

Ralf Hoffmann

Metamodelle in einem cyber physischen Relais- System “Digitaler Zwilling”



Inhalt

- 1 – Definition, Ziel, Motivation
- 2 – Beschreibung Methode, Lösungsansatz
- 3 – Simulationsmodell
- 4 – Demonstrator “Digitaler Zwilling”
- 5 – Zusammenfassung, Ausblick

PHOENIX CONTACT

Über uns



Ein privat geführtes
Unternehmen
1923 gegründet
mit hoher
Wertschöpfungstiefe

Weltmarktführer in der
elektrischen
Verbindungstechnik und
Automation.

Umsatz 2016
Mitarbeiter

1,97 Mrd. €
15.000 weltweit, ca. 50% in Deutschland
Hauptsitz Blomberg OWL



1. Definition

Begriffsbestimmung (VDI/VDE-Gesellschaft)

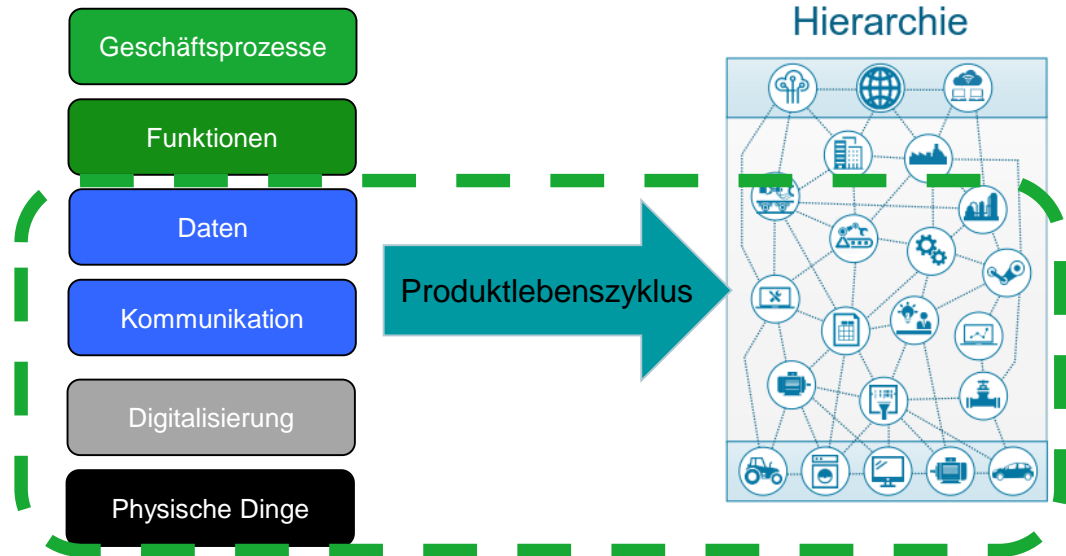
■ Cyber-physisches System

=
Verbund
informatischer und
mecha(tro)nischer
Teile

die über eine Dateninfrastruktur
(z. B. das Internet)
kommunizieren

© VDI 2013

■ Referenzarchitektur Industrie 4.0 (RAMI 4.0)

