



Automotive Safety & Security 2010

TargetLink
STRATEGIC
PARTNER

Berechnung und Visualisierung der Modellkomplexität bei der modellbasierten Entwicklung sicherheits-relevanter Software

Dr. Ingo Stürmer, Dr. Hartmut Pohlheim, Thorsten Rogier

MES model engineering
solutions

Inhalt

- Motivation
- Software- versus Modellmetriken
- Berechnung der Modellkomplexität (Modell-Volumen)
 - Simulink- und TargetLink-Modelle
 - Stateflow
- Lessons learned
- Ausblick

Motivation



- Modellbasierte Entwicklung industriell etabliert
 - MATLAB®/Simulink® und TargetLink
- Komplexität und Qualität des SW-Modells bestimmen Qualitätskriterien des generierten Codes
- Sicherheits-relevante Software:
 - Beschränkung auf niedrige Komplexität (ISO 26262, §4.4.7, Tabelle 1)
- Bisher
 - Modelle: Zyklomatische Komplexität (CC) und Blockzahl
- NEU
 - Modell-Volumen auf Basis adaptierter Halstead-Metrik

Warum ein neues Verfahren für Modell-Metriken?

- - Fakten:
 - Vorhandene Metriken aus unserer Sicht unzureichend und wenig aussagekräftig
 - Wissenschaftliche Fundierung unzureichend
 - Empirische Fundierung ausreichend: eigene Verfügbarkeit von Daten auf Basis zahlreicher Reviews und Tests
 - Eigenbedarf:
 - Abschätzung für Review- und Testaufwände
 - Analyse und Bewertung der Modellarchitektur
 - Abschätzung der Fehleranfälligkeit von Modellen
 - Identifikation („Auffinden“) komplexer Subsysteme
 - **Werkzeugunterstützung**

MATLAB®
& SIMULINK®



- - Ziele der Komplexitätsmessung**
 - **Software-Metrik:**
 - Analyse** - Abbildung Software-Einheit als Zahlenwert
 - Bewertung** der Komplexität
 - Vergleich** von Software-Versionen und Varianten
 - Komponenten und Module
 - Beispiele für Anwendungen:**
 - **Prozess-vorbereitende Maßnahmen**
 - Abschätzung Review- und Testaufwand
 - **Prozess-begleitende Maßnahmen**
 - Entwicklung der Gesamtkomplexität/Aufteilung auf Module
 - Vergleich der Komplexität über mehrere Versionen einer Software
 - Abschätzung Fehleranfälligkeit, Wartbarkeit, etc.

