A decorative graphic consisting of a grid of colored squares. The grid is 4 rows high and 2 columns wide. The top row has a grey square on the left and a dark green square on the right. The second row has a blue square on the left and a large red rectangle on the right containing the main title. The third row has an orange square on the left and a light green square on the right. The bottom row has a yellow square on the left and a purple square on the right.

# Modellbasierte Entwicklung und Wissenstransfer in die Industrie

Hochschule Bochum  
Bochum University  
of Applied Sciences

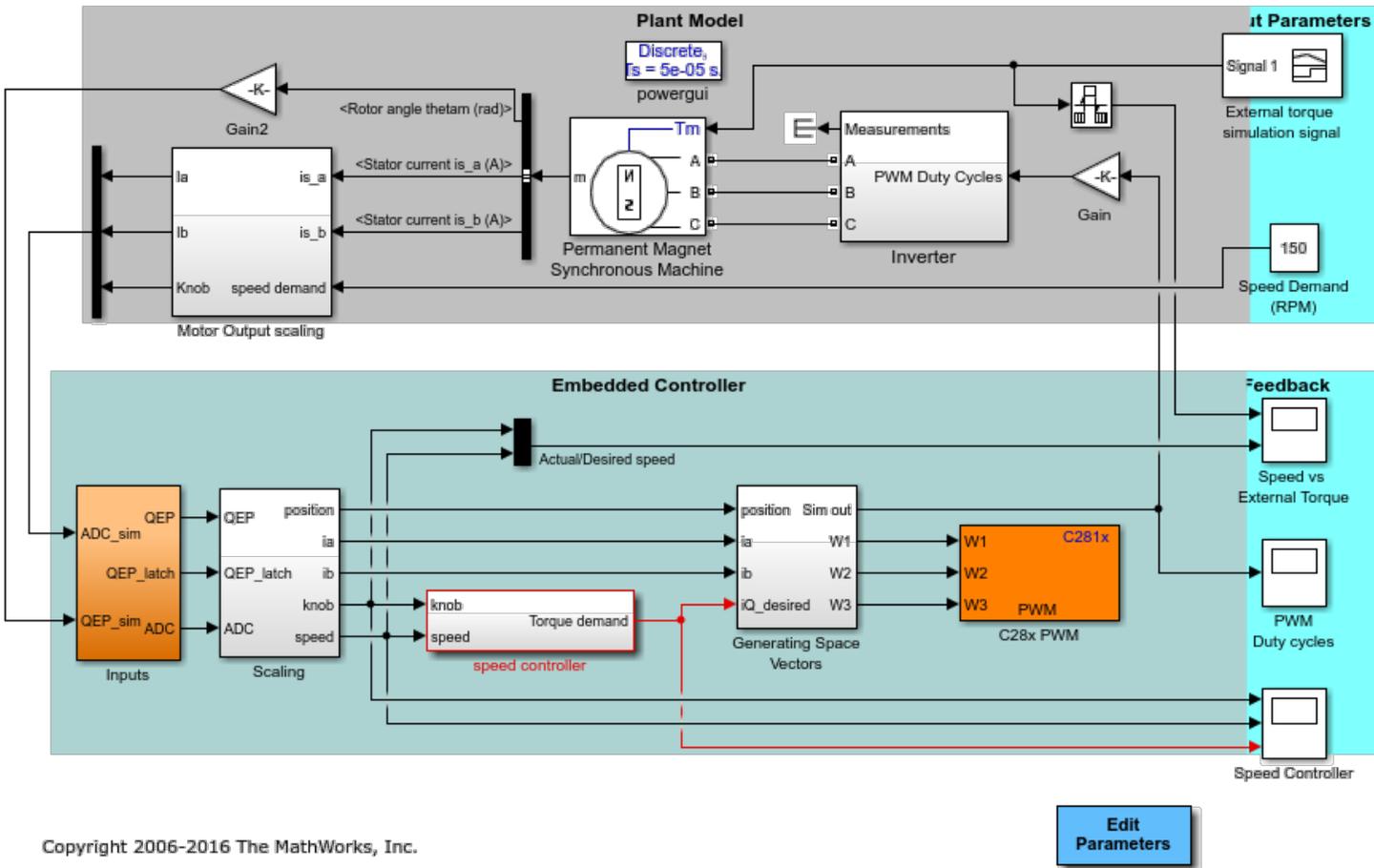


# E-Skateboard „HoBo“

## Entwicklung eines Traktionswechselrichters



### Simulation of FOC Using PMSM Model



### Fahrleistung

Max. Geschwindigkeit	41 km/h
Gewicht	ca. 13 kg
Nennleistung	2 x 280 Watt
Reichweite	typ. 25 km, max. 30 km