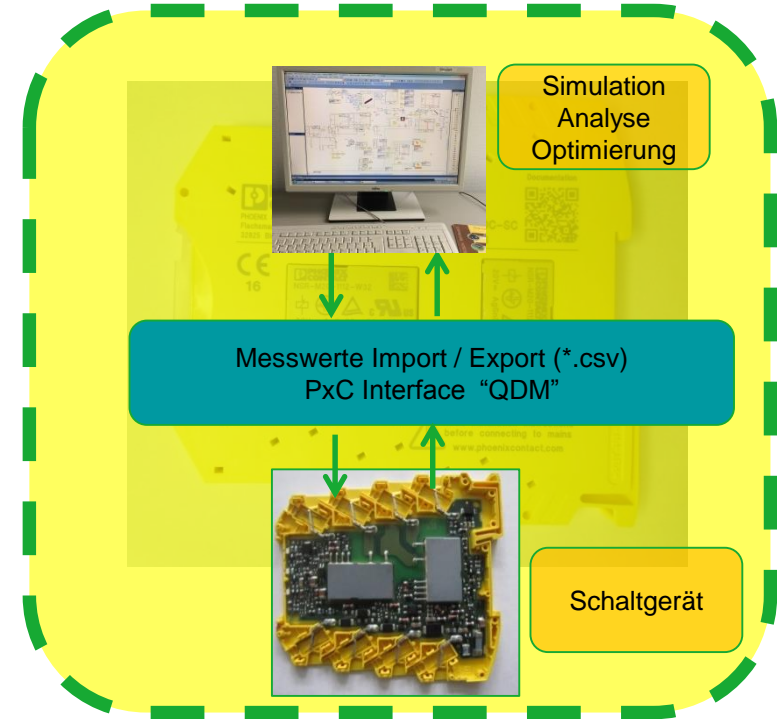


© BMWI 2016 IEC 62890I

1. Ziel - Motivation

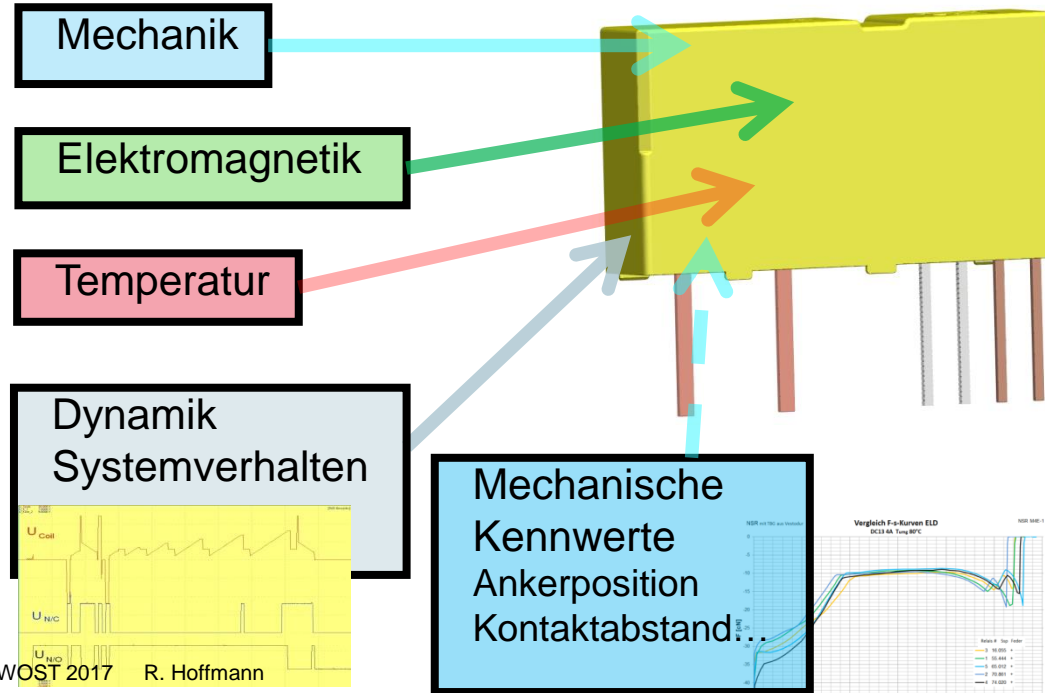
Ziel:

- Verhaltensmodell eines Sicherheitsschaltgerätes
Beispiel: Kontaktlebensdauer
- Realisierung durch Verknüpfung eines Simulationsmodells mit einem real schaltenden Relais
- Dies ermöglicht die Vorhersage von Fehlern



2. Beschreibung Methode

Physikalische Domains im Relais:



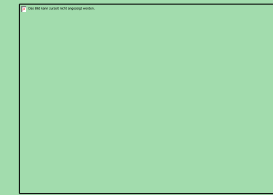
Empirische Modelle

Kontaktwiderstand (Holm)

$$Rk = 280r\sqrt{E/(Fk - r)}$$

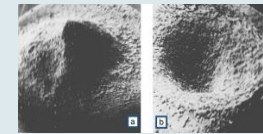
Lichtbogen (Rieder)

$$U = s^{1/1.57} * 0.00385^{-1/1.57} * |I^{-0.49/1.57} + U_M$$



© El. Kontakte Springer Verl.

Kontaktverschleiss

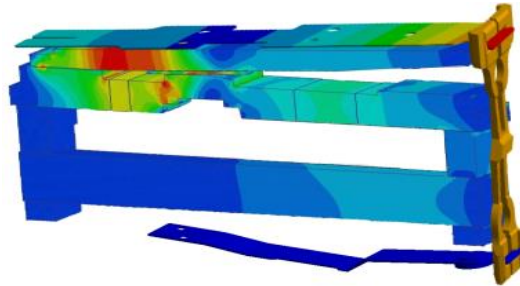


© Wikipedia

2. Beschreibung Methode

Modellerstellung FEM Modelle koppeln:

- Berechnung (wiederholend) des komplexen Verhaltens der gekoppelten Einzelsysteme mittels FEM
 - hoher Modellaufwand; hohe Rechenzeit; sehr viele Freiheitsgrade ($>10e^6$)
 - kleine Zeitschritte, viele Rechnungen, nicht echtzeitfähig



