



# **Komplexe Fehlerketten erkennen – Wie die Nadel im Heuhaufen effizienter gefunden werden kann**

**Webveranstaltung: Weniger Störungen in der automatisierten Fabrik, 03.06.2020**

**Bergische Universität Wuppertal**

PD Dr.-Ing. habil. N. Schlüter

## Agenda

- Einleitung
- Problem- und Zielstellung aus wissenschaftlicher Sicht
- KAUSAL-Methodik am Beispiel eines autonomen Roboters
- Schnittstellen zwischen der KAUSAL-Methodik und Normen / Fehleranalysemethoden
- Fehlerketten in der Produktion
- Fazit und Ausblick



Quelle: <https://www.colourbox.de/education>



## Herausforderungen bei der Fehlersuche in der Produktion



Quelle: <https://www.colourbox.de/education>



Komplexe Fehlerketten erkennen –  
Wie die Nadel im Heuhaufen effizienter gefunden werden kann  
Webveranstaltung: Weniger Störungen in der automatisierten Fabrik, 03.06.2020



## Herausforderungen bei der Fehlersuche in der Produktion

- Informationen aufbereiten:
  - verständlich
  - relevant
  - zeitnah
  - für Entscheidung
- Bedürfnisse der Produktionsmitarbeiter:
  - Unterstützung
  - Handlungssicherheit
  - Verständnis des Systems
  - Komplexe Sachverhalte verständlich aufbereitet



Die Theorie besagt: Model Based Systems Engineering, aber...

Quelle: <https://www.colourbox.de/education>



## Herausforderungen bei der Fehlersuche in der Produktion



### Mängelliste:

- ein Ölleck im Triebwerk,
- Probleme mit den Bremsen,
- ein Riss in einem Cockpit-Fenster,
- ein Brand an Bord einer leeren Maschine.

[2]

Experten aus der Luftfahrtbranche sehen die Pannenserie des Dreamliners gelassen.

"Das sind normale Kinderkrankheiten", lautet der einhellige Kommentar. Die Argumentation lautet:

„Bei einem so komplexen Flugzeug mit allen möglichen technischen Neuheiten seien Probleme unmittelbar nach der Markteinführung kaum zu vermeiden...“ [3]

Quellen:

- [1] <http://www.shortnews.de/id/997947/usa-ruetrueck-aller-boeing-787-dreamliner>, 05.12.2012
- [2] [franchiseherald.com](http://franchiseherald.com)
- [3] <http://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/pannenserie-beim-dreamliner-boeings-probleme-mit-der-787-a-877083.html>



Das kann sich der Mittelstand nicht leisten...



## Zunehmende Komplexität durch die steigende Anzahl elektrischer und elektronischer Komponenten:

- Erhöhte Anzahl von potentiellen Fehlerquellen mit komplexen Fehlerfolgen.
- Die Problematik ist besonders ausschlaggebend bei sicherheitskritischen Systemen.
- Aktuelle Normen liefern keine Vorgehensweise und Methoden der Fehleranalyse (z. B. FMEA, FTA usw.), um bei komplexen Systemen potentielle Fehler und sicherheitskritische Faktoren frühzeitig zu identifizieren.



## Wissenschaftliche und wirtschaftliche Fragestellung:

- Sind Methoden der Fehleranalyse, welche in den 70-er und 80-er Jahren entwickelt worden sind, ausreichend, um Fehler mit deren Folgen in komplexen Systemen zu identifizieren? [1]



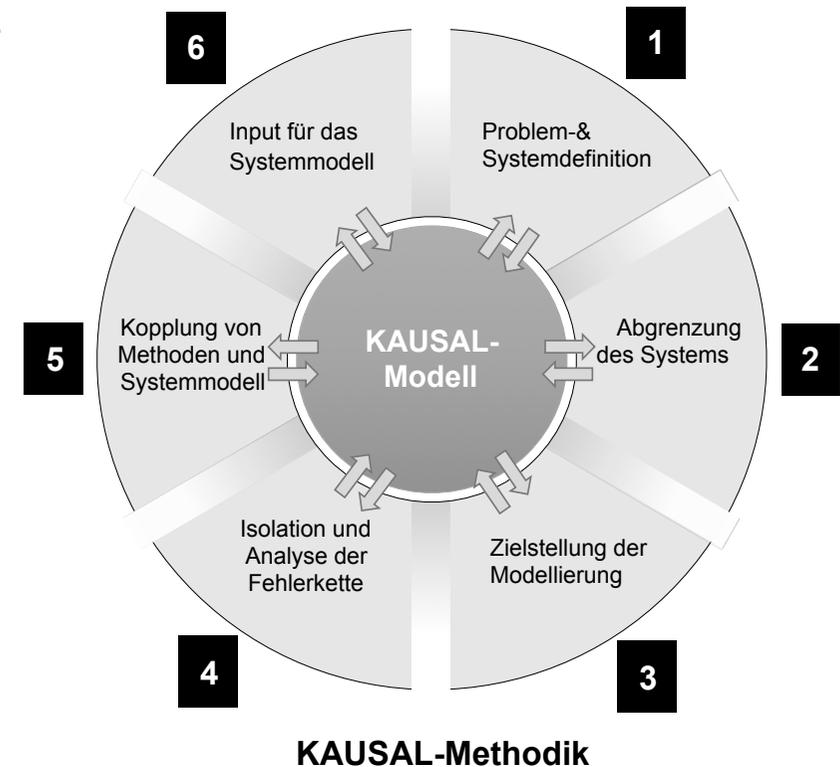
Quelle: [1] Schnellbach, A.: Komplexität ist ein Feind mit vielen Gesichtern. In Qualität und Zuverlässigkeit, Hanser Verlag, Ausgabe 7, 2016, S. 11-13.



### Verbesserungspotenziale mithilfe der KAUSAL-Methodik nutzen :

KAUSAL ist eine interdisziplinäre Methodik zur modellbasierten Analyse und transparenten Darstellung von Kausalketten der Fehlerentstehung in komplexen Systemen.

- Ziele:
  - Präventive Vermeidung potenzieller Fehler.
  - Das Verständnis des Systems zu erhöhen und Brücken zu schlagen zwischen den Ingenieursdisziplinen.
  - Die resultierende Methodik soll Kausalketten der Fehlerentstehung in ihrer vollen Länge abbilden.



Quelle: <https://www.fgproq.uni-wuppertal.de/forschung/kausal.html>



## KAUSAL-Methodik am Beispiel eines autonomen Roboters



Anwendung der Methodik erfolgte im Rahmen eines Workshops an der FH Soest in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet Schaltungstechnik und Industrieelektronik.

- Das Fachgebiet entwickelte einen autonomen Roboter (4WD) mit der Hauptfunktion, die Umgebung selbständig zu erkunden und dabei automatisch Karten zu generieren.
- In der Testphase ist das Ereignis aufgetreten, dass der Roboter Hindernissen nicht ausweichen konnte.