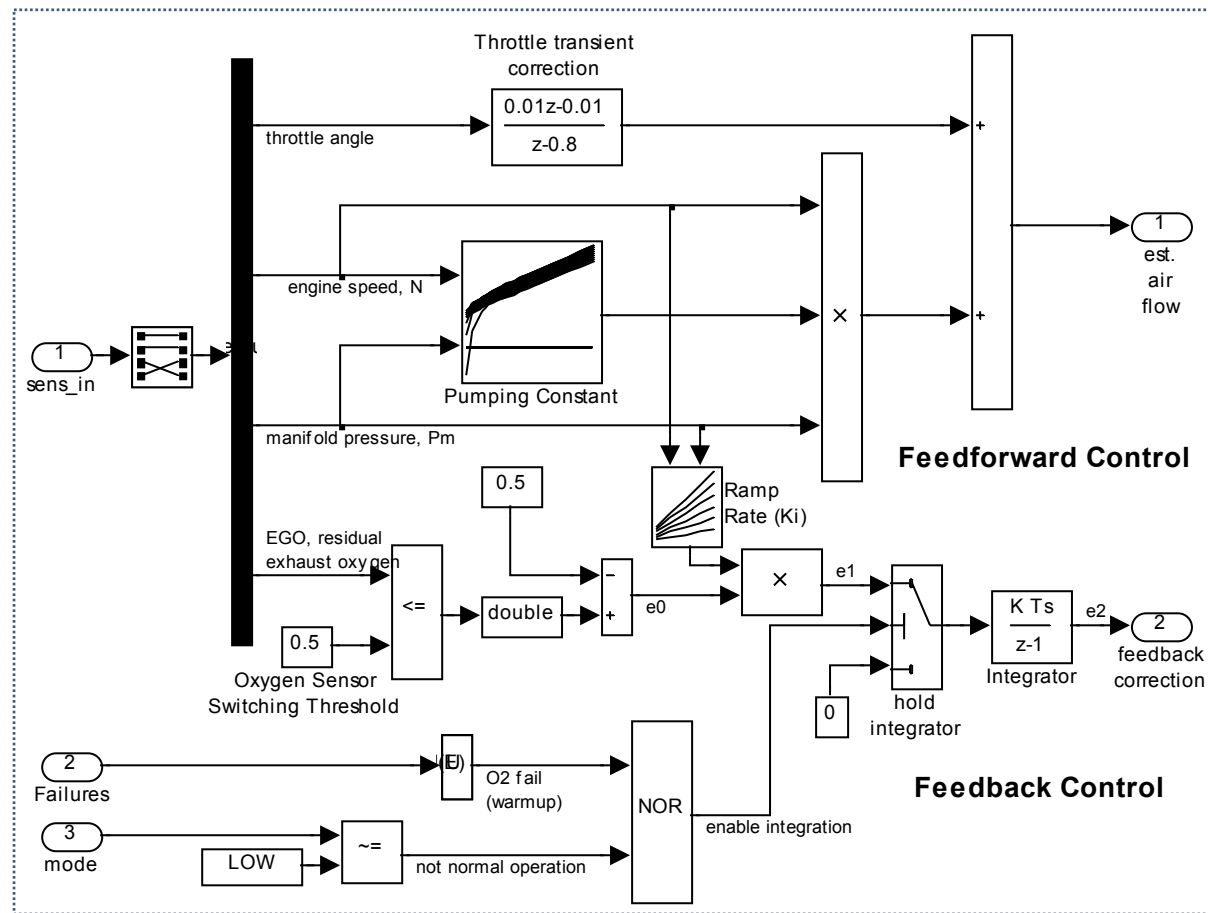


- □ Metriken für Quellcode (Beispiele)
 - Lines of Code (LOC)
 - Zyklomatische Komplexität (nach McCabe)
 - Halstead-Metrik

- **Für Simulink/TargetLink-Modelle gibt es bisher keine allgemeine Metrik zur Bestimmung der Komplexität**
 - Blockzahl und Zyklomatische Kompl. unzureichend

Beispiel: Bisherige Messung der Modellmetrik

Blockzahl= 25
CC = 1



Halstead-Metrik für Quellcode

- □ Grundlage: Halstead-Metrik
 - Bewährtes Verfahren zur Komplexitätsberechnung bei C-Code
 - Basisgrößen
 - Gesamtzahl der Operatoren = **N1** (Anweisungen, Funktionen,...)
 - Gesamtzahl der Operanden = **N2** (Parameter, Rückgabewerte,...)
 - Anzahl unterschiedlicher Operatoren = **N3**
 - Anzahl unterschiedlicher Operanden = **N4**
 - Formel für Halstead-Volumen
 - $(\mathbf{N1} + \mathbf{N2}) * \log_2 (\mathbf{N3} + \mathbf{N4})$

```
result = max(fuel rate, 0.1);
```



Simulink, TargetLink und Stateflow

9

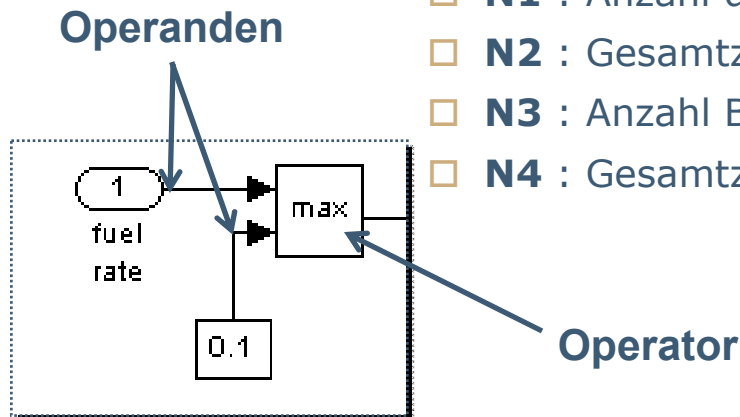
- □ Simulink und TargetLink: keine Unterscheidung
 - In der Analyse werden Simulink- und TargetLink-Systeme gleich behandelt

