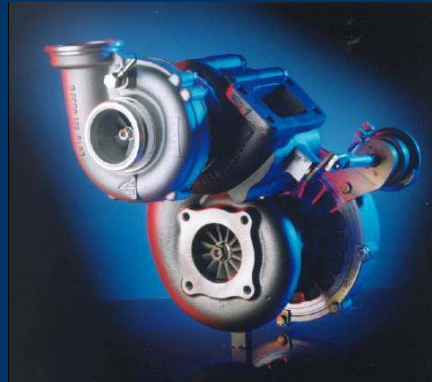


Motorluftsystem in Simulink und Modelica/Dymola

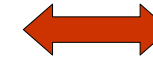
Cloos / Faustmann / Pelz
21.06.2007



Warum physikalische Modellbildung?

- 40 Steuergeräte pro Fahrzeuge
- 20 000 Parameter pro Fahrzeug müssen Kalibriert werden

Phänomenologische Modellbildung (Kennfeldbasiert)



Physikalische Modellbildung ggf. in Kombination mit Kennfeldbasierter Modellierung



Virtueller Test und Kalibrierung von Steuergeräten möglich, „Modell in The Loop“



Ggf. Reduktion der Zahl der Variablen



Größere Zuverlässigkeit insbesondere bei Betriebszuständen außerhalb des Kalibrationsbereiches

Motorluftsystem in Simulink und Modelica/Dymola

Gliederung

- Einführung in das Motorluftsystem
- Modellierung in Simulink
- Modellierung in Modelica/Dymola
- Gegenüberstellung der beiden Modelle
- Zusammenfassung

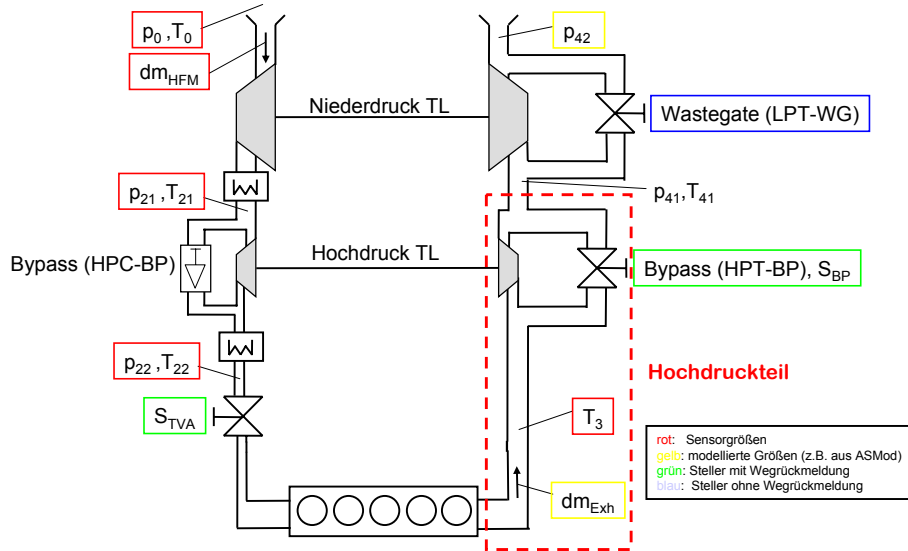
Motorluftsystem in Simulink und Modelica/Dymola

Gliederung

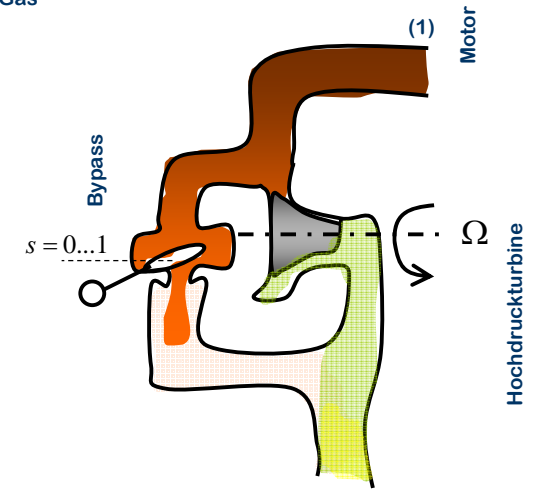
- Einführung in das Motorluftsystem

- Modellierung in Simulink
- Modellierung in Modelica/Dymola
- Gegenüberstellung der beiden Modelle
- Zusammenfassung

