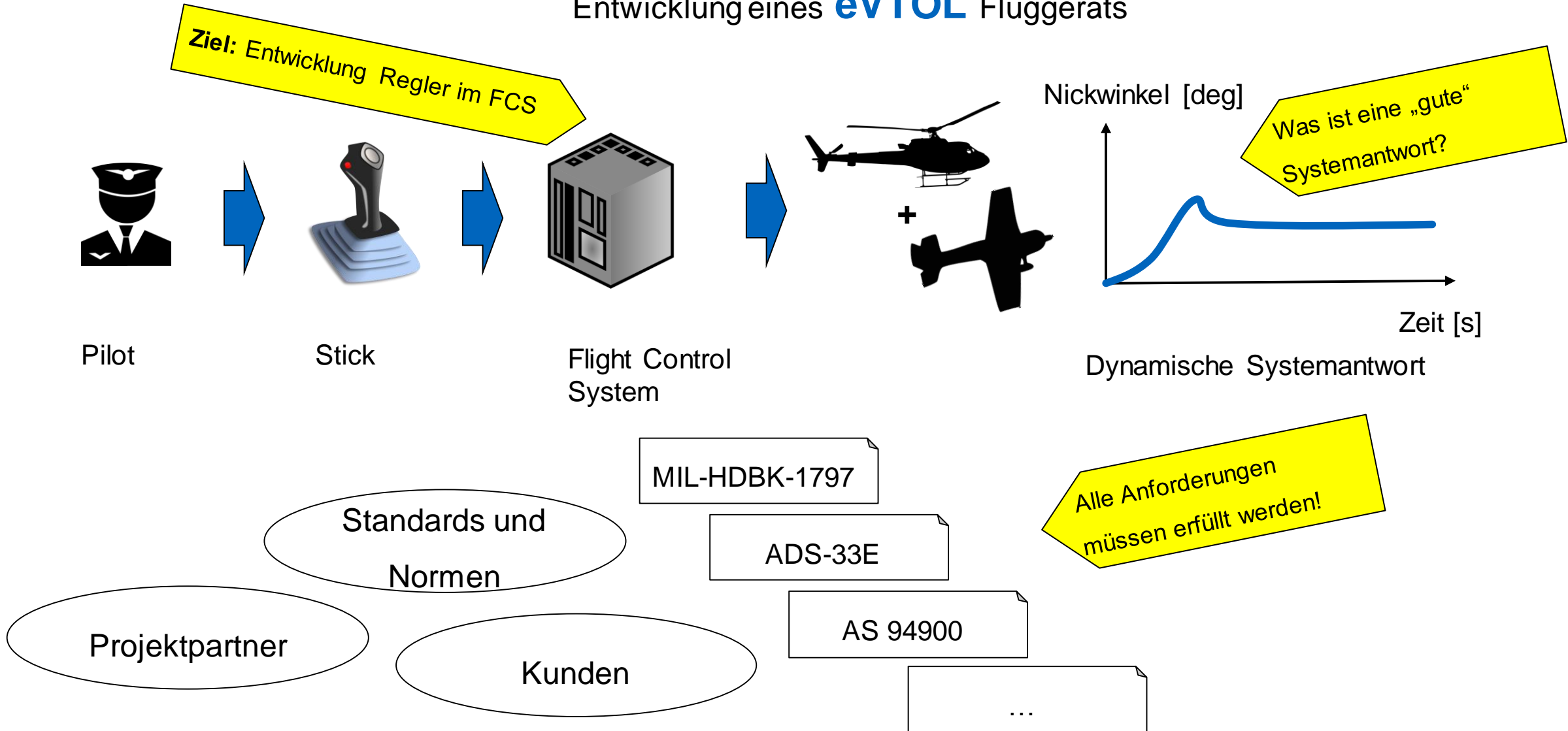


# Modellbasierte Evaluierung von Anforderungen in Kombination mit Polarion®

Vitus Meidinger  
Dienstag, 2. Juli 2019

## Entwicklung eines eVTOL Fluggeräts



Wie kann sichergestellt werden, dass Anforderungen erfüllt sind?

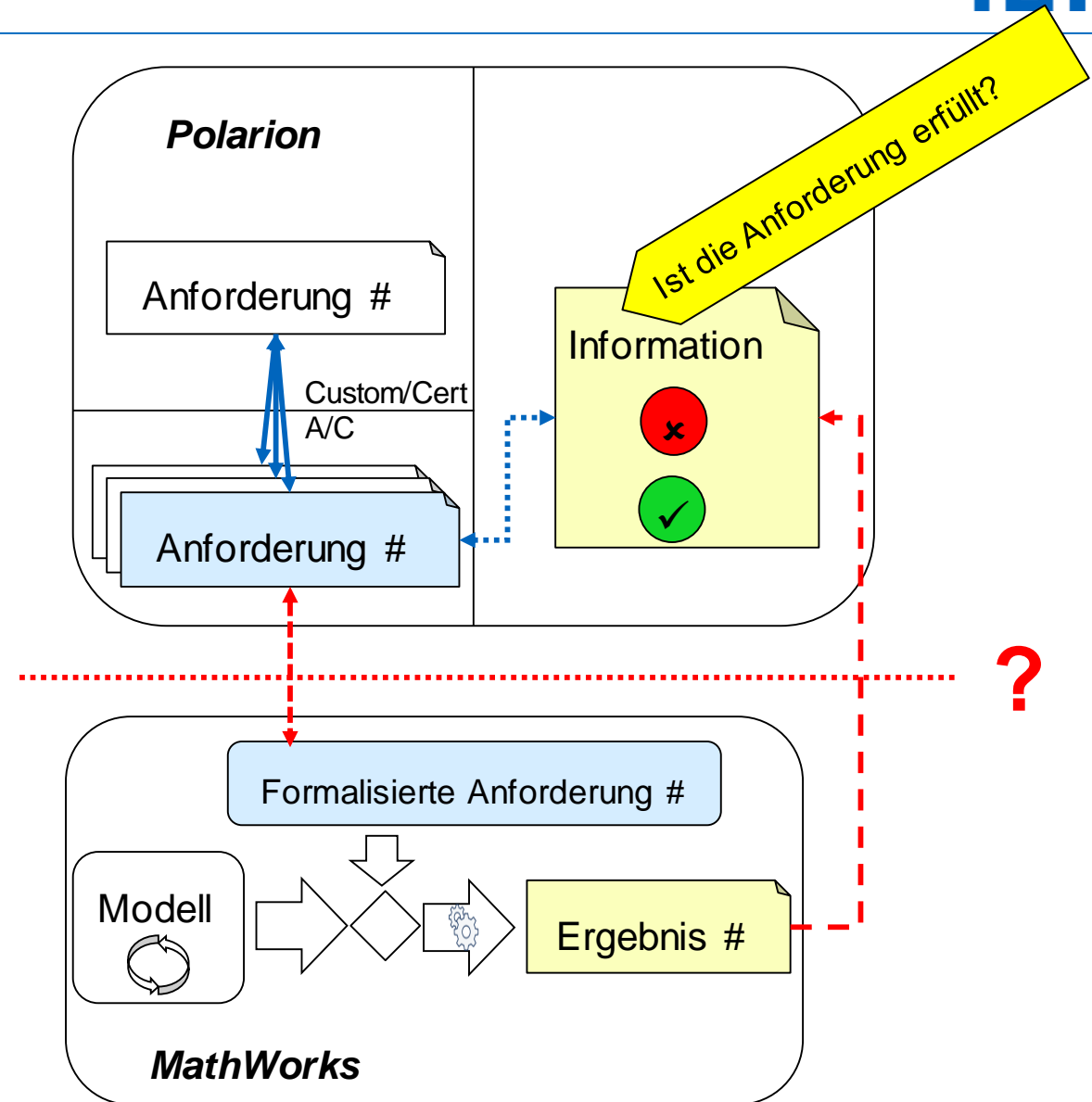
• **Polarion:**

- ➔ Kommerzielle Software von Siemens
- ➔ Anforderungsmanagement und Nachverfolgbarkeit