### Akku

Kapazität	10 Ah (20 Ah optional)
Nennspannung	25,2 V

### Motorcontroller

Texas Instruments F28069

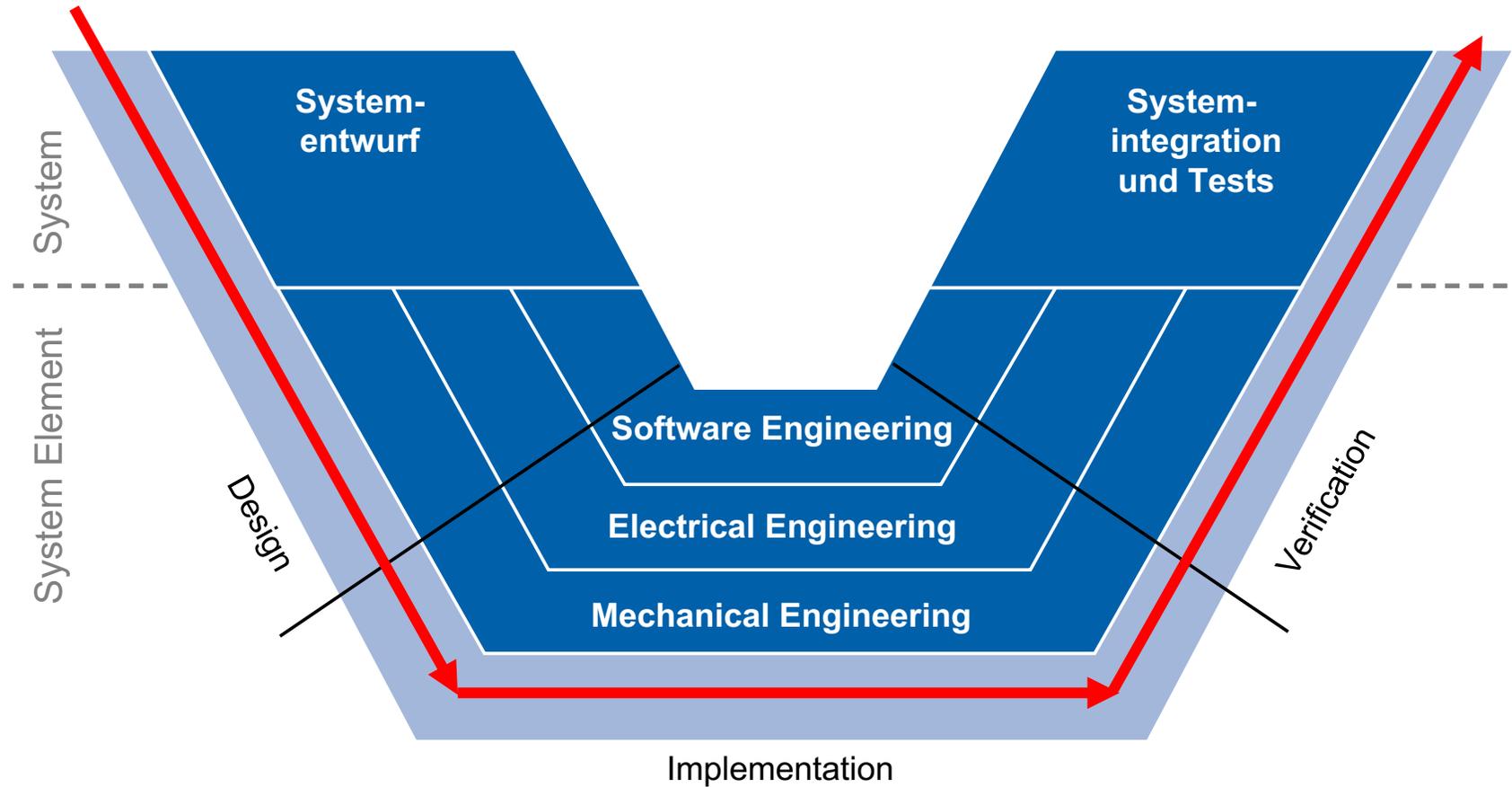
### Generierter Code

15.617 Zeilen C-Code

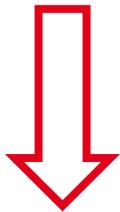
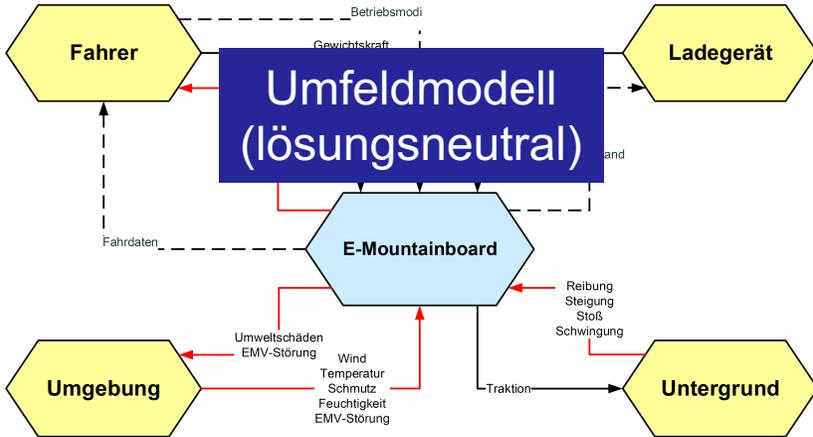
Copyright 2006-2016 The MathWorks, Inc.

<http://www.hochschule-bochum.de/fbe/ea-lab/abschlussarbeiten-und-entwicklungsprojekte.html>

# Vorgehensweise: V-Modell



Kosten einer Fehlerbeseitigung steigen erheblich mit der Projektphase.  
Wie lautet ein guter Weg durch dieses Modell?



## 2.2 Max. Geschwindigkeit

Nr. / ID	ANF_02	Nichttechnischer Titel	Max. Geschwindigkeit
Quelle			

**Lastenheft: Systemanforderungen**

### 2.2.1 Beschreibung

Die maximale Geschwindigkeit bei vollgeladenem Akku, unter Berücksichtigung des maximalen Gewichts des Fahrers bei einer Steigung von 0°, beträgt mindestens 30 km/h.

## 2.11 Versorgungsspannungsgüte

Nr. / ID	MCM-ANF_11	Nichttechnischer Titel	Versorgungsspannung
Verweise			

**Lastenheft: Anforderungen HW**

### 2.11.1 Beschreibung

Es ist sichergestellt, dass die maximale Schwankung der Versorgungsspannungen 1% der jeweiligen Spannung betragen.

