

DYMOLA – Informationstag TU München, 23.04.2008

Dipl.-Ing. Anton Haumer

www.Haumer.at

Technisches Büro für Elektrotechnik
Elektrische Antriebstechnik

Berechnung von Zusatzverlusten in Asynchronmaschinen durch Umrichterspeisung

- Warum DYMOLA / Modelica?
- Bisherige Arbeiten, Motivation
- Aufgabenstellung
- Die verwendete AC - Bibliothek
- Die verwendete SmartElectricDrives - Bibliothek
- Analyse des Spannungsspektrums
- Berechnung der Verluste
- Ausblick, Diskussion

Warum DYMOLA / Modelica?

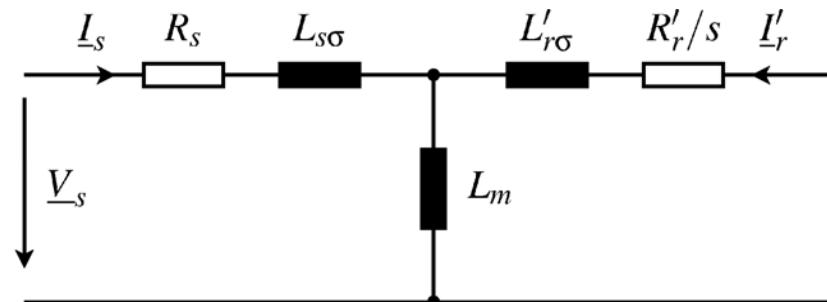
- Simulation seit über 25 Jahren
- DYMOLA / Modelica seit ca. 8 Jahren (Kundenprojekt)
- physikalisch orientiert:
 - Connector (Schnittstelle) enthält Potentiale und Flussgrößen
 - Gleichungen statt Zuweisungen (z.B. Energiebilanzen)
 - connect: Knotenregeln (Fluss) und Maschenregeln (Potential)
- objektorientiert und modular
- stabile Simulation auch bei idealisierenden Annahmen
- integrierter Sourcecode:
 - Gleichungen + graphische Repräsentation + Dokumentation (HTML)
- multidisziplinär:
 - Regelungstechnik (Blocks)
 - Elektrotechnik
 - Mechanik (rotational, translational, 3D)
 - Thermodynamik
 - stetige Entwicklung: Modelica.Association www.modelica.org

Bisherige Arbeiten, Motivation

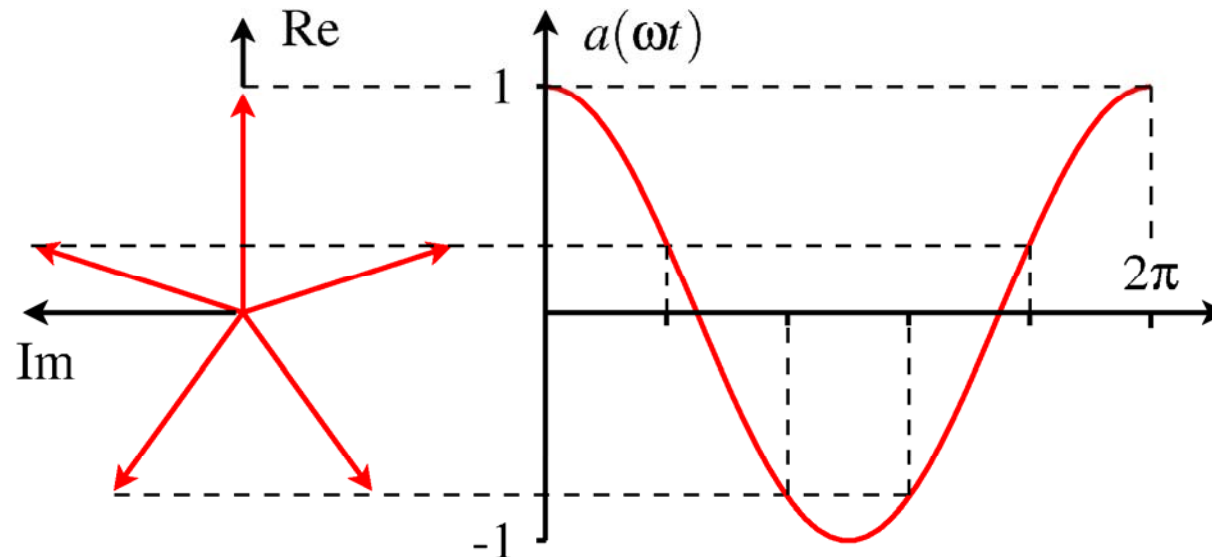
- Modelica.Electrical.
 - MultiPhase: mehrphasige elektrische Elemente (i.A. Drehstrom)
 - Machines: Asynchronmaschinen
Synchronmaschinen
Gleichstrommaschinen
- Modelica.Mechanics
 - Rotational: 1-dimensionale rotierende Elemente der Mechanik
 - Translational: 1-dimensionale translatorische Elemente der Mechanik
- Modelica.Thermal.
 - HeatTransfer: 1-dimensionale Wärmeströme
 - FluidHeatFlow Modellierung von Kühlmittelströmen
- Kundenprojekte:
 - Erwärmung von Traktionsmotoren während des Lastspieles
 - Netzurückwirkungen von Diodengleichrichtern
 - Mechanische Simulation von Tunnelbohrmaschinen