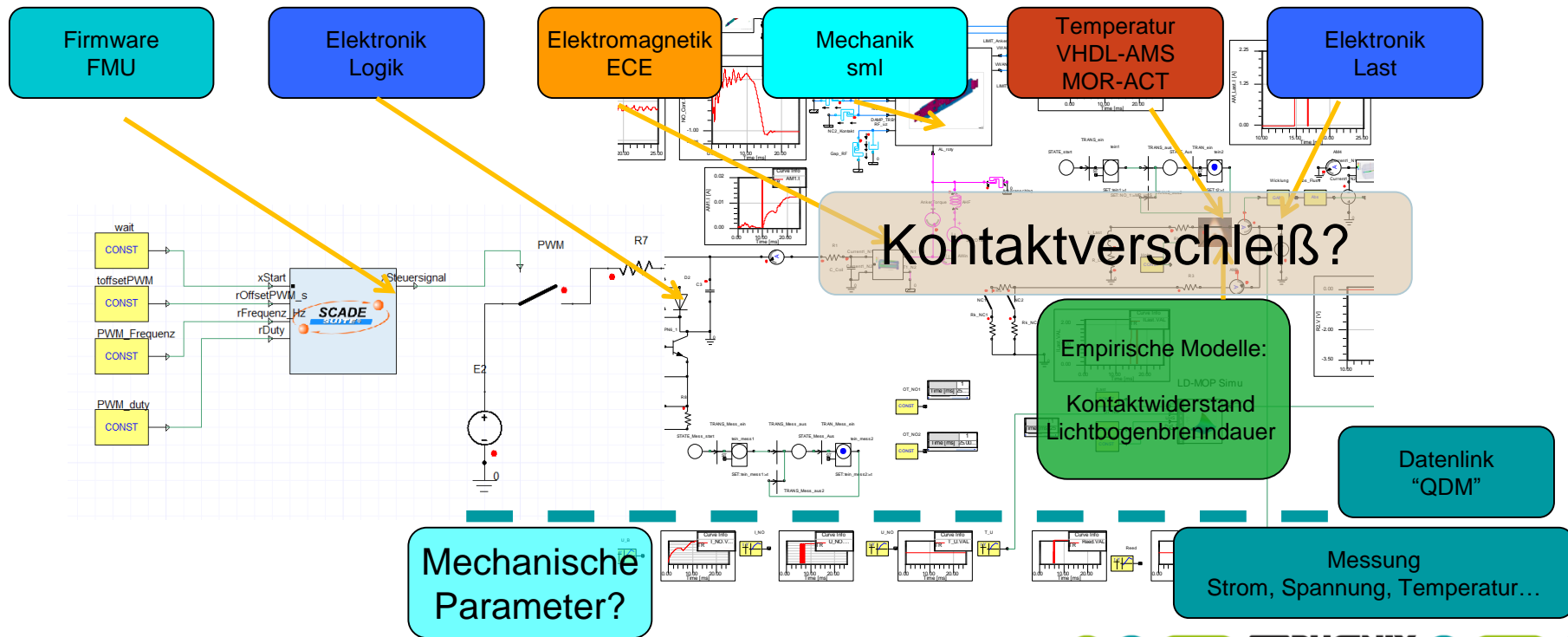
2. Beschreibung Methode

Modellerstellung Modelle reduzierter Ordnung (ROM):

- Berechnung (einmalig) mittels FEM: Wissen / Information aus 3D Simulation als Basis
- Projektion der Werte einzelner Freiheitsgrade ausgewählter Punkte in Reduced Order Model (ROM) → wenige Freiheitsgrade ($< 1e^3$)
 - Mechanisch: State Space Matrix (Zustandsmatrix aus harmonischer Analyse)
 - Elektromagnetisch: ECE (Equivalent Circuit Extraction)
 - Temperatur: Krylov Subspace (MOR for ANSYS)
 - Software: functional moc-up unit (FMU)
 - Datenbasierte ROM: (Metamodelle)
- Kopplung der Einzelsysteme auf Systemebene mit ANSYS-Simplorer

3. Simulationsmodell

Schaltgerät



3. Simulationsmodell

Kontaktlebensdauer schaltende Kontakte:

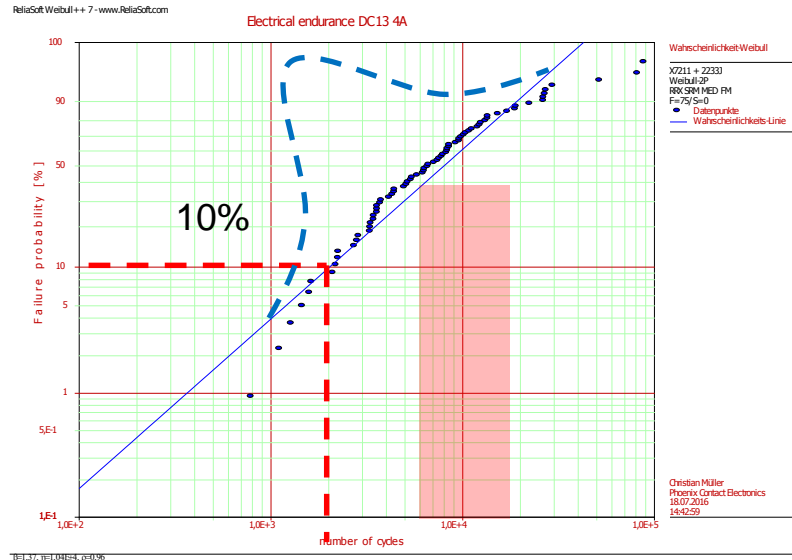
■ Stand der Technik:

Abschätzung der elektrischen Lebensdauer von Relais mittels Weibull-Charakteristik

■ Konsequenzen:

Lebensdauer des konkreten Gerätes kann nur mit einer statistischen (Un)Sicherheit abgeschätzt werden:

typ: 10%-Wert



3. Simulationsmodell

Kontaktlebensdauer Relais:

Lösungsansatz:

Experimentell ermittelte Kontaktlebensdauer durch Metamodell(e) (MoP) in Kennfeld(ern) abbilden



Test

splitting postprocessing/database import version 0.0.0
Designs were imported from
D:\Programme\MATLAB\MOPT\MOPT-UP-AC13_30_Allgemein.xml

Reference	Successed	I_Last	Temp	Units	t_Prel_S
Reference	5	0.5	20	220	4.17

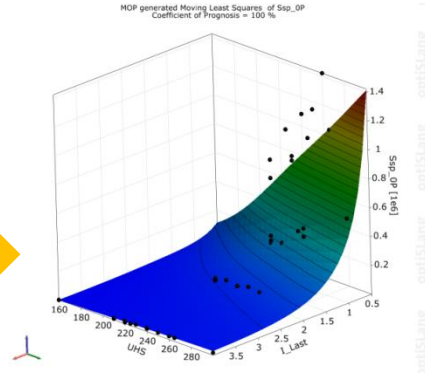
Designs	Successed	I_Last	Temp	Units	t_Prel_S	in	Out
10	X	2	20	240	0.50	Y	3
11	X	2	20	220	1.50	Y	3
12	X	2	20	220	1.25	Y	3
13	X	2	30	230	1.40	Y	3
14	X	2	30	240	0.50	Y	3
15	X	2	30	240	0.50	Y	3
16	X	2	30	240	0.50	Y	3
17	X	2	30	240	0.50	Y	3
18	X	2	30	220	0.5	Y	3
19	X	2	30	220	0.5	Y	3
20	X	2	30	240	0.50	Y	3
21	X	2	30	240	0.57	Y	3
22	X	2	30	240	0.50	Y	3
23	X	2	30	240	1.25	Y	3