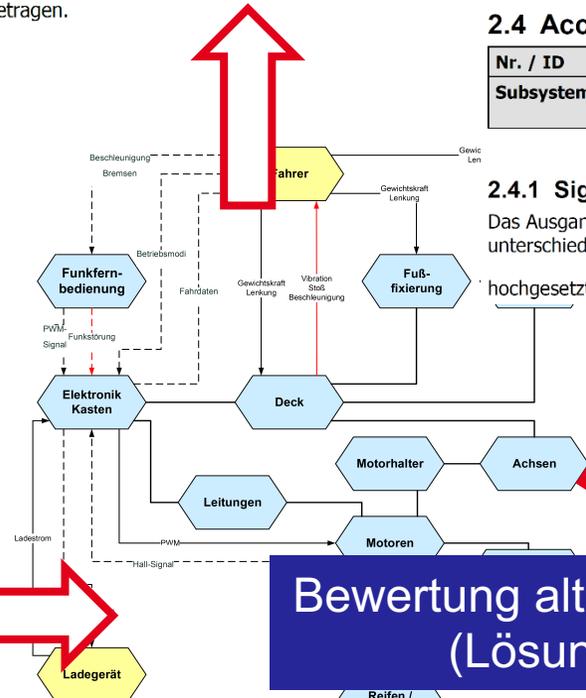
## 2.4 AccelerateControl

Nr. / ID	SW_ANF_04	Nichttechnischer Titel	Beschleunigungsrampe
Subsystem	IIR filter a control		

**Lastenheft: Anforderungen SW**

### 2.4.1 Signalverhalten

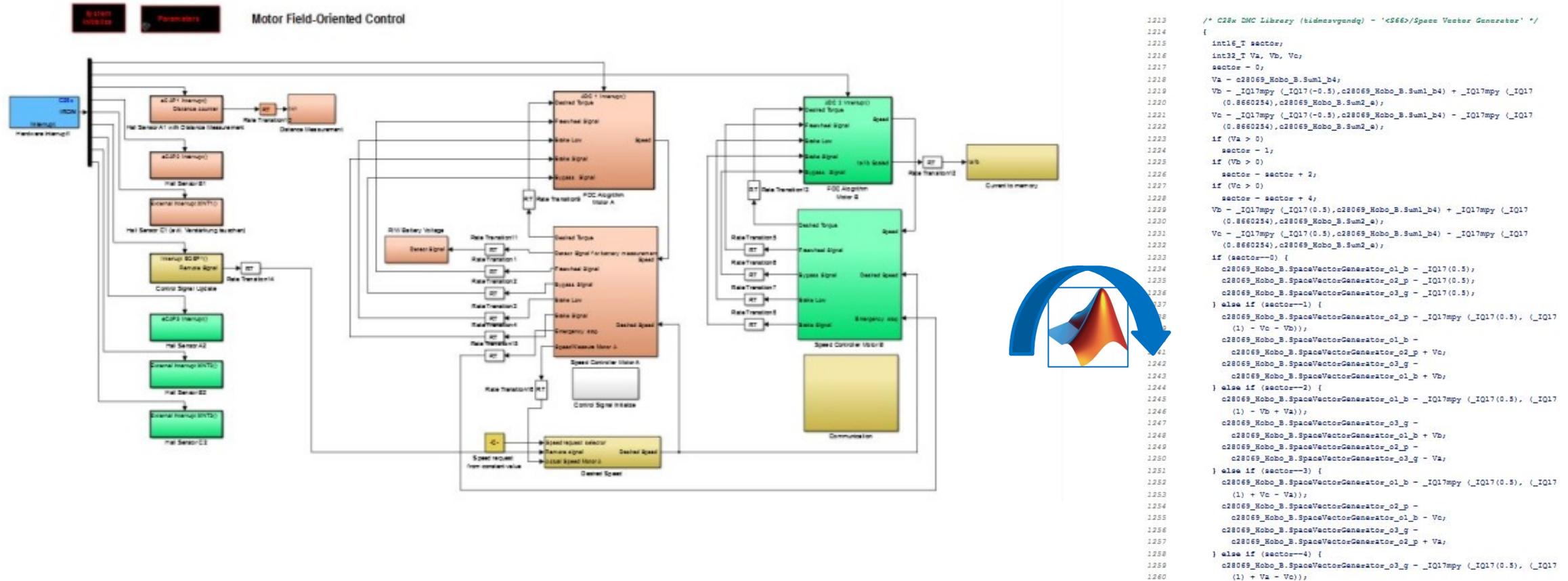
Das Ausgangssignal „desired\_speed\_out“ wird rampenförmig, abhängig vom Signal „accelerate\_value“ unterschiedlich schnell, auf das in SW\_ANF\_05 beschriebene vom Fahrer angeforderte remote\_signal hochgesetzt. Die Form der Rampe entspricht einer degressiven Kennlinie.