Quelle: Bielefeld, O.; Dransfeld, H.; Schlüter, N. : Entwicklung eines Vorgehenskonzeptes zur Analyse von Fehlerfolgenketten in komplexen Systemen In: VDI-Berichte 2307 zur 28. Tagung Technische Zuverlässigkeit (TTZ) „Entwicklung und Betrieb zuverlässiger Produkte“, Stuttgart, 17. und 18. Mai 2017, ISBN 978-3-18-092307-9, S. 177-188 <https://www.fgproq.uni-wuppertal.de/forschung/kausal.html>



Komplexe Fehlerketten erkennen –  
Wie die Nadel im Heuhaufen effizienter gefunden werden kann  
Webveranstaltung: Weniger Störungen in der automatisierten Fabrik, 03.06.2020

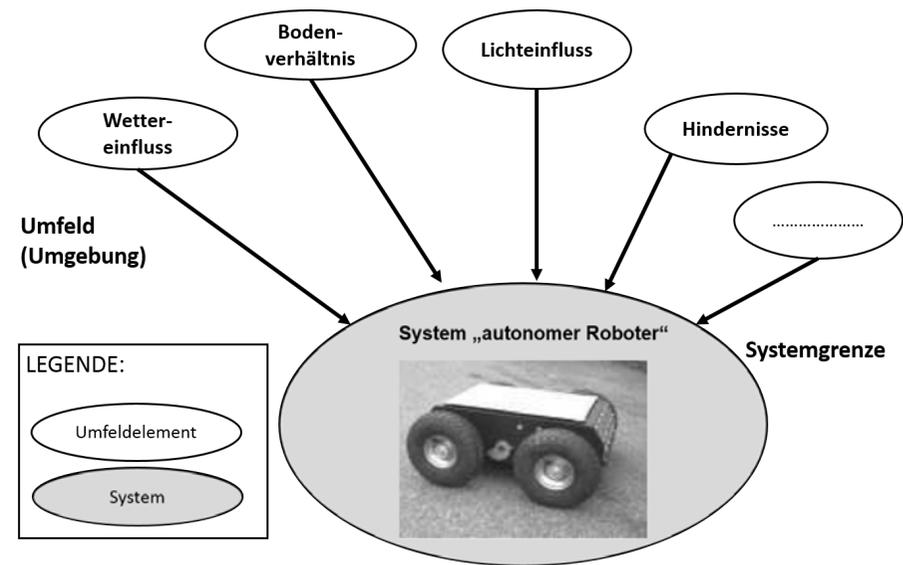
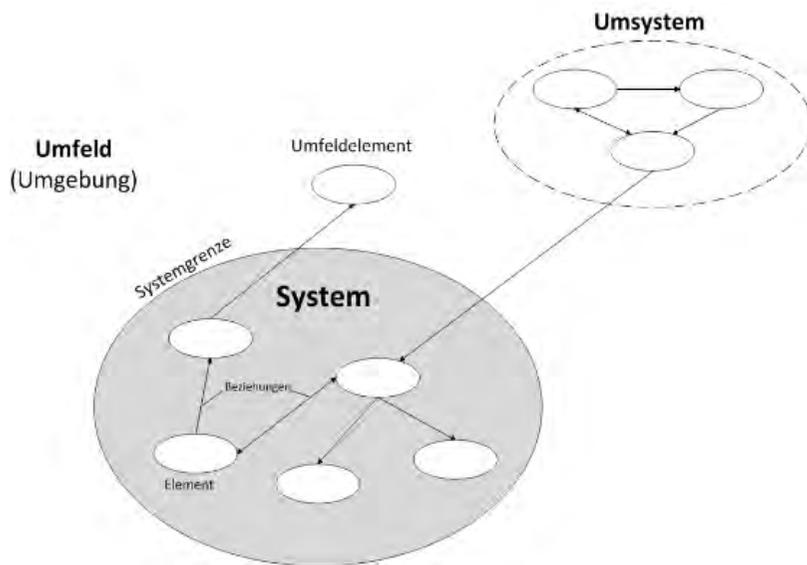
9

BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL

# KAUSAL-Methodik am Beispiel eines autonomen Roboters



## Systemabgrenzung des autonomen Roboters nach Haberfellner



Quelle: Haberfellner, R.; Fricke, E.; de Weck, O.; Vössner, S. (2012): Systems Engineering - Grundlagen und Anwendungen Orell Füssli Verlag Zürich 2012. ISBN 978-3-280-04068-3.



Komplexe Fehlerketten erkennen –  
Wie die Nadel im Heuhaufen effizienter gefunden werden kann  
Webveranstaltung: Weniger Störungen in der automatisierten Fabrik, 03.06.2020



Überführung des realen Produktsystems in das standardisierte, fachdisziplinübergreifende DeCoDe-Denkmodell (Systemmodellierung)

Systemgrenze



DeCoDe Modell

Anforderungen	Funktionen	Prozesse	Komponenten	
				Anforderungen
				Funktionen
				Prozesse
				Komponenten

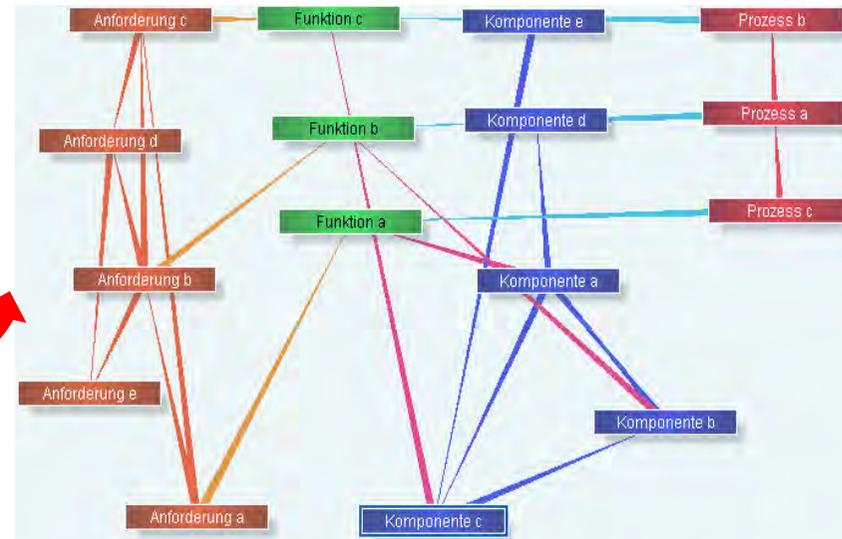
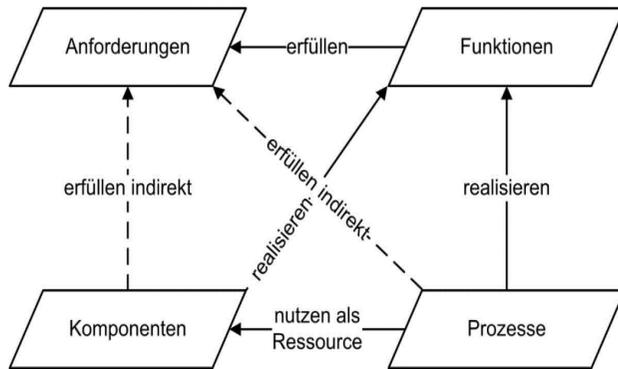
Quelle: Bielefeld, O.; Dransfeld, H.; Schlüter, N. : Entwicklung eines Vorgehenskonzeptes zur Analyse von Fehlerfolgenketten in komplexen Systemen In: VDI-Berichte 2307 zur 28.Tagung Technische Zuverlässigkeit (TTZ) „Entwicklung und Betrieb zuverlässiger Produkte“, Stuttgart, 17. und 18.Mai 2017, ISBN 978-3-18-092307-9, S. 177-188 <https://www.fgproq.uni-wuppertal.de/forschung/kausal.html>