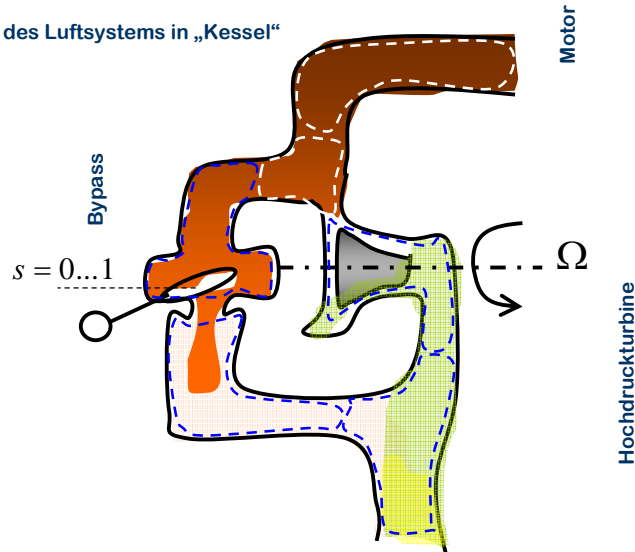




- kalorisch und thermisch ideales Gas
- Trägheitsverluste, keine Reibungsverluste
- Thermodynamischer Zustand an der Stelle (1) ist bekannt

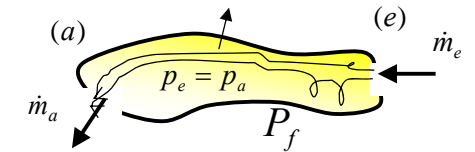


- Unterteilung des Luftsystems in „Kessel“



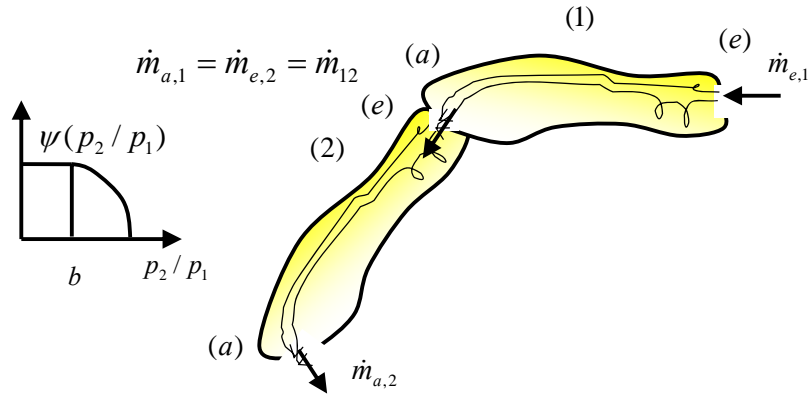
- Kesselmodell

1. Energiegleichung
2. Kontinuitätsgleichung
3. Impulsbilanz im Kessel (Hydrostatik)
4. Zustandsgleichung idealer Gase
5. Ausflussfunktion zur Berechnung des Massenstroms