Aufgabenstellung

- Drehzahlgeregelte Asynchronmaschinen
 - Wie verändert sich der Wirkungsgrad durch Umrichterspeisung?
 - Vergleich alternativer Drehzahlstellmethoden → Energiekosten
- Beispiel:
 - Lüfterantrieb 1600 kW / 3000 Upm
 - Mittelspannung 6 kV / 50 Hz
- Vorgangsweise:
 - Analyse der Spannungsüberschwingungen
 - Berechnung der Verluste
Komplexe Wechselstromrechnung



Komplexe Wechselstromrechnung



$$a(t) = \hat{A} \cos(\omega t + \varphi) = \sqrt{2} A \operatorname{Re} \left(e^{j\omega t} e^{j\varphi} \right)$$

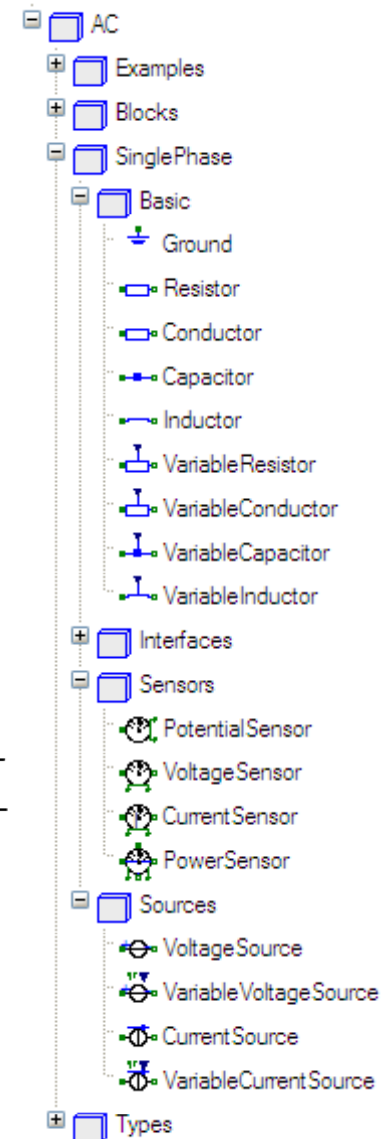
$$\underline{A} = A \cdot e^{j\varphi} \Rightarrow a(t) = \sqrt{2} \operatorname{Re} \left(\underline{A} \cdot e^{j\omega t} \right)$$

$$\frac{da(t)}{dt} = \sqrt{2} \operatorname{Re} \left(\underline{A} \cdot j\omega e^{j\omega t} \right)$$