Komplexe Fehlerketten erkennen –  
Wie die Nadel im Heuhaufen effizienter gefunden werden kann  
Webveranstaltung: Weniger Störungen in der automatisierten Fabrik, 03.06.2020

# KAUSAL-Methodik am Beispiel eines autonomen Roboters

## Nutzung von LOOME0 als Werkzeug im Rahmen des Systems Engineering



Darstellung einer Multi-Domain Matrix (MDM) in der Software LOOME0  
(Abbildung aus LOOME0)

Quelle: Bielefeld, O.; Dransfeld, H.; Schlüter, N.: Entwicklung eines Vorgehenskonzeptes zur Analyse von Fehlerfolgenketten in komplexen Systemen In: VDI-Berichte 2307 zur 28.Tagung Technische Zuverlässigkeit (TTZ) „Entwicklung und Betrieb zuverlässiger Produkte“, Stuttgart, 17. und 18.Mai 2017, ISBN 978-3-18-092307-9, S. 177-188 <https://www.fgproq.uni-wuppertal.de/forschung/kausal.html>



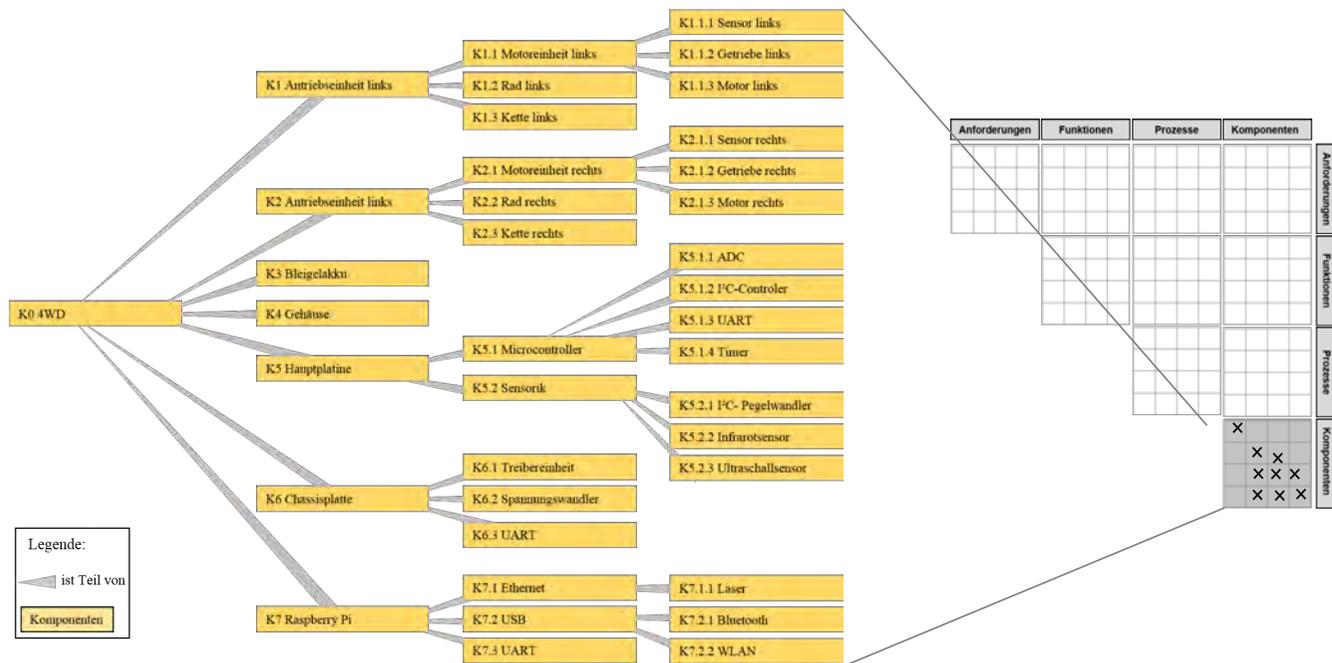
Komplexe Fehlerketten erkennen –  
Wie die Nadel im Heuhaufen effizienter gefunden werden kann  
Webveranstaltung: Weniger Störungen in der automatisierten Fabrik, 03.06.2020

# KAUSAL-Methodik am Beispiel eines autonomen Roboters

## Design Structure Matrix (DSM)



- Beispielhafte Vernetzung zwischen einzelnen Komponenten für die Erstellung einer Komponentenhierarchie (x = Teil von).



Quelle: Bielefeld, O.; Dransfeld, H.; Schlüter, N. : Entwicklung eines Vorgehenskonzeptes zur Analyse von Fehlerfolgenketten in komplexen Systemen In: VDI-Berichte 2307 zur 28.Tagung Technische Zuverlässigkeit (TTZ) „Entwicklung und Betrieb zuverlässiger Produkte“, Stuttgart, 17. und 18.Mai 2017, ISBN 978-3-18-092307-9, S. 177-188 <https://www.fgproq.uni-wuppertal.de/forschung/kausal.html>



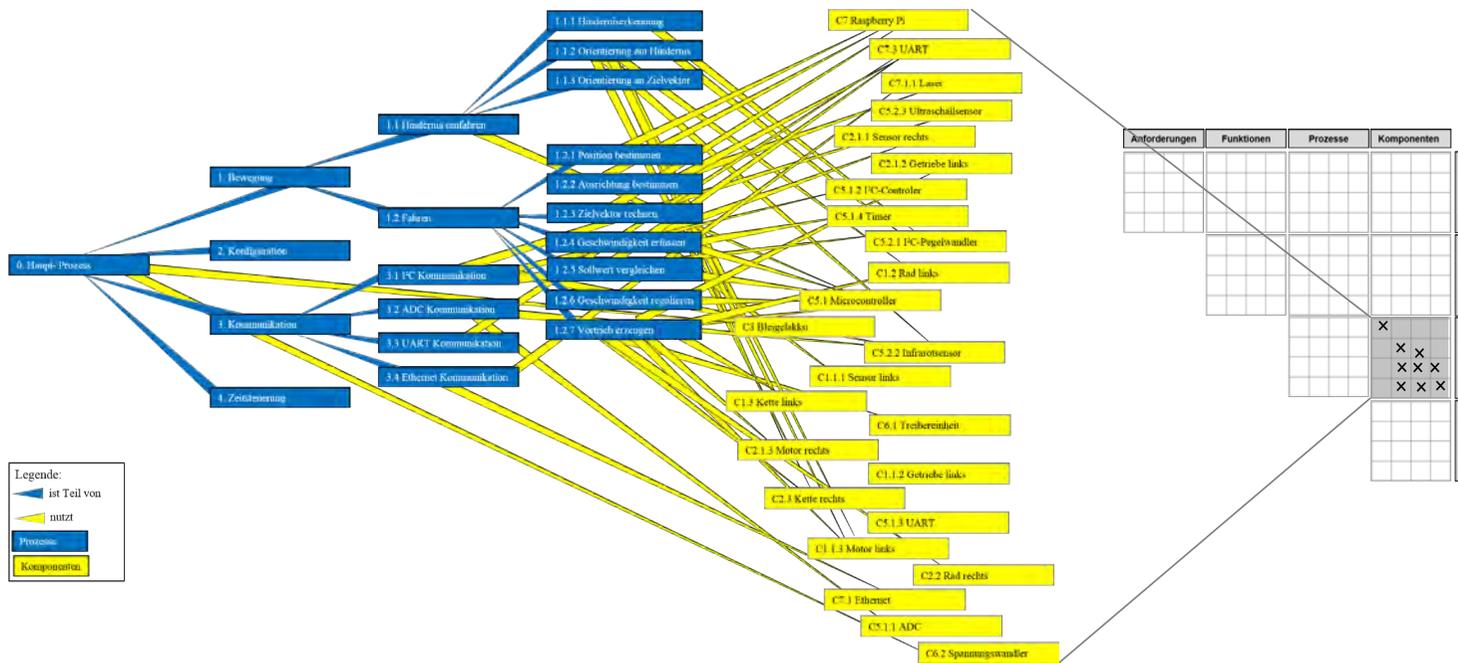
Komplexe Fehlerketten erkennen –  
 Wie die Nadel im Heuhaufen effizienter gefunden werden kann  
 Webveranstaltung: Weniger Störungen in der automatisierten Fabrik, 03.06.2020