- Trägheitsverluste an Blenden, Schnittstelle zwischen Einzelkessel

$$\dot{m}_{12} = \alpha A_e \sqrt{2 p_1 \rho_1 \psi(p_2 / p_1)}$$

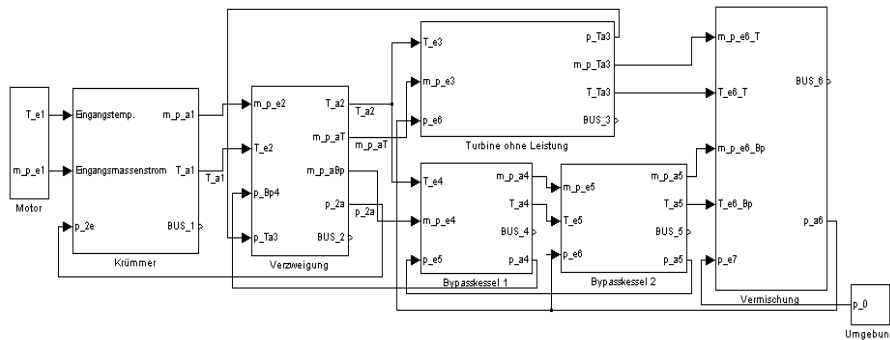


Gliederung

- Einführung in das Motorluftsystem
- Modellierung in Simulink
- Modellierung in Modelica/Dymola
- Gegenüberstellung der beiden Modelle
- Zusammenfassung

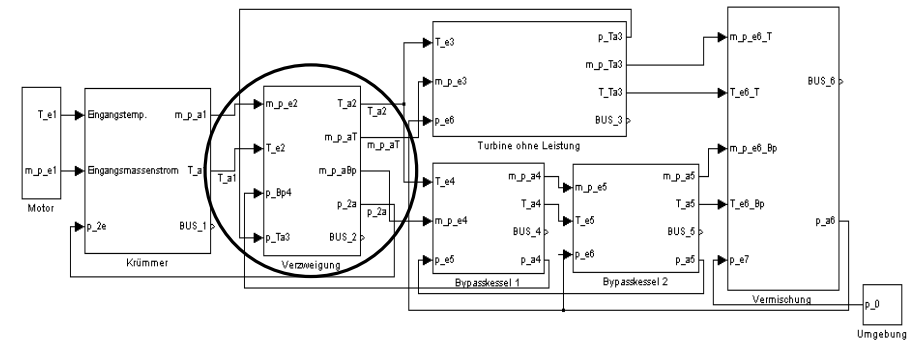
Simulation in Matlab

- Simulinkmodell des Hochdruckteils

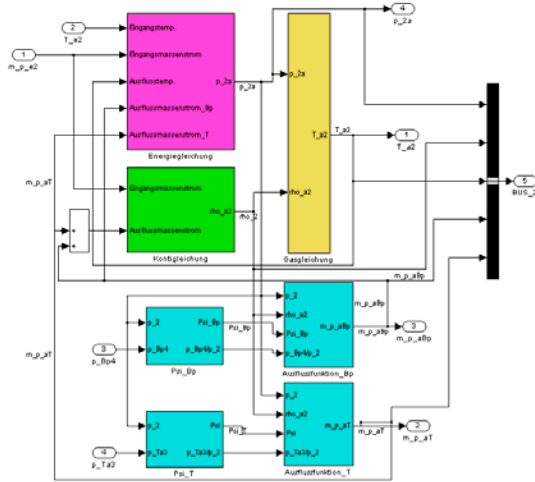


Simulation in Matlab

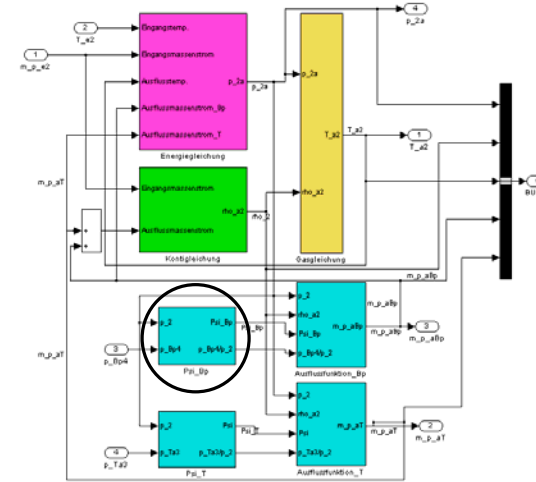
- Exemplarische Betrachtung der Verzweigung



