



Prof. Stark
Executive Consulting
Virtual Product Creation &
Future Automotive Engineering



Industrielle
Informationstechnik



Die Zukunft der Digitalisierung des Automotive Engineering und des vernetzten Fahrzeugs

Welche Fähigkeiten sind gefragt?

8. Mai 2025 | KONFERENZ-ZENTRUM FELLBACH | DIGITAL FUTUR CONNECT |  **ACONEXT**

Executive Consulting Virtual Product Creation & Future Automotive Engineering | Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark | 2025



Industrielle
Informationstechnik

Agenda

Wie sieht unser Fahrplan für den heutigen Expertenaustausch aus?

1

Die notwendigen Veränderungen in der Entwicklung von Fahrzeugen bzw. Fahrzeugsystemen

2

Erhöhung der Effizienz in den bestehenden Lösungen der virtuellen Produktentwicklung:

- Beschleunigung und Intensivierung der klassischen virtuellen Absicherung
- Beispiele im Rahmen der Gesamtfahrzeugattribute und der automobilen Teilsysteme:
 - Crash, NVH, Durability (FEM), Fahrdynamik (MKS)
 - Karosserie, Fahrwerk, Bremssysteme

3

Neue Entwicklungsmethoden und Ansätze für Teilsysteme des Fahrzeugs

- Neue MBSE-Fähigkeiten für intelligente Klappensysteme
- Neue MBSE-Fähigkeiten für Fahrwerks- und Bremssysteme

4

Aufbau und Etablierung neuer Formen der virtuellen Produktentstehung für das Gesamtfahrzeug

- Verzahnung von Software DevOps und klassischen V-Modell basiertem Systems Engineering mit MBSE
- MBSE für ADAS und hoch automatisiertes Fahren
- Notwendige Veränderungen in der Entwicklungszusammenarbeit

5

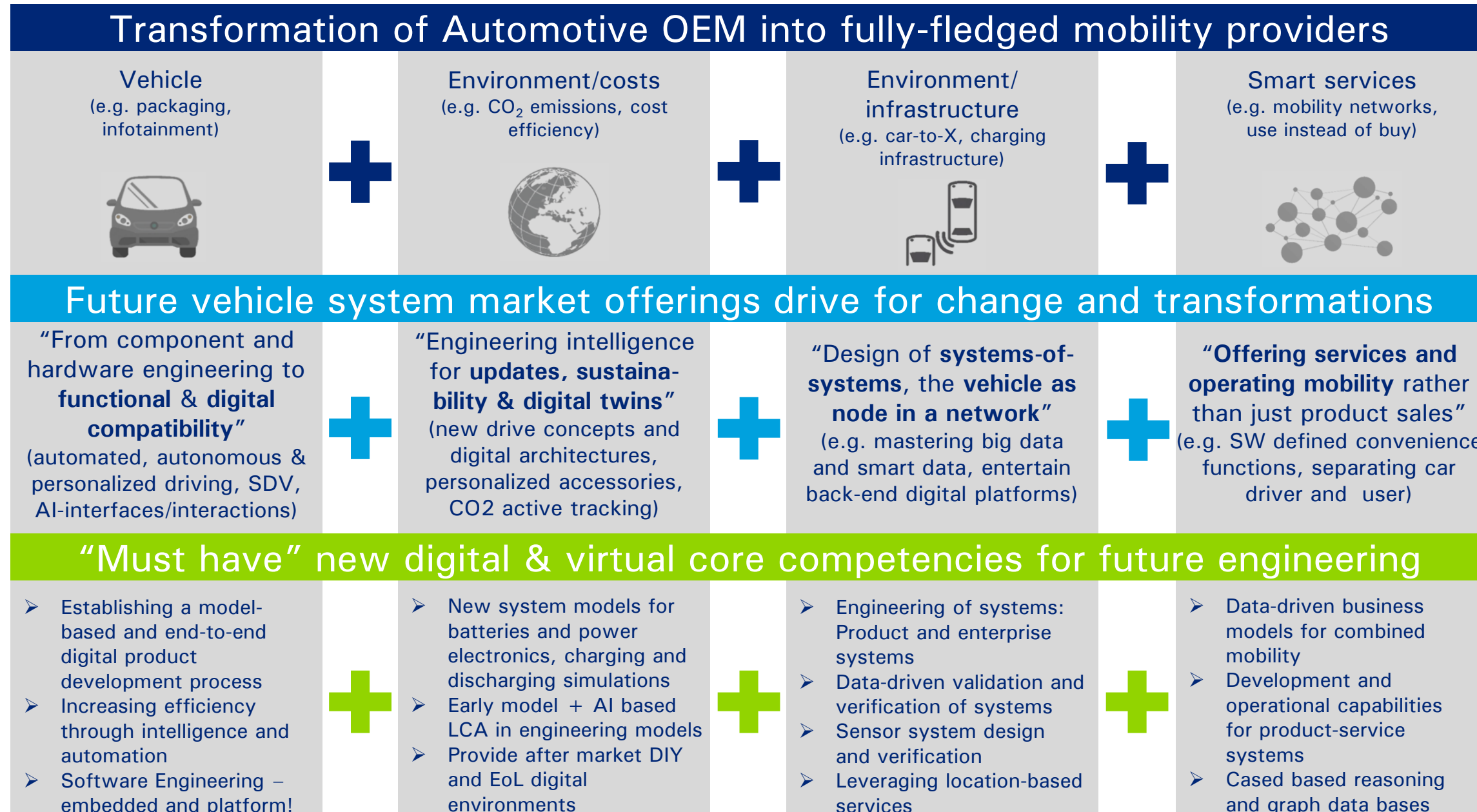
Fazit, nächste Schritte und Ausblick

Die notwendigen Veränderungen in der Entwicklung von Fahrzeugen bzw. Fahrzeugsystemen

1

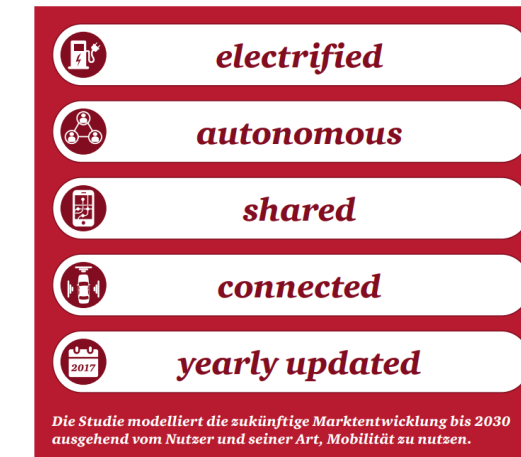


Motivation 1: Die Kernfähigkeiten zukünftiger Fahrzeugentwicklungen

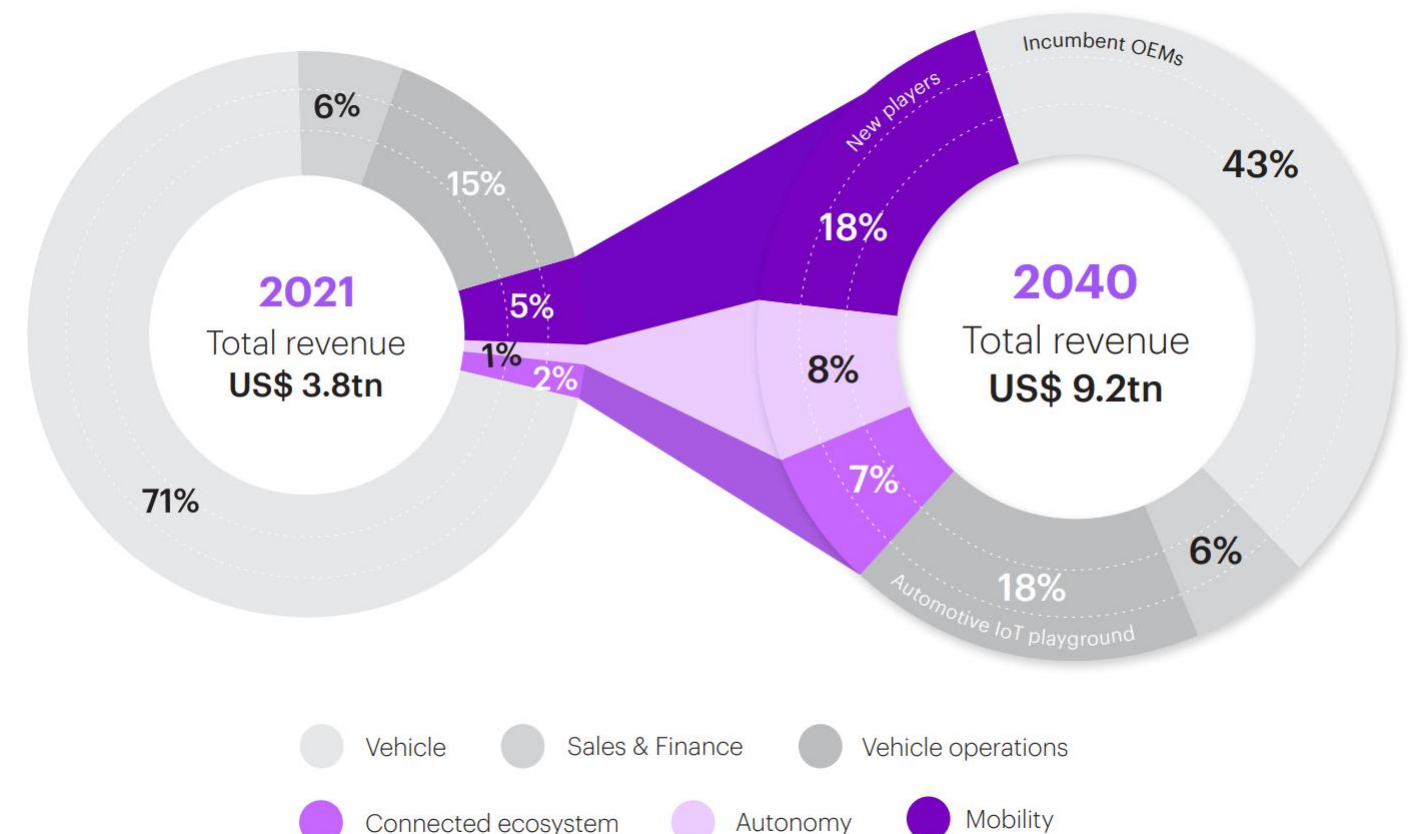


Motivation 2: Zunehmend digitalisierte Fahrzeugsysteme...