# KAUSAL-Methodik am Beispiel eines autonomen Roboters

## Domain Mapping Matrix (DMM)



- Beispiel DMM 4 WD Roboter (Komponenten, welche von jeweiligen Prozessen genutzt werden)



Quelle: Bielefeld, O.; Dransfeld, H.; Schlüter, N. : Entwicklung eines Vorgehenskonzeptes zur Analyse von Fehlerfolgenketten in komplexen Systemen In: VDI-Berichte 2307 zur 28.Tagung Technische Zuverlässigkeit (TTZ) „Entwicklung und Betrieb zuverlässiger Produkte“, Stuttgart, 17. und 18.Mai 2017, ISBN 978-3-18-092307-9, S. 177-188 <https://www.fgproq.uni-wuppertal.de/forschung/kausal.html>



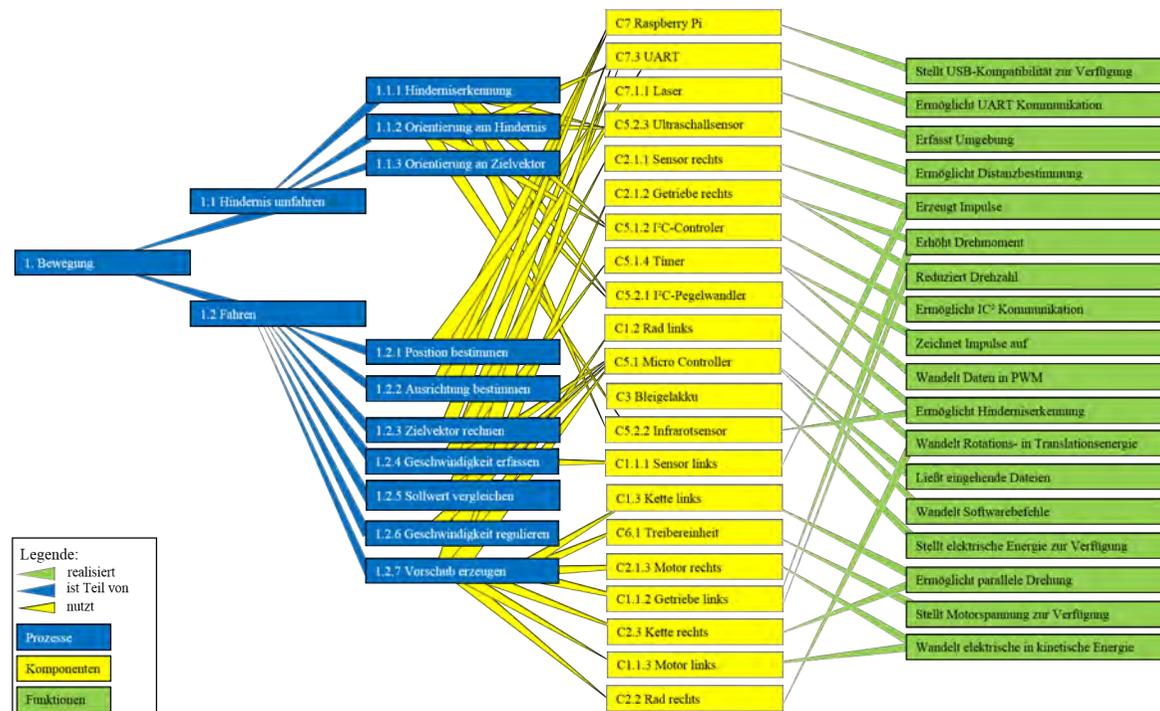
Komplexe Fehlerketten erkennen –  
Wie die Nadel im Heuhaufen effizienter gefunden werden kann  
Webveranstaltung: Weniger Störungen in der automatisierten Fabrik, 03.06.2020

# KAUSAL-Methodik am Beispiel eines autonomen Roboters

## Domain Mapping Matrix (DMM)



- Beispiel MDM 4 WD Roboter (Vernetzung zwischen Prozesshierarchie mit Komponenten und Funktionen)



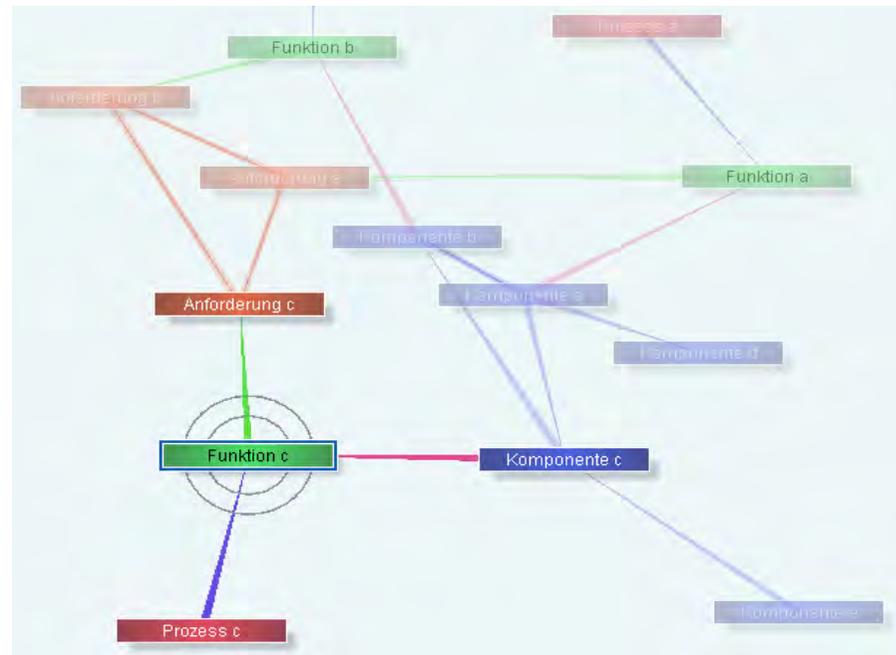
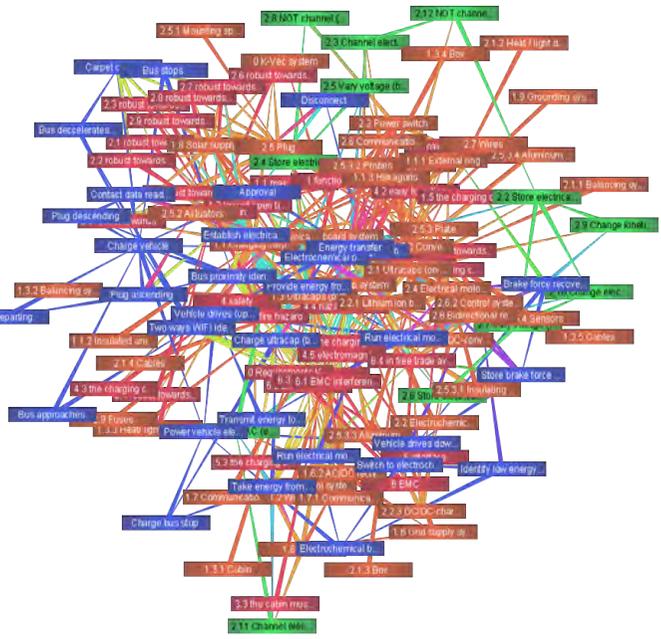
Quelle: Bielefeld, O.; Dransfeld, H.; Schlüter, N. : Entwicklung eines Vorgehenskonzeptes zur Analyse von Fehlerfolgenketten in komplexen Systemen In: VDI-Berichte 2307 zur 28.Tagung Technische Zuverlässigkeit (TTZ) „Entwicklung und Betrieb zuverlässiger Produkte“, Stuttgart, 17. und 18.Mai 2017, ISBN 978-3-18-092307-9, S. 177-188 <https://www.fgproq.uni-wuppertal.de/forschung/kausal.html>