Exemplarische Betrachtung der Verzweigung

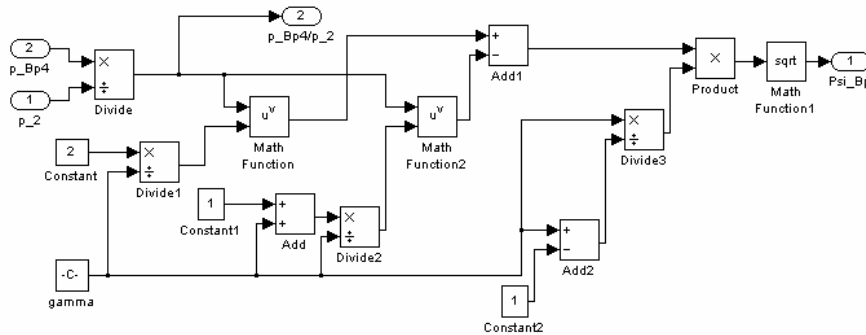


Exemplarische Betrachtung der Berechnung von Psi



Berechnung von Psi

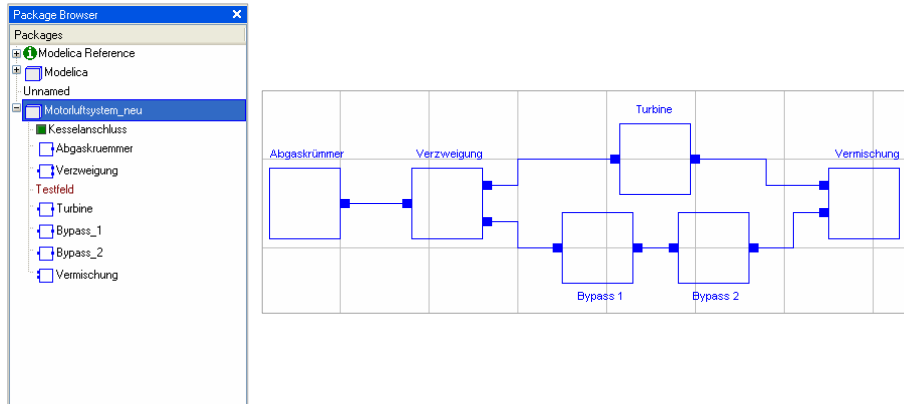
$$\Psi\left(\frac{p_2}{p_1}\right) = \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right]}$$



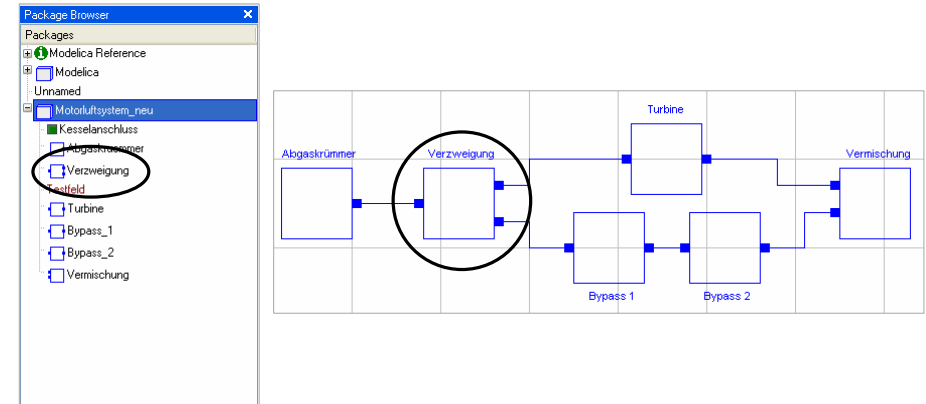
Gliederung

- Einführung in das Motorluftsystem
- Modellierung in Simulink
- Modellierung in Modelica/Dymola
- Gegenüberstellung der beiden Modelle
- Zusammenfassung