- Das Fahrzeug der Zukunft wird **elektrifiziert, autonom, geteilt, vernetzt** und **mindestens jährlich** aktualisiert sein. Einen Überblick dazu bietet das **Marktmodell EASCY**. Es werden Flexibilität und Anpassbarkeit gefragt sein.
- Dies führt dazu, dass zukünftig Fahrzeuge **hochgradig mechatronische, intelligente Geräte** sein werden, bei denen **Funktionen und Systeme durch Software gesteuert** werden.
- Das Konzept **Software Defined Vehicle (SDV)** wird hiermit eingeführt.
- Die **Softwareentwicklung nimmt eine führende Rolle** in der Automobilentwicklung ein, was zu einer Änderung der Wertschöpfungskette führt.
- Es erscheinen **neue Keyplayer**



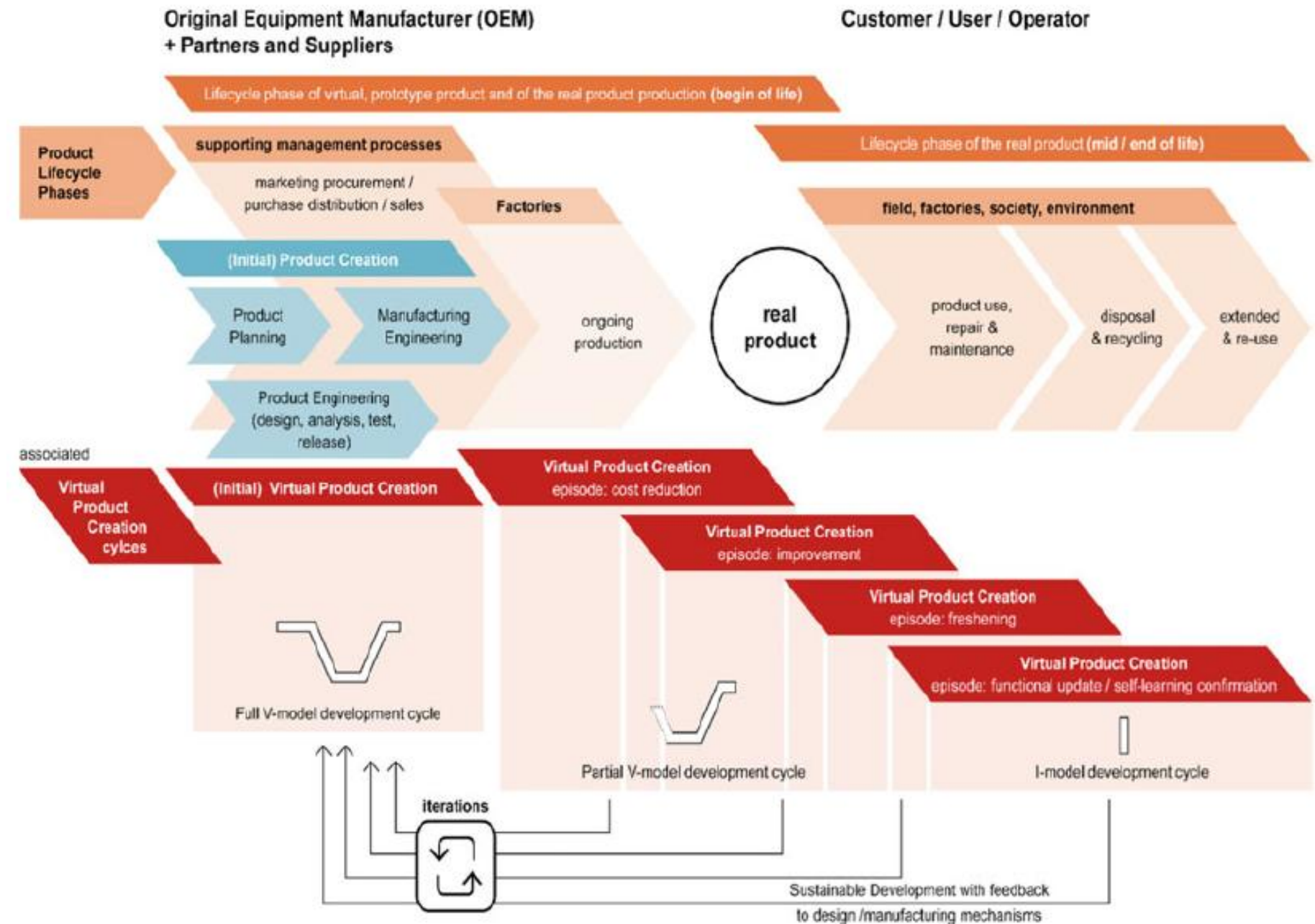
Quelle: pwc – eascy – Die 5 Dimensionen der Transformation der Automobilindustrie (2017)



Quelle: Accenture – Moving into the software-defined vehicle fast lane (2022)

Motivation 3: Verständnis/Veränderungen „Virtuelle Produktentstehung“

„**Virtual Product Creation** constitutes of all process steps and engineering activities (and their iterations) that use digital applications, IT tool functions, software algorithms, working methods and assessment and decision capabilities to create, modify, simulate, analyze, test, validate, verify, sign-off, release and exchange *virtual products* and their derivations.“ (p. 48)



Stark, R. (2022). Virtual Product Creation in Industry. Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-64301-3>

Erhöhung der Effizienz in den bestehenden Lösungen der virtuellen Produktentwicklung

2



Schwieriges Business Verständnis von virtuellen Prototypen ("road to rig to bit")

Vergleich: Kosten der Absicherung in einer Fahrzeug-Baureihe, neues Derivat auf einer bestehenden Plattform eines Automobil-OEM

1. Planung des Absicherungsprozesses

- Festlegung der funktionalen Attribute
- Testplanung
- Definition der Prototypen-Varianten

€ 150.000

Absicherung mit Virtuellen Prototypen

€ 150.000

- Festlegung der funktionalen Attribute
- Testplanung
- Definition der Prototypen-Varianten

2. Planung & Vorbereitung der Prototypen

- Entwicklung & Konstruktion der Komponenten & Systeme
- Freigabe der Komponenten & Systeme
- Erstellung Prototypen Stücklisten
- Erstellung des DMU

Fach-/Entwicklungs-
abteilungen

Fach-/Entwicklungs-
abteilungen

- Entwicklung & Konstruktion der Komponenten & Systeme
- Freigabe der Komponenten & Systeme
- Erstellung virtuelle Prototypen Stücklisten
- Erstellung des DMU der spezifischen Prototypen

3. Prototypen-Bestellung und –Bau

- Review der Prototypen-Stückliste
- Bestellung der Komponenten
- Fertigung & Transport der Komponenten
- Empfang und Kontrolle der Komponenten
- Inventarisieren der Komponenten
- Prototypenbau
- Abnahme der Prototypen (Testfertig)
- Update der Prototypen

€ 8.2 Mio

€ 1.3Mio

- Review des MRD (Material Required Date) Gateway
- Bestellung der CAE-Modelle der Zulieferer
- Lieferung der CAE-Modelle
- Zusammenbau der Rohkarosse und mit Klappen (Body in White / Body in Prime)
- Zusammenbau der spezifischen Gesamt-CAE Modelle (Bau des speziellen virtuellen Prototyps)
- Abnahme der CAE-Modelle (testfertig)
- Vereinbarte Updatezyklen der virtuellen Prototypen

4. Test, Analyse und Fazit

- Prüfstandtest
- Physische Test
- Analyse der Testergebnisse und Fazit

€ 2 Mio

€ 2 Mio

- Prüfstandtest (für ausgewählte Prototypen)
- Physische Test (für ausgewählte Prototypen)
- Analyse der Testergebnisse und Fazit

Achtung: Der zeitlich schnelle Aufbau der CAE-basierten Virtuellen Prototypen für ein Fahrzeugprojekt funktioniert nur, wenn die getesteten Kataloge von „schablonen-basierten“ Modellen hierfür existieren!

€ 13 Mio

€ 1.5 Mio

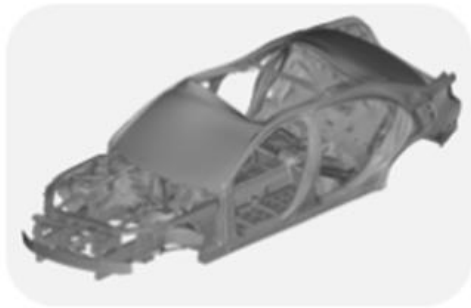
- Software, Lizenzen, Hardware, Strom, Rechenclusterkosten

€ 20 Mio - € 26 Mio

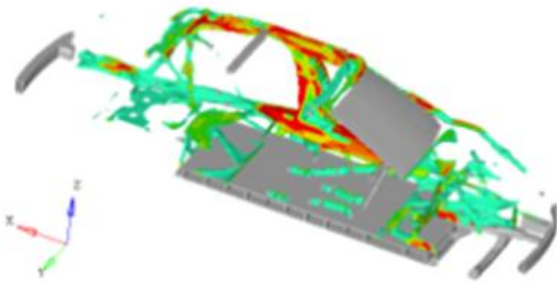
€ 4,5 – 5,5 Mio

→ Einsparungen von
€ 14,5 Mio bis € 21,5 Mio

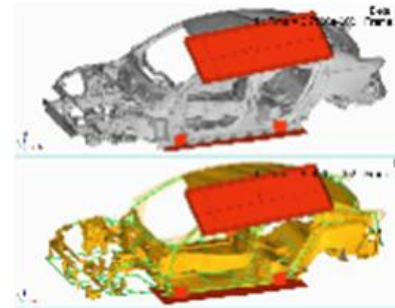
Beispiele für bisherige separate 3D DMU/CAE Simulationen als Teil der virtuellen Prototypen und Eigenschaftsabsicherungen im Fahrzeugbau



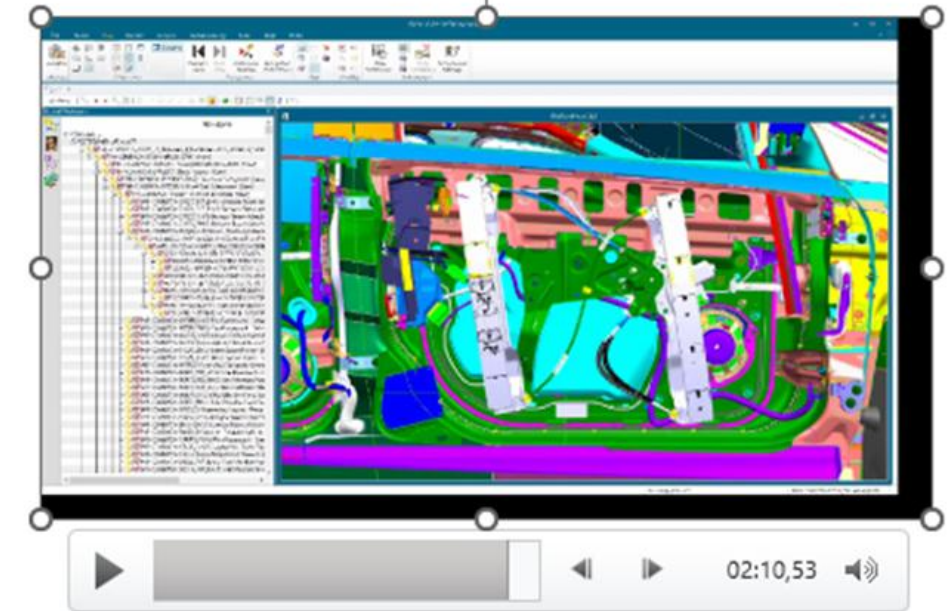
3D FEA NVH modal targets – BIW/ trimmed body