• **MathWorks:**

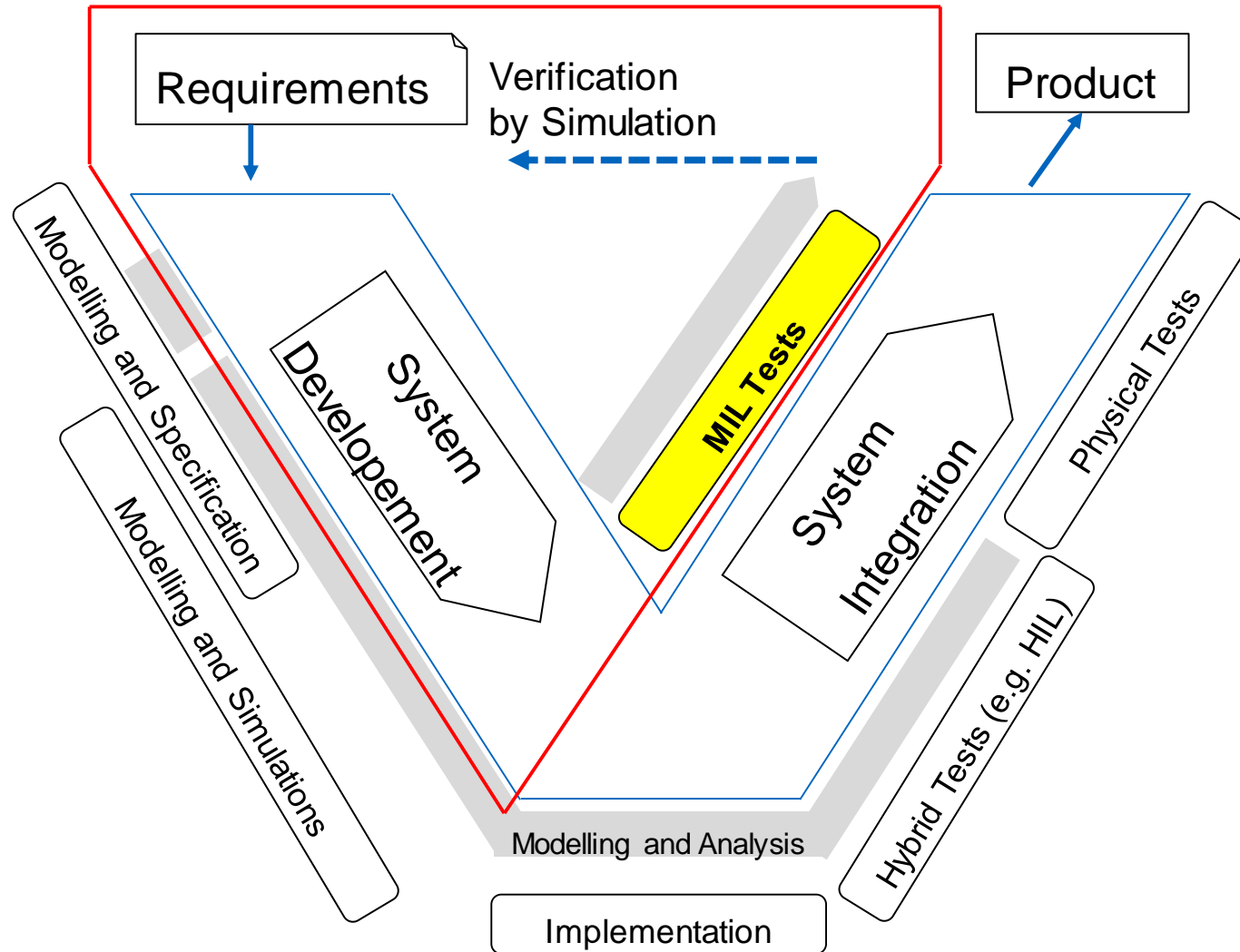
- ➔ Modelle im Rahmen der Entwicklung vorhanden
- ➔ Modelle für Anforderungsevaluierung nutzen

Wie kann dieser Prozess realisiert werden?  
 Wie kann die Nachverfolgbarkeit gewährleistet werden?



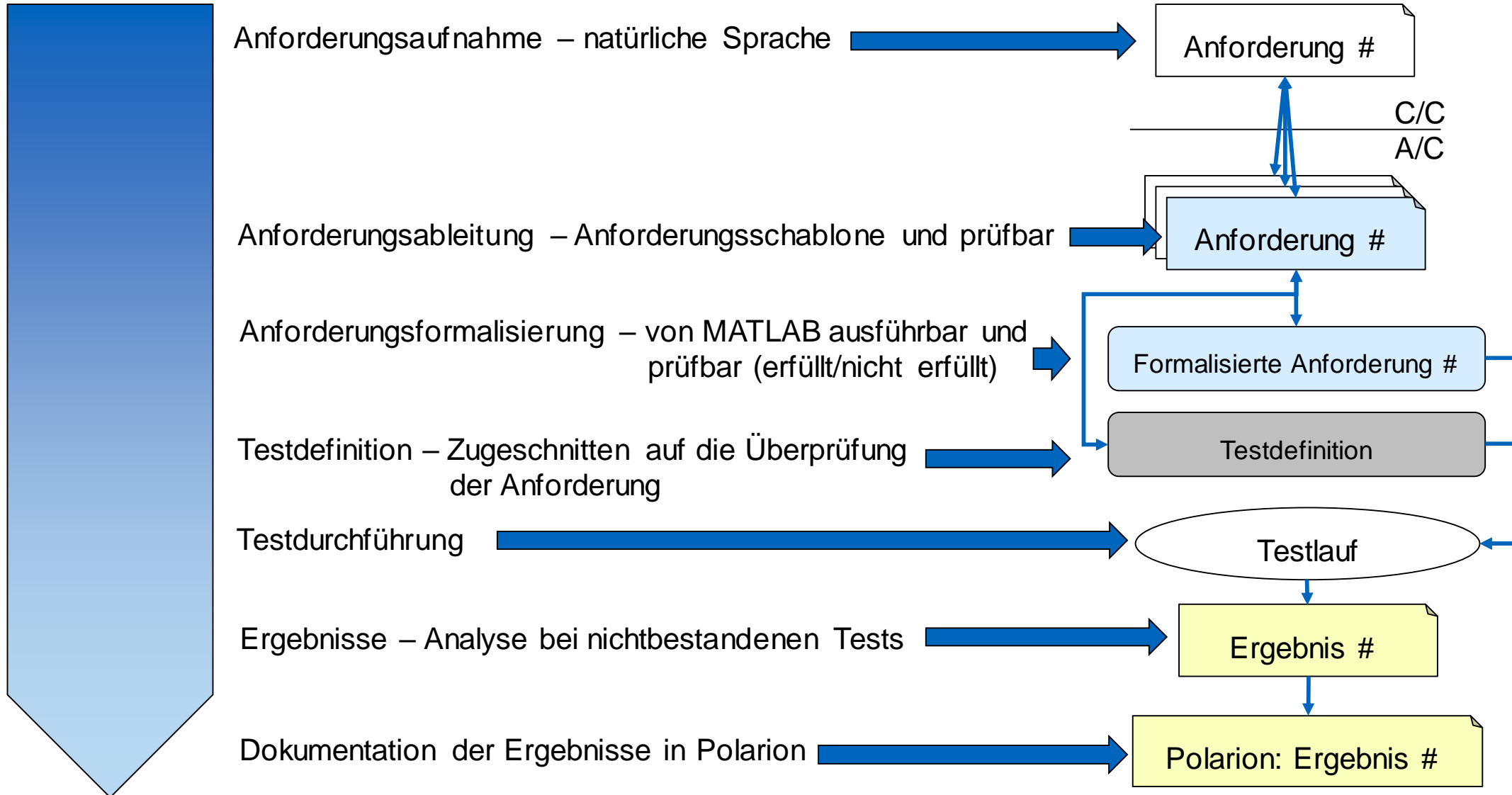
1. Kontext – Virtuelle Produktentwicklung
2. Prozess – Von der Anforderung zum Testergebnis
3. Verwendete Toolboxen
4. Beispiel
5. Prozess im Kontext der Reglerentwicklung
6. Zusammenfassung

# 1. Kontext - Systementwicklung

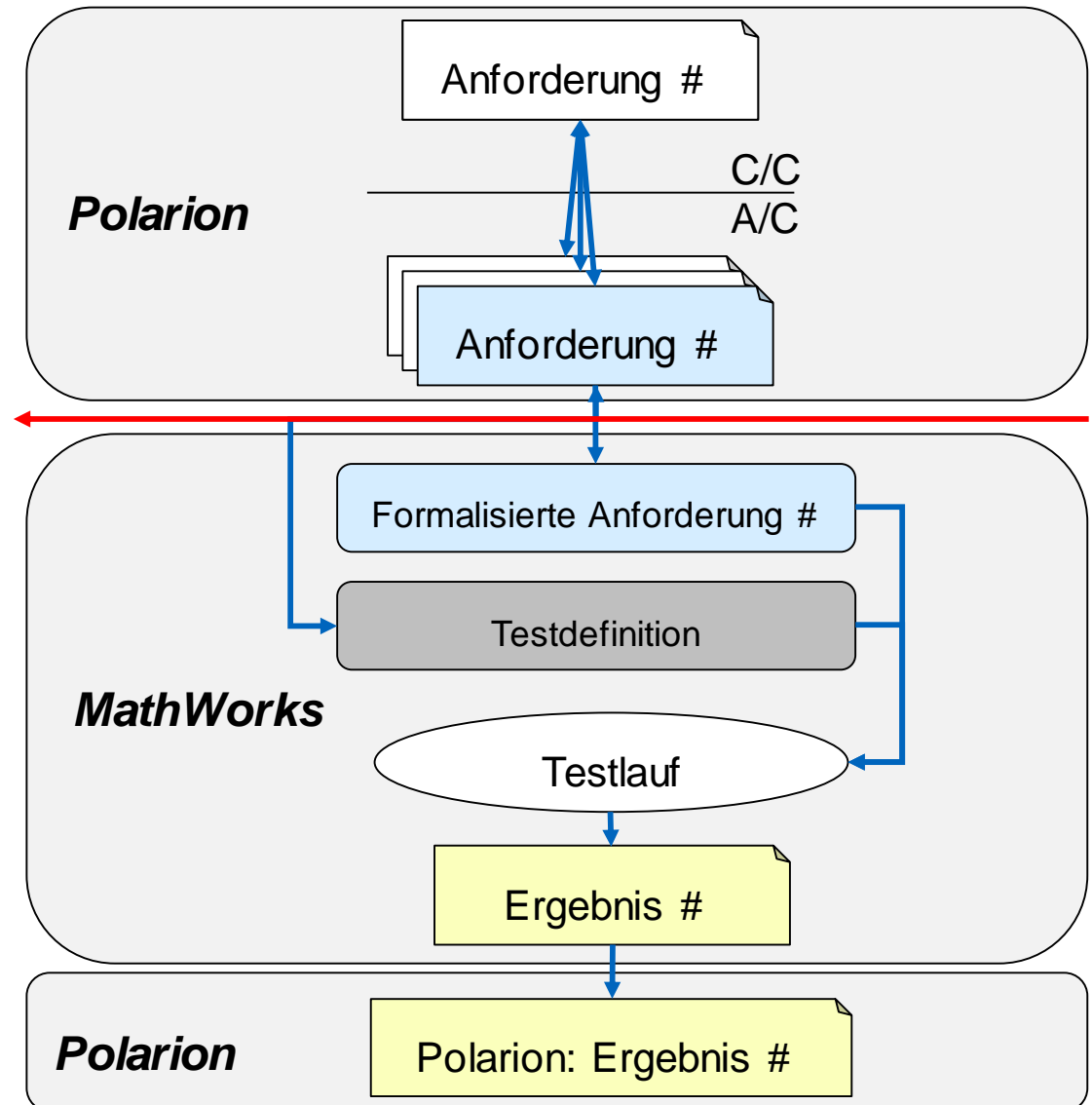


Source:  
Eigner, Martin; Roubanov, Daniil;  
Zafirov, Radoslav (2014): Modellbasierte  
virtuelle Produktentwicklung. Berlin,  
Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.  
Page 87