- Stateflow und Simulink: unterschiedliche Berechnung
 - Komplexität bei Simulink und Stateflow mit unterschiedlichen Metriken berechnet
 - Hintergrund: unterschiedliche Struktur der enthaltenen Objekte

Übertragung der Halstead-Metrik auf Modelle

- □ Für Simulink- und TargetLink-Modelle
 - Operatoren: Simulink und TargetLink Blöcke
 - Operanden: Eingänge und Ausgänge der Blöcke
 - Für Stateflow wird separate Berechnung benötigt

- Basiswerte der Formel
 - **N1** : Anzahl der Blöcke (Gesamtzahl Operatoren)
 - **N2** : Gesamtzahl Block-Eingänge (Gesamtzahl Operanden)
 - **N3** : Anzahl Blocktypen (unterschiedliche Operatoren)
 - **N4** : Gesamtzahl Block-Ausgänge (unterschiedliche Operanden)



Beispiel zur Berechnung der Basisgrößen

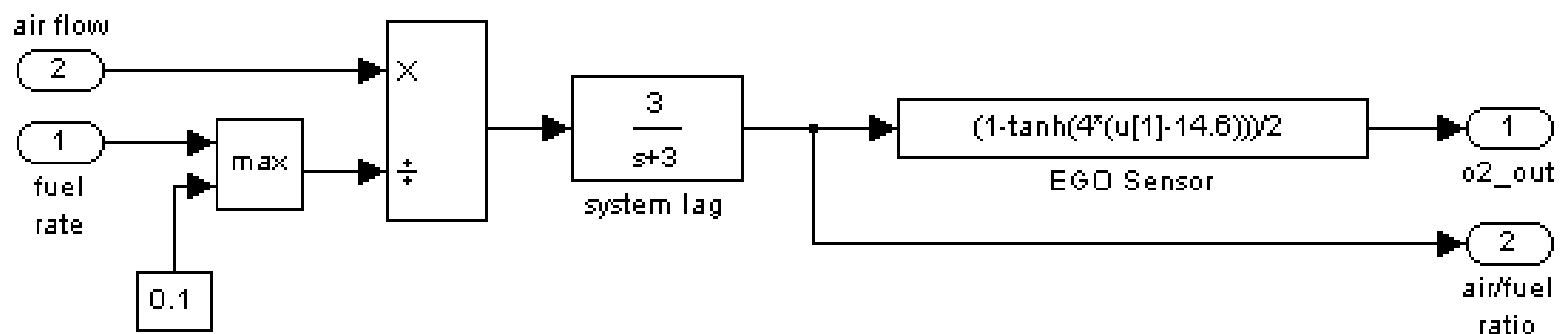
11

■ Berechnung von N1, N2, N3 und N4 (Beispiel)

□ Formel: $(N1 + N2) * \log2 (N3 + N4)$

□ Beispiel-Subsystem:

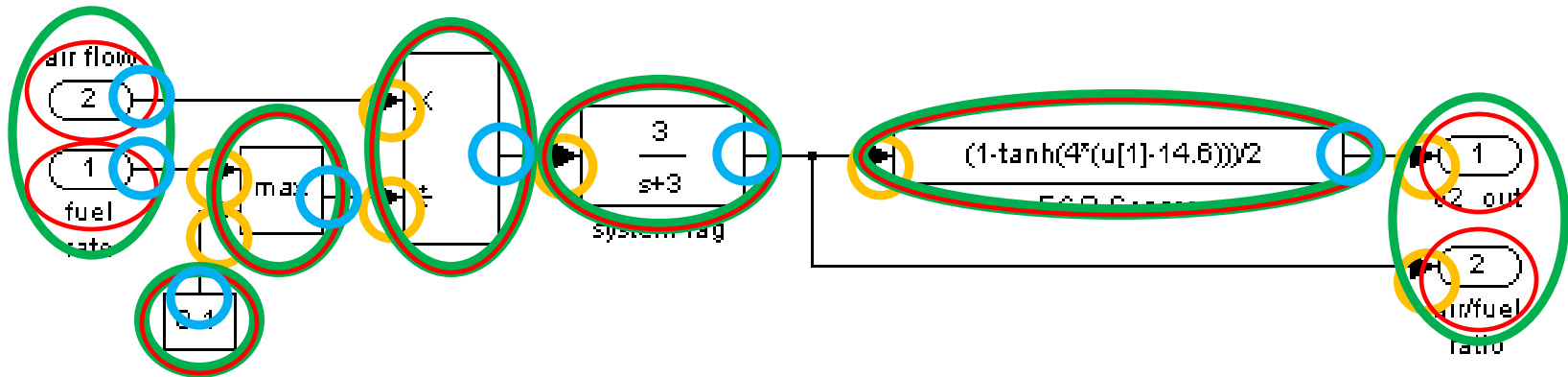
fuelsys/engine gas dynamics/Mixing & Combustion