● Gesamtmodell in Modelica/Dymola



● Exemplarische Betrachtung der Verzweigung



● Variablendefinition Verzweigung

```

model Verzweigung
  parameter Modelica.SIunits.Area A_v_BP=4e-3; // effektive Austrittsfläche Bypass
  parameter Modelica.SIunits.Area A_v_T=3.85e-3; // effektive Austrittsfläche Bypass
  parameter Modelica.SIunits.Volume V_v=785e-6; // Verzweigungsvolumen
  parameter Modelica.SIunits.ThermodynamicTemperature T_u=293.15; // Umgebungstemperatur
  parameter Real gamma(unit="1")=1.35; // Isentropenexponent gamma
  parameter Real R(unit="J/(kg.K)")=304; // Gaskonstante R
  parameter Modelica.SIunits.SpecificHeatCapacity cp=1135; // spezifische Wärmekapazität
  Modelica.SIunits.MassFlowRate m_p_v_BP; // Massenstrom am Verzweigungsaustritt in den Bypass
  Modelica.SIunits.MassFlowRate m_p_v_T; // Massenstrom am Verzweigungsaustritt in die Turbine
  Modelica.SIunits.ThermodynamicTemperature T_v(start=293.15); // Temperatur am Verzweigungsaustritt
  Modelica.SIunits.Density rho_v(start=1.204); // Dichte in der Verzweigung
  Modelica.SIunits.Pressure p_v(start=1.013e5); // Druck in der Verzweigung
  Modelica.SIunits.Pressure p_t; // Druck aus der Turbine
  Modelica.SIunits.Pressure p_bp; // Druck aus dem Bypass
  Modelica.SIunits.ThermodynamicTemperature T_k; // Temperatur aus dem Krümmer
  Modelica.SIunits.MassFlowRate m_p_k; // Massenstrom aus dem Krümmer
  Real PI_T(unit="1"); // Druckverhältnis von Turbinen- zu Verzweigungskessel
  Real PI_BP(unit="1"); // Druckverhältnis von Bypass- zu Verzweigungskessel
  Real Psi_T; // Ausflussfunktion zur Berechnung des Massenstroms in die Turbine
  Real Psi_BP; // Ausflussfunktion zur Berechnung des Massenstroms in den Bypass

```

● Gleichungen Verzweigung

```

equation
  T_k=In.T;
  m_p_k=In.m_p;
  p_t=Out.T.p;
  p_bp=Out_BP.p;
  PI_T=p_t/p_v;
  PI_BP=p_bp/p_v;
  T_v=p_v/(rho_v*R);
  der(p_v)*V_v/(gamma-1)+cp*(T_v*(m_p_v_BP+m_p_v_T)-T_k*m_p_k)=0;
  der(rho_v)*V_v+m_p_v_BP+m_p_v_T-m_p_k=0;
  Psi_T= if PI_T > 0.537 then sqrt(gamma/(gamma-1)*(PI_T^(2/gamma)-PI_T^((gamma+1)/gamma))) else 0.478;
  Psi_BP= if PI_BP > 0.537 then sqrt(gamma/(gamma-1)*(PI_BP^(2/gamma)-PI_BP^((gamma+1)/gamma))) else 0.478;
  m_p_v_BP=A_v_BP*sqrt(2*p_v*rho_v)*Psi_BP;
  m_p_v_T=A_v_T*sqrt(2*p_v*rho_v)*Psi_T;