## 2. Prozess

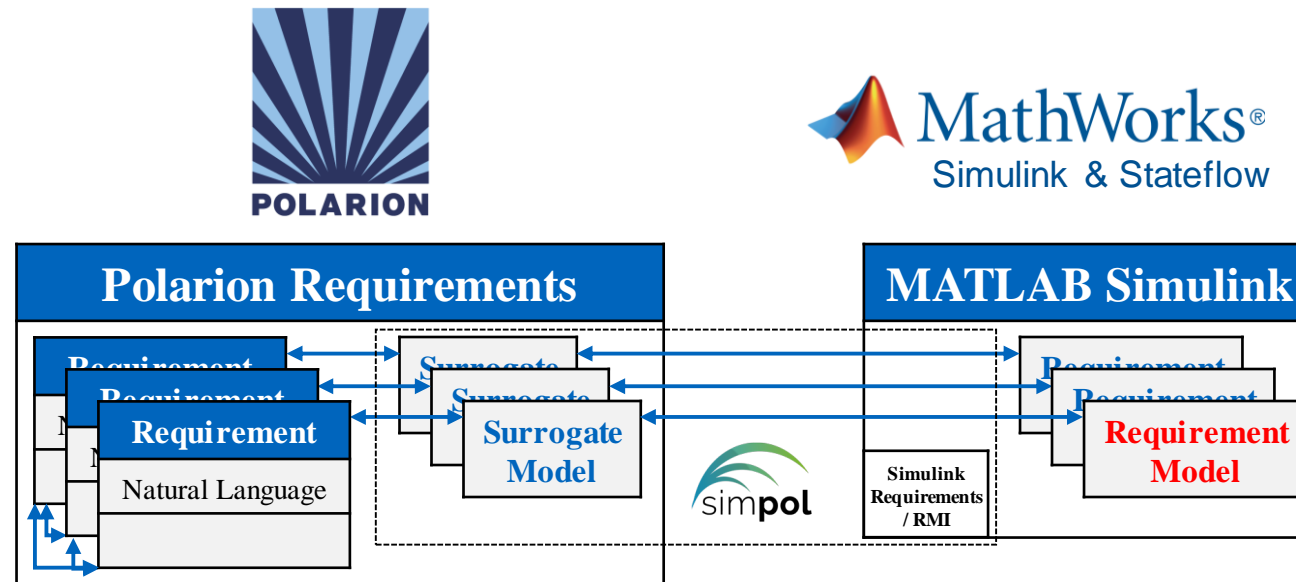


**SimPol:**  
=> gewährleistet eine Bi-Direktionale Verbindung



## Requirements Linking: Simulink – Polarion Connector SimPol

- Kostenloses und MATLAB basiertes Tool.
- Erstellung, Wartung und Evaluierung der bi-direktionalen Verbindung zwischen Simulink und Polarion.
- Unterstützung des Entwicklungsprozesses von sicherheitskritischen Systemen.



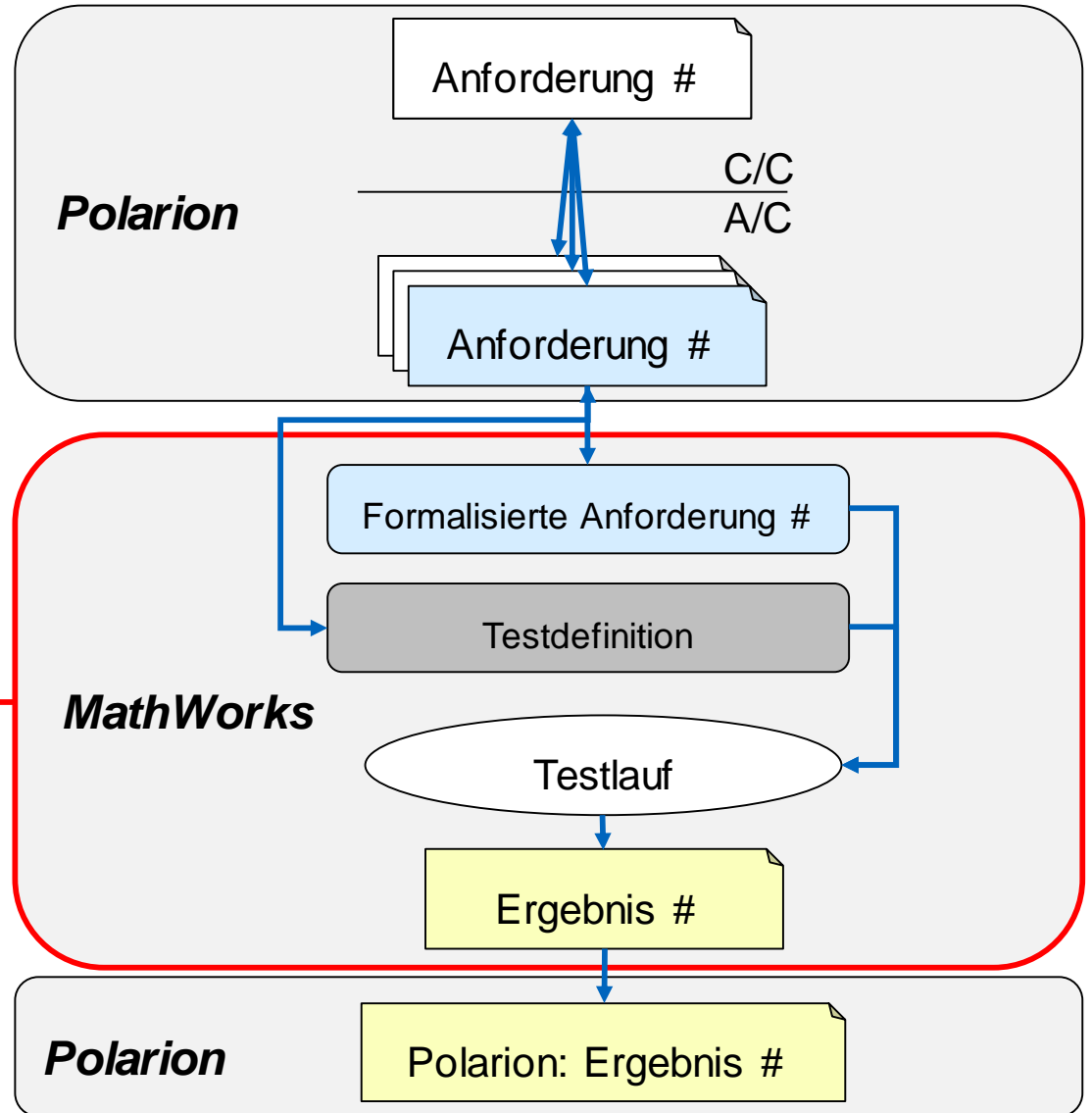
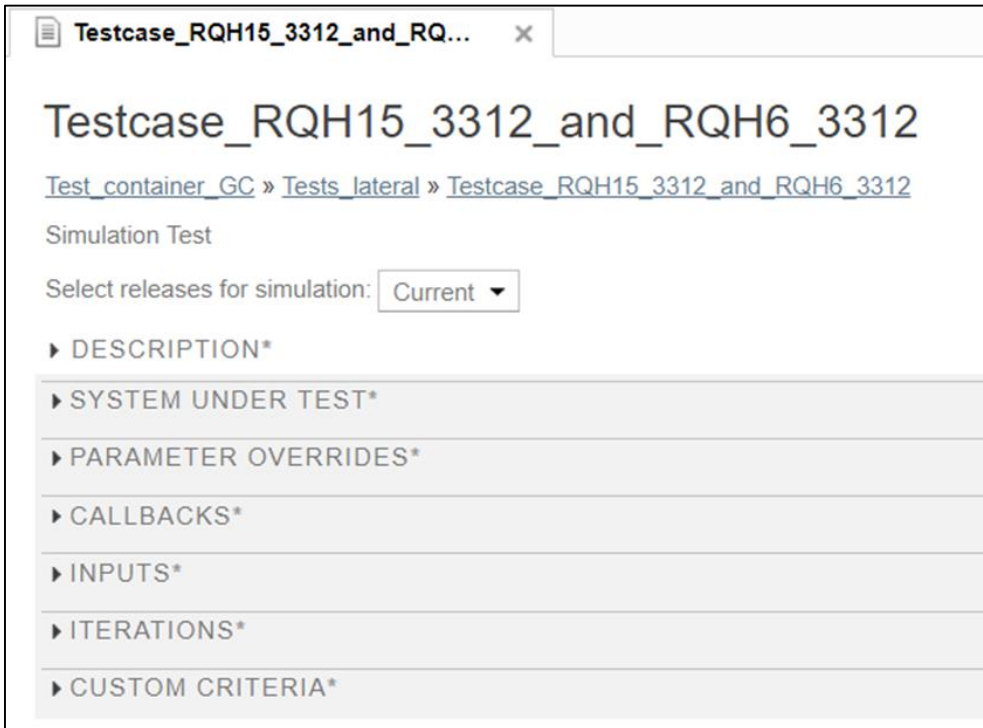
Markus Hochstrasser  
Ehem. Mitarbeiter FSD  
- MATLAB Stipendiat