Beispiel zur Berechnung der Basisgrößen

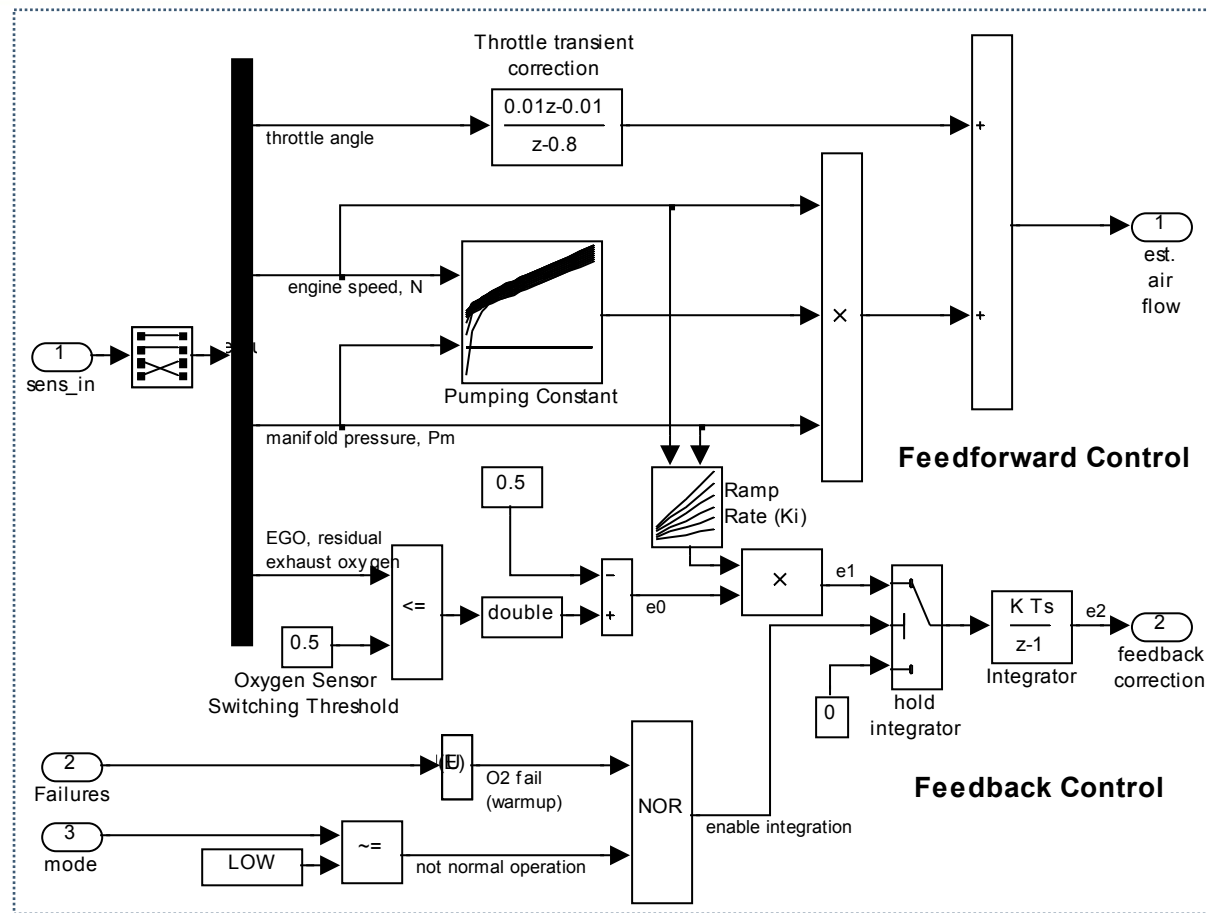
12

- MV: $(N1 + N2) * \log_2 (N3 + N4) = 62.5$
 - **N1** (Summe der Blöcke) = 9
 - **N2** (Summe der BlockTypen) = 7
 - **N3** (Summe der Blockeingänge) = 8
 - **N4** (Summe der Blockausgänge) = 7