Komplexe Fehlerketten erkennen –  
Wie die Nadel im Heuhaufen effizienter gefunden werden kann  
Webveranstaltung: Weniger Störungen in der automatisierten Fabrik, 03.06.2020

# KAUSAL-Methodik am Beispiel eines autonomen Roboters

## Umgebungsfunktion



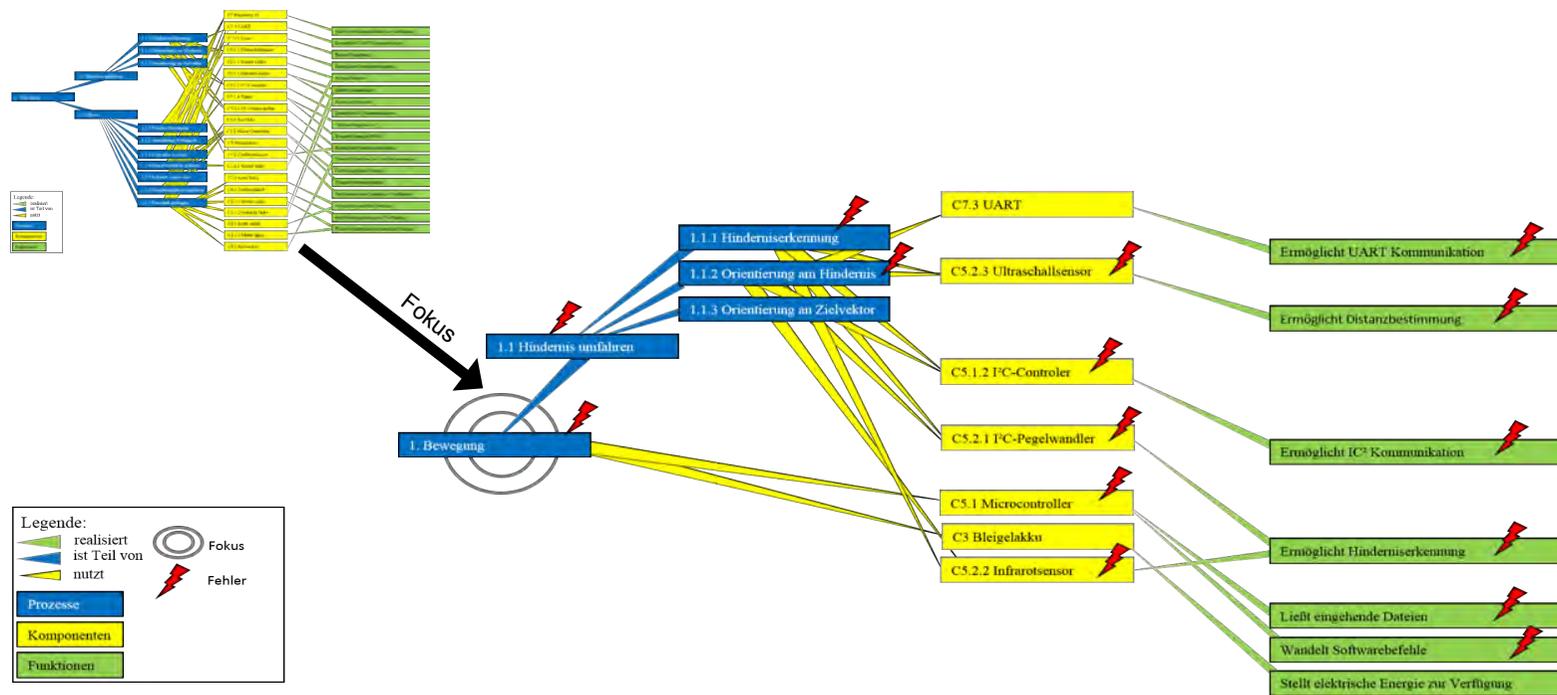
Quelle: Bielefeld, O.; Dransfeld, H.; Schlüter, N. : Entwicklung eines Vorgehenskonzeptes zur Analyse von Fehlerfolgenketten in komplexen Systemen In: VDI-Berichte 2307 zur 28.Tagung Technische Zuverlässigkeit (TTZ) „Entwicklung und Betrieb zuverlässiger Produkte“, Stuttgart, 17. und 18.Mai 2017, ISBN 978-3-18-092307-9, S. 177-188 <https://www.fgpro.uni-wuppertal.de/forschung/kausal.html>

 Komplexe Fehlerketten erkennen –  
Wie die Nadel im Heuhaufen effizienter gefunden werden kann  
Webveranstaltung: Weniger Störungen in der automatisierten Fabrik, 03.06.2020