**Bewertung alternativer Wirkstrukturen (Lösungsarchitekturen)**

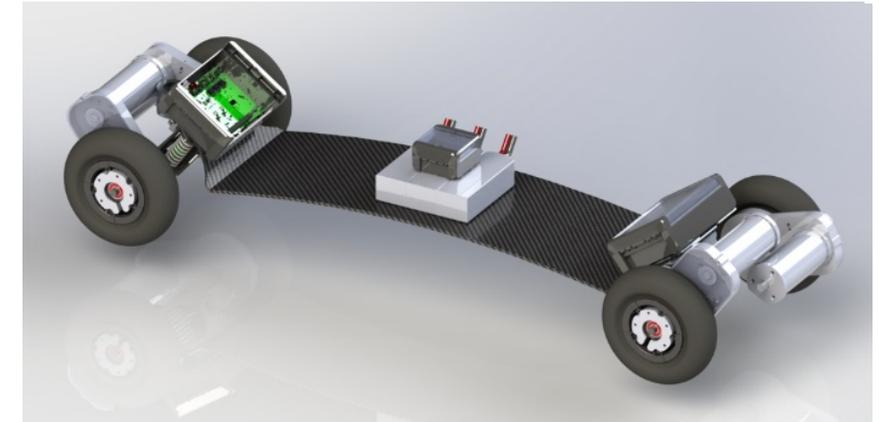
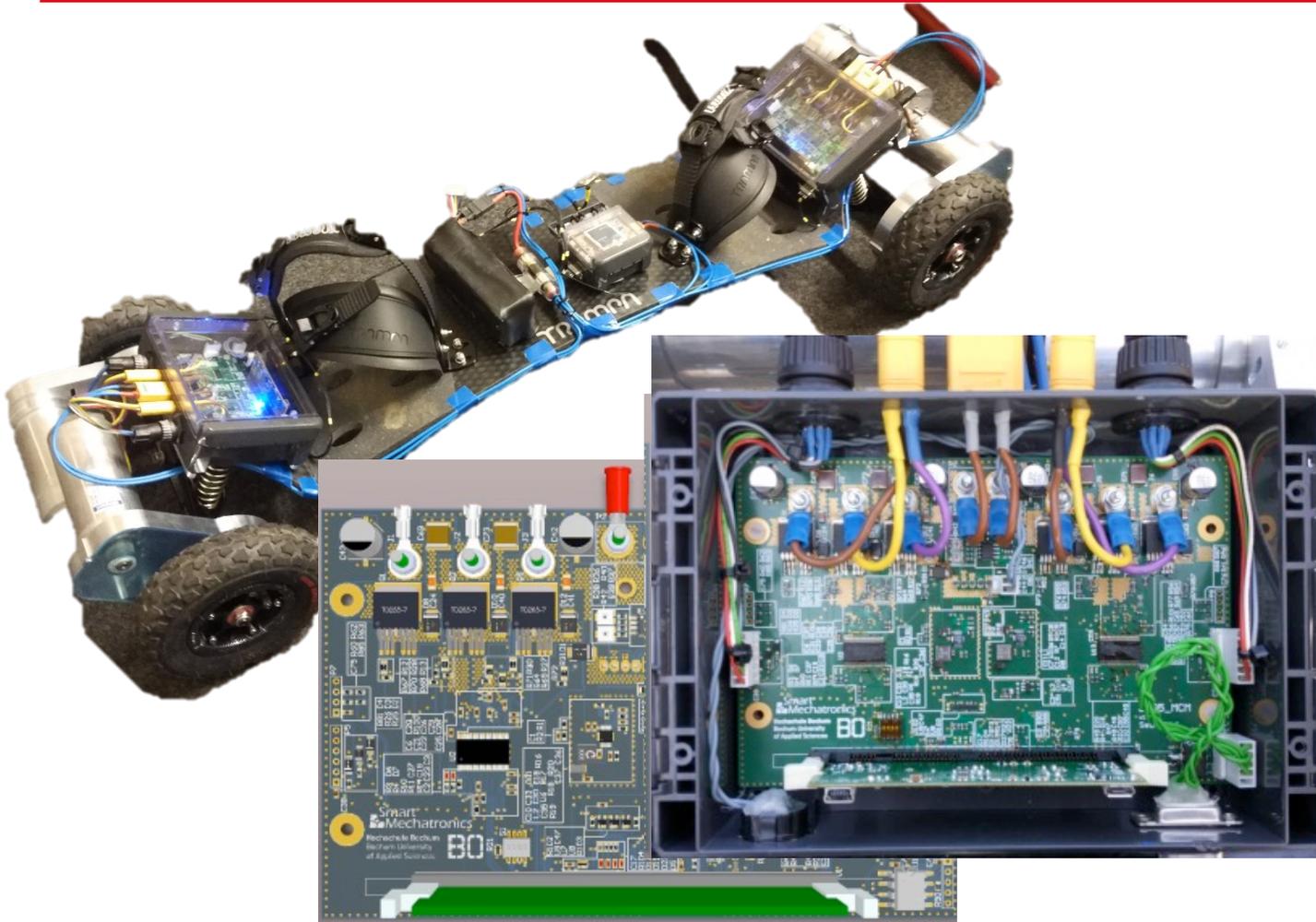


# Model-Based Design



Automatische Code-Generierung: Ist das wirklich alles?

# Mountainboard „Epos“: Verifikation mit Model-Based Design



<b>Fahrleistung</b>	
Max. Geschwindigkeit	35 km/h (limitiert)
Reichweite	typ. 20 km
Nennleistung	4 x 368 Watt
Gewicht	ca. 20 kg

<b>Akku</b>	
Kapazität	5 Ah (20 Ah optional)
Nennspannung	25,2 V

<b>Motorcontroller</b>	Texas Instruments F28069
------------------------	--------------------------

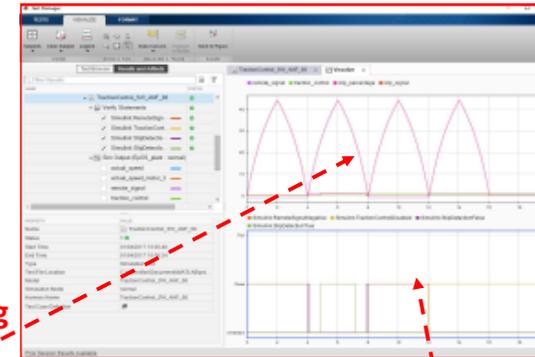
<b>Generierter Code</b>	19.583 Zeilen C-Code
-------------------------	----------------------

<http://www.hochschule-bochum.de/fbe/ea-lab/abschlussarbeiten-und-entwicklungsprojekte.html>