Die verwendete AC Bibliothek

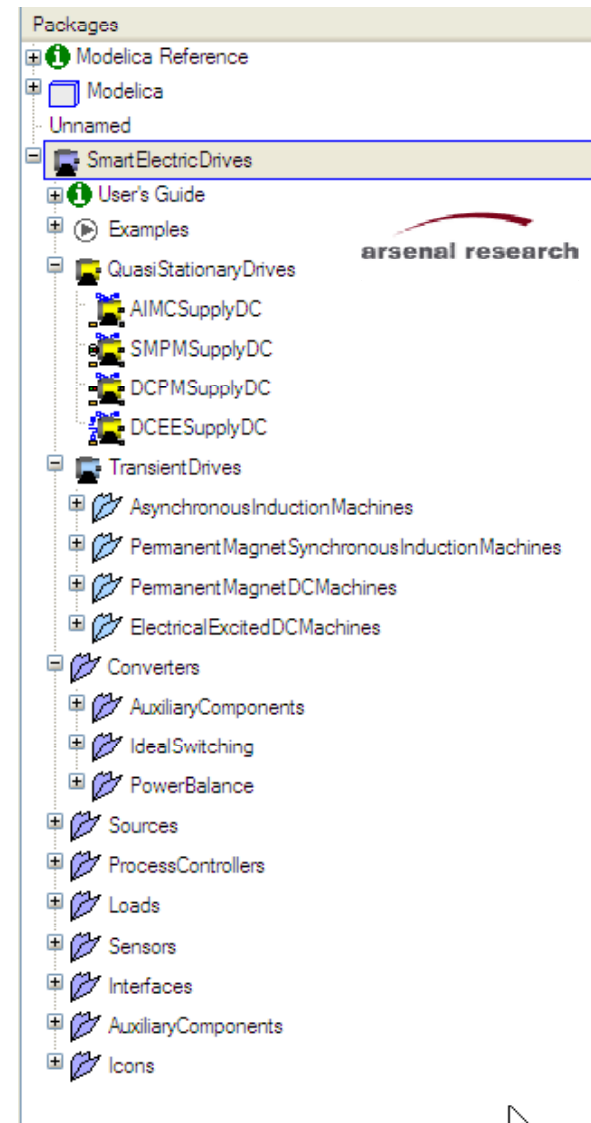
- Bibliothek für quasistationäre Modellierung auf Basis komplexer Zeitzeiger
- Definition komplexer Datentypen und Operationen
- Propagation der Frequenz über den Connector „overdetermined connection sets“
- Definition quasistationärer Quellen und Elemente
 - z.B. Induktivität:

$$v = L \frac{di}{dt} \Rightarrow \underline{V} = j\omega L \cdot \underline{I} = \underline{X}_L \cdot \underline{I}$$

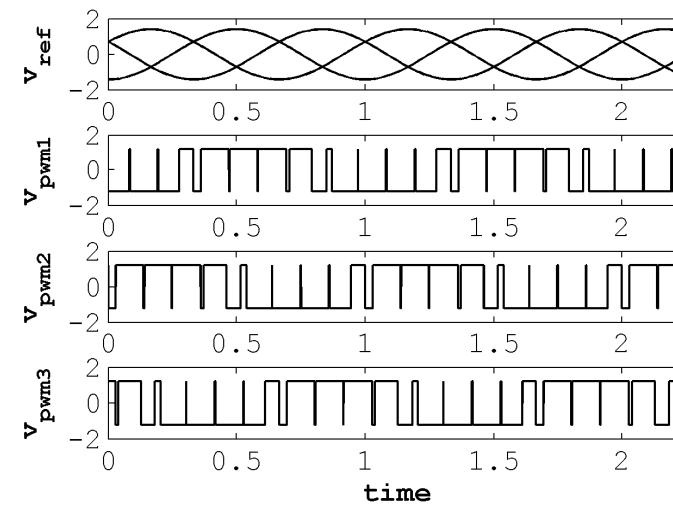
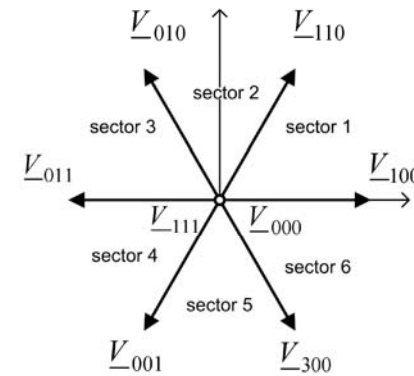
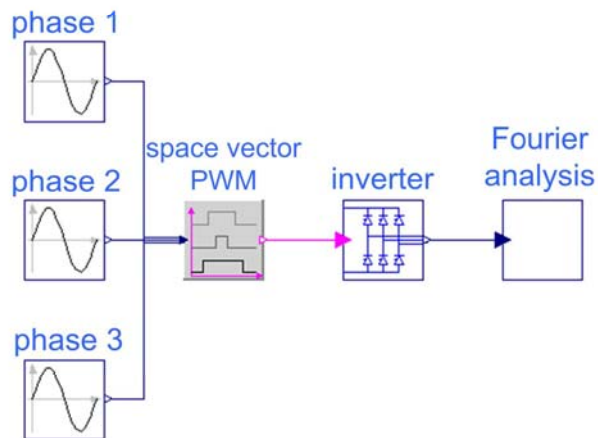
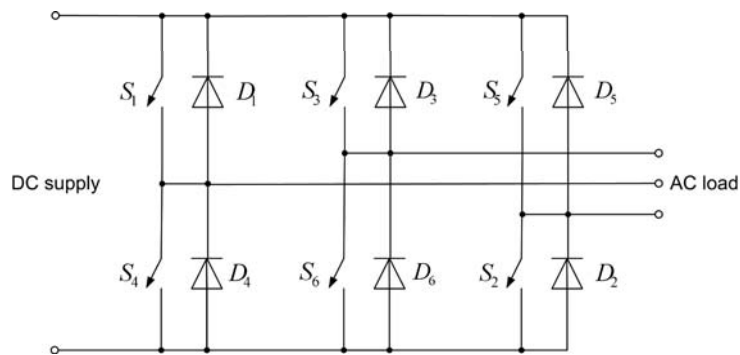