Download: <http://www.fsd.mw.tum.de/software/simpol/>



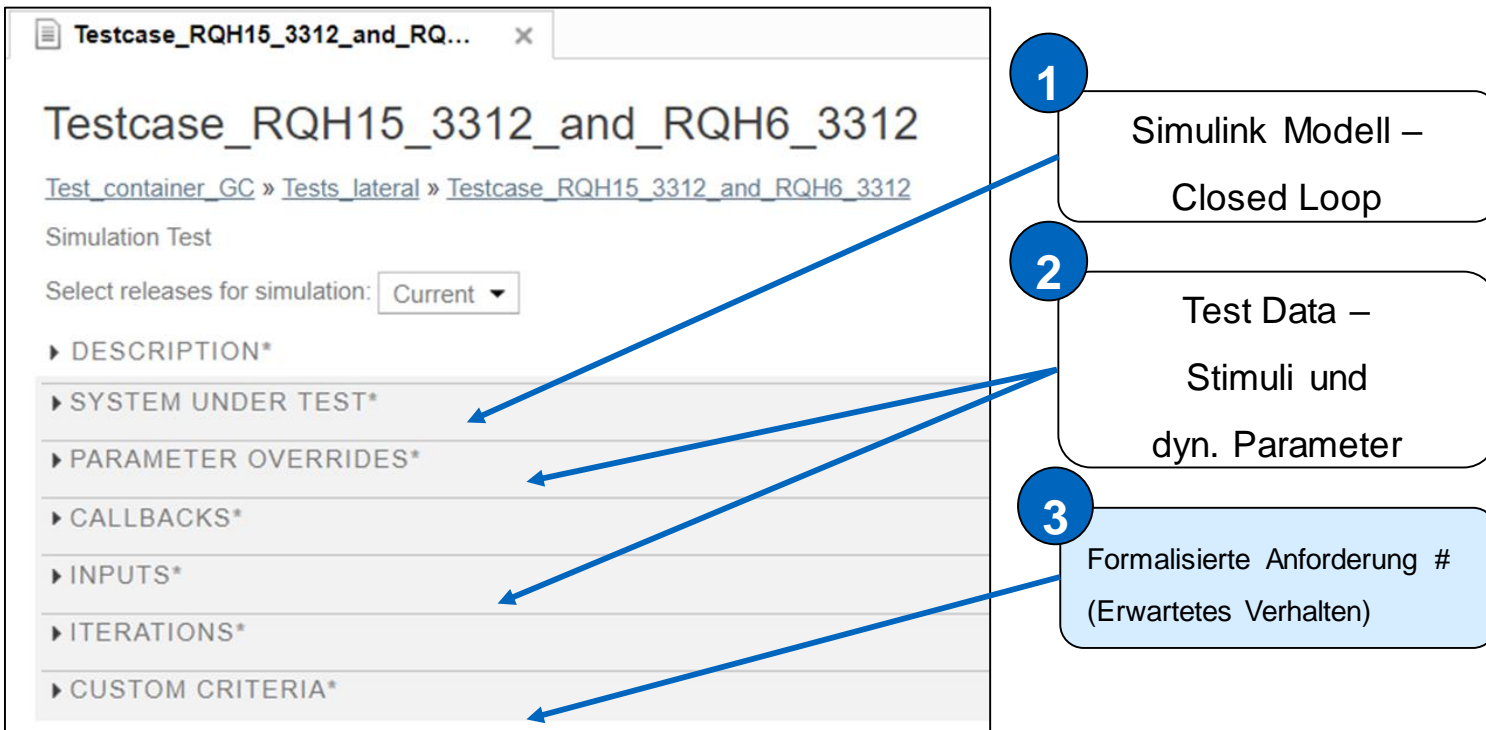
# 3. Toolboxen - Simulink und Simulink Testmanager

## Simulink Testmanager: Testdefinition und Management



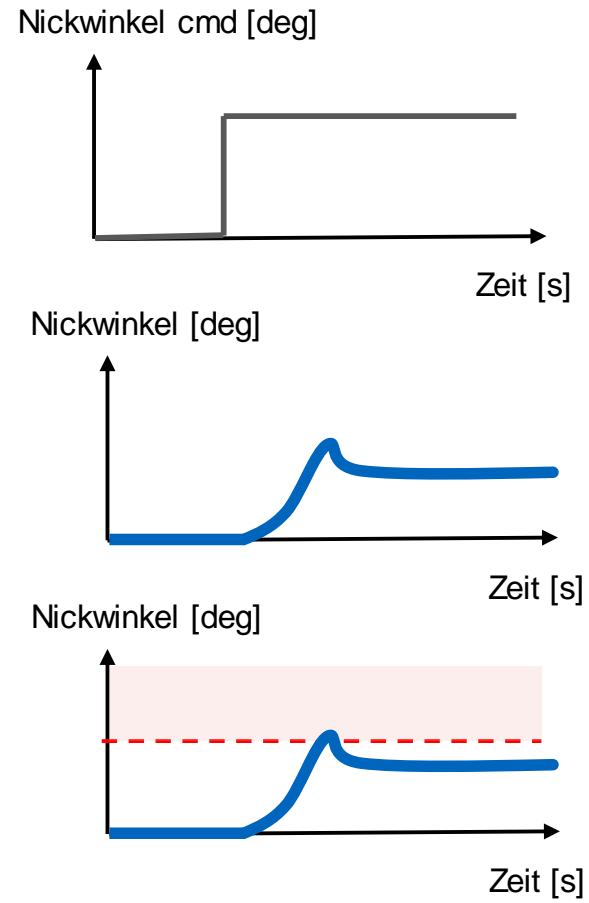
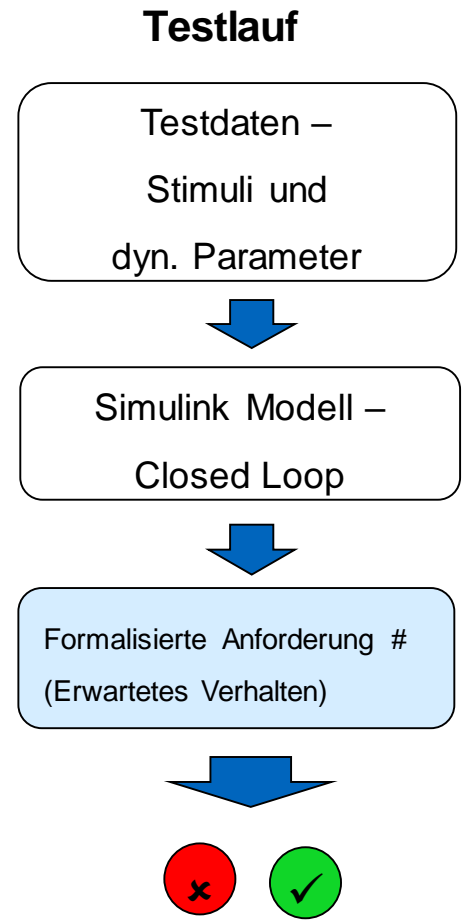
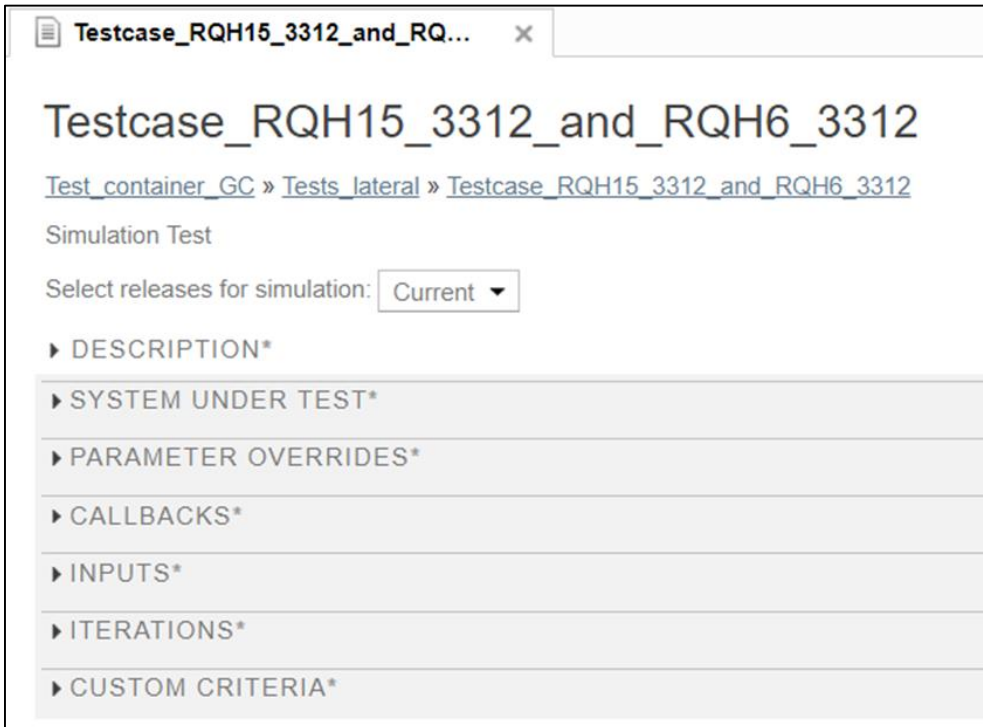
# 3. Toolboxen - Simulink Testmanager