```

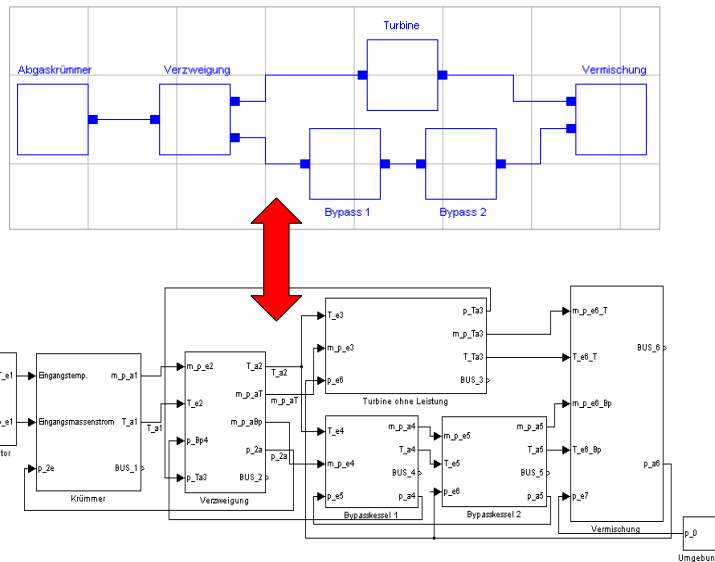
● Variablenübergabe Verzweigung

```
equation
In.p=p_v;
Out_BP.m_p=m_p_v_BP;
Out_T.m_p=m_p_v_T;
Out_T.T=T_v;
Out_BP.T=T_v;
end Verzweigung;
```

Gliederung

- Einführung in das Motorluftsystem
- Modellierung in Simulink
- Modellierung in Modelica/Dymola
- Gegenüberstellung der beiden Modelle
- Zusammenfassung

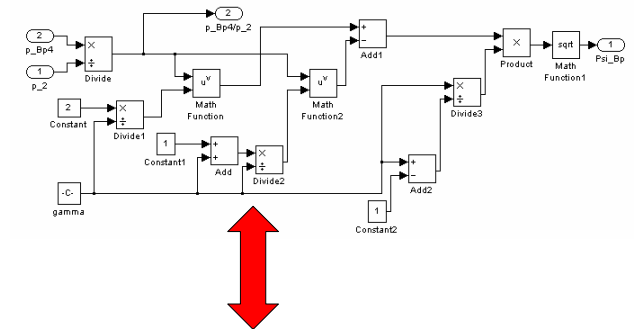
Gegenüberstellung von Simulink und Modelica/Dymola



Gegenüberstellung von Simulink und Modelica/Dymola

● Vergleich der Berechnung von Psi

Simulink:



Modelica/Dymola:
$$\text{Psi_BP} = \text{if } \text{PI_BP} > 0.537 \text{ then } \text{sqrt}(\text{gamma}/(\text{gamma}-1) * (\text{PI_BP}^{2/\text{gamma}} - \text{PI_BP}^{((\text{gamma}+1)/\text{gamma})})) \text{ else } 0.478;$$

Gliederung

- Einführung in das Motorluftsystem
- Modellierung in Simulink
- Modellierung in Modelica/Dymola
- Gegenüberstellung der beiden Modelle
- **Zusammenfassung**

- Die Vorteile von Simulink und Modelica/Dymola in unserem Modell

Vorteile Simulink

Übersichtlicher Signalfluss durch Pfeildarstellung

Logische Darstellung durch Blockschaltbilder

Vorteile Modelica/Dymola

Komplexe Gleichungen können direkt eingegeben werden

Übersichtlichkeit auch komplexer Systeme

Gute Visualisierung der Simulationsergebnisse

- Die Nachteile von Simulink und Modelica/Dymola in unserem Modell

Nachteile Simulink

Komplexe Gleichungen erfordern aufwendige Blockschaltbilder

Größere Modelle werden schnell unübersichtlich

Nachteile Modelica/Dymola

Modellprogrammierung erfordert übersichtliche Texteingabe

Signalrichtung nicht ohne weiteres erkennbar