Die verwendete SmartElectricDrives

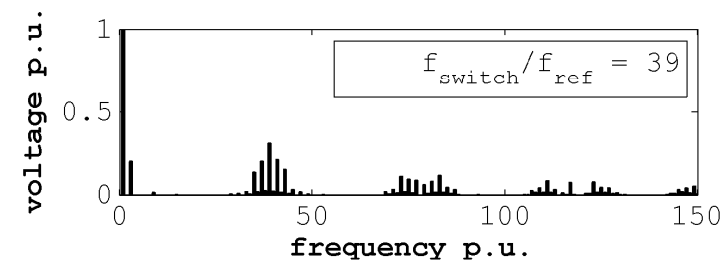
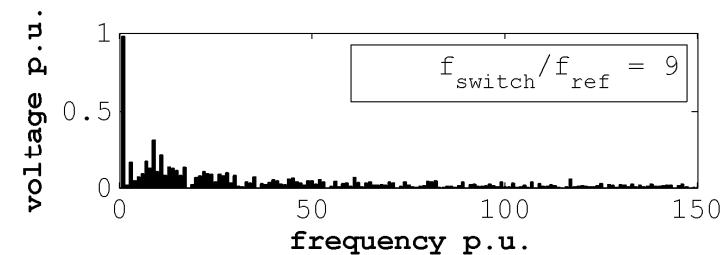
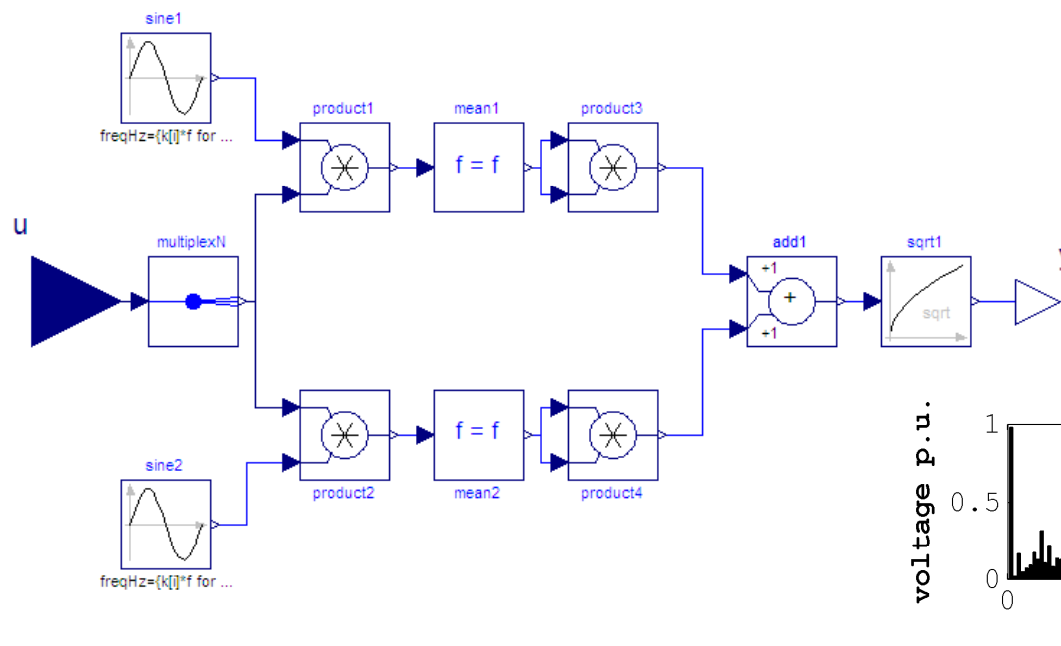
- Modelica Standard Library enthält zwar Maschinenmodelle, aber keine Antriebsregelungen (FOC)
 - kommerzielle SED von arsenal research
- Elemente zur Modellierung von Umrichterantrieben
 - Converter (Leistungselektronik)
 - Regelungen
- Quellen (Batterien), Regler,
- Fertige integrierte Modelle
 - Motor + Wechselrichter + Regelung
 - Transient + Quasistationär
 - ASM
 - PSM
 - DC – permanenterregt
 - DC – elektrisch erregt