## Simulink Testmanager: Testdefinition und Management



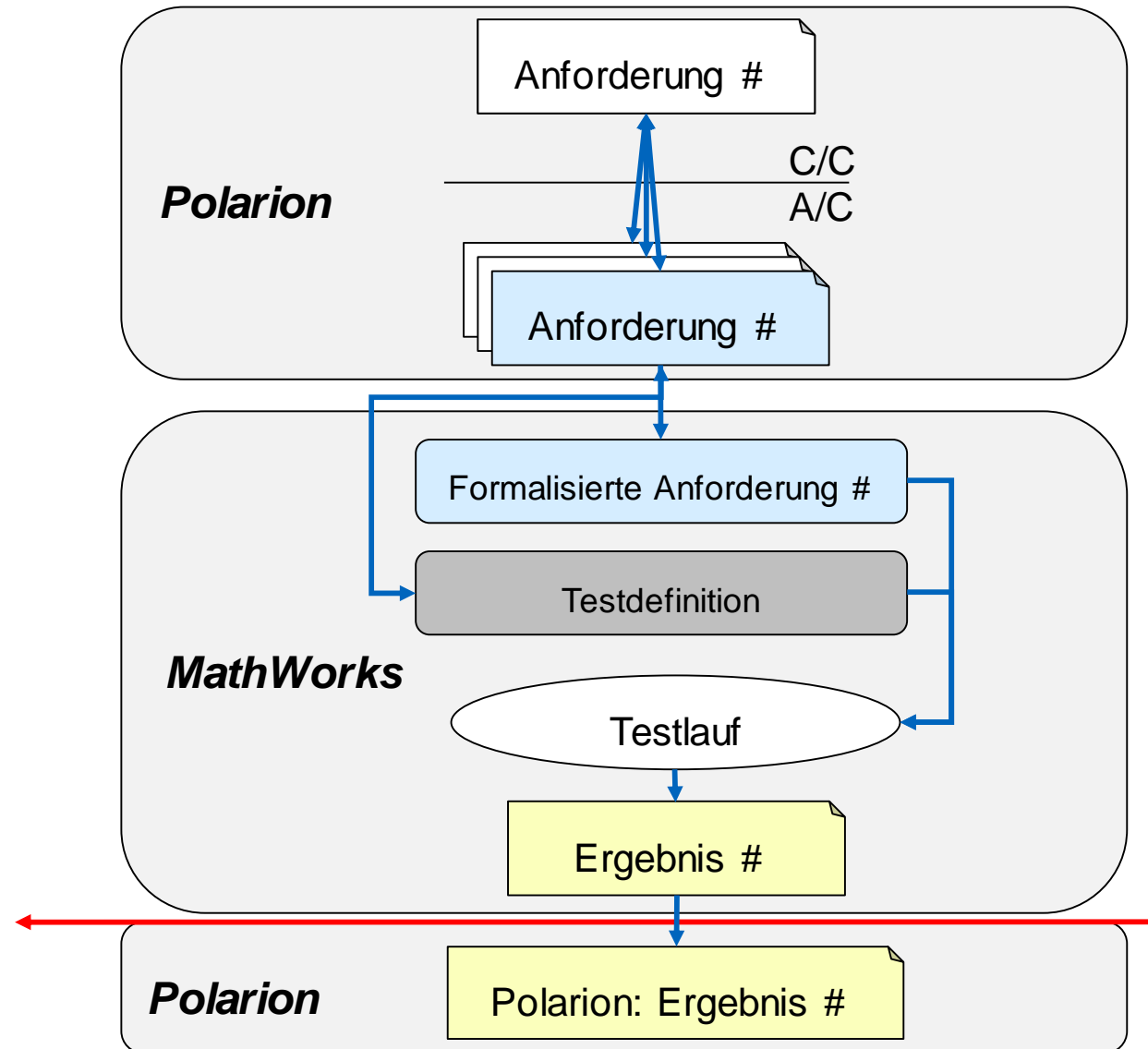
# 3. Toolboxen - Simulink Testmanager

## Simulink Testmanager: Testdefinition und Management



MATLAB Funktion um Signale gegenüber Anforderungskriterien zu evaluieren

**XML-Wrapper:**  
=> Ergebnisse in XML Format  
können in Polarion hochgeladen  
und interpretiert werden



# 4. Beispiel – Anforderung in Polarion

3.3.10 Response to collective controller

3.3.10.1 Height response characteristics

3.3.10.1.1  
The vertical rate response shall have a qualitative first-order appearance for at least 5 seconds following a step collective input. If the most rapid input achievable is not a clear step, the time zero shall be defined as shown in Figure 13.

3.3.10.1.2  
Pitch, roll, and heading excursions shall be maintained essentially constant.

3.3.10.1.3  
The limits on the parameters defined by the following equivalent first-order vertical-rate-to-collective transfer function shall be in accordance with Table 30.

$$h_{dot}/\delta_c = K \cdot \exp(-1 \cdot (\tau_{h\_dot\_eq} \cdot s)) / (T_{h\_dot\_eq} \cdot s + 1)$$

The equivalent system parameters shall be obtained using the time domain fitting method defined below. The coefficient of determination,  $r^2$ , shall be greater than 0.97 and less than 1.03 for compliance with this requirement. Obtain readings ft/sec from response to step collective input at intervals of no greater than  $t = 0.05$  sec for a time span of 5 sec – a total of  $n = 5/\delta_t + 1$  data points (minimum  $n = 101$ ). Use a three variable nonlinear least squares algorithm to obtain a best fit curve to this data in the time domain using the following form for the estimated  $h_{dot}$  ( $h_{dot\_est}$ )

$$h_{dot\_est}(t) = K(1 - \exp(-1 \cdot (t - \tau_{h\_dot\_eq}) / T_{h\_dot\_eq})) \quad \text{for } t > 0$$

where  $t$  is time (sec) and  $K$ ,  $1/T_{h\_dot\_eq}$  and  $\tau_{h\_dot\_eq}$  are the variables are the variables. (Note:  $\tau_{h\_dot\_eq}$  may be less than zero.)

The function to be minimized is the sum of squares of the error ( $e$ ), defined as,

$$e^2 = \sum_{i=1}^n [h_{dot\_est}(t_i) - h_{dot\_m}]^2$$

where  $t_i$  is the time (sec) at the  $i$ th observed data point.

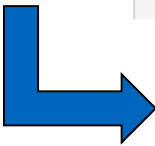
The goodness of fit of the estimated curve shall be determined by the coefficient of determination ( $r^2$ ) which is defined as

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [h_{dot\_est}(t_i) - h_{dot\_m}]^2}{\sum_{i=1}^n [h_{dot}(t_i) - h_{dot\_m}]^2}$$

where  $h_{dot\_m}$  is the mean of the observed  $h_{dot}$ ,

$$h_{dot\_m} = \frac{\sum_{i=1}^n [h_{dot}(t_i)]}{n}$$

Originale Anforderung



## 1 ADS-33 Requirements

### 1.1 Nominal Flight Controller - Hover Flight Phase

#### 1.1.1 Vertical axis

**V600-5232 - Height response characteristics – rise time and delay**

If there is a step input in vertical direction with maximum stick deflection, the A/C must have a PT1 like response in vertical velocity in C-frame with a rise time of not more than 5 seconds and a time delay of not more than 0.2 seconds.

