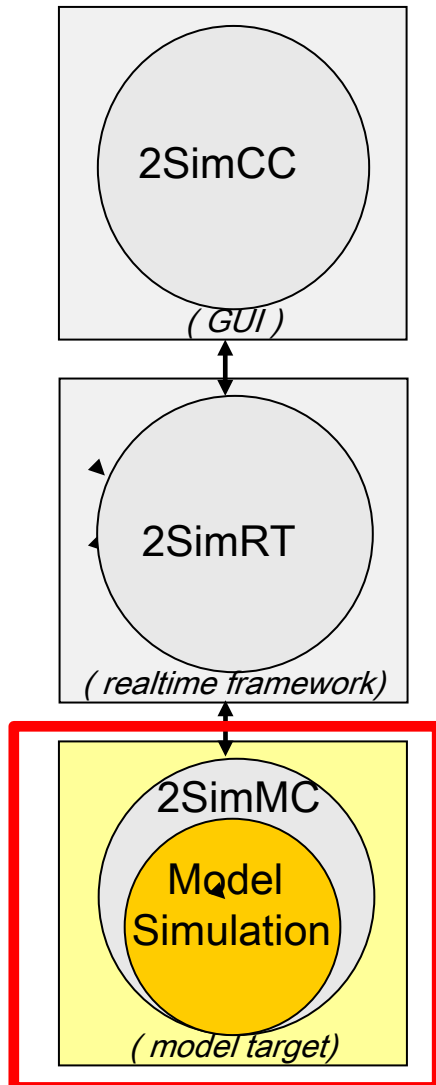
2Simulate – Das Simulationswerkzeug

2SimRT – 2Simulate Realtime Framework

- Interface-Bibliothek für kontinuierliche Echtzeitprozessierung
- Plattformunabhängig: Windows, Linux, QNX
- Generische, modulare Task Objekte
- Basis für 2Simulate Target
- C++



2Simulate – Das Simulationswerkzeug



2SimMC – 2Simulate Model Control

- Einbettung des Modells auf dem Target-System
- Instanzen für Simulink, TSML, (FMI)...
- Modellsteuerung durch Steuerkommandos:
 - IC, RUN, HALT, **TRIM**
- Bereitstellung einer Modelldatenbank
- Zugriff auf alle Modelldaten (states, derivatives, input, output, parameter)
- **Integrierte Trimmrechnung zur Herstellung eines beschleunigungsfreien Modellzustands**



Grundlagen

- Nichtlineares dynamisches System n-ter Ordnung in Form seiner Vektordifferential und Vektorausgangsgleichung:

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}}(t) &= \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)), & \mathbf{x}(t_0) &= \mathbf{x}_0, \\ \mathbf{y}(t) &= \mathbf{g}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)),\end{aligned}$$

mit

- \mathbf{x} : Zustandsvektor
- \mathbf{u} : Eingangsvektor
- \mathbf{y} : Ausgangsvektor
- t : Zeit

- Definition des allgemeinen Trimmproblems zur Herstellung eines stationären Betriebspunktes (Trimmpunkt) eines zeitinvarianten dynamischen Systems:

$$\mathbf{f}[\dot{\mathbf{x}}_{soll}, \mathbf{y}_{soll}, \mathbf{x}_{trim}, \mathbf{u}_{trim}] = 0$$

mit

- $\dot{\mathbf{x}}_{soll}, \mathbf{y}_{soll}$: Trimmforderungen
- $\mathbf{x}_{trim}, \mathbf{u}_{trim}$: Trimmgrößen



Das Trimmverfahren in der Praxis

Unterscheidung von zwei wesentlichen Aspekten:

1. Aufstellen des Trimmgesetzes
2. Durchführen von Trimmrechnungen unter Anwendung dieses Trimmgesetzes mit variierenden Werten



Das Trimmverfahren in der Praxis

1. Aufstellen des Trimmgesetzes

- **Auswahl** der Trimmgrößen und –forderungen
- Für die zu variierenden Trimmgrößen werden Elemente aus dem Zustandsvektor x und dem Eingangsvektor u ausgewählt.
- Für die Trimmforderungen werden Elemente aus dem Derivatvektor \dot{x} und dem Ausgangsvektor y ausgewählt.
- Die Anzahl der Trimmforderungen und Trimmgrößen muss gleich sein, damit das Trimmproblem eindeutig lösbar ist !