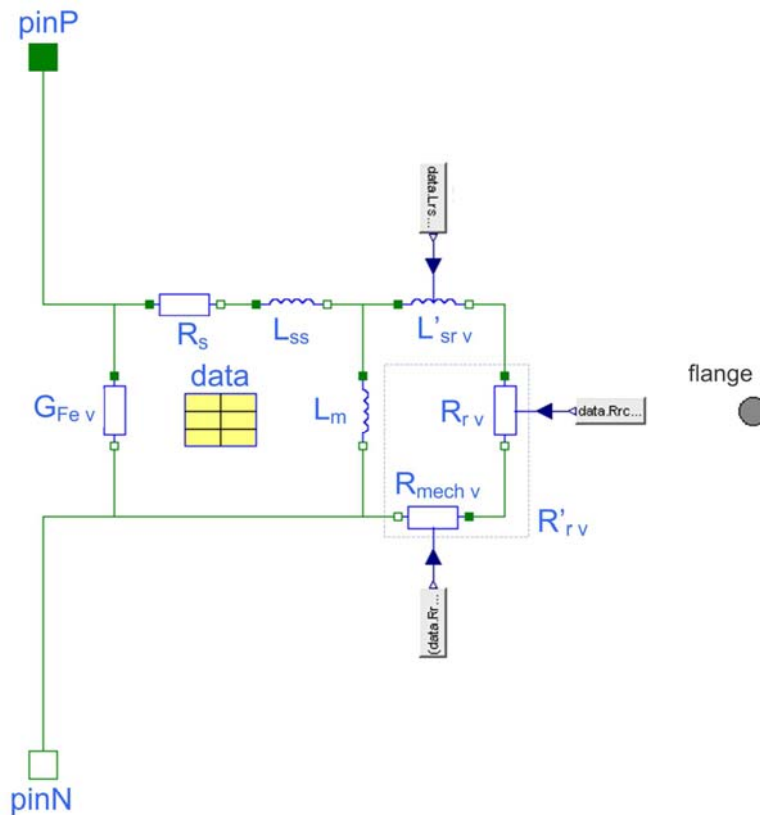
Analyse des Spannungsspektrums



Fourieranalyse



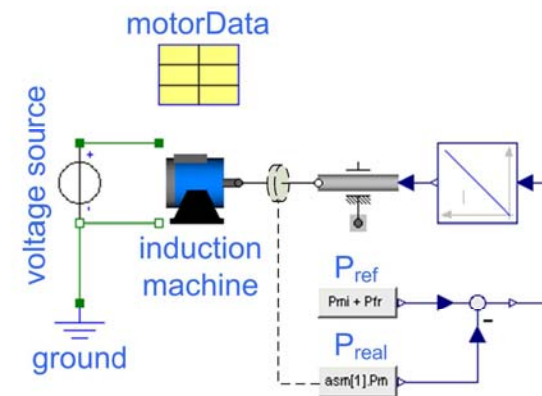
Berechnung der Verluste



$$K_{Rv} = \xi_v \cdot \frac{\sinh(2\xi_v) + \sin(2\xi_v)}{\cosh(2\xi_v) - \cos(2\xi_v)}$$

$$K_{Iv} = \frac{3}{2\xi_v} \cdot \frac{\sinh(2\xi_v) - \sin(2\xi_v)}{\cosh(2\xi_v) - \cos(2\xi_v)}$$

$$\xi_v = h \cdot \sqrt{\frac{\mu_0 \cdot 2\pi f_v}{2\rho} \cdot \frac{b}{b_s}}$$