Abgeleitete Anforderung

**has parent**

- ▢ V600-5229 - Vertical axis

**realizes**

- ☑ V600-4479 - 3.3.10.1-1
- ☑ V600-4481 - 3.3.10.1-3

Verbindungen und Links

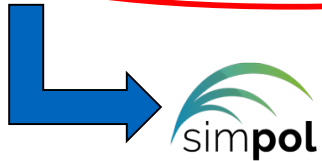
Wenn SimPol Link definiert ist



# 4. Beispiel – Formalisierte Anforderung als Funktion

```

has parent
  V600-5229 - Vertical axis
realizes
  V600-4479 - 3.3.10.1-1
  V600-4481 - 3.3.10.1-3
is implemented by
  V600-5302 - RQH13_33101.m|737392.645.1
  
```



**Formalisierte Anforderung**

```

%% ***** (1) Specifications for this requirement *****%
r_square_min = 0.97; % Min estimation quality value [-]
r_square_max = 1.03; % Max estimation quality value [-]
Tau_max = 0.2; % Max delay value [s]
Time_constant_max = 5; % Max time constant value [s]
%*****%
[...]
test.verifyTrue(flag, ['RQ-H13-3.3.10.1 - Height response characteristics -risetime and delay:',...
  newline, 'Time constant T_h_dot ',...
  'must be smaller than: ', num2str(Time_constant_max), ' [s].', newline, ...
  'Calculated value is: ', num2str(T_res), ' [s]', ...
  newline, 'Time delay tau_h_dot must be smaller than: ', num2str(Tau_max), '[s].', ...
  newline, 'Calculated value is: ', num2str(tau_res), ...
  ' [s].']);
  
```

Anforderungskriterium

MATLAB „verification“ function“

# 4. Beispiel – Formalisierte Anforderung mit SimPol Link

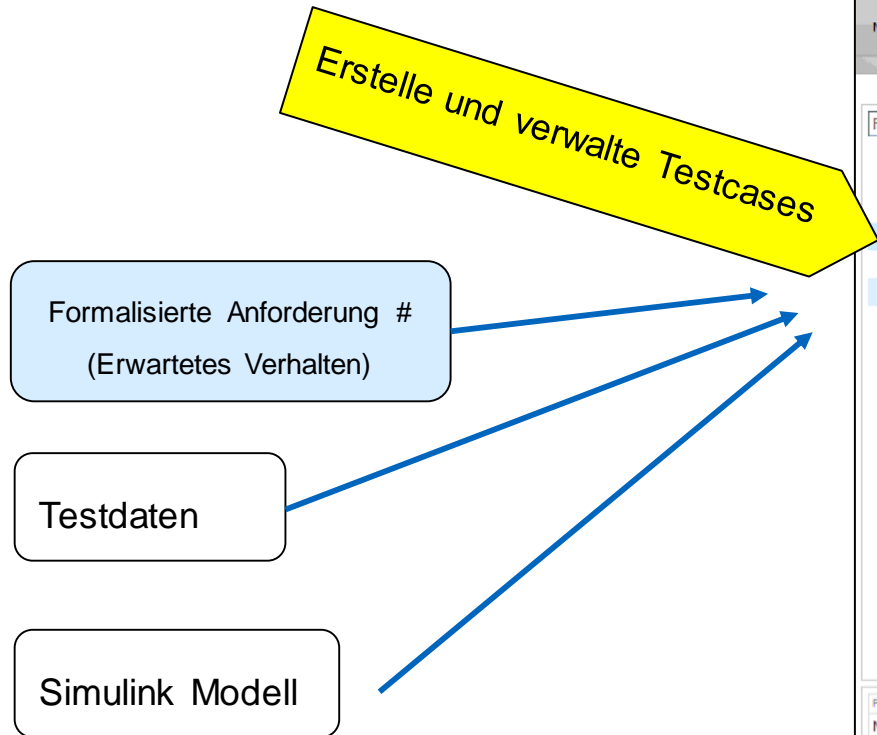
## Formalisierte Anforderung

```
%% ***** (1) Specifications for this requirement *****%  
r_square_min = 0.97; % Min estimation quality value [-]  
r_square_max = 1.03; % Max estimation quality value [-]  
Tau_max = 0.2; % Max delay value [s]  
Time_constant_max = 5; % Max time constant value [s]  
%*****%  
[...]
```

```
test.verifyTrue(flag, ['RQ-H13-3.3.10.1 - Height response characteristics -risetime and delay:',...  
  newline, 'Time constant T_h_dot ',...  
  'must be smaller than: ', num2str(Time_constant_max), ' [s].', newline, ...  
  'Calculated value is: ', num2str(T_res), ' [s]', ...  
  newline, 'Time delay tau_h_dot must be smaller than: ', num2str(Tau_max), '[s].',...  
  newline, 'Calculated value is: ', num2str(tau_res),...  
  ' [s].']);
```

The image shows a context menu for a SimPol requirement. The menu is open over a requirement entry '1. V600-5293'. The menu items include: Evaluate Selection (F9), Open Selection (Strg+D), Help on Selection (F1), Cut (Strg+X), Copy (Strg+C), Paste (Strg+V), Select All (Strg+A), Wrap Comments (Strg+J), Comment (Strg+R), Uncomment (Strg+T), Smart Indent (Strg+I), Evaluate Current Section (Strg+Eingabe), Insert Section, Insert Text Markup, Function Browser (Umschalt+F1), Function Hints (Strg+F1), Code Folding, Split Screen, and Requirements. A sub-menu is also visible, containing: Link to Selection in Word, Link to Selection in Excel, Link to Selection in SimPol, Open Outgoing Links dialog..., Delete All Links, Copy URL to Clipboard, Save Links, and Disable Requirements Highlighting. In the background, the Polarion interface is visible with the text 'POLARION: V600-5232' and the SimPol logo.

# 4. Beispiel – Erstellung und Ausführung eines Testcases



Starte Testcase

Erstelle und verwalte Testcases

Testcase\_RQH15\_3312\_and\_RQH6\_3312

Simulation Test

Select releases for simulation: Current

Model: RT\_framework

PROPERTY	VALUE
Name	Testcase_RQH15_331...
Type	Simulation Test
Model	RT_framework
Simulation Mode	Normal
Location	C:\Repo_MA_02\I600_IP...
Enabled	<input checked="" type="checkbox"/>
Hierarchy	Test_container_GC » Tests...
Tags	Type comma or space separa



# 4. Beispiel – Evaluierung der Anforderung

Output der Simulation:  
Vertikale Geschwindigkeit

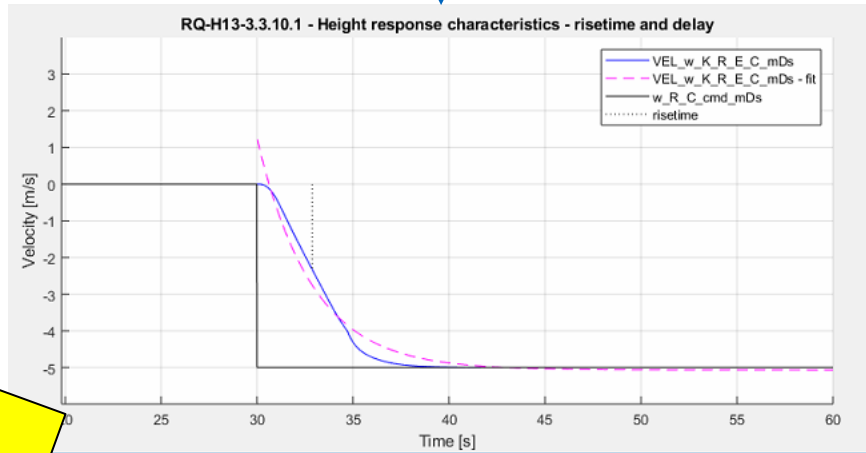
## Formalisierte Anforderung

```

%% ***** (1) Specifications for this requirement *****
R_square_min = 0.97; % Min estimation quality value [-]
R_square_max = 1.03; % Max estimation quality value [-]
Tau_max = 0.2; % Max delay value [s]
Time_constant_max = 5; % Max time constant value [s]
*****

[...]
test.verifyTrue(flag, ['RQ-H13-3.3.10.1 - Height response characteristics -risetime and delay:',...
    newline, 'Time constant T_h_dot ',...
    'must be smaller than: ', num2str(Time_constant_max), ' [s].', newline, ...
    'Calculated value is: ', num2str(T_res), ' [s]', ...
    newline, 'Time delay tau_h_dot must be smaller than: ', num2str(Tau_max), '[s].', ...
    newline, 'Calculated value is: ', num2str(tau_res), ...
    ' [s].']);
    
```

Textuelles Feedback



Grafisches Feedback

```

-----
VerificationFailed in custom criteria of sltest.testmanager.TestCase.

-----
Test Diagnostic:
-----
RQ-H13-3.3.10.1 - Height response characteristics -risetime and delay:
Time constant T_h_dot must be smaller than: 5 [s].
Calculated value is: 2.8631 [s]
Time delay tau_h_dot must be smaller than: 0.2[s].
Calculated value is: 0.62465 [s].
    
```



- 1 ADS-33 Requirements
  - 1.1 Nominal Flight Controller - Hover Flight Phase
    - 1.1.1 Vertical axis
      - V600-5232 - Height response characteristics – rise time and delay
 

If there is a step input in vertical direction with maximum stick deflection, the A/C must have a PT1 like response in vertical velocity in C-frame with a rise time of not more than 5 seconds and a time delay of not more than 0.2 seconds.