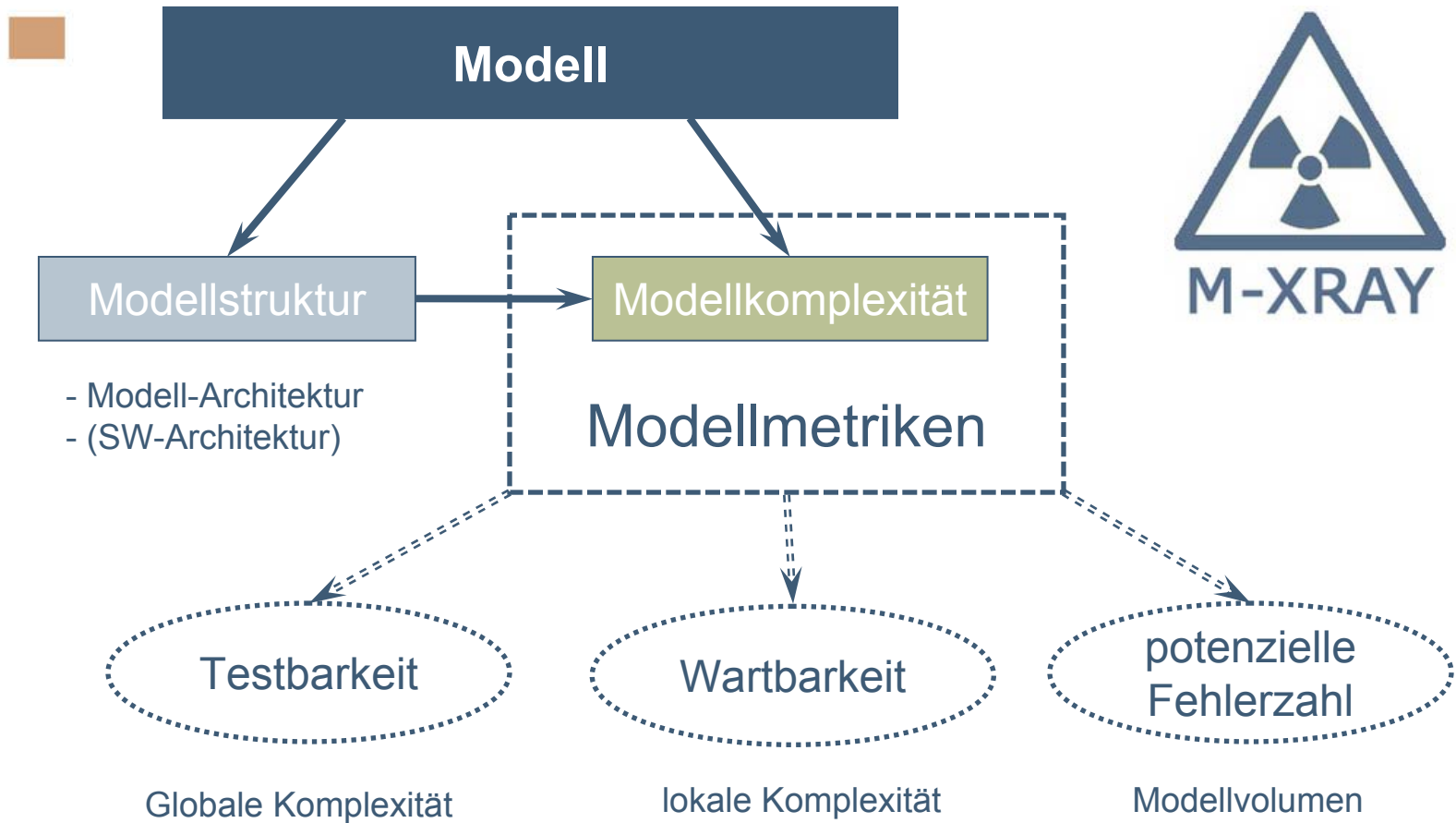


Beispiel: Messung des Modell-Volumens (MV)