# KAUSAL-Methodik am Beispiel eines autonomen Roboters



## Isolation und Analyse der Fehlerketten in einer MDM mit der Fokusfunktion



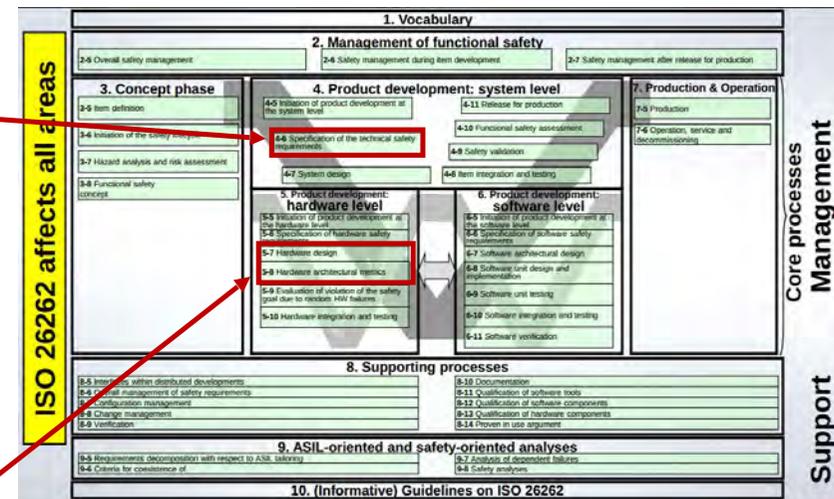
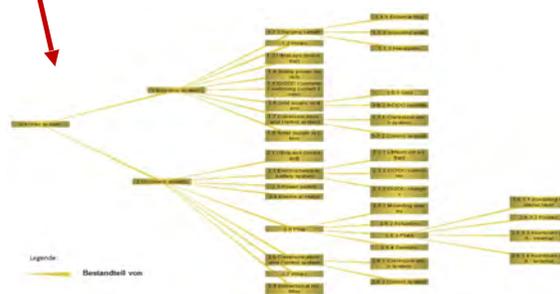
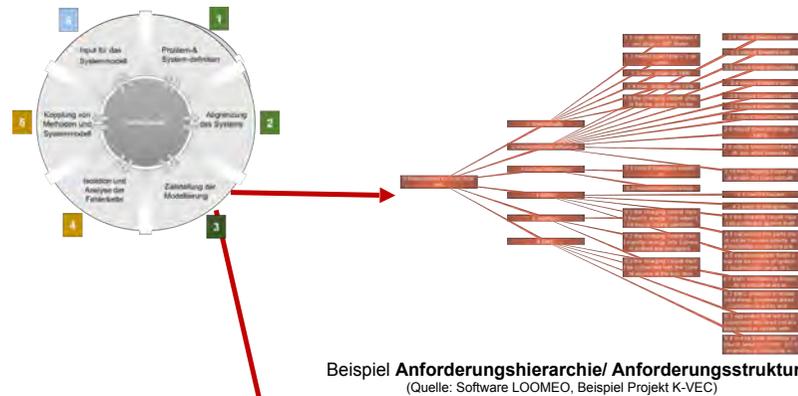
Quelle: Bielefeld, O.; Dransfeld, H.; Schlüter, N. : Entwicklung eines Vorgehenskonzeptes zur Analyse von Fehlerfolgenketten in komplexen Systemen In: VDI-Berichte 2307 zur 28.Tagung Technische Zuverlässigkeit (TTZ) „Entwicklung und Betrieb zuverlässiger Produkte“, Stuttgart, 17. und 18.Mai 2017, ISBN 978-3-18-092307-9, S. 177-188 <https://www.fgproq.uni-wuppertal.de/forschung/kausal.html>



Komplexe Fehlerketten erkennen –  
Wie die Nadel im Heuhaufen effizienter gefunden werden kann  
Webveranstaltung: Weniger Störungen in der automatisierten Fabrik, 03.06.2020

## Schnittstellen zwischen der KAUSAL-Methodik und Normen (bspw. Funktionale Sicherheit)

- Das KAUSAL - Systemmodell liefert Input für die Produktentwicklung entlang des V-Modells (z. B. für die Sicherheitsanforderungen oder die Komponentenstruktur (Hardwaredesign und Hardwarearchitektur))



Quelle: Bielefeld, O.; Dransfeld, H.; Schlüter, N.: Entwicklung eines Vorgehenskonzeptes zur Analyse von Fehlerfolgenketten in komplexen Systemen In: VDI-Berichte 2307 zur 28.Tagung Technische Zuverlässigkeit (TTZ) „Entwicklung und Betrieb zuverlässiger Produkte“, Stuttgart, 17. und 18.Mai 2017, ISBN 978-3-18-092307-9, S. 177-188 <https://www.fgpro.uni-wuppertal.de/forschung/kausal.html>



Komplexe Fehlerketten erkennen –  
Wie die Nadel im Heuhaufen effizienter gefunden werden kann  
Webveranstaltung: Weniger Störungen in der automatisierten Fabrik, 03.06.2020

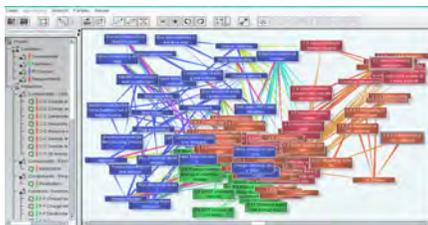
18



BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL

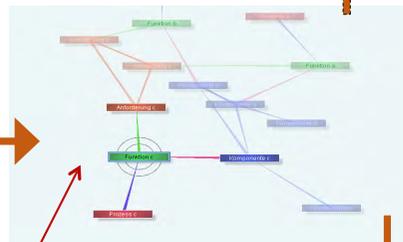
## Schnittstellen zwischen der KAUSAL-Methodik und Fehleranalysemethoden

- Gezielte Prognosen über Komponentenverhalten und Auswirkung potentieller Komponentenausfälle auf das Teil- oder Gesamtsystem.



FTA  
RBD  
Bow Tie  
FMEA  
FMECA

Systemelement	Mögliche Fehlerfolge	Möglicher Fehler	Mögliche Fehlerursache	Vermeidungsmaßnahmen	Entdeckungsmaßnahmen	ERPFZ	WT
Messstation	Komponenten/ Funktion/ Fehlfunktion	Komponenten/ Funktion/ Fehlfunktion	Anforderung/ Nicht erfüllte Anforderung				
		→ Komponente a → Komponente b	Das System wird geschaltet	Durchführung von regelmäßigen Bedienerschulungen		3	48
		→ Komponente c	Die Komponente a (P1) hat 2 spez. definierte Ausfallmodi (P2 & P3) die durch die Komponente b (P4) zu den Ausfall führen		Durchführung von regelmäßigen Messungen der relativen Luftfeuchte und Temperatur direkt an der Messstation	6	1
		→ Komponente d	Die relative Luftfeuchte ist (%) über dem spez. Wert (P5) bei 100% Luftfeuchte (P6) & 100% Luftfeuchte (P7) & 100% Luftfeuchte (P8)		Überprüfung, ob das Material die erforderliche Festigkeit hat	1	32
		→ Komponente e	Die relative Luftfeuchte ist (%) über dem spez. Wert (P9) bei 100% Luftfeuchte (P10) & 100% Luftfeuchte (P11) & 100% Luftfeuchte (P12)			4	1



Nutzung der Umgebungsfunktion in LOOME



Quelle: Bielefeld, O.; Dransfeld, H.; Schlüter, N. : Entwicklung eines Vorgehenskonzeptes zur Analyse von Fehlerfolgenketten in komplexen Systemen In: VDI-Berichte 2307 zur 28. Tagung Technische Zuverlässigkeit (TTZ) „Entwicklung und Betrieb zuverlässiger Produkte“, Stuttgart, 17. und 18.Mai 2017, ISBN 978-3-18-092307-9, S. 177-188 <https://www.fgproq.uni-wuppertal.de/forschung/kausal.html>

Aktivsumme, Passivsumme und Kritikalität können in LOOME gebildet und als Diagramme dargestellt werden