# 4. Beispiel – Verwendung der Testergebnisse

XML-Wrapper

**Polarion**

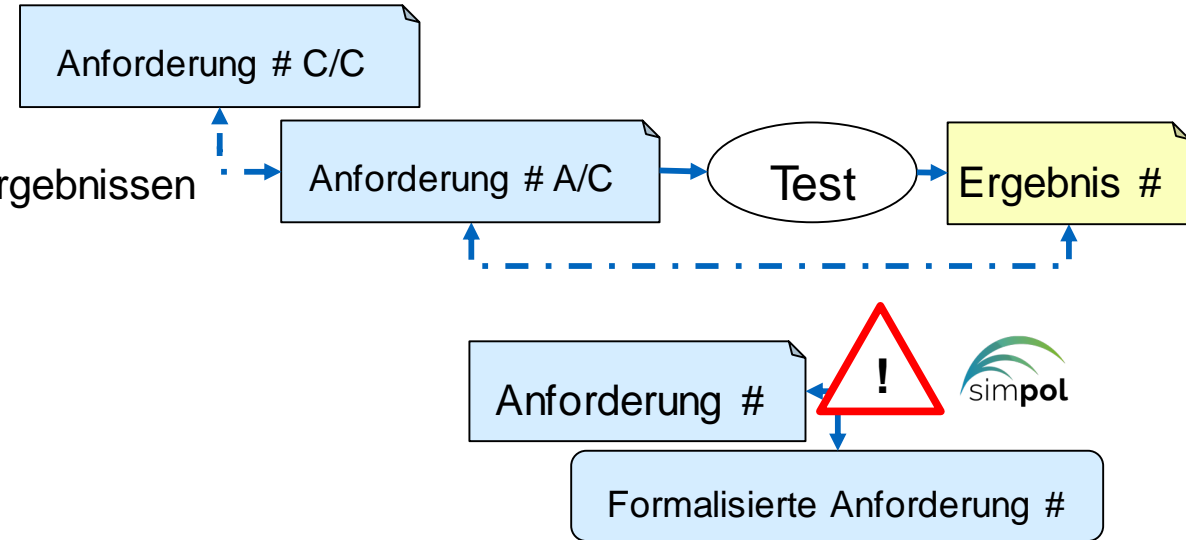


Ergebnis #

Automatischer  
Report

# 5. Prozess im Kontext der Reglerentwicklung

- **Traceability**  
 ⇒ Nachverfolgbarkeit einzelner Anforderungen bis zu den Testergebnissen
- **Konsistenz**  
 ⇒ Warnung bei Änderungen an einer Seite des SimPol Links – Autosuspect Polarion
- **Automatisierung** (in Continuous Integration Framework)  
 ⇒ Automatische Überprüfung aller Anforderungen mit Warnung im Fall von nichtbestandenen Tests
- **Kombination mit anderen Analysemethoden**  
 ⇒ Subset Simulationen -> Wahrscheinlichkeiten für die Verletzung von Anforderungen  
 ⇒ Falsification -> Testdesign

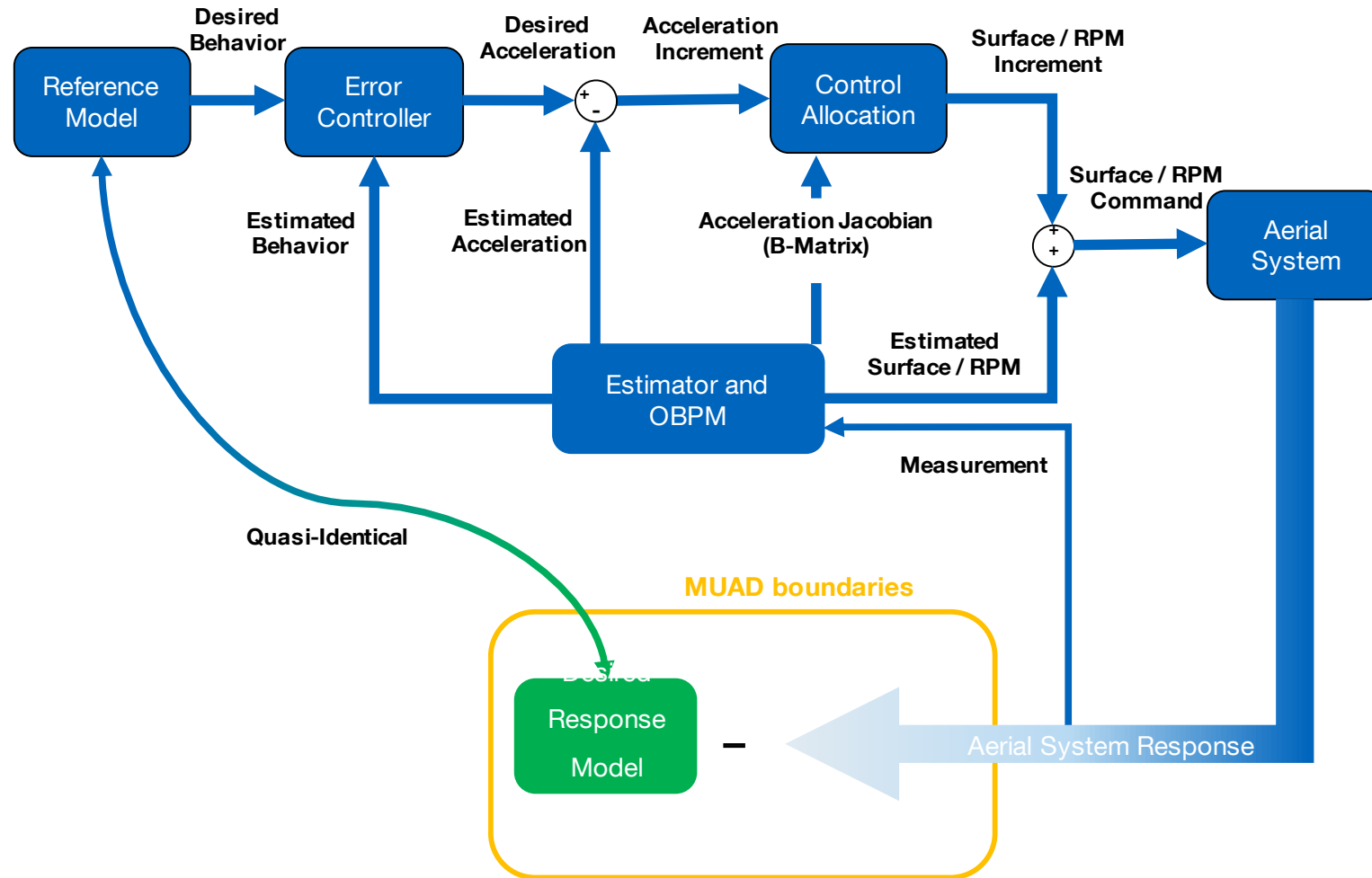


$$P(F) = P(F_1) \cdot P(F_2|E_1) \cdot P(F_3|E_2) \quad F_3 = F$$

## Validierung von Anforderungen

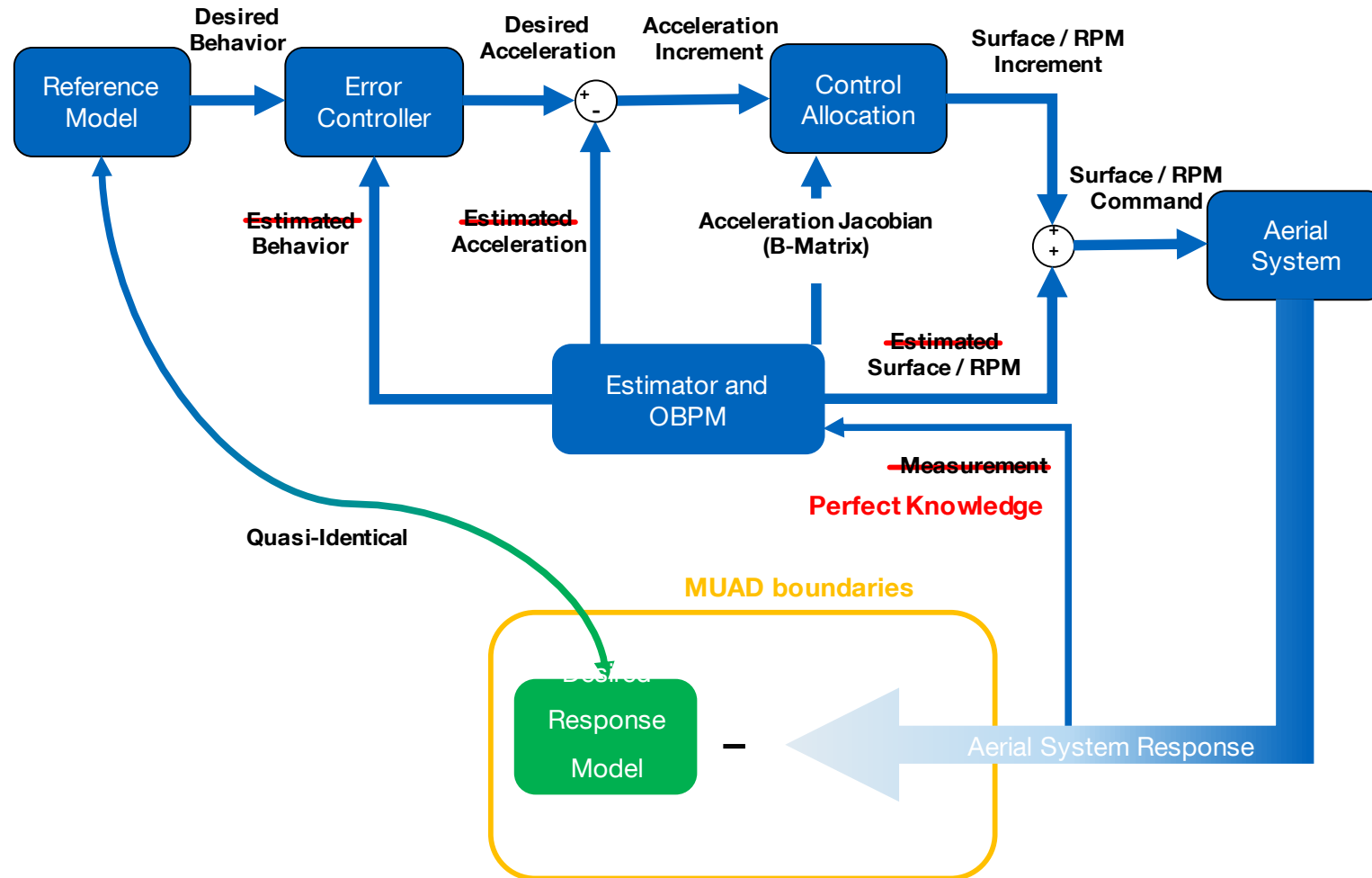
# 5. Prozess – Beispiel Reglerentwicklung INDI