# Modellbasierte Verifikation



Step	Transition	Next Step	Description
1	actual_speed > 0 && % Test pass	TraktionControl_0	
2	actual_speed < 0 && % Test fail	TraktionControl_1	
3	actual_speed > 0 && % Test pass	TraktionControl_2	
4	actual_speed < 0 && % Test fail	TraktionControl_3	
5	actual_speed > 0 && % Test pass	TraktionControl_4	
6	actual_speed < 0 && % Test fail	TraktionControl_5	
7	actual_speed > 0 && % Test pass	TraktionControl_6	
8	actual_speed < 0 && % Test fail	TraktionControl_7	
9	actual_speed > 0 && % Test pass	TraktionControl_8	
10	actual_speed < 0 && % Test fail	TraktionControl_9	



Testfall  
Testdaten

Monitoring

Testauswertung



Testrahmen

Testobjekt

Testbewertungs-  
kriterien

Testdurchführung

# Anforderungsnachverfolgung (Requirements Traceability)



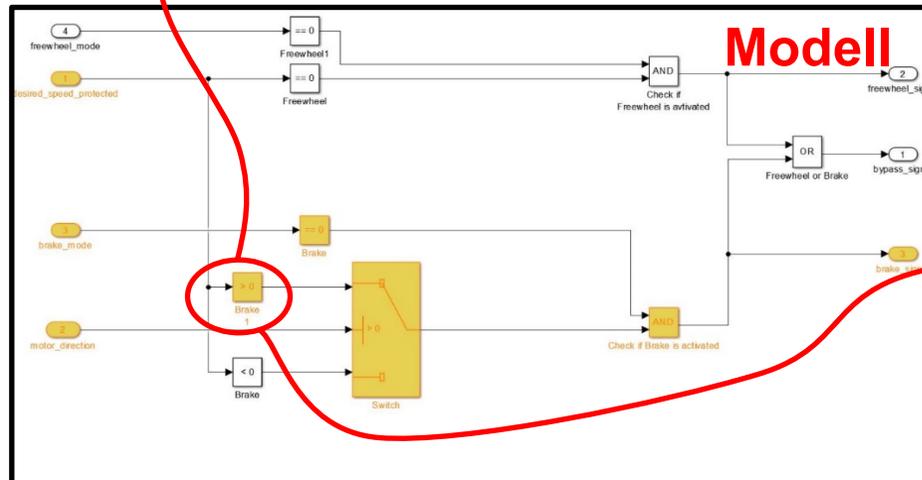
**Kapitel 17. System - Freewheel Signal and Brake Signal**

**Report**

[Show in Simulink](#)

Tabelle 17.1. Objects in EpOS\_plant/Motor Controller/Controller Motor A/Speed Controller and Drive Modes/Freewheel and Brake/Freewheel Signal and Brake Signal that have Requirements Traceability Links

Linked Object	Requirements Traceability Data
<a href="#">Brake 1</a>	<p>"Die über die Motoren angetriebenen Räder müssen abgebremst werden, sobald ein Bremswunsch durch Drücken des Hebels der Funkfernbedienung vom Subsystem „Desired Speed“ angefordert wird. Durch das Signal „brake_signal“ gleich 1 werden im Subsystem „FOC-Algorithmus“ High-Side PWM Signale mit 0 % Tastverhältnis und Low-Side PWM Signale mit einem Tastverhältnis zwischen 0 und 100% erzeugt. Das Tastverhältnis der Low Side PWM ist abhängig vom Signal „brake_low“, welches wiederum von der gedrückten Hebelposition der Funkfernbedienung abhängt. Durch diese PWM Signale werden auf Systemebene die Low-Side Leistungsschalter gepulst geschaltet, während die High-Side Leistungsschalter dauerhaft geöffnet sind. Dadurch wird eine Motorbremse eingeleitet."</p> <p>1. <a href="#">./documents/Requirements/20161201_Systemmodellanforderungen_Motorcontroller_EpOS.docx</a> at "<a href="#">Simulink_requirement_item_13</a>"</p> <p>2. "Das Signal „brake_signal“ wird auf 1 gesetzt, wenn bei „motor_direction“ gleich 1 das Signal „desired_speed_protected“ größer als 0 und das Signal „brake_mode“ auf 0 gesetzt ist." <a href="#">./documents/Requirements/20161201_Systemmodellanforderungen_Motorcontroller_EpOS.docx</a> at "<a href="#">Simulink_requirement_item_4</a>"</p>



**2.2 BrakeSignal**

**Anforderungsdokument**

Nr.	System	Verweise
ANF_02	Freewheel Signal and Brake Signal	ANF_08

**2.2.1 Signalverhalten**

Das Signal „brake\_signal“ wird auf 1 gesetzt, wenn bei „motor\_direction“ gleich 0 das Signal „desired\_speed\_protected“ kleiner als 0 und das Signal „brake\_mode“ auf 0 gesetzt ist.

Das Signal „brake\_signal“ wird auf 1 gesetzt, wenn bei „motor\_direction“ gleich 1 das Signal „desired\_speed\_protected“ größer als 0 und das Signal „brake\_mode“ auf 0 gesetzt ist.