Das Trimmverfahren in der Praxis

2. Durchführung der Trimmrechnung

- **Angabe von Sollwerten** für die Trimmforderungen
- **Festlegen von definierten Werten** für alle Elemente des Zustandsvektors x und des Eingangsvektors u
 - Falls es sich dabei um eine Trimmgröße handelt, wird der angegebene Wert als Startwert für die iterative Lösung des Gleichungssystems verwendet (Newton-Verfahren)
 - Falls nicht, wird der angegebene Wert in der Trimmrechnung direkt verwendet und ist auch der Anfangswert für die nachfolgende Simulation



Berechnung der gesuchten Trimmgrößen und Berechnung aller Elemente des Derivativvektors \dot{x} und des Ausgangsvektors y , die keiner Trimmforderung unterliegen



Implementierung des Trimmverfahrens in 2Simulate

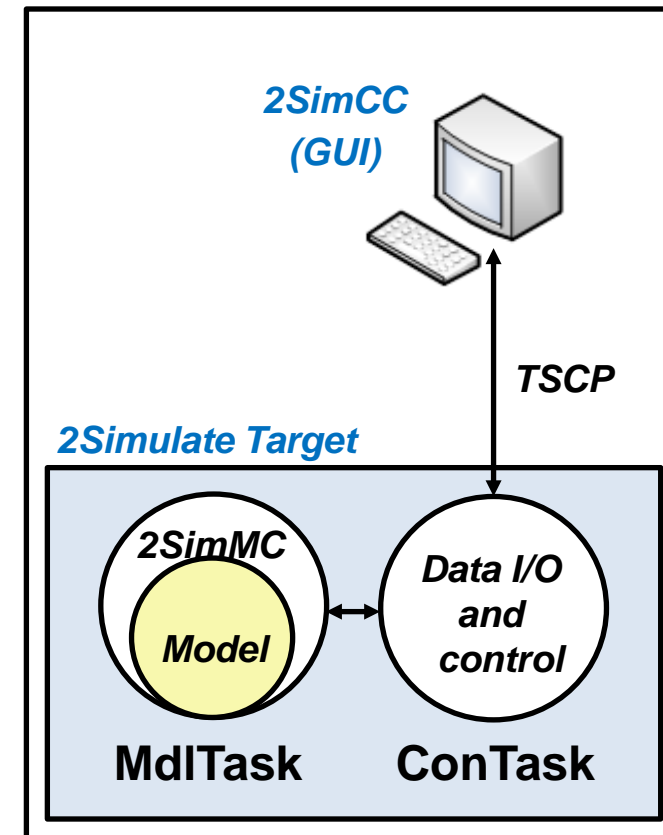
Implementierung in zwei Teilen:

1. Graphische Bedienoberfläche (GUI)

- Trimm-Menü im 2Simulate Control Center
- Definieren des Trimmgesetzes
- Festlegen der Werte für die Trimmforderungen und der Elemente des Zustandsvektors x und des Eingangsvektors u
- Aktivieren der Trimmrechnung

2. Trimmrechnung erfolgt auf dem 2Simulate-Target

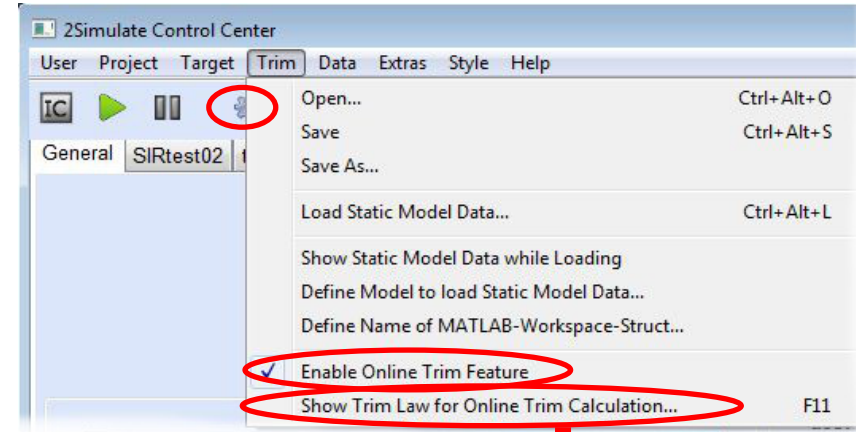
- Modellsteuerung durch 2Sim. Model Control Schnittstelle (2SimMC): IC, RUN, HALT, TRIM
- Übertragung aller GUI-Informationen an das Target mit 2Simulate Control Protocol (TSCP)
- Durchführung der Berechnung
- Übertragung des Resultats an die GUI