## Reglerarchitektur und Philosophie des Incremental Nonlinear Dynamic Inversion Reglers

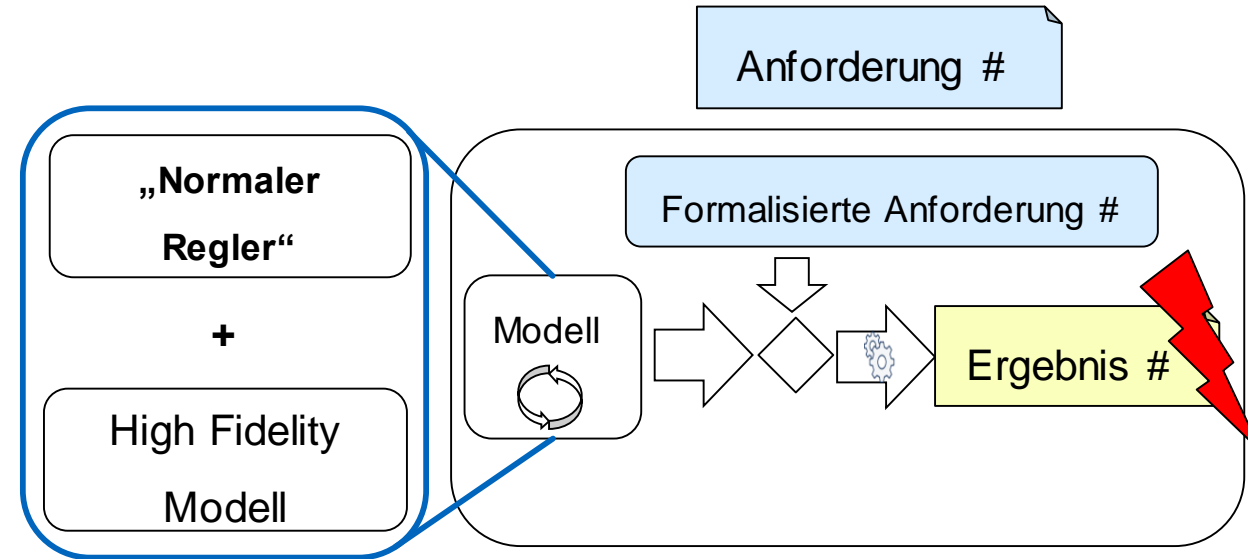
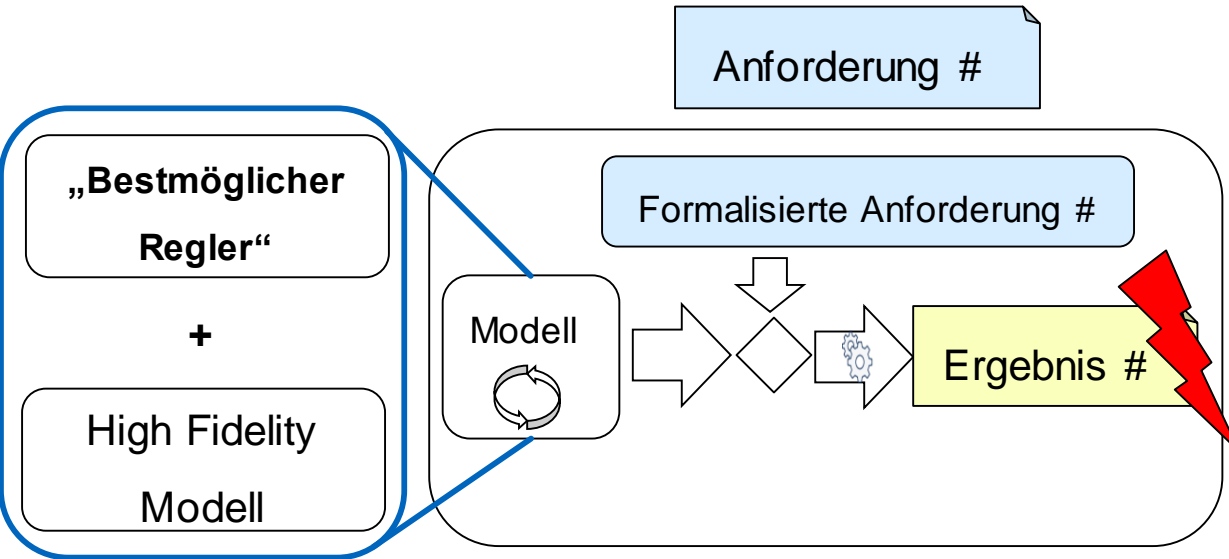


# 5. Prozess – Beispiel Reglerentwicklung idealer INDI

“**Bestmöglicher**” Regler nutzt **ganzes Wissen** über den Systemzustand (**keine Sensoren und keine Daten Fusion**)



# 5. Prozess – Reglerentwicklung



Bestmöglicher Regler kann die Anforderung nicht erfüllen

Anforderung nicht gültig für das eVTOL?  
„Validierungssicht“

⇒ Anforderung überprüfen



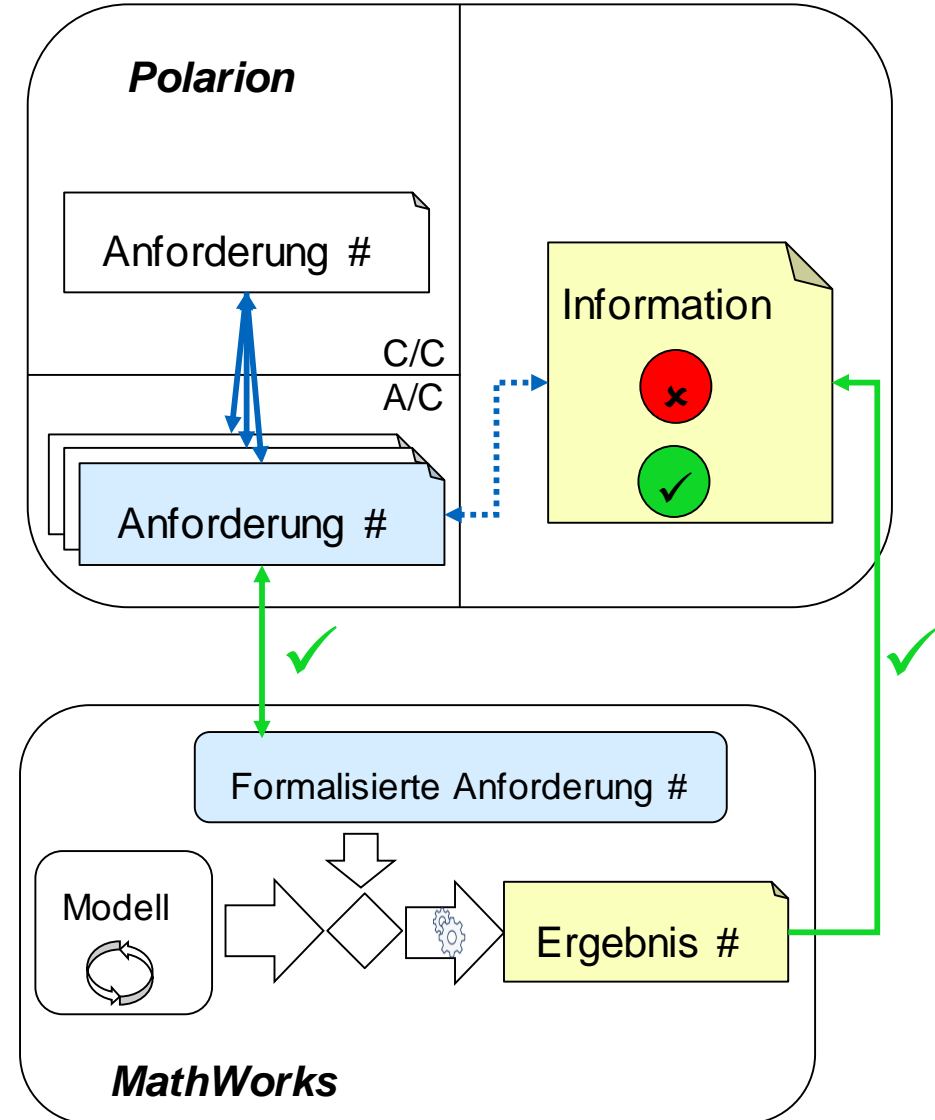
Der normale Regler kann die Anforderung nicht erfüllen

Anforderung mit aktuellem Reglerentwurf nicht erfüllbar?  
„Verifikationssicht“

⇒ Anpassung des Reglers/FCS erforderlich

# 6. Zusammenfassung

- Anforderungsmanagement und Nachverfolgbarkeit
  - ✓ Traceability „Anforderung-Testergebnis“
  - ✓ Versionskontrolle
  - ✓ Warnung bei Änderungen
  - ✓ Dokumentation
- Modellbasierte Anforderungsevaluierung
  - ✓ Nutzung der Entwicklungsmodelle
  - ✓ Mögliche Aussagen über Validität der Anforderungen
  - ✓ Iterative Absicherung der Anforderungen
  - ✓ Verbindung zu anderen Analysemethoden



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!