**2.2.1 Anforderungsbeschreibung**

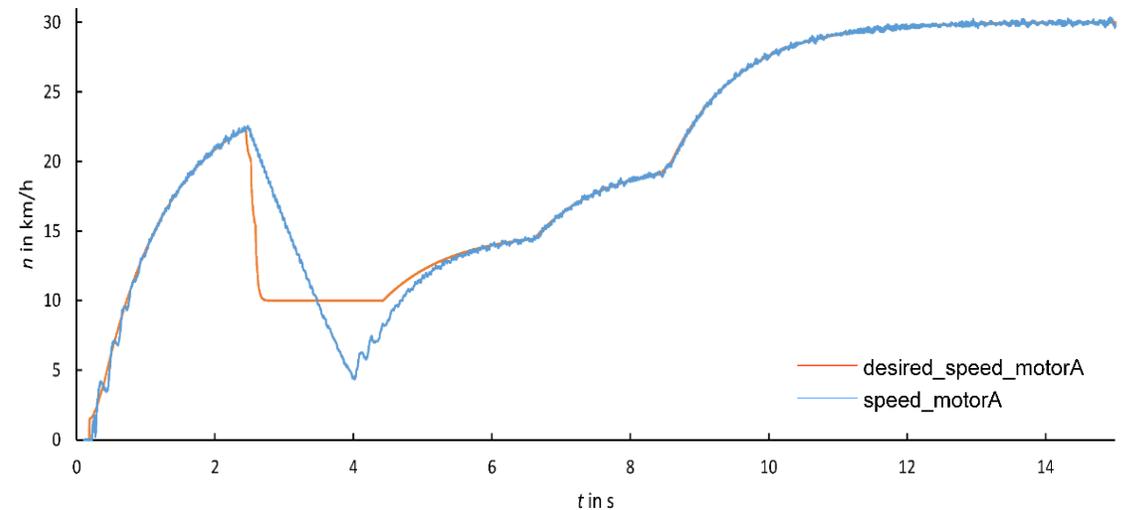
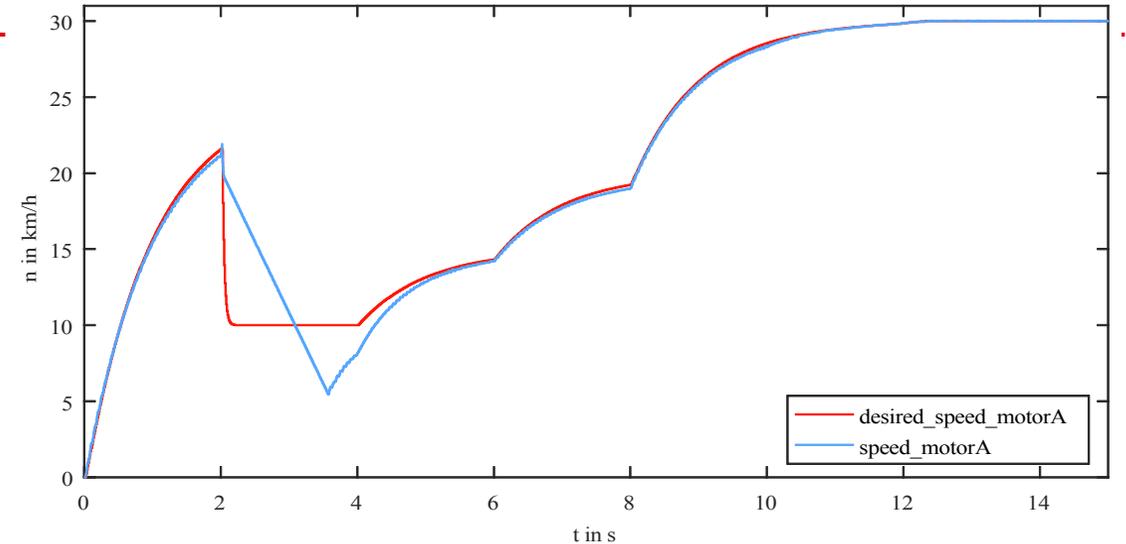
Die über die Motoren angetriebenen Räder müssen abgebremst werden, sobald ein Bremswunsch durch Drücken des Hebels der Funkfernbedienung vom Subsystem „Desired Speed“ angefordert wird. Durch das Signal „brake\_signal“ gleich 1 werden im Subsystem „FOC-Algorithmus“ High-Side PWM Signale mit 0 % Tastverhältnis und Low-Side PWM Signale mit einem Tastverhältnis zwischen 0 und 100% erzeugt. Das Tastverhältnis der Low Side PWM ist abhängig vom Signal „brake\_low“, welches wiederum von der gedrückten Hebelposition der Funkfernbedienung abhängt. Durch diese PWM Signale werden auf Systemebene die Low-Side Leistungsschalter gepulst geschaltet, während die High-Side Leistungsschalter dauerhaft geöffnet sind. Dadurch wird eine Motorbremse eingeleitet.