Implementierung des Trimmverfahrens in 2Simulate

2Simulate Control Center: Trimm-Menü

- Notebook Seite: Trimmgesetz
 - 4Quadranten Darstellung
- Notebook Seite: Trimmsteuerung
 - Genauigkeit EPS
 - Abbruchkriterium LIMIT



- Anzeige: Dimension
- Anzeige: Status
- Verwaltung: Trimmdateien
- Start der Berechnung
 - Im Trimm-Menü
 - Im Main-Menü

States

name	act.	value	trim result	unit
States (2)				
ZMS (2)				
SLZMS (2)				
x_1m	<input type="checkbox"/>	0.0000	10.0000	
x_2m	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0000	30.0000	
x_1_dotms	<input type="checkbox"/>	0.0000	---	
x_2_dotms	<input type="checkbox"/>	0.0000	---	

Derivatives

name	act.	value	unit
Derivatives (2)			
ZMS (2)			
SLZMS (2)			
x_1m'	<input type="checkbox"/>	0.0000	
x_2m'	<input type="checkbox"/>	0.0000	
x_1_dotms'	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0000	
x_2_dotms'	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0000	

Inputs

name	act.	value	trim result	unit
Inputs (-)				
ZMS (-)				
SLZMS (-)				
FromIC (-)				
version	<input type="checkbox"/>	0.0000	---	
length	<input type="checkbox"/>	0.0000	---	
simMode	<input type="checkbox"/>	0.0000	---	
F	<input type="checkbox"/>	40.0000	---	

Outputs, Signals

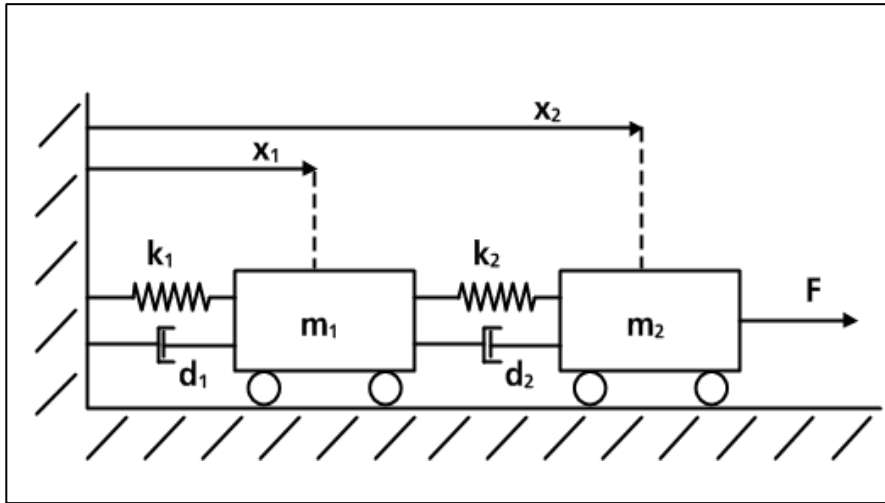
name	act.	value	unit
Outputs, Signals			
x1	<input type="checkbox"/>	0.0000	
x2	<input type="checkbox"/>	0.0000	
x1Dot	<input type="checkbox"/>	0.0000	
x2Dot	<input type="checkbox"/>	0.0000	
Signals (-)			

The nr. of Trim Variables: 2 matches 2 the nr. of Trim Requirements!