Blockzahl= 25
 CC = 1
 MV=344



Modellanalyse: Struktur und Komplexität




□ Modell-Strukturanalyse

- Eindeutige Pfade
- Partitionierung
- Subsystem-Hierarchie
- Zustandshierarchie
- Lokale Komplexität
- Bibliotheksverwendung
- Farbliche **Bewertung** der Komplexität

→ Basis für weitere Analysen

1.4 Structural overview: Main Part [\[contents\]](#)

Name	Comp	*	Name	Comp	*	Name	Comp	*	Name	Comp
<u>fuelsys</u>	96	>-0-	<u>EGO sensor</u>	24						
		0--	<u>MAP sensor</u>	24						
		0--	<u>engine speed</u>	24						
		0--	<u>engine gas dynamics</u>	33	>-0-	<u>Mixing & Combustion</u>	59	>-0-	<u>system lag</u>	9
					0--	<u>Throttle & Manifold</u>	42	>-0-	<u>Intake Manifold</u>	67
								0--	<u>Throttle</u>	151
		0--	<u>fuel rate controller</u>	58	>-0-	<u>Airflow calculation</u>	344			
					0--	<u>Fuel Calculation</u>	75	>-0-	<u>Switchable Compensation</u>	200
		0--				<u>Sensor correction and Fault Redundancy</u>	134	>-0-	<u>MAP Estimate</u>	66
								0--	<u>Speed Estimate</u>	66
								0--	<u>Throttle Estimate</u>	66
		0--	<u>Chart: control logic</u>	11	>-0-				<u>Oxygen_Sensor_Mode</u>	80



M-XRAY

Komplexität – Lokal und Global

- Lokale Komplexität
 - Komplexität eines Subsystems ohne Unterebenen

- Globale Komplexität
 - Lokale Komplexität + Komplexität aller Unterebenen

Most complex subsystems [\[contents\]](#)

Path	Level	Info	Local Complexity	Global Complexity
fuelsys/fuel rate controller	2	1	344	344
fuelsys/fuel rate controller/Fuel Calculation	3	2	200	238
fuelsys/engine gas dynamics/Throttle & Manifold	3	3	151	151
fuelsys/fuel rate controller	2	4	134	332

Modellkomplexität = Struktur + Modell-Volumen

17

- □ Bewertung der Modellstruktur und -komplexität
 - Lokale Komplexität:
 - **Maß für die Wartbarkeit** eines Subsystems
(lokal, ohne Unterebenen)
 - Maß für den Reviewaufwand eines Subsystems (lokal)
 - Globale Komplexität
 - **Maß für die Testbarkeit**/Testaufwand eines Moduls
 - Maß für den Reviewaufwand (insgesamt)
 - Tiefe Hierarchien: geringere Tiefe anstreben
- Schwellwerte überschritten → Modell überarbeiten

- □ Modellvolumen deckt sich mit Erwartungswerten auf Basis von Peer-Reviews und Expertenwissen
- Gewichtung unterschiedlicher Blöcke notwendig, um block-spezifische Komplexität zu berücksichtigen
- Modellvolumen zunächst dimensionslos
 - Bedeutung erst im Vergleich zu anderen Modellen und zu Schwellwerten
- Empirische Schwellwerte für Modellkomplexität (lokal):
 - Geringe Kompl. : MV < 300
 - Mittlere Kompl.: MV < 750
 - Hohe Kompl.: MV > 750 → **inakzeptabel!**

Zusammenfassung und Ausblick

19

- Gezeigt: neues Verfahren zur Berechnung und Bewertung der Komplexität von Simulink und TargetLink Modellen
- Basis: umfangreiche, empirische Werte
- Umsetzung im Werkzeug M-XRAY von MES
- Intensiver Forschungsbedarf!**

- Ausblick:
 - 3-D Visualisierung der Modellkomplexität
 - Auffinden potenzieller Kandidaten für Wiederverwendung



VIELEN DANK! Fragen...?

MES model engineering
solutions

20

Model Engineering Solutions GmbH
Dr.-Ing. Ingo Stürmer

stuermer@model-engineers.com

<http://www.model-engineers.com>

Target**Link**
STRATEGIC
PARTNER