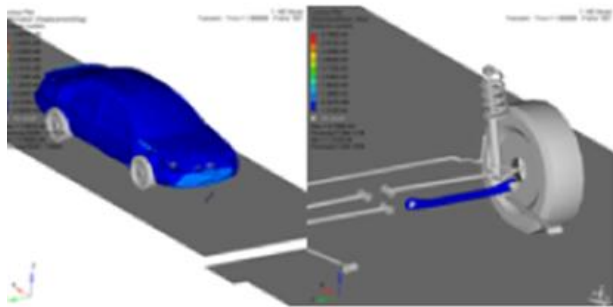
3D FEA topology optimization, concept investigations, load path identification



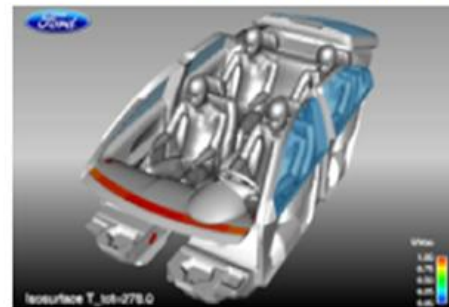
3D FEA roof crush



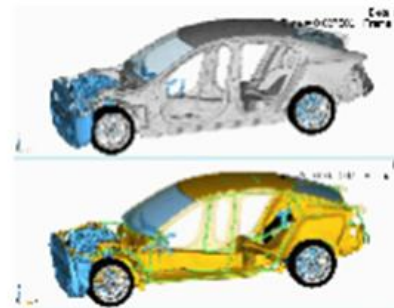
Interactive 3D DMU fly-through



3D MBS vehicle ride & handling



3D TASE interior cabin temperature flow



3D FEA front crash 56 km/h w. barrier



3D MBS suspension / tire clearance analysis

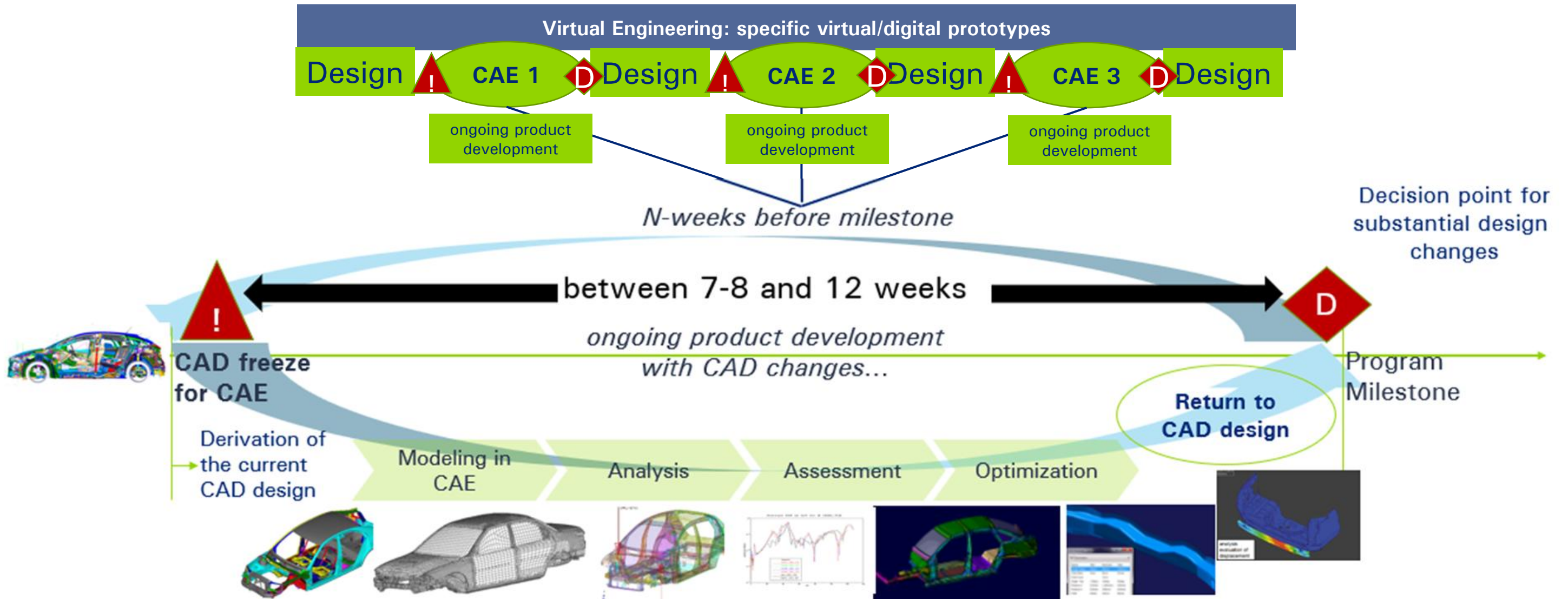


3D FEA dynamic flexibles analysis

Sources: Altair, Dassault Système, Ford, BMW, Audi

Sources: Altair, Dassault Système, Ford, BMW, Audi

Optimierung 1: Logik, Umfang & Ablauf der virtuellen Prototypenphasen



- Virtuelle Prototypen und nachfolgende Simulationsberechnungen des Gesamtfahrzeugs und der Karosserie werden ab den “Datenbereitstellungsterminen” (*freeze points*) in Zyklen von 7-8 Wochen (Leader) bis 12 Wochen erstellt und durchgeführt
- Die gesamte Engineering Iterationsphase CAD-CAE-CAD beträgt 4 (Leader) – 6 Monate
- Der gesamte Produktentstehungsprozess von *Projekt Kick-off* bis *Job 1* (Produktionsstart) dauert 2,5 (Leader) – 4 Jahre

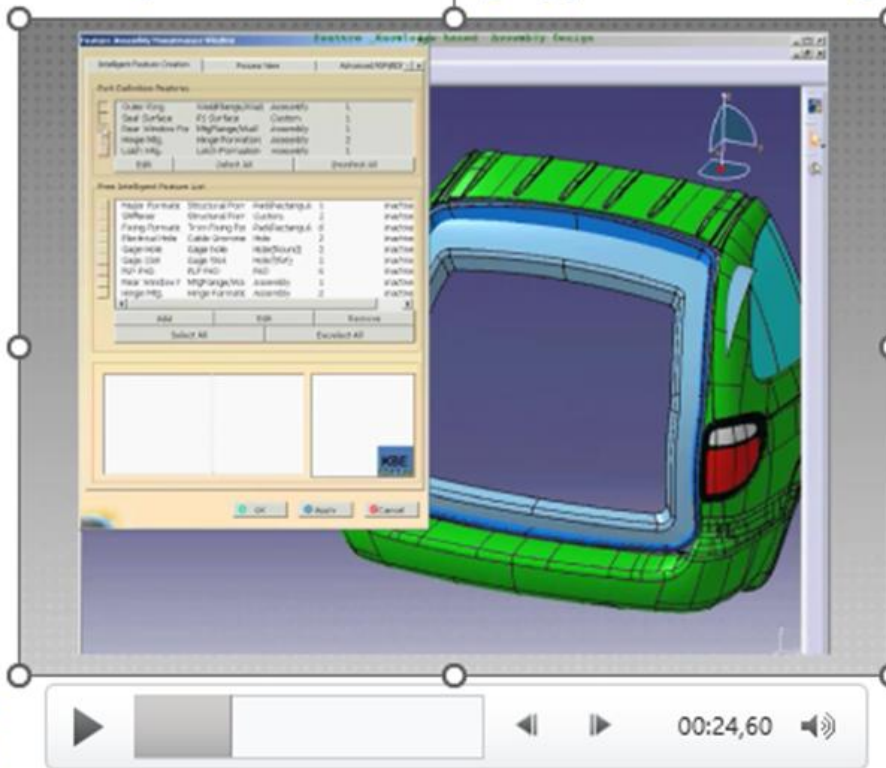
Optimierung 2: Automatisierte & intelligente CAD-Modellierung für den Entwurf und die Entwicklung vernetzter Fahrzeugsysteme

A Fahrzeug-Konzeptmodellierung



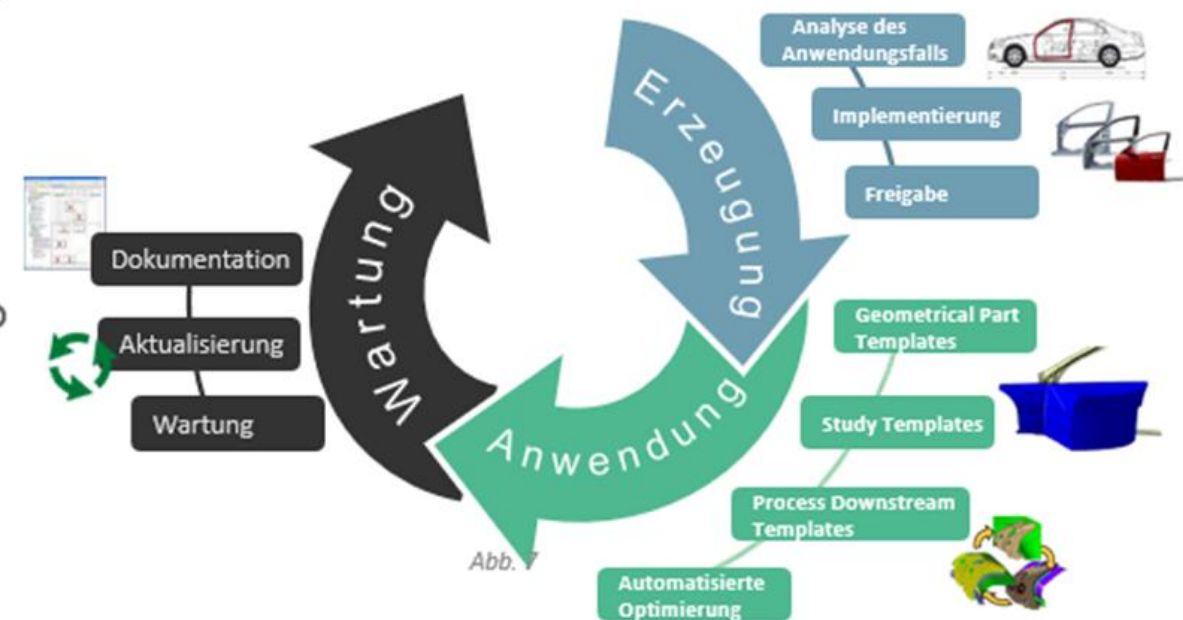
Source:
Dr.-Ing.
A. Hänschke, CPS

B Template-basierte Baugruppenmodellierung



Source:
Dr.-Ing.
A. Hänschke, CPS

C Template Lifecycle und Verantwortung



Source:
Prof. Stark, TU Berlin, Vorlesung „Parametrisch-assoziative Schablonentechnik in CAD-Systemen“ in der VL-Veranstaltung „Technologien der Virtuellen Produktentstehung“

“CAD first time right”

*higher quality by
associative &
knowledge templates
with time reduction by
more than 50%*



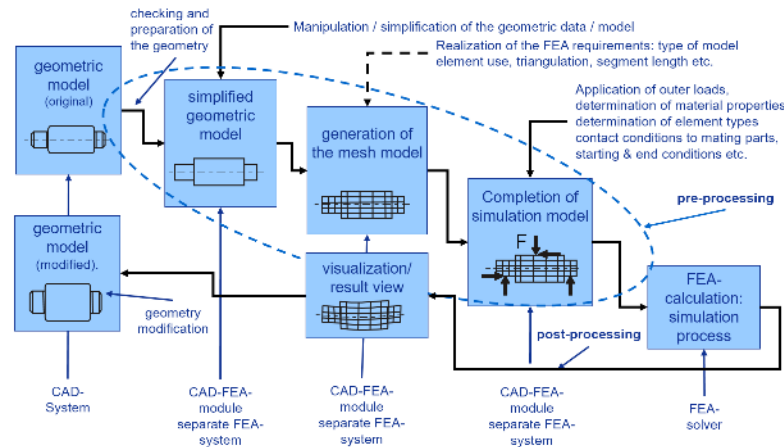
**CAD
freeze for
CAE**



**Program
Milestone**

Optimierung 3: Integraler CAE-Fabrikansatz für den Aufbau sowie für die Pflege und Bereitstellung der virtuellen Rechenmodelle

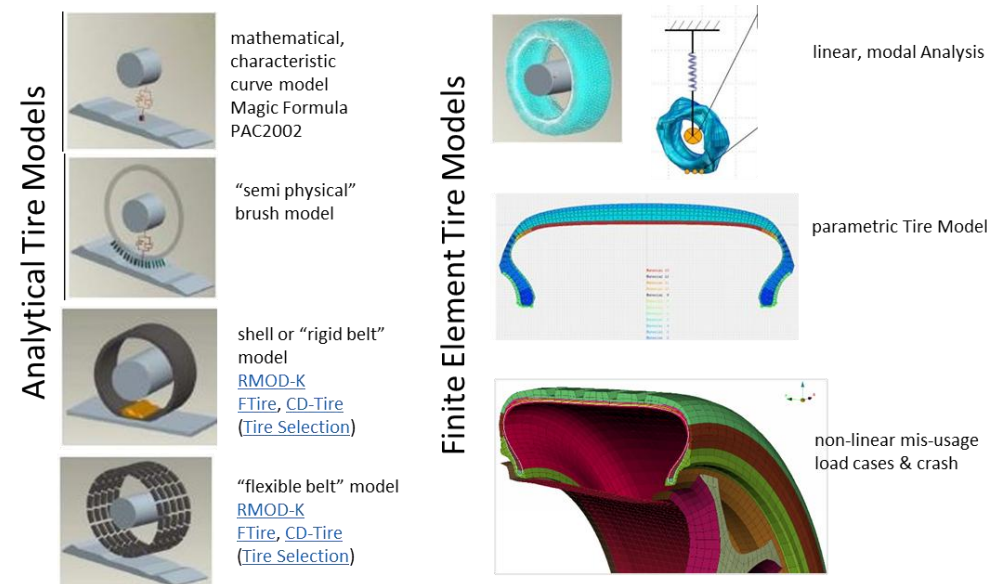
A Prozess des Modellaufbaus (Pre-Processing)



Source:

Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark
Book: Virtual Engineering in Industry
Chapter 10: Major technology 4 - CAE

B Modellkataloge: Beispiel Reifenmodelle

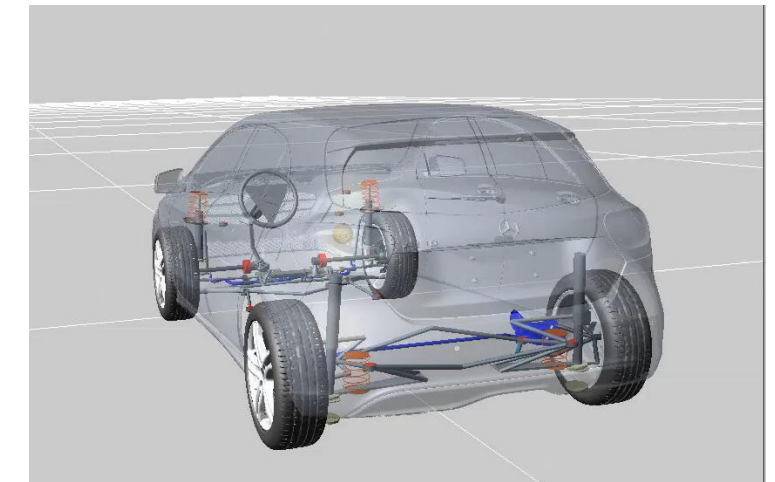


Different Type of Tire Models required to support the large spread of vehicle attribute requirements, e.g. “analytical” vs. “FEA” Simulation

Source:

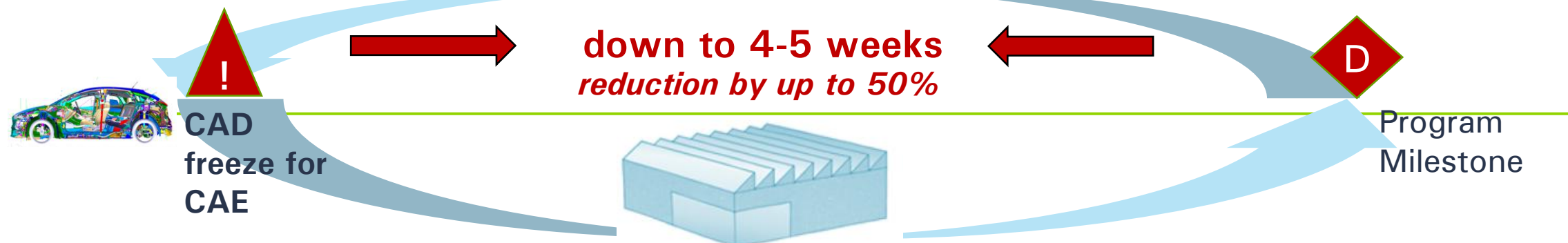
Dr.-Ing. A. Hänschke, CPS
Prof. Dr.-Ing. Christian Oertel,
TH Brandenburg

Lastfälle, Fahrmanöver, Fahrzyklen...



z.B. VDA Doppelter Fahrstreifenwechsel

Source: Expertise in Multi Body Simulation (MBS), TECOSIM 2019

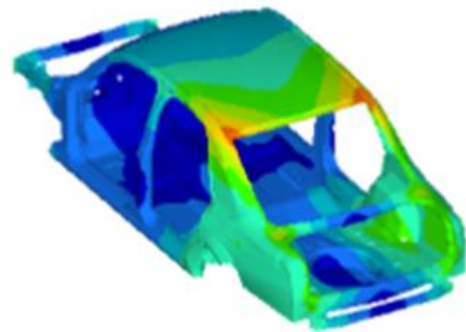


Optimierung 4: Automatische CAD-getriebene CAE-Optimierung von Fahrzeugsystemen (Beispiel: Masse und Torsionsmodus Karosserie)

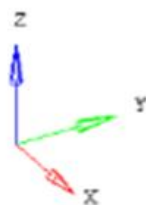
Contour Plot DATA\FIDO\BMW_Demo\long_version_10mm_ornal.op2
Displacement (Max) Model#7, Frequency= 2.503e+001Hz : Frame 7 : An...
Analysis system

1.846E-01
1.641E-01
1.436E-01
1.231E-01
1.026E-01
8.207E-02
6.156E-02
4.106E-02
2.055E-02
4.292E-05
No result
Max = 1.643E-01
Node 84689
Min = 1.060E-04
Node 336764

Extended-Version



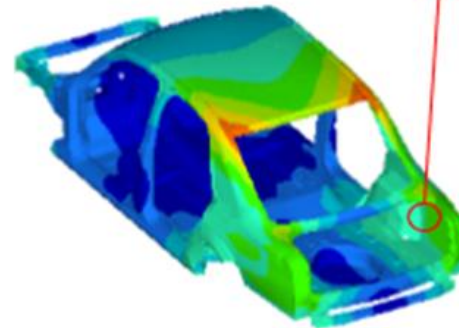
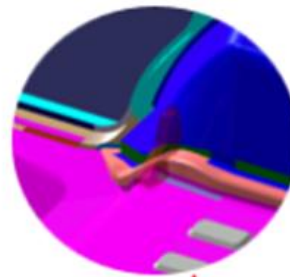
T. Mode = 25.01 Hz
Masse = 300.95 Kg



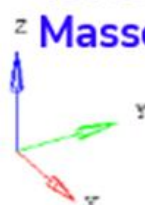
Contour Plot DATA\FIDO\BMW_Demo\long_version_10mm_with_strengt...
Displacement (Max) Model#7, Frequency= 2.625e+001Hz : Frame 7 : An...
Analysis system

1.846E-01
1.641E-01
1.436E-01
1.231E-01
1.026E-01
8.207E-02
6.156E-02
4.106E-02
2.055E-02
4.292E-05
No result
Max = 1.722E-01
Node 85745
Min = 1.066E-04
Node 267704

Extended-Version
a. Wheel hub stiffener



T. Mode = 26.41 Hz
Masse = 301.63 Kg



Contour Plot DATA\FIDO\BMW_Demo\long_version_10mm_manually_op...
Displacement (Max) Model#7, Frequency= 2.712e+001Hz : Frame 7 : An...
Analysis system

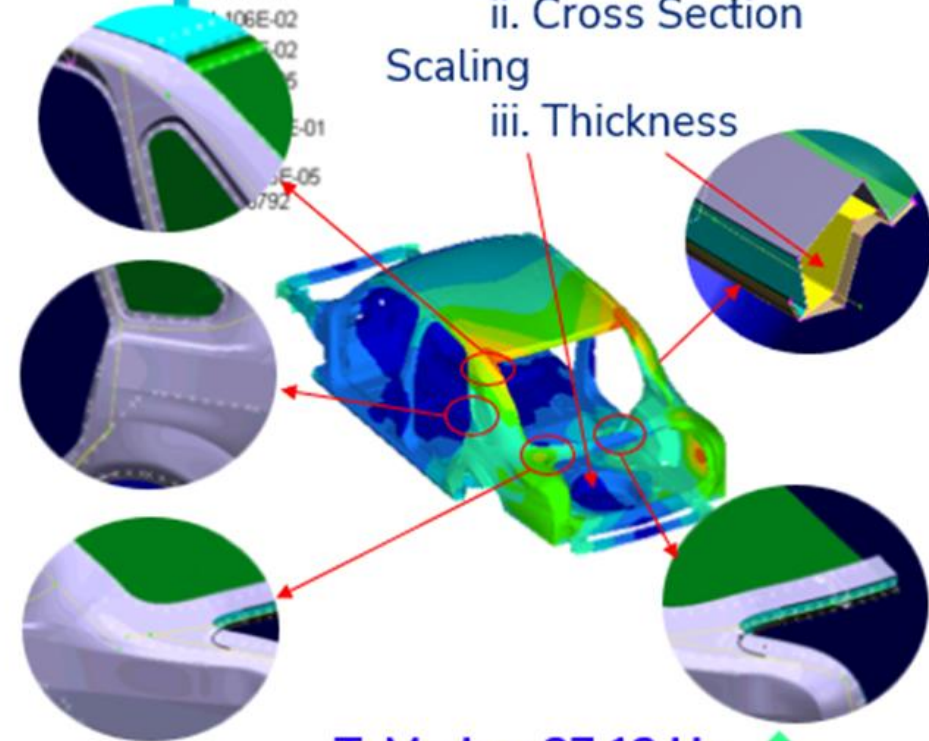
1.846E-01
1.641E-01
1.436E-01
1.231E-01
1.026E-01
8.207E-02
6.156E-02
4.106E-02
2.055E-02
4.292E-05
No result
Max = 1.722E-01
Node 85745
Min = 1.066E-04
Node 267704

Extended-Version

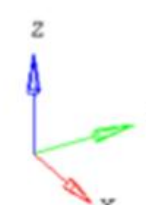
- a. Wheel hub stiffener
- b. Optimization
 - i. Junction sizes
 - ii. Cross Section

Scaling

iii. Thickness



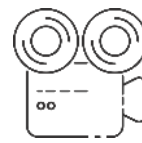
T. Mode = 27.12 Hz
Masse = 284.22 Kg



Neue Entwicklungsmethoden und Ansätze für Teil- systeme des Fahrzeugs

3

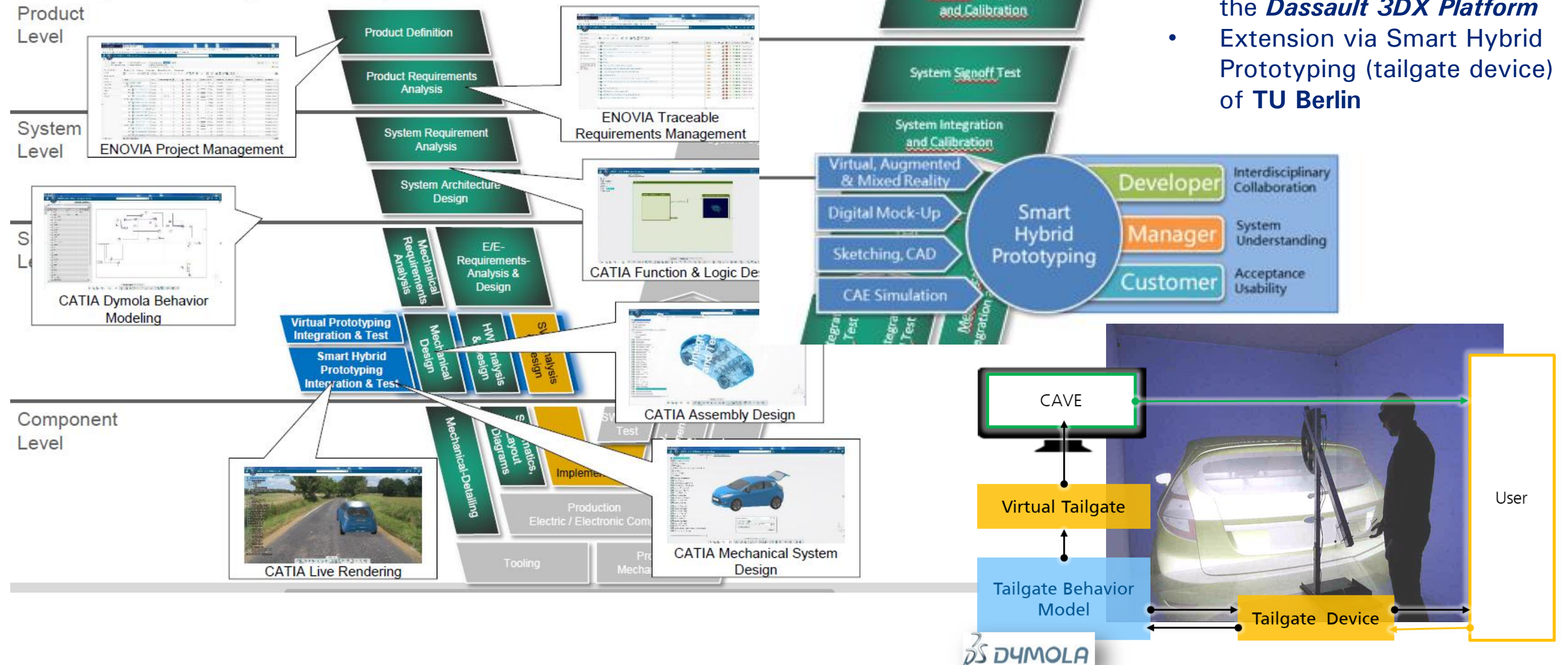


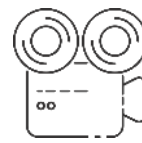


Modell-basiertes Systems Engineering durchgängig erlernen!

Customer Value Story

Usage of the integrated 3DEXperience MBSE tool chain





Neue MBSE-Fähigkeiten für smarte Fahrzeugklappensysteme (1/3)

FDMU einer intelligenten Kofferraumklappe mit Hilfe der modellbasierten Physikechtzeitkopplung mit einem Labormanipulator

Ziel ist es, im Entwicklungsprozess frühzeitig und fortlaufend *intelligente Teilsysteme und deren Verhalten* erlebbar zu erproben und das Zusammenwirken zwischen *Nutzer, technischem Grundsystem und embedded SW-Code* zu testen.



Industrial
Information Technology



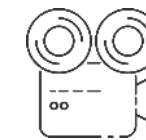
Technische
Universität
Berlin



**Smart Hybrid Prototyping
for early human centered System validation
in Model Based Systems Engineering**

Merke: *Dieser innovative MBSE-Ansatz wurde vom Fachgebiet Industrielle Informationstechnik der TU Berlin entwickelt und mit Industrie-unternehmen sowie Digitalen Technologieanbietern validiert. Die Kombination von digitalen Systemmodellen und Labor-HW wird als Smart Hybrid Prototyping bezeichnet.*

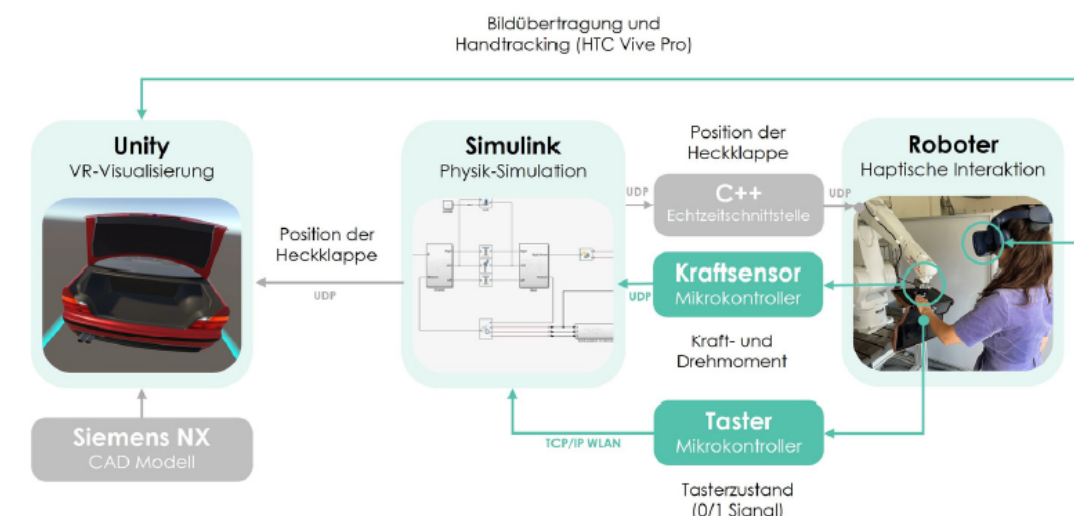
Know-How und Verantwortung	Zeitraumen	Investition
MKS, Feder-Dämpfer, Scharniere	6 Monate	€ 45.000,-
MBSE FDMU-CAE, SW	12 Monate	€ 140.000,-
HW-Manipulator	4 Monate	€ 15.000,-



Neue MBSE-Fähigkeiten für smarte Fahrzeugklappensysteme (2/3)

Echtzeit Digitaler Zwilling zum Testen einer intelligenten Kofferraumklappe: modellbasierte Physikechtzeitkopplung mit einem Industrieroboter
Digitaler Zwilling = Digitaler Master / Prototyp + Digitaler Schatten

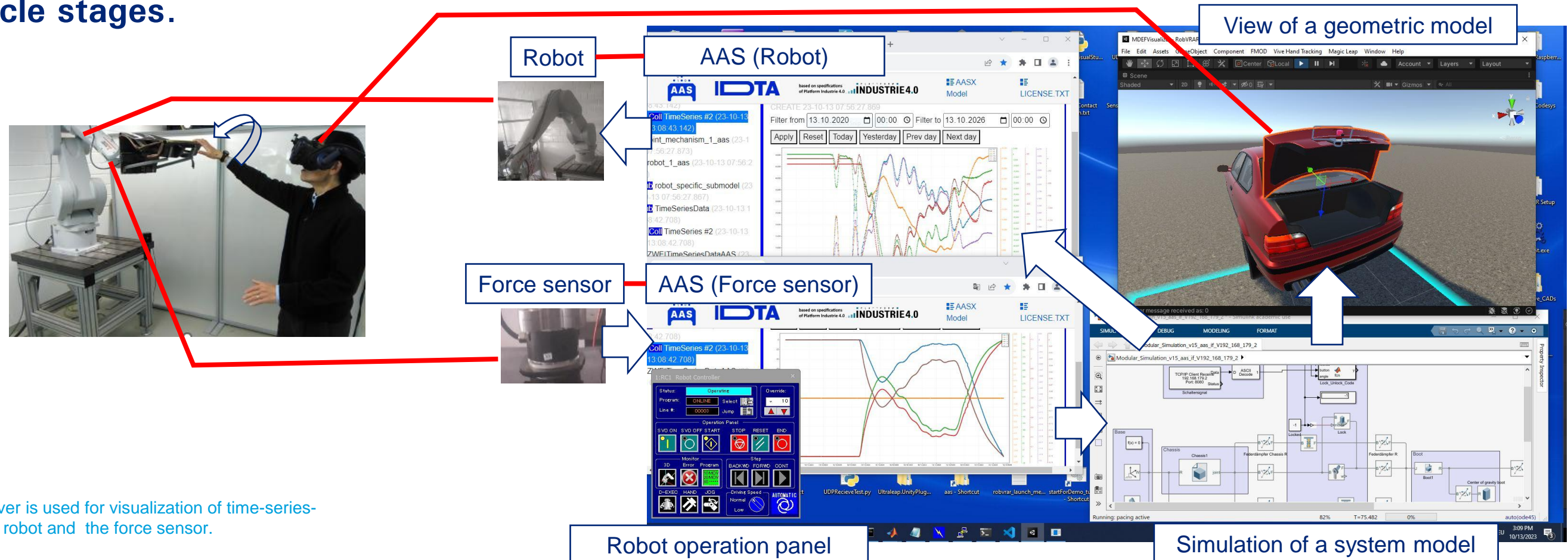
(Siemens NX, Unity3D, Mathworks Simulink, Mitsubishi Roboter + weitere Technologien)



Neue MBSE-Fähigkeiten für smarte Fahrzeugklappensysteme (3/3)

Digitaler Zwilling einer Kofferraumklappe: Fähigkeitsanalyse mit der Industrie 4.0 AAS (Administrative Asset Shell)

- An application of **AAS*** to smart product development requiring the **synchronization of system behavior simulation** and **data transfer across AASs and physical system components**.
- **AAS**-based product models can be used to create **new services** with combination of **diverse functions of information factory** (such as data analysis, visualization and simulation) across the **life cycle stages**.



*AASX Server is used for visualization of time-series-data of the robot and the force sensor.

Neue MBSE-Fähigkeiten für Fahrwerks- und Bremssysteme (1/4)

Nutzung neuartiger Mathematikverfahren bei der CAE-Simulation von sicherheitsrelevanten flexiblen Bremsschlauchsystemen

Hintergrund

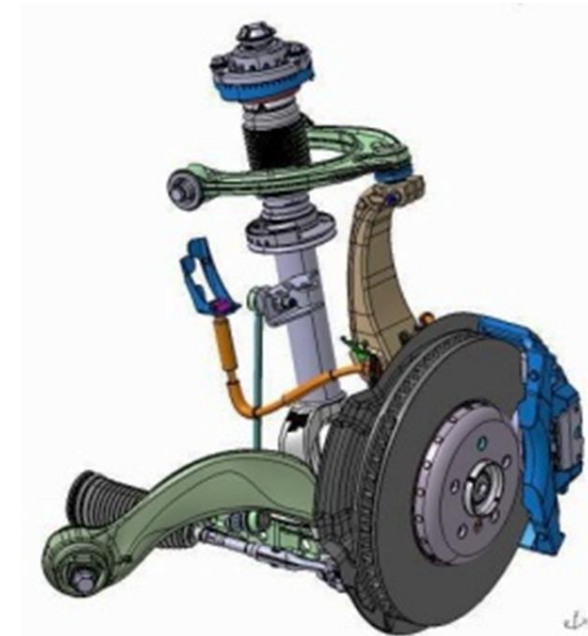
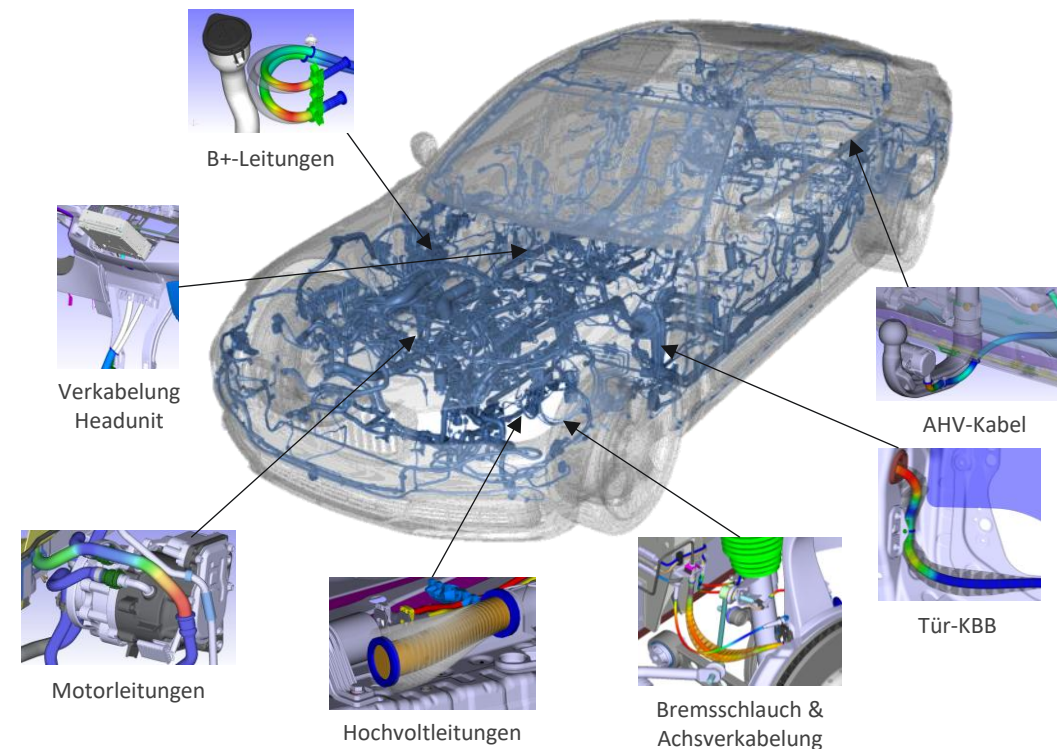
- > 3 km & 60 kg flexibler Bauteile im Fahrzeug
- Physische Absicherung dieser Teile in Hardware ist kosten- und zeitintensiv

Lösungsansatz

- Prognosesichere virtuelle Auslegung und Absicherung flexibler Bauteile
- Physikbasierte, echtzeitfähige Simulation basierend auf Cosserat-Balkentheorie

Nutzen

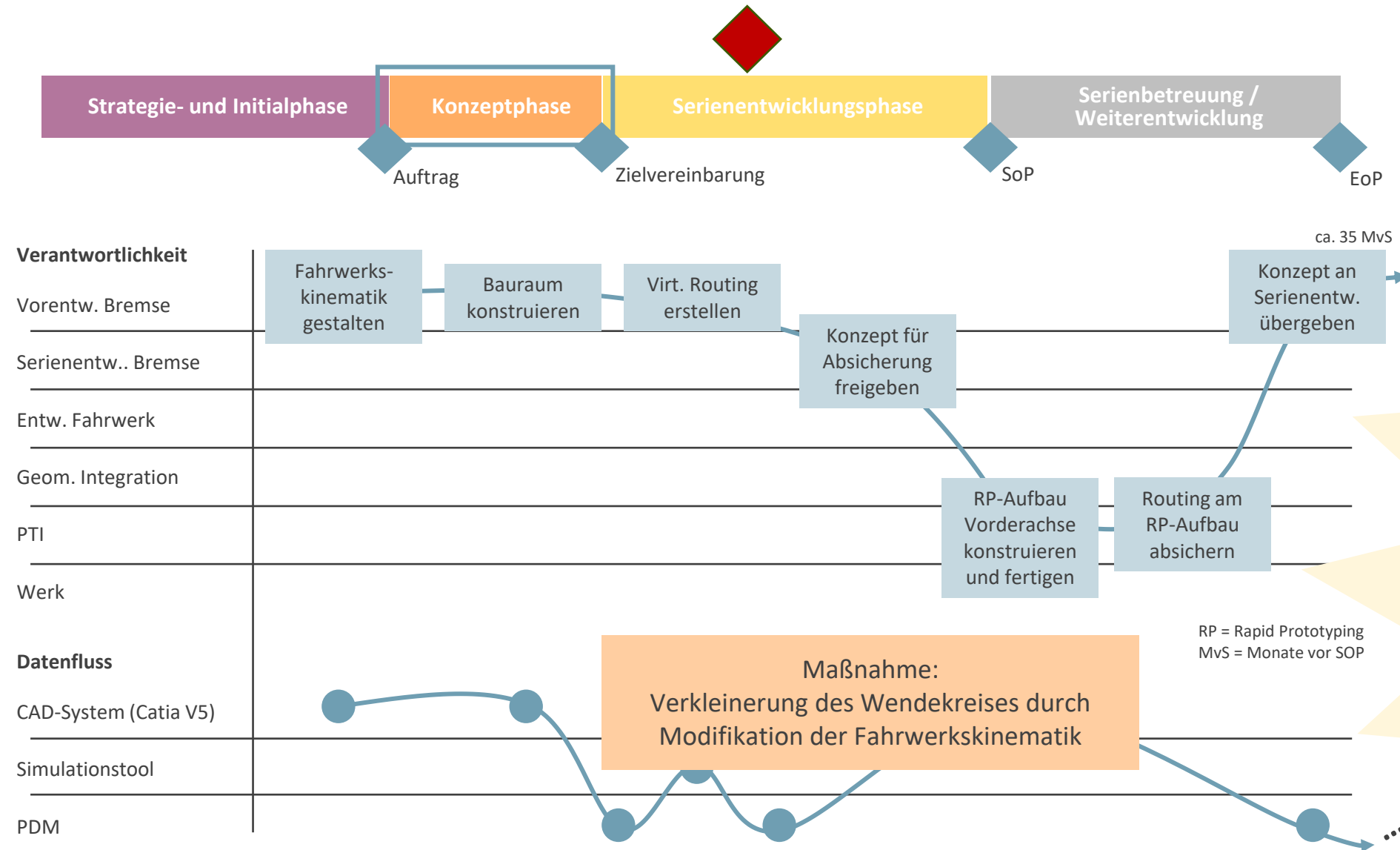
- Höhere Qualität virtueller Leitungskonzepte (First-Time-Right)
- Effizientere Konzeptfindung, Reduzierung Entwicklungsschleifen
- Reduzierung Hardwareaufwände durch virtuelle Freigabe



Virtuelle Absicherung Gesamtfahrzeug | BMW Group | 2017

Neue MBSE-Fähigkeiten für Fahrwerks- und Bremssysteme (2/4)

Nutzung neuartiger Mathematikverfahren bei der CAE-Simulation von sicherheitsrelevanten flexiblen Bremsschlauchsystemen

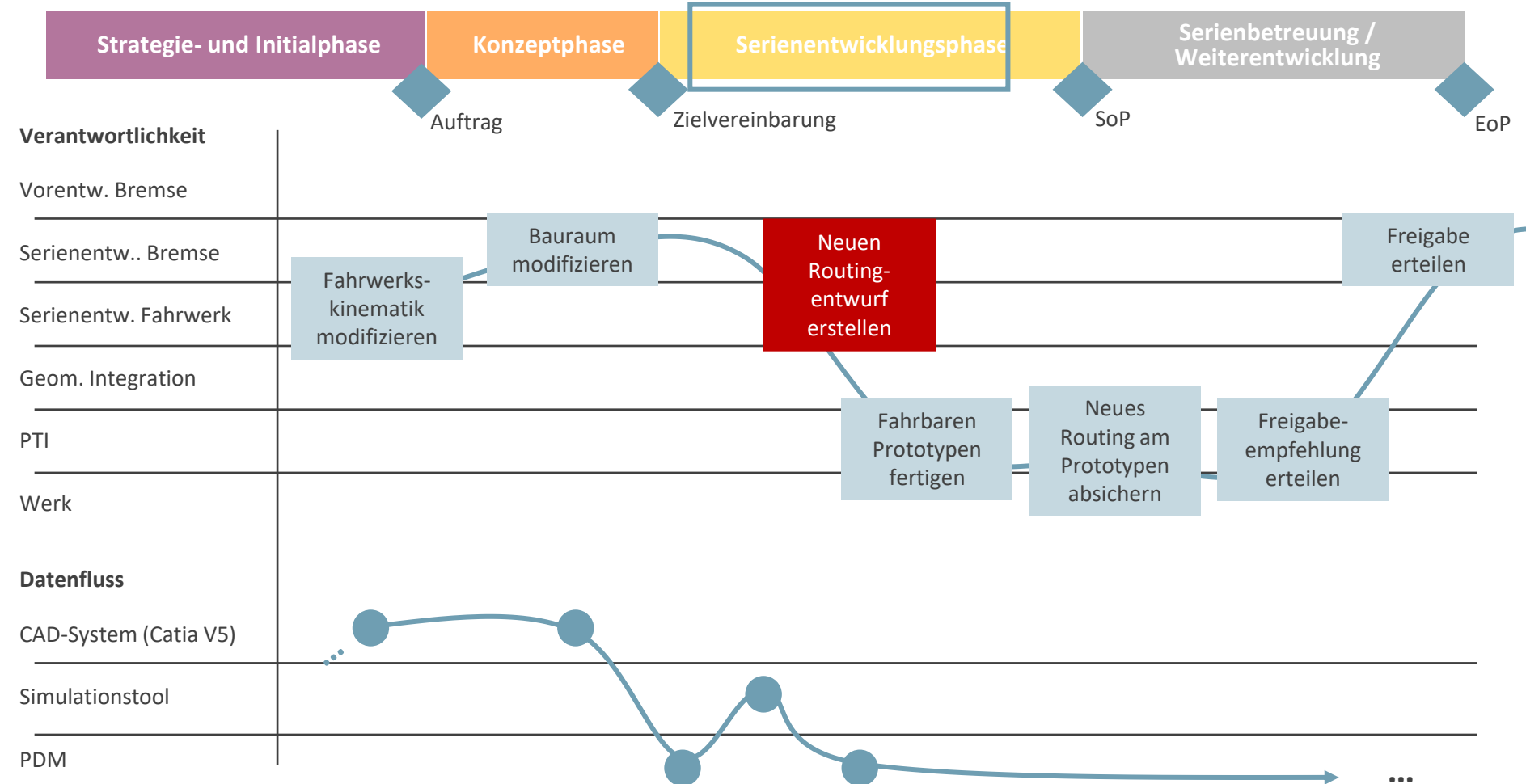


30 MvS (nach Übergabe an die Serienentwicklung) kommt es zur Verschärfung einer Zielvorgabe:

Die Wendigkeit des Fahrzeugs soll erhöht werden, um es stadtauglicher zu machen!

Neue MBSE-Fähigkeiten für Fahrwerks- und Bremssysteme (3/4)

Nutzung neuartiger Mathematikverfahren bei der CAE-Simulation von sicherheitsrelevanten flexiblen Bremsschlauchsystemen

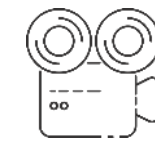


Merke: *Es wurde ein neuer MBSE-integrierbarer CAE-Simulationsansatz im Rahmen einer vom Fachgebiet Industrielle Informationstechnik der TU Berlin betreuten Promotionsarbeit bei BMW im engen Zusammenspiel mit einem Digitalen Tool Vendor entwickelt und im Rahmen eines Fahrzeugprojektes in der Industrie validiert.*

Know-How und Verantwortung	Zeitraumen	Investition
Fahrwerk-MKS, FEM Co-Simulation	6 Monate	€ 45.000,-
Neue FEM-Methode und Modelle	12 Monate	€ 140.000,-
CAE-Software	8 Monate	€ 75.000,-

Neue MBSE-Fähigkeiten für Fahrwerks- und Bremssysteme (4/4)

Nutzung neuartiger Mathematikverfahren bei der CAE-Simulation von sicherheitsrelevanten flexiblen Bremsschlauchsystemen



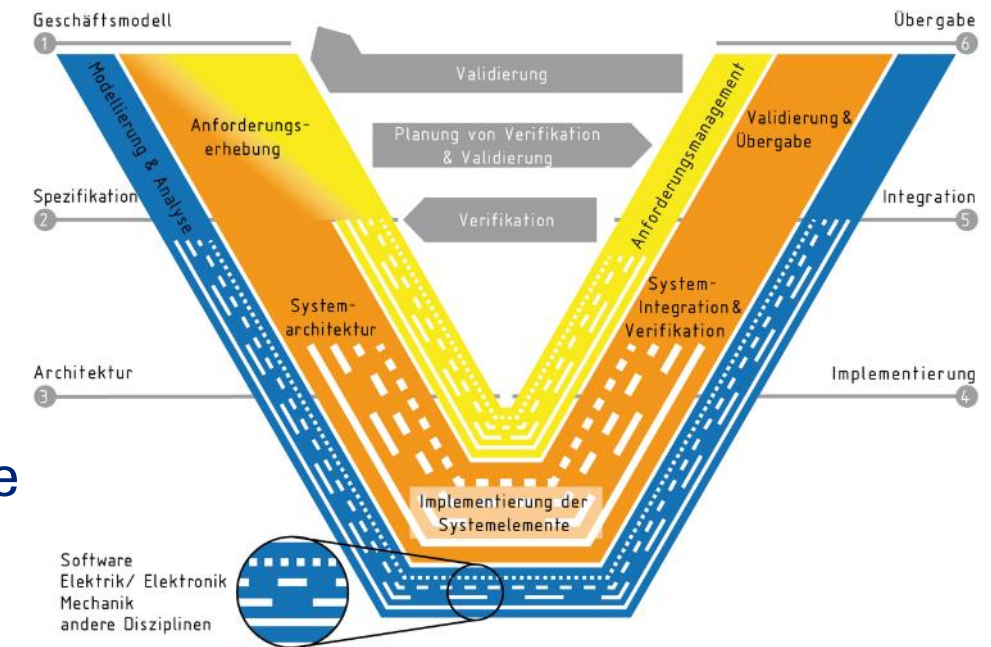
Aufbau und Etablierung neuer Formen der virtu- ellen Produktentstehung für das Gesamtfahrzeug

4

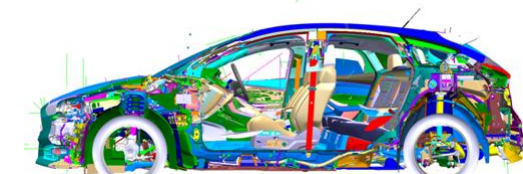


Limitationen im heutigen Entwicklungsprozess

- Die **VDI 2206** stellt das V-Modell zur Entwicklung von mechatronischen Systemen dar. Es gibt Richtlinien zu Aufgaben in allen Strängen. Es werden **Rollen von Kontrollpunkten und Schnittstellen** verdeutlicht. Keine Serviceunterstützung...
- Es wird die Integration von verschiedenen Disziplinen benötigt. Allerdings gibt es **weder Richtlinien noch „best practices“** für die **kontinuierliche Integration** der in Entwicklung befindlichen **Software in die technische Systemmodellierung**.
- Die zukünftige **Softwareorientierung des Entwicklungsprozesses** wird hier nur als eine weitere Disziplin betrachtet. Wenn Software in Zukunft eine entscheidende Rolle einnehmen wird, dann muss **SW-Entwicklung im technischen Entwicklungsprozess mit funktionalen Synchronisationpunkten** integriert werden.
- Die Rolle der **Simulation zur funktionalen Validierung von technischen Systemen** (mit SW basierten Lösungselementen) ist nicht klar definiert (viele separate „X-in-the-loop“ Lösungen), es gibt keine Normen für **Zulassungen durch Simulationen**.



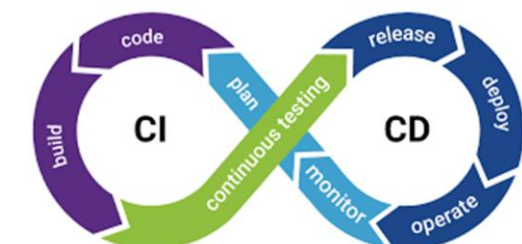
Quelle: VDI – VDI 2206: Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme



“Factory” of technical systems modeling

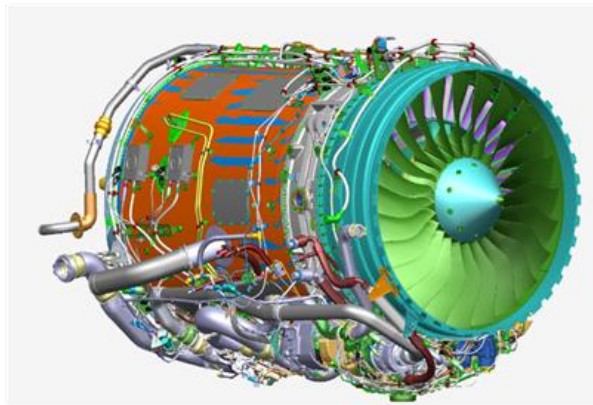
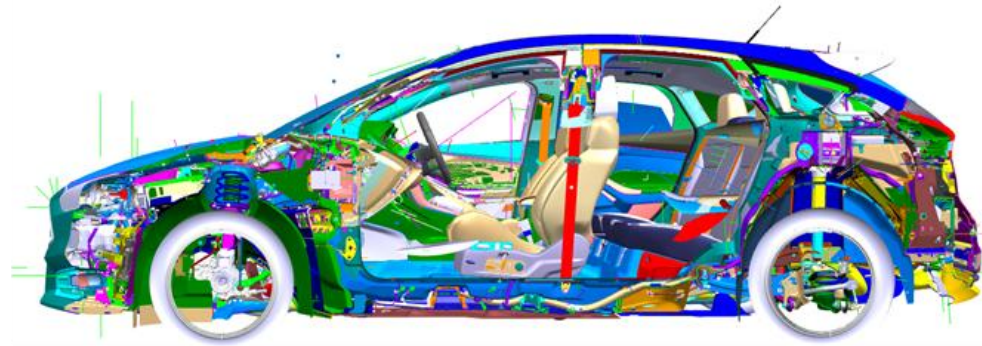
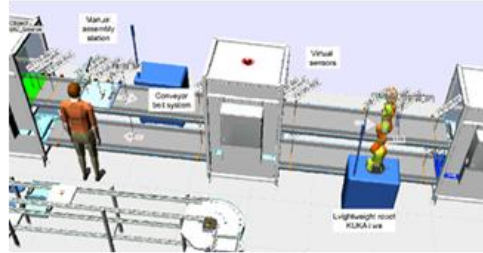


“Factory” of software systems development & operations



Transformation 1 – Modell/Code-gekoppelte technische Systementwicklung

Nutzung von Notationen und Standards (FMU/FMI, UML/SYSML, XML, Graphen, LLMs ...)



Problem analysis

Concept/design

Implementation

Test

Maintenance

```
double x = 2 * (breite + hoehe);
System.out.println("Umfang: " + x);
x = breite * hoehe;
System.out.println("Fläche: " + x);
```

```
double umfang = 2 * (breite + hoehe);
System.out.println("Umfang: " + umfang);
double flaeche = breite * hoehe;
System.out.println("Fläche: " + flaeche);
```

Virtual Product Creation



- Multi disciplinary
- Affects process, methods and tools
- Difficult for traditional engineering management to understand and assess
- Turbulent development cycles
- Needs solid understanding of information objects and multi-model representation
- More than 100 different digital models per component within each development project

Software / IT Engineering



- Young discipline, from gurus, artists and specialists to professional project managers (30+ years) and software coders
- Algorithm and modularization driven
- Usually 2-3 test cycles by key users
- Almost standard that not everything is available at Job1 (workaround mentality)



“Factory” of technical systems modeling

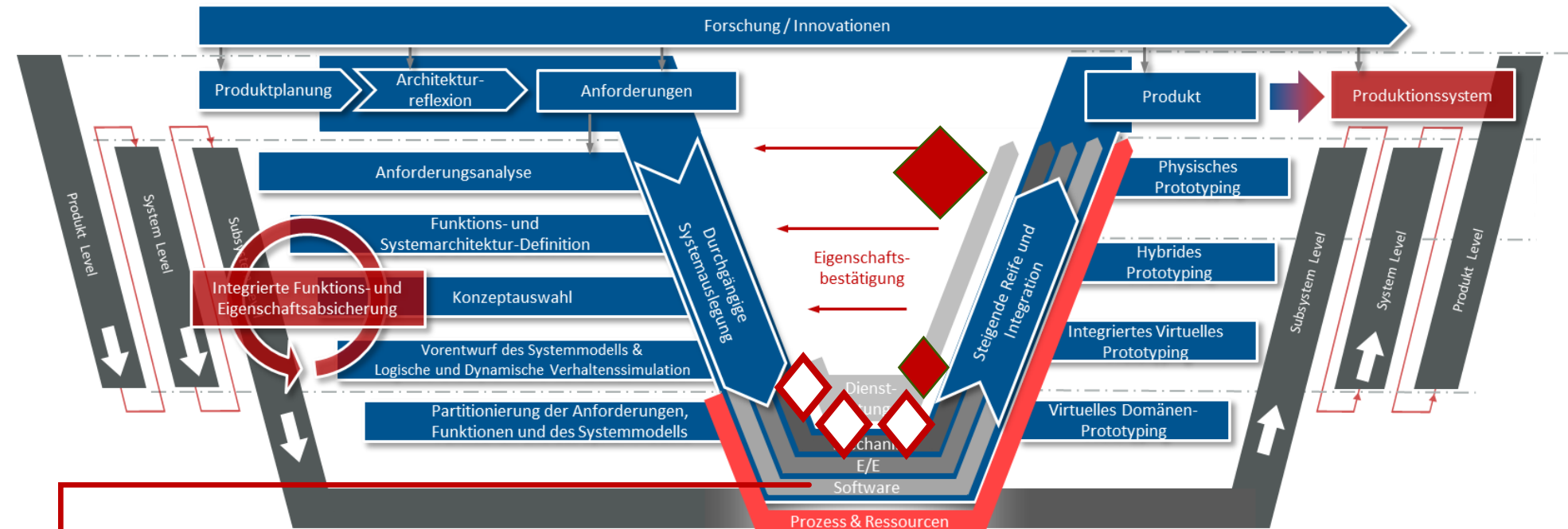
“Factory” of software systems development & operations

Best Practice/recommendation today: definition of synchronisation points in PEP

Transformation 1 – Modell/Code-gekoppelte technische Systementwicklung

Nutzung von Notationen und Standards (FMU/FMI, UML/SYSML, XML, Graphen, LLMs ...)

V-Modell des Gesamtproduktes Fahrzeug



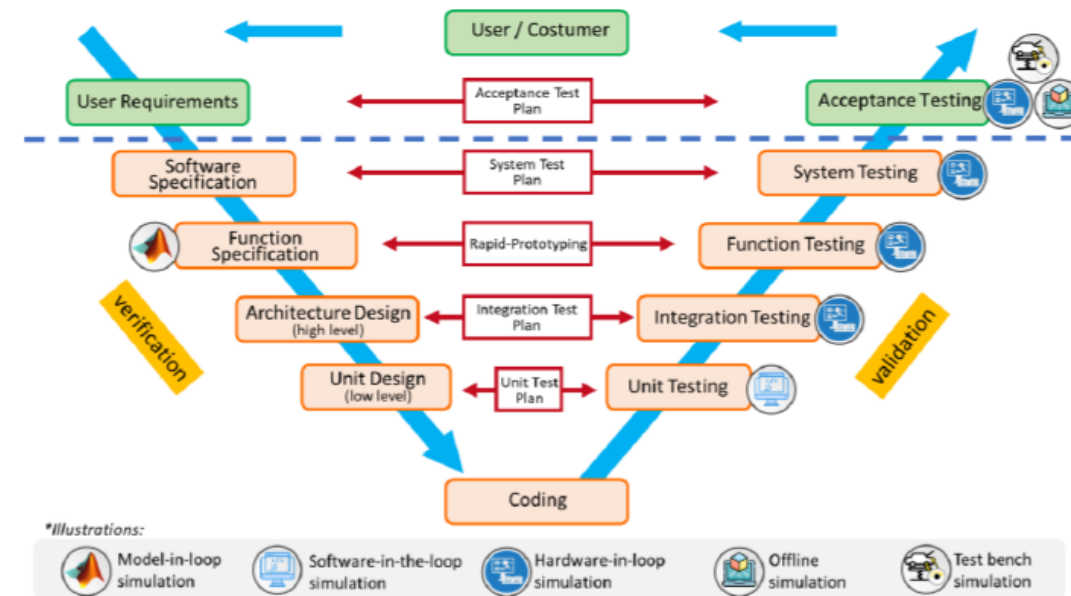
Heute:

SW-Validierung spät im Fahrzeugentwicklungsprozess mit HIL oder limitiertem SIL

Morgen:

SW-Validierung agil + fortlaufend im Fahrzeugentwicklungsprozess via FMU/FMI Abgleich mit virtuellen Prototypen

V-Modell eines speziellen embedded Software Systems einer Fahrzeugfunktion



Die offene SDV-Entwicklungsumgebung von **digital.auto**

Setup

- Open Community
- Pre-Competitive
- Non-Profit, hosted by Ferdinand-Steinbeis-Institute
- Open Source
- Standards-based

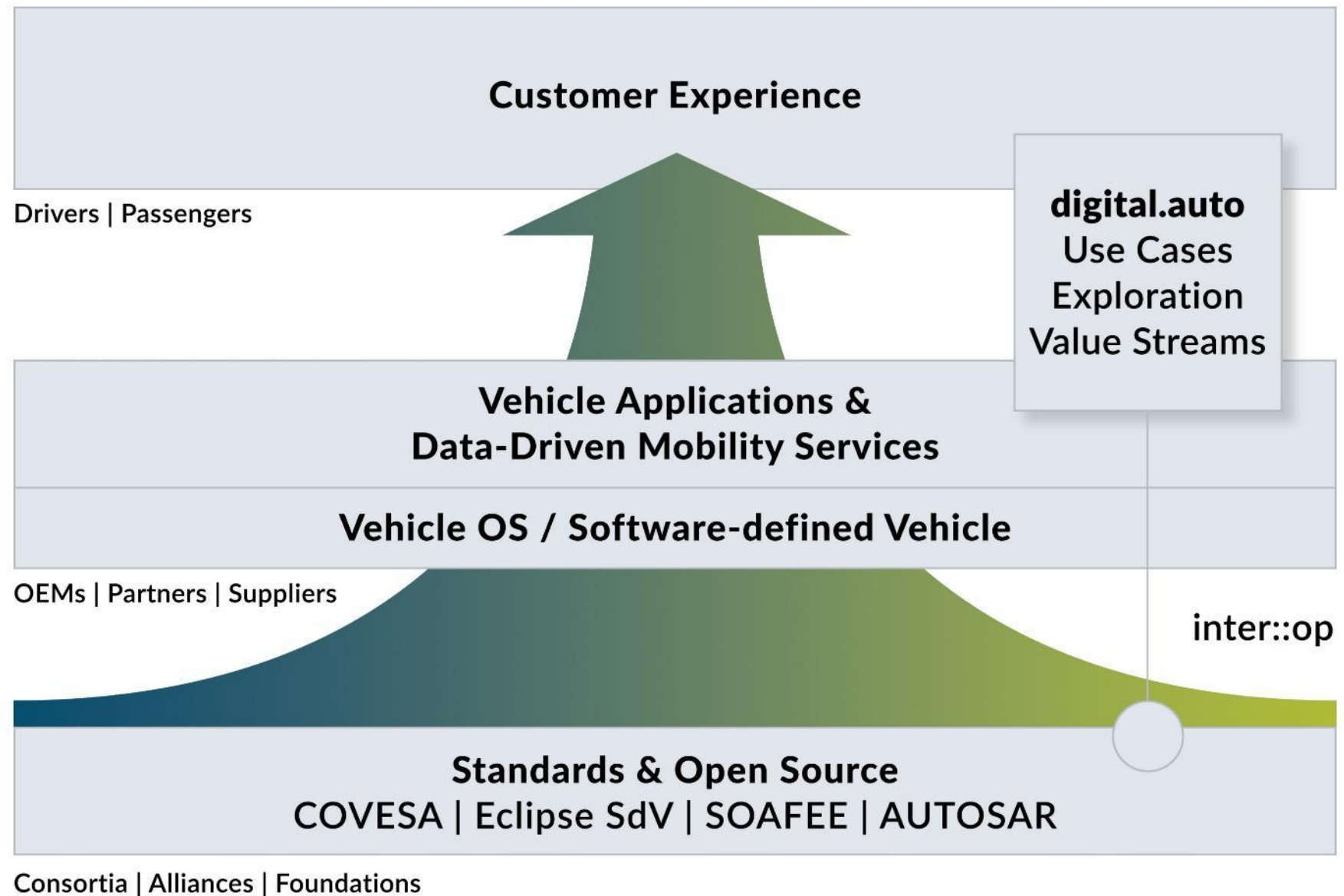
Focus Areas

- Software-defined Vehicle
- #digitalfirst: SDV for new vehicle experiences
- Best practices & enablement