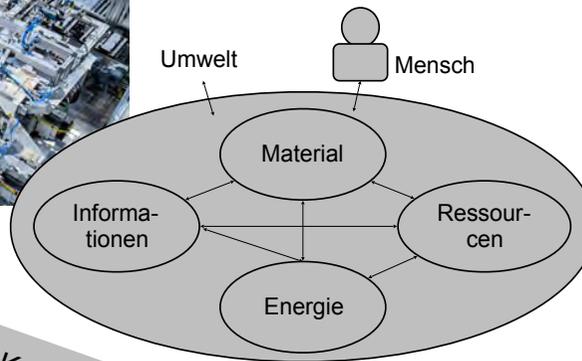


Komplexe Fehlerketten erkennen –  
Wie die Nadel im Heuhaufen effizienter gefunden werden kann  
Webveranstaltung: Weniger Störungen in der automatisierten Fabrik, 03.06.2020

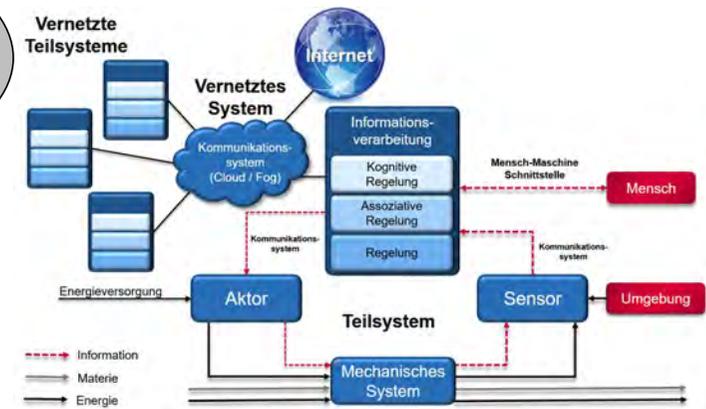
Aus Sicht der Systemtheorie ...



Quelle: <https://www.colourbox.de/education>



Handhabung von Komplexität durch Modellbildung

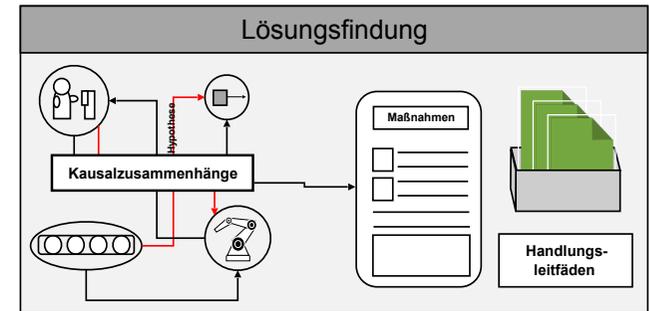
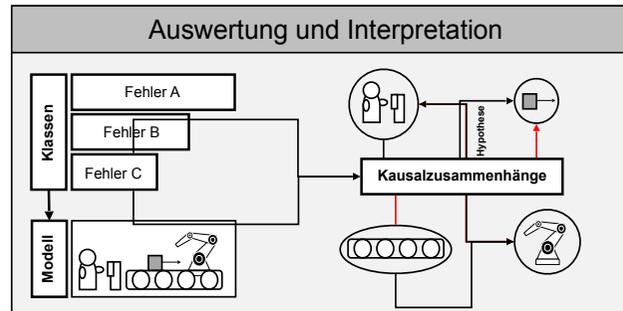
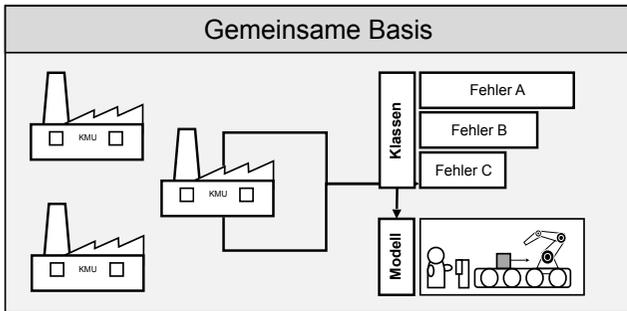


Quelle: <https://blog.zhaw.ch/industrie4null/author/meeo/page/3/>



Aus Sicht der Industrie ...

Wunsch oder Realität?



Gibt es überhaupt ein umfassendes Abbild der Produktion, das einheitlich ist?

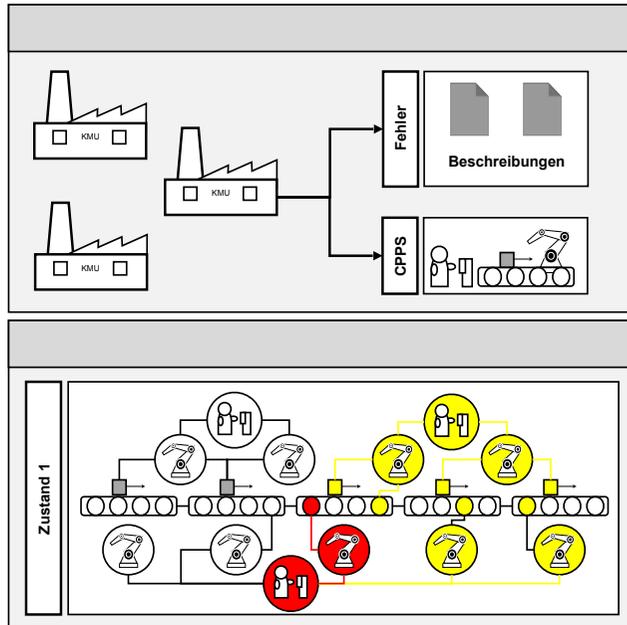
Sind die Fehleranalysemethoden bei langen, komplexen Fehlerketten kombinierbar?

Weiß der Produktionsmitarbeiter, was zu tun ist?  
Ist er handlungssicher?

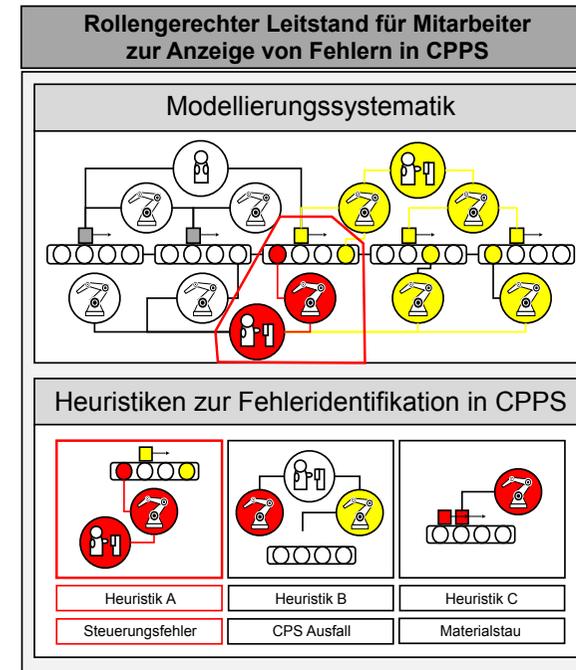


Für die Industrie ...

Was ist die Mission?



Komplexe Fehler so aufbereiten,...

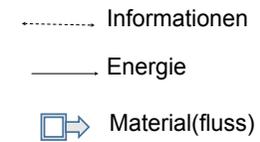


...dass jeder Produktionsmitarbeiter handlungssicher ist.