Parameters	Temp	Units	t_Prel_S
Temp	20	220	4.17

Parameters	Temp	Units	t_Prel_S
Temp	20	220	4.17

Relaiskennwerte
Last
Umgebungsbedingungen
Ausfallverhalten

Excel Add-In



MoP



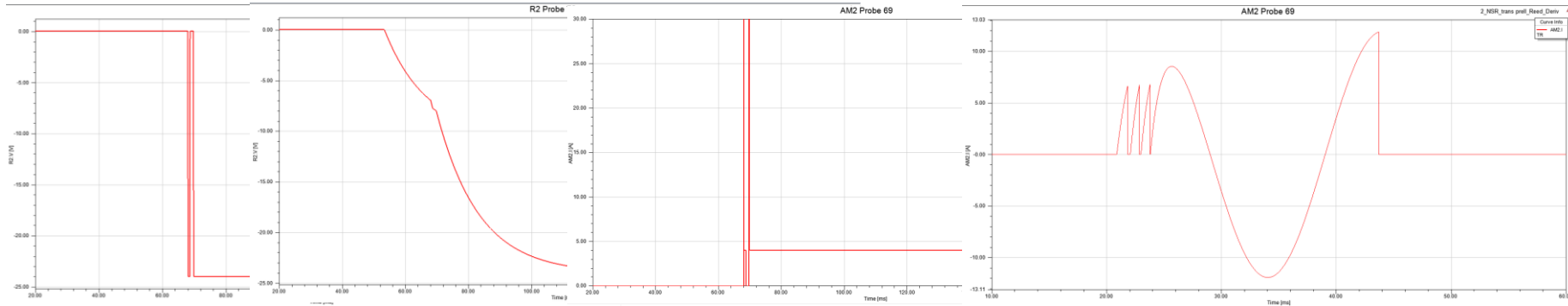
FMU

3. Simulationsmodell

Kontaktlebensdauer Relais:

Kennfelder für verschiedene Lastbereiche und Lastarten

- Einschaltvorgang / Ausschaltvorgang / Lastzuordnung



ohmsch

induktiv

kapazitiv

AC / DC

3. Simulationsmodell

Messung mechanischer Parameter des Relais im Gerät:

■ Stand der Technik:

Mechanische Messungen werden im Labor am offenen Relais durchgeführt :



■ Problem:

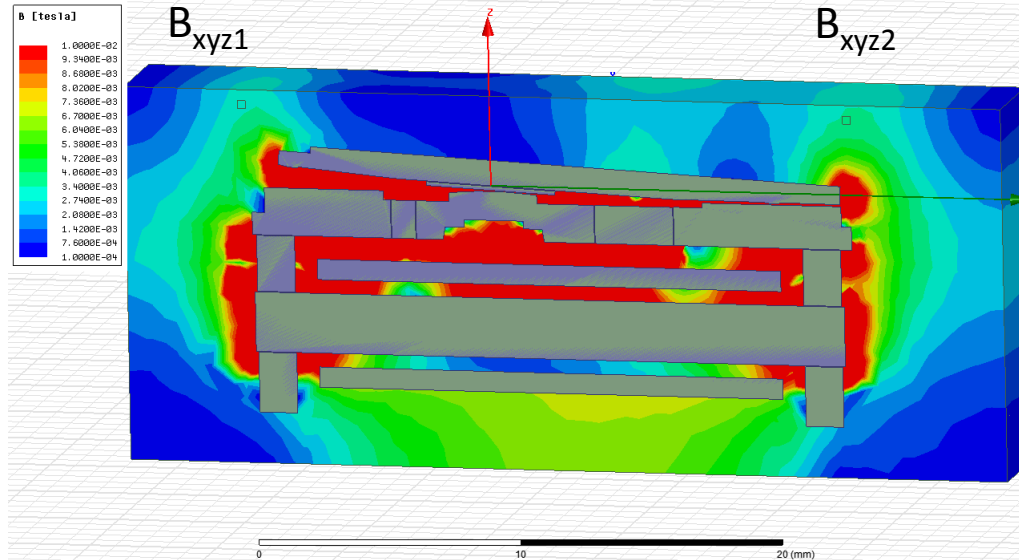
Messung im Gerät nicht möglich:



3. Simulationsmodell

Lösungsansatz:

Mechanische Parameter im Gerät mit Magnetfeld messen



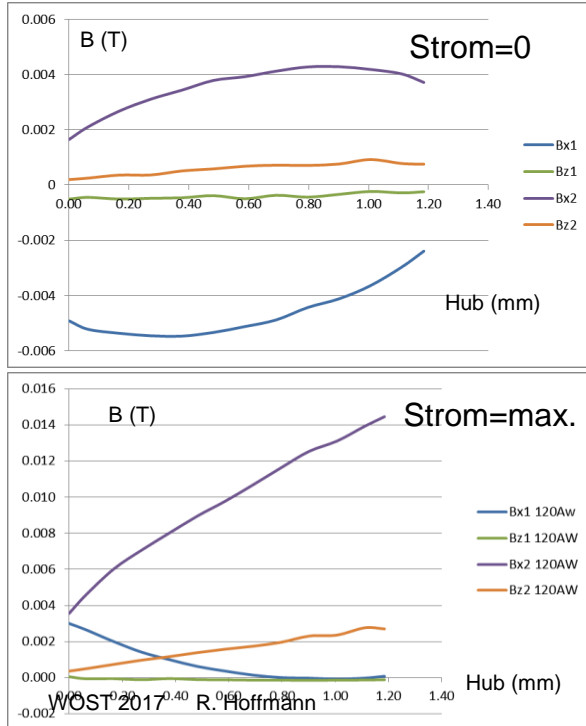
Magnetfeld bei unterschiedlichen Ankerpositionen und Spulenerregungen