# Verifikationsbeispiel: Folgen einer Geschwindigkeitsanforderung in Modell und Real-World



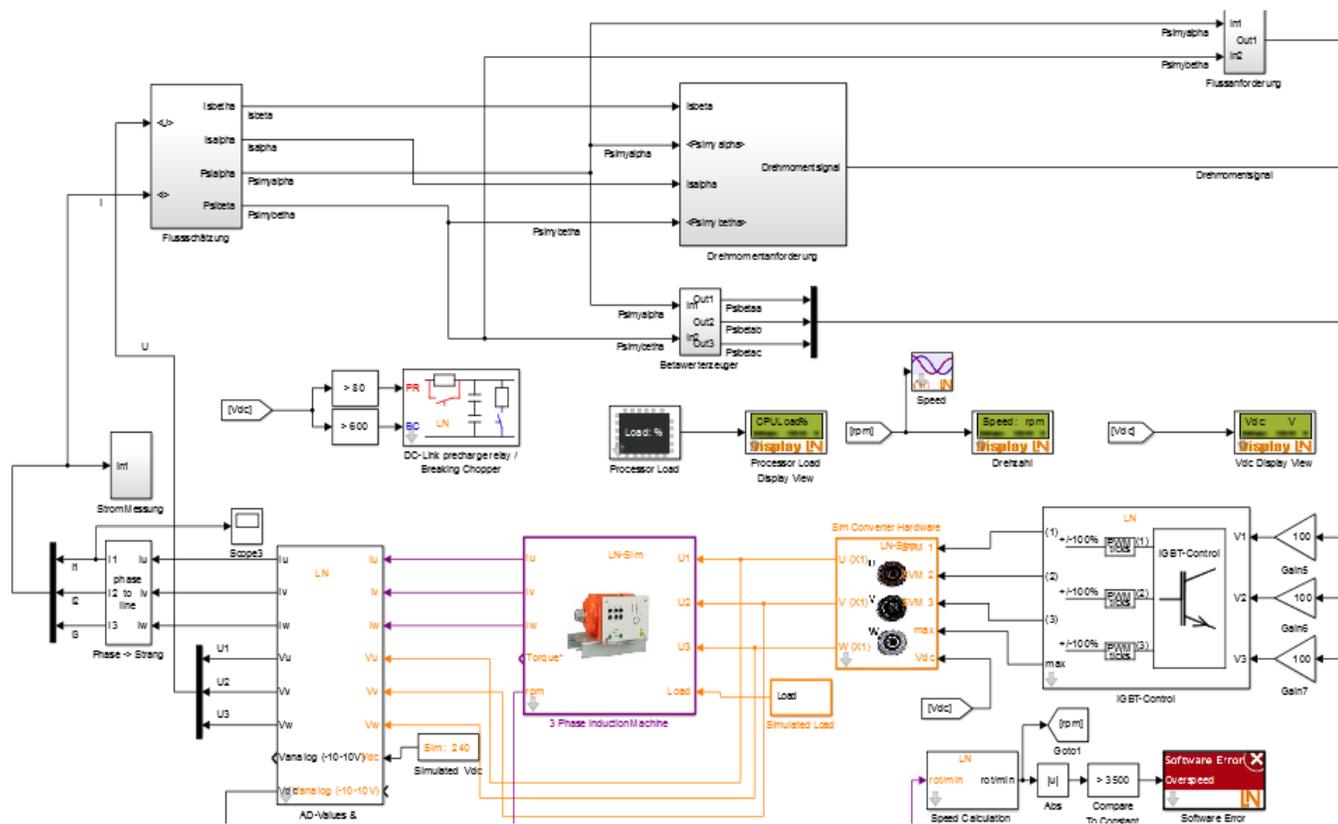
- Model in the Loop (MiL)  
Komponenten- und Integrationstests auf Modellebene
- Hardware in the Loop (HiL)  
Systemintegrationstest auf Hardwareebene über CAN-Monitor

Inbetriebnahme des Embedded Systems erfolgt in einem einzigen Tag!

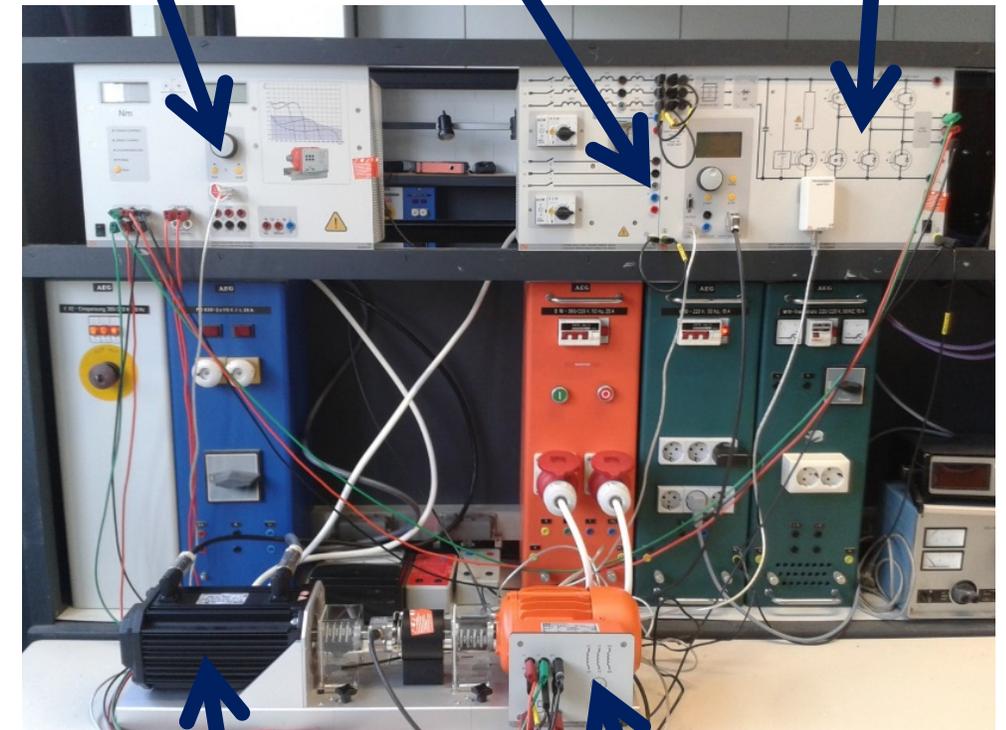




# Direkte Selbstregelung von Asynchronmotoren



Steuereinheit Lastmaschine      Signalprozessor      Frequenzumrichter



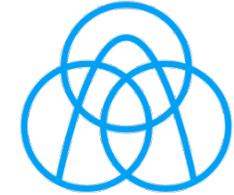
Einstellbare Lastmaschine

Asynchronmaschine

# Projekte bei Industriepartnern



- „Erfassung des Biegeradius einer gerichteten Warmbandspitze“
- „Überwachungssystem zur Erfassung der Veränderung der Ventilkennlinie eines Servoventils“
- „Entwicklung einer kamerabasierten Gutflussüberwachung“
- „Modellierung und Regelung mehrphasiger Antriebsmaschinen“
- Entwurf, Aufbau und Charakterisierung eines BMS für Lithium-Ionen Akkumulatoren“
- „Entwicklung und Umsetzung einer parametrierbaren Regelung für PMSM auf Traktionswechselrichter“
- „Reglerentwicklung für eine zweistufige ORC-Anlage zur Abgasnachverstromung“