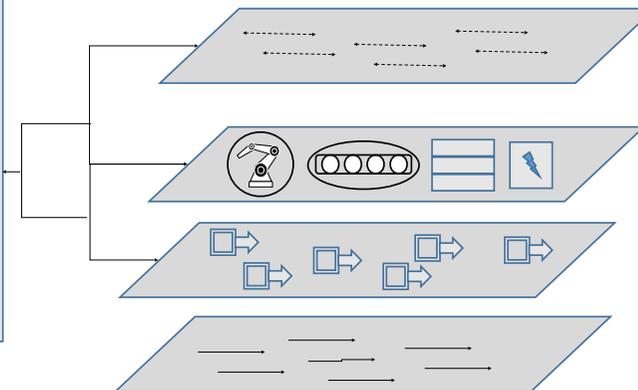
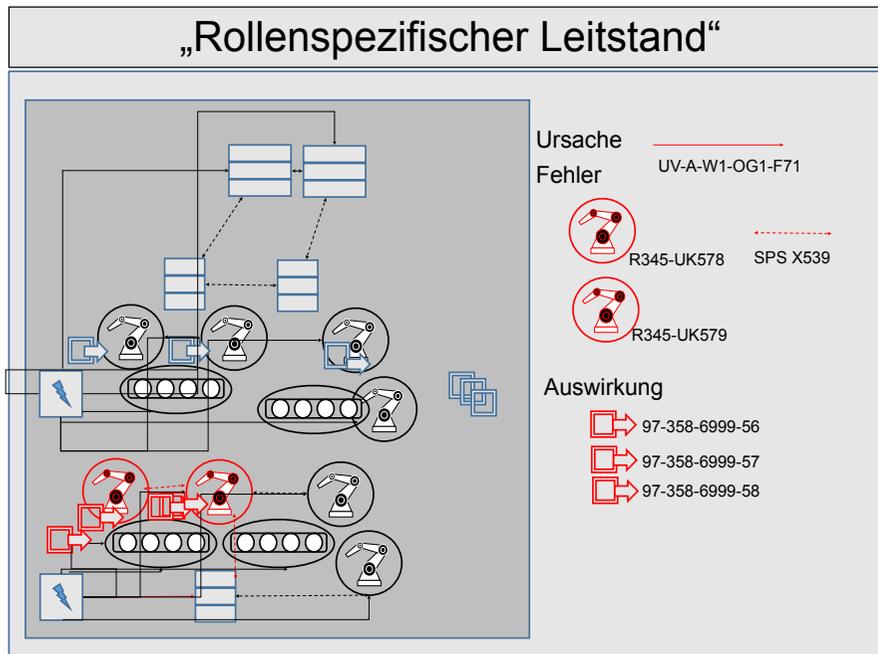
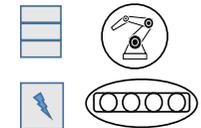


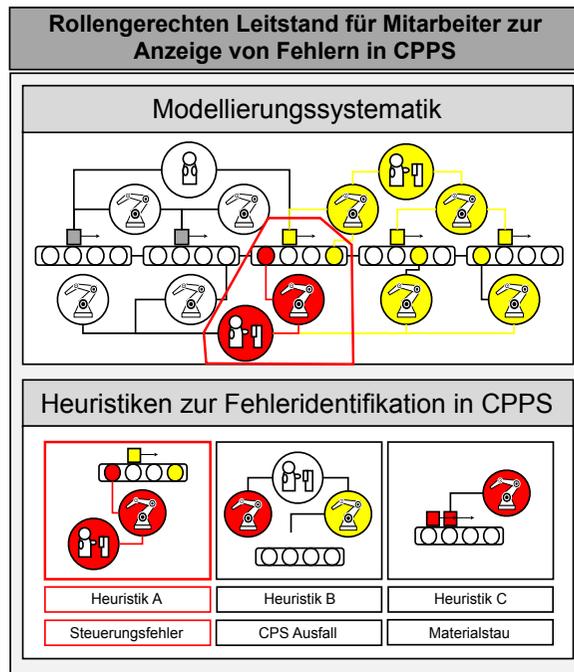
Für die Industrie ...

Was ist die Vision?



Ressourcen:





Welche Kompetenzprofile muss ich berücksichtigen?  
 Wie wirken diese sich auf meinen Leitstand aus?  
 Wie schule ich, wenn Bedarf?

Wie modelliere ich den Leitstand?  
 Wie modelliere ich möglichst effizient?

Wie kombiniere und analysiere ich Daten?  
 Welche Heuristiken benötige ich?



## Fazit und Ausblick

### Projektantrag „Digitales Fehlermanagement in Cyber-physischen Produktionssystemen“

- Beherrschung komplexer Fehlersituationen in CPPS
- Ebenenübergreifende Ursachenanalyse
- Identifikation von Handlungshilfen

#### Was ist für Sie zu tun?

1. Kontaktaufnahme
2. Klärung der Teilnahmefähigkeit
3. Planung von Mitwirkung und Ressourcenbedarf
4. Richtung des Projektes mit abstimmen

#### Ihr Vorteil:

- Verlässliche Gestaltung von CPPS
- Zeitnahe Regelkreise
- Pionierrolle mit Werbewirkung
- Staatliche Förderung
- Zukunftsfähige Unternehmensausrichtung

UNIVERSITÄT DER SAARLANDE  
Innovations- und System-  
Ingenieurprogramm

BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL

### Digitales Fehlermanagement in CPPS



Der Wandel einer Organisation zur Smart Factory beeinflusst das Fehlermanagement innerhalb einer Organisation. Die Potentiale der komplexeren Produktionssysteme werden bislang nicht operationalisiert und zeitnah geregelt. Handlungshilfen hierfür fehlen.

**Welche dieser Herausforderungen kennen Sie?**

- Ihr bestehendes Fehlermanagement ist nicht auf den stetigen Wandel in der Smart Factory ausgelegt → **Fehlende Beherrschung der Fehler**
- Es fehlt an Erfahrung, um die Lösungsfindung zur Abstellung der Fehler in der Smart Factory voran zu treiben → **Fehler werden nicht zeitnah abgestellt und beeinflussen die Produktion sowie die Produkte.**
- Sie können das Wissen aus Daten nicht effektiv für eine fehlerrobuste Produktentwicklung nutzen → **Potentiale zur Steigerung der Qualität des Produktes werden nicht ausgeschöpft.**

**Ihr Vorteil:**

- Verlässliche Gestaltung von CPPS
- Zeitnahe Regelkreise
- Pionierrolle mit Werbewirkung
- Staatliche Förderung
- Zukunftsfähige Unternehmensausrichtung



Quelle: <https://www.colourbox.de/education>



Komplexe Fehlerketten erkennen –  
Wie die Nadel im Heuhaufen effizienter gefunden werden kann  
Webveranstaltung: Weniger Störungen in der automatisierten Fabrik, 03.06.2020

25



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

## Kontakt

**Kontaktperson:** PD Dr.-Ing. habil. Nadine Schlüter

**Organisation:** Bergische Universität Wuppertal  
Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik  
Fachgebiet Produktsicherheit und Qualität

**Adresse:** Gaußstraße 20  
42119 Wuppertal

+49 (0)202 / 439-3184

**Telefon:** [schlueter@uni-wuppertal.de](mailto:schlueter@uni-wuppertal.de)

**E-Mail:** <http://www.psq.uni-wuppertal.de>

## Internet:



Komplexe Fehlerketten erkennen –  
Wie die Nadel im Heuhaufen effizienter gefunden werden kann  
Webveranstaltung: Weniger Störungen in der automatisierten Fabrik, 03.06.2020