$$\rightarrow B_{xyz(1,2)} = f(M_{xwin}; \text{Strom})$$

3. Simulationsmodell

Mechanische Parameter mittels Magnetfeld messen:

$$B_{xyz(1,2)} = f(M_{xwin}; \text{Strom})$$



Excel Add-In

	A	B	C	D	E
Name	P15 - strom1	/ P23 - MxWin	P26 - BxHall_1	P29 - Bz1	
DP 0 (Current)	8	-2	-0.003409919	0.004	
DP 1	72.53770896	2.50485075	-0.000145711	0.003	
DP 2	40.29917164	1.23992537	-0.003205356	0.004	
DP 3	74.32873881	0.22798507	-0.001578621	0.007	
DP 4	115.5224254	2.16753731	-0.001994852	0.005	
DP 5	42.09020149	-2.55485075	-0.001943629	0.007	
DP 6	111.9403657	1.49291045	0.000997344	0.006	
DP 7	70.7466791	-1.12126866	-0.00129254	0.008	
DP 8	13.43372388	1.83022388	-0.00129254	0.003	
DP 9				0.002	
DP 10				0.004	
DP 11				0.00	
DP 12				0.004	
DP 13				0.006	
DP 14				0.012	
DP 15				0.005	
DP 16				0.004	
DP 17				0.009	
DP 18				0.005	
DP 19				0.003	
DP 20				0.005	
DP 21				0.005	
DP 22				0.01	



Starke Eingangskorrelationen:
Strom - B_{x1z1}

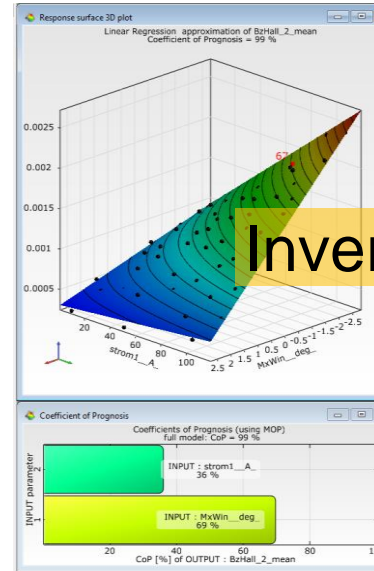
3. Simulationsmodell

Mechanische Parameter mittels Magnetfeld messen:

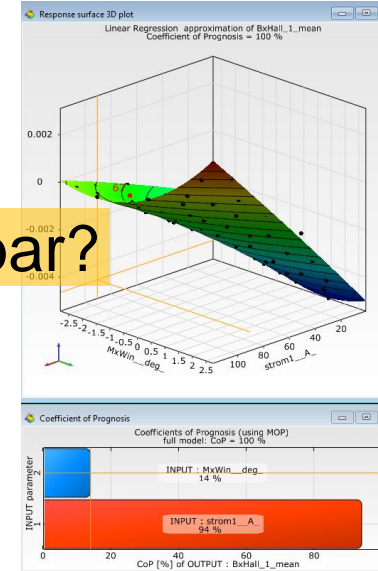
$$\text{MoP } B_{(x12,z2)} = f(M_{xwin}; \text{Strom})$$



CoP Matrix $B_{x12}; B_{z2}$
stark korrelierte Eingangs-
Parameter reduziert



$$B_{z2} = f(M_{xWin}; \text{Strom})$$



$$B_{x1} = f(M_{xWin}; \text{Strom})$$

Invertierbar?

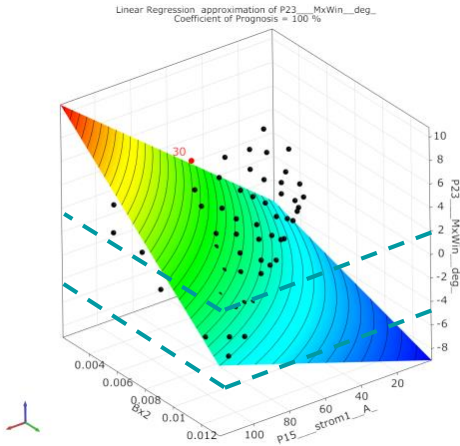
3. Simulationsmodell

Mechanische Parameter mittels Magnetfeld messen:

Invertierung:

$$\text{MoP: } M_{xwin} = f(B_{x12z2}; \text{Strom})$$

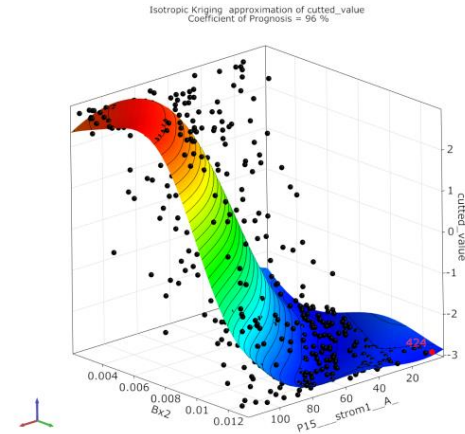
CoP=100%



$$-2.85^\circ < M_{xwin} < 2.8^\circ$$

$$\text{MoP: } M_{xwin} = f(B_{x12z2}; \text{Strom})$$

CoP=96%



Invertierung $M_{xwin} = f(B_{x12z2}; \text{Strom})$
ist eindeutig (injektive Abbildung)