Ergebnisse (Schaltfrequenz 1,95 kHz)

		Case A: $f = f_{Nominal}$ $P = P_{Nominal}$	Case B: $f = \frac{f_{Nominal}}{3}$ $P = \frac{P_{Nominal}}{27}$
Switching Frequency = 1950 Hz			
Machine Output Power (Fundamental)	[W]	1600000.00	59259.30
Shaft Speed	[rpm]	1496.34	499.62
Stator Current (Fundamental)	[A]	179.85	49.19
Power Factor (Fundamental)		0.87	0.38
Friction Losses	[W]	5566.00	1996.00
Core Losses (Fundamental)	[W]	10706.50	3039.31
Stator Copper Losses (Fundamental)	[W]	8453.70	630.36
Rotor Copper Losses (Fundamental)	[W]	3928.22	47.19
Core Losses (Harmonics)	[W]	582.59	377.65
Stator Copper Losses (Harmonics)	[W]	20.84	5.46
Rotor Copper Losses (Harmonics)	[W]	436.41	152.45
Efficiency (Fundamental)	[%]	98.24	91.21
Efficiency considering Harmonics	[%]	98.18	90.46

Ergebnisse (Schaltfrequenz 1,05 kHz)

		Case A: $f = f_{Nominal}$ $P = P_{Nominal}$	Case B: $f = \frac{f_{Nominal}}{3}$ $P = \frac{P_{Nominal}}{27}$
Switching Frequency = 1050 Hz			
Machine Output Power (Fundamental)	[W]	1600000.00	59259.30
Shaft Speed	[rpm]	1496.32	499.62
Stator Current (Fundamental)	[A]	180.33	49.18
Power Factor (Fundamental)		0.87	0.38
Friction Losses	[W]	5566.00	1996.00
Core Losses (Fundamental)	[W]	10651.60	3037.93
Stator Copper Losses (Fundamental)	[W]	8499.40	630.16
Rotor Copper Losses (Fundamental)	[W]	3952.34	47.21
Core Losses (Harmonics)	[W]	678.37	561.57
Stator Copper Losses (Harmonics)	[W]	73.31	21.81
Rotor Copper Losses (Harmonics)	[W]	1115.07	463.48
Efficiency (Fundamental)	[%]	98.24	91.21
Efficiency considering Harmonics	[%]	98.13	89.76

Ergebnisse (Schaltfrequenz 0,45 kHz)

		Case A: $f = f_{Nominal}$ $P = P_{Nominal}$	Case B: $f = \frac{f_{Nominal}}{3}$ $P = \frac{P_{Nominal}}{27}$
Switching Frequency = 450 Hz			
Machine Output Power (Fundamental)	[W]	1600000.00	59259.30
Shaft Speed	[rpm]	1496.17	499.61
Stator Current (Fundamental)	[A]	183.42	49.14
Power Factor (Fundamental)		0.87	0.38
Friction Losses	[W]	5566.00	1996.00
Core Losses (Fundamental)	[W]	10312.80	3029.27
Stator Copper Losses (Fundamental)	[W]	8796.23	628.91
Rotor Copper Losses (Fundamental)	[W]	4108.64	47.35
Core Losses (Harmonics)	[W]	917.97	763.86
Stator Copper Losses (Harmonics)	[W]	461.05	125.53
Rotor Copper Losses (Harmonics)	[W]	4429.64	1780.97
Efficiency (Fundamental)	[%]	98.23	91.22
Efficiency considering Harmonics	[%]	97.88	87.62

Ausblick, Diskussion

- Ausblick:
 - Vergleich mit Messungen
 - Modularisierung der quasistationären Antriebsmodelle
- Quellen: 6th International Modelica Conference 2008, Bielefeld
 - <http://www.modelica.org/events/modelica2008/Proceedings/sessions/session2d3.pdf>
 - <http://www.modelica.org/events/modelica2008/Proceedings/sessions/session5h.pdf>
- Danke für Ihre Aufmerksamkeit!**
- Für Fragen stehe ich gerne zur Verfügung:

www.Haumer.at
A.Haumer@Haumer.at