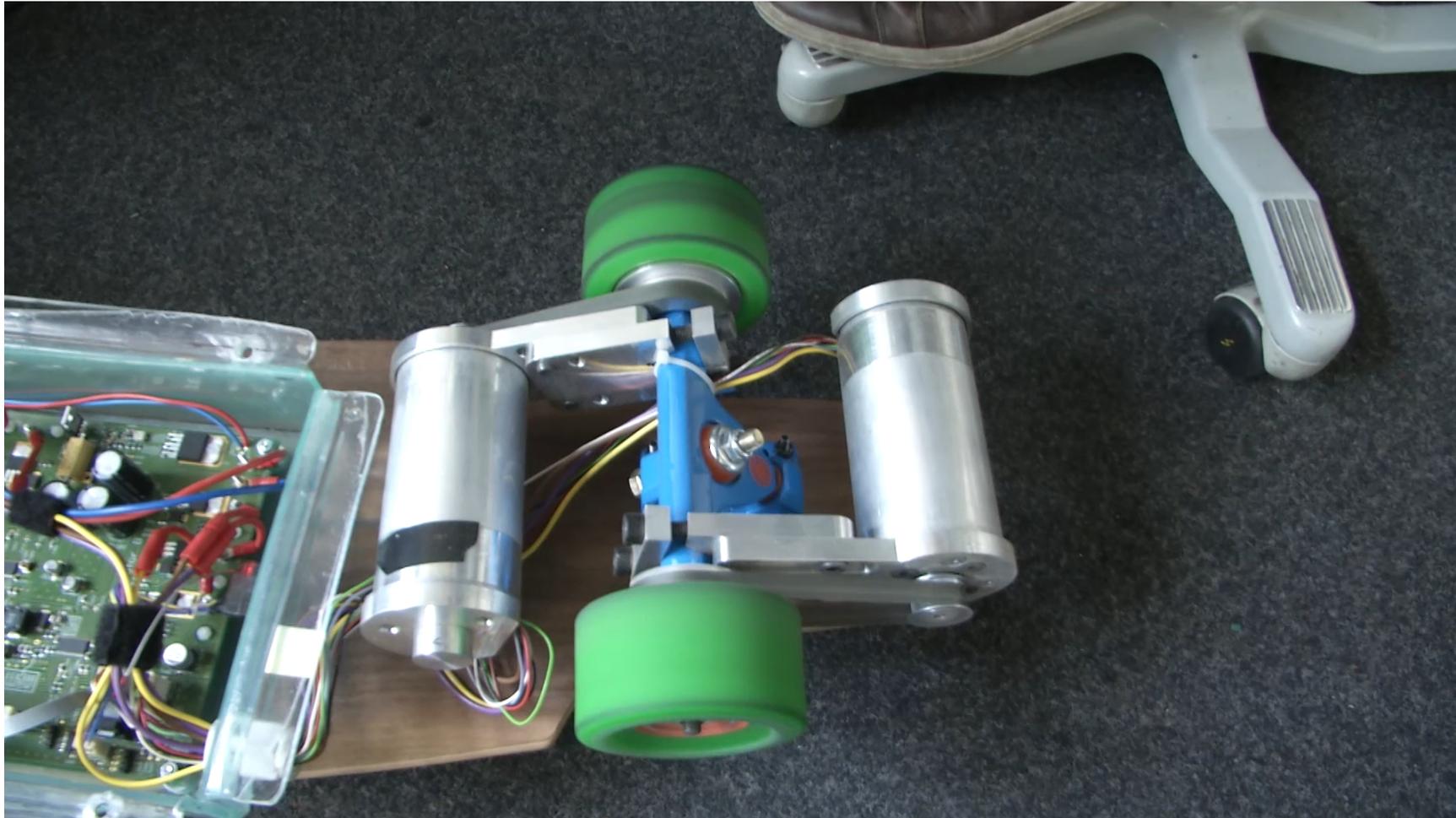
thyssenkrupp

**CLAAS**

**scienlab**

electronic systems

**Smart  
Mechatronics**



Produktion des Medienzentrums der Hochschule Bochum 2015 (<https://www.youtube.com/watch?v=ntPBM6ZECrY>)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

---



Prof. Dr.-Ing. Arno Bergmann

Hochschule Bochum  
Department of Electrical Engineering and  
Computer Science

Lennershofstr. 140  
44801 Bochum

+49 234 32-10350  
[arno.bergmann@hs-bochum.de](mailto:arno.bergmann@hs-bochum.de)



# Modellüberdeckungsanalyse



**COVERAGE RESULTS**

**Monitoring der Modellüberdeckung**

ANALYZED MODEL: EpOS\_plant/Motor Controller/Controller Motor A/Speed Controller and Dr...  
 REPORT: Coverage: DT  
 4 50% EXECUTION 100%

**Summary**

**Report**

Model Hierarchy/Complexity: 1. Max Speed through Speedmode (4 50%) 2. scaling speed km/h in speed p.u. (NA 100%)

**Details**

**1. SubSystem block "Max Speed through Speedmode"**

Child Systems: scaling speed km/h in speed p.u.

Metric	Coverage (this object)	Coverage (inc. descendants)
Cyclomatic Complexity	1	4
Decision (D1)	NA	50% (3/6) decision outcomes
Execution	NA	100% (18/18) objective outcomes

**Saturate block "Saturation"**

Justify or Exclude

Parent: EpOS\_plant/Motor Controller/Controller Motor A/Speed Controller and Dr...

Uncovered Links:

Metric	Coverage
Cyclomatic Complexity	2
Decision (D1)	25% (1/4) decision outcomes
Execution	100% (1/1) objective outcomes

**Decisions analyzed**

input > lower limit	0%
false	--
true	--
input >= upper limit	50%
false	0/600
true	600/600