Problem: Extrapolation M_{xwin}

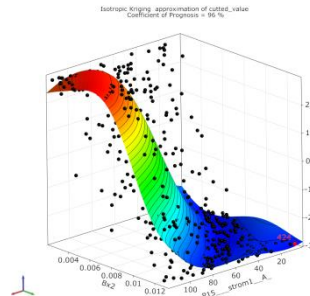
3. Simulationsmodell

Mechanische Parameter mittels Magnetfeld messen: Invertierung – MoP

Nr.	Signalparameter	CoP	Extrapol.	Anzahl Signale	Anzahl Sensoren
1	$B_{x1x2z1z2}$ Strom	100	2	5	2
2	B_{x1x2z2} Strom	100	2	4	2
3	B_{x2-x1} Strom	69	1	3	2
4	B_{x2z2} Strom	98	1	3	1
5	B_{z2-x1} Strom	97	1	3	2
6	B_{x2} Strom	96	1	2	1
7	B_{x1x2} Strom	99	(2)	3	2

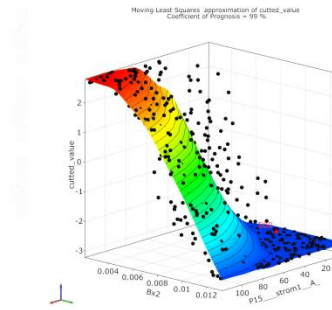
MoP-2:

$$M_{xwin}=f(B_{x1x2z2}; \text{Strom})$$



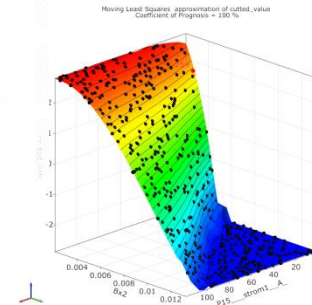
MoP-4:

$$M_{xwin}=f(B_{x2z2}; \text{Strom})$$



MoP-6:

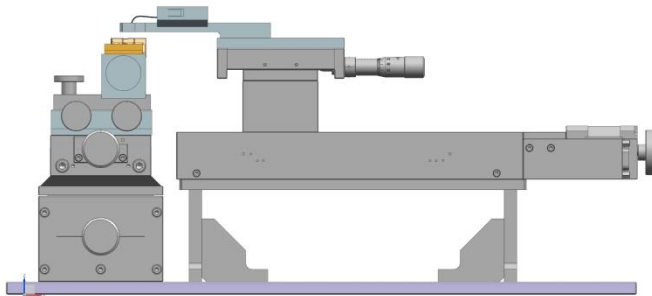
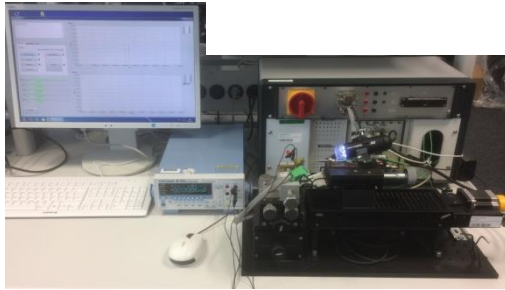
$$M_{xwin}=f(B_{x2}; \text{Strom})$$



3. Simulationsmodell

Mechanische Parameter mittels Magnetfeld messen:

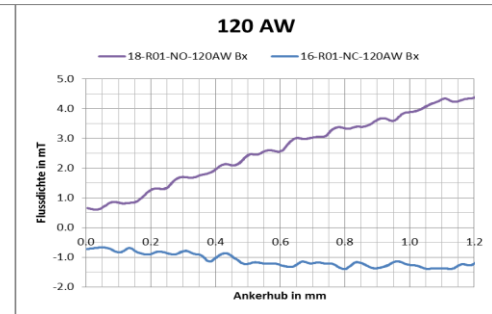
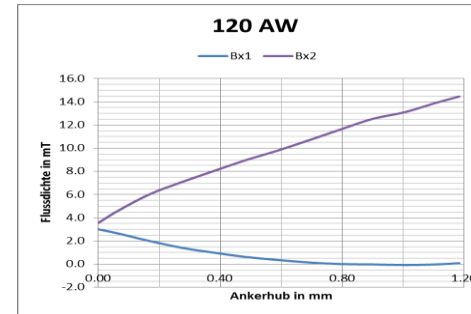
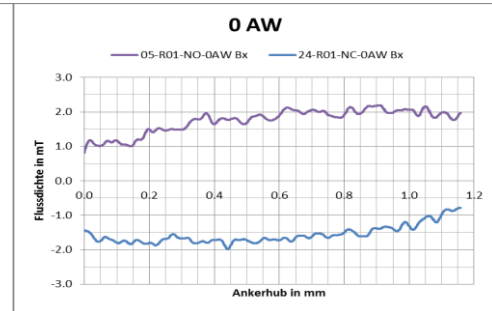
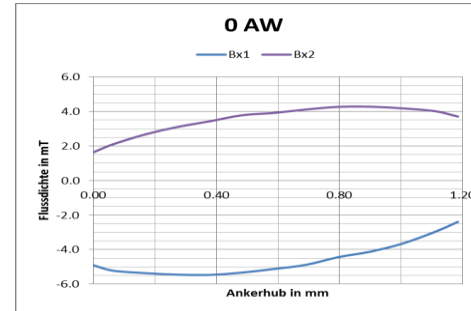
Vergleich:



Simulation

-

Messung

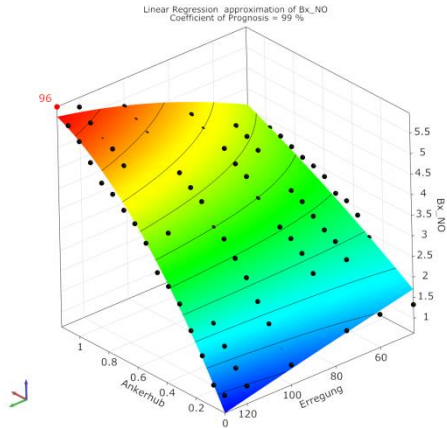


3. Simulationsmodell

Mechanische Parameter mittels Magnetfeld messen:

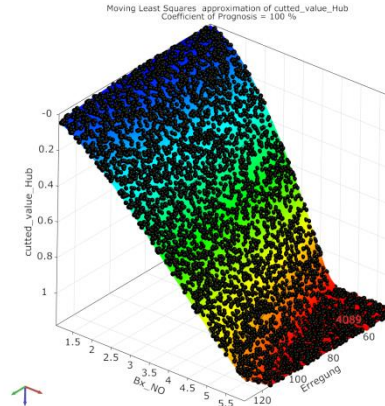
Vergleich Simulation - Messung

MoP: $B_{x2}=f(\text{Hub}; \text{Erregung})$
CoP=99% Messung

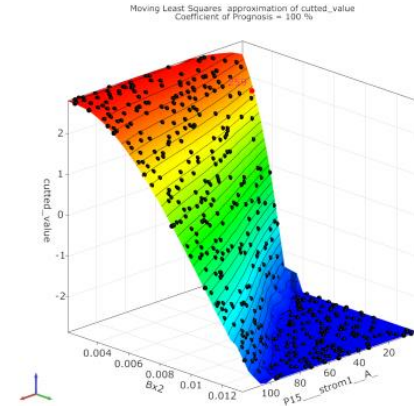


Invertierung

MoP: $\text{Hub}=f(B_{x2}; \text{Strom})$
CoP=100% Messung

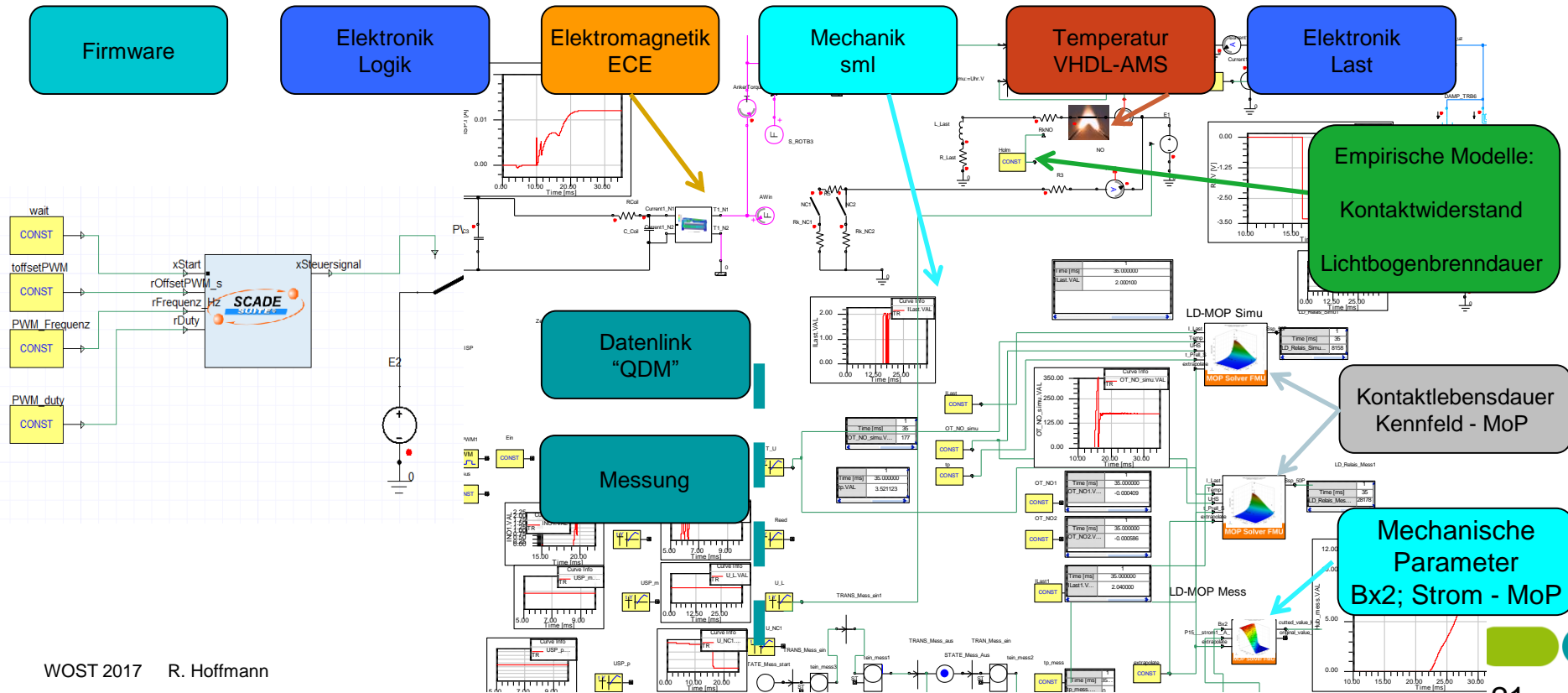


MoP: $\text{Hub}=f(B_{x2}; \text{Strom})$
CoP=100% Simulation



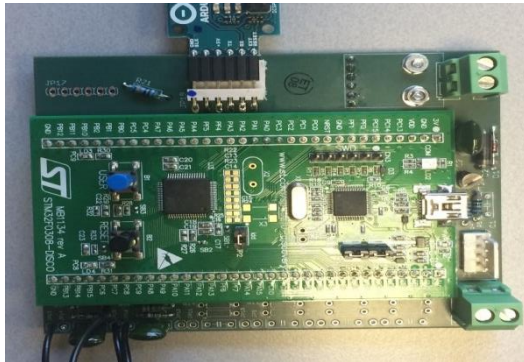
3. Simulationsmodell

Metamodelle Kontaktlebensdauer und Wegmessung

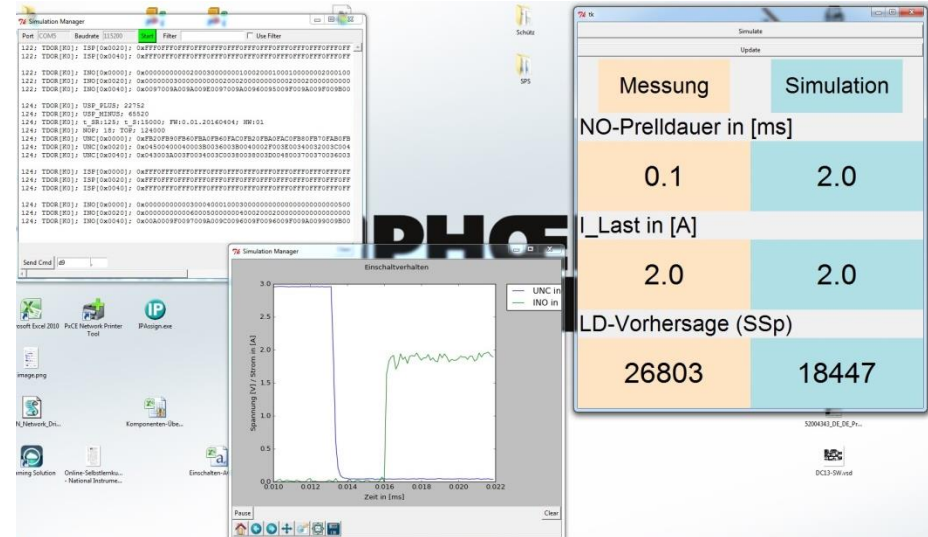


4. Demonstrator

- Sicherheitsschaltgerät mit:
 - Firmware
 - Elektronik Komponenten
 - Elektro-mechanischen Komponenten

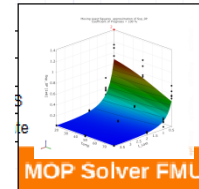
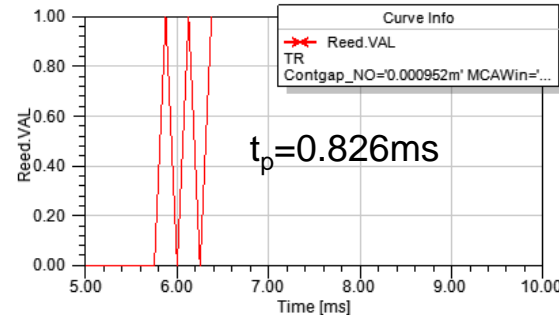
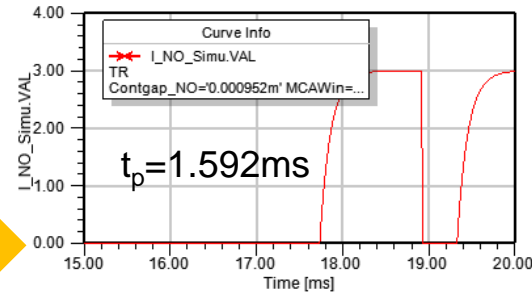
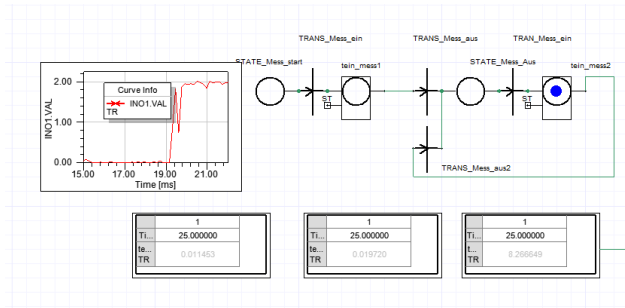


- Kommunikations-Interface mit:
 - Simulations-Model auf PC (Windows)
 - Prognose Relais-Lebensdauer



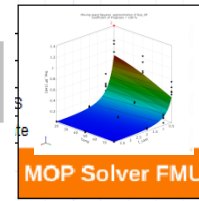
4. Demonstrator

- Anwendungsfall:
Relais prellt beim Einschalten: Gefahr von Kontakt - Verschweissung



Time [ms]	1
LD_Simu.VAL	25
TR	257
Contgap_N...	

297 Schsp.
LD_Mess



Time [ms]	1
LD_Mess.VAL	25
TR	29434
Contgap_NO=0...	

29343 Schsp.

4. Zusammenfassung - Ausblick

- Grundsätzlicher Funktionsnachweis eines cyber physischen Relaismodells durch einen Demonstrator ist erfolgt

Weitere Entwicklung:

- Detaillierung der LD-Kennfelder (Dauerversuche)
- Vereinfachung der Lastidentifikation (Reduzierung numerischer Aufwand)
- Erweitertes Relaismodell
(Kontaktmodell; Lastkreisrückwirkung)
- Echtzeitanalyse / online Datenschnittstelle (MQTT)

Danksagung

- CADFEM:
Dr. M. Hanke; Entwicklung der Simulationssoftware zur Nutzbarkeit in der Anwendung
- Dynardo:
Hr. S. Marth; Unterstützung bei der Erzeugung der Metamodelle für Versuchsdaten und der Modifikation der MoP zur Abbildung inverser Funktionen
- Phoenix Contact Electronics:
Ch. Adam, Dr. S. Benk; S. Heinrich; Messungen und Programmierung der QDM-Schnittstelle