Start Calculation... Cancel Calculation

Open Save Save As ... Clear OK Cancel

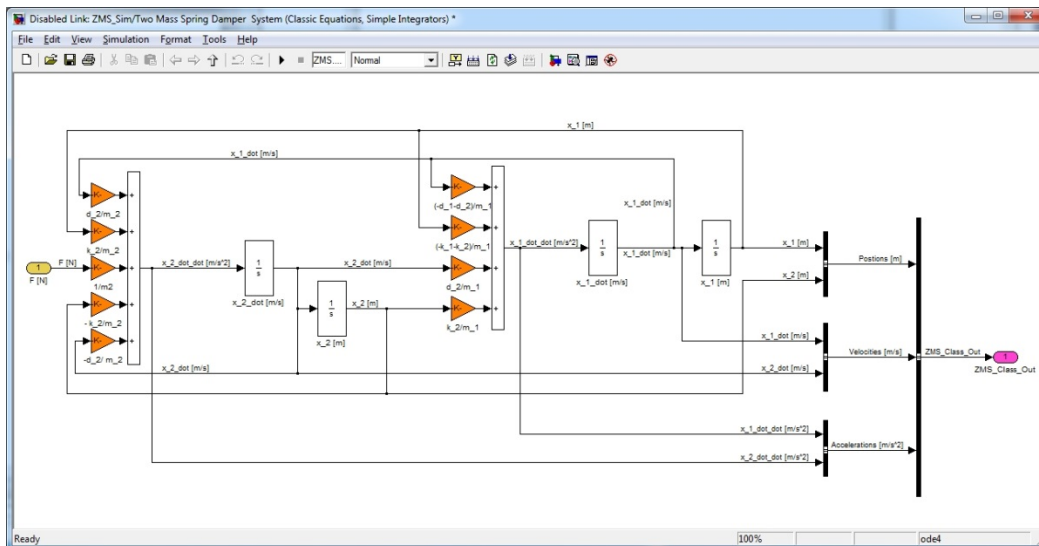
Beispiel: Zwei-Massen-Feder-Dämpfer-System



Die zugehörigen Bewegungsdifferentialgleichungen lauten:

$$\ddot{x}_1 = -\frac{k_1}{m_1}x_1 - \frac{d_1}{m_1}\dot{x}_1 + \frac{k_2}{m_1}(x_2 - x_1) + \frac{d_2}{m_1}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1)$$

$$\ddot{x}_2 = -\frac{k_2}{m_2}(x_2 - x_1) - \frac{d_2}{m_2}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + \frac{F}{m_2}$$



Mit den Parametern:

- $m_1 = 5 \text{ kg}$, $k_1 = 4 \text{ N/m}$, $d_1 = 1 \text{ Ns/m}$,
- $m_2 = 1 \text{ kg}$, $k_2 = 2 \text{ N/m}$, $d_2 = 3 \text{ Ns/m}$
- $F = 40 \text{ N}$

→ **Ausgetrimmte Ruhelage:**
 → $x_1 = 10 \text{ m}$, $x_2 = 30 \text{ m}$



Beispiel: Zwei-Massen-Feder-Dämpfer-System

2SimCC - Trim Overview (loaded:D:\fk40\work\apps\2Simulate\dev\win32VC10\data\ZMS01.2st*)

Trim-Status: OK

Trim Variables

States

name	act.	value	trim result	unit
States (2)				
ZMS (2)				
SLZMS (2)				
x_1m	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0000	10.0000	
x_2m	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0000	30.0000	[]
x_1_dotms	<input type="checkbox"/>	0.0000	---	[]
x_2_dotms	<input type="checkbox"/>	0.0000	---	[]

Inputs

name	act.	value	trim result	unit
Inputs (-)				
ZMS (-)				
SLZMS (-)				
FromIC (-)				
version	<input type="checkbox"/>	0.0000	---	
length	<input type="checkbox"/>	0.0000	---	[]
simMode	<input type="checkbox"/>	0.0000	---	[]
F	<input type="checkbox"/>	40.0000	---	[]

Trim Requirements

Derivatives

name	act.	value	unit
Derivatives (2)			
ZMS (2)			
SLZMS (2)			
x_1m'	<input type="checkbox"/>	0.0000	
x_2m'	<input type="checkbox"/>	0.0000	[]
x_1_dotms'	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0000	[]
x_2_dotms'	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0000	[]

Outputs, Signals

name	act.	value	unit
x1	<input type="checkbox"/>	0.0000	[]
x2	<input type="checkbox"/>	0.0000	[]
x1Dot	<input type="checkbox"/>	0.0000	[]
x2Dot	<input type="checkbox"/>	0.0000	[]

Signals (-)

name	act.	value	unit
Signals (-)			

The nr. of Trim Variables matches the nr. of Trim Requirements !



Zusammenfassung und Ausblick

- Erste Implementierung erfolgreich abgeschlossen
- Klassische Testmodelle (Feder-Masse-Dämpfer-Systeme)
- Nichtlineares Flächenflugzeugmodell (6DOF)
- Komplexes Helikoptermodell eines Eurocopter EC135 (6DOF)
- Optimierungen
 - Verbesserte Präsentation des Trimmergebnisses (u.a. bei Singularität)

Vielen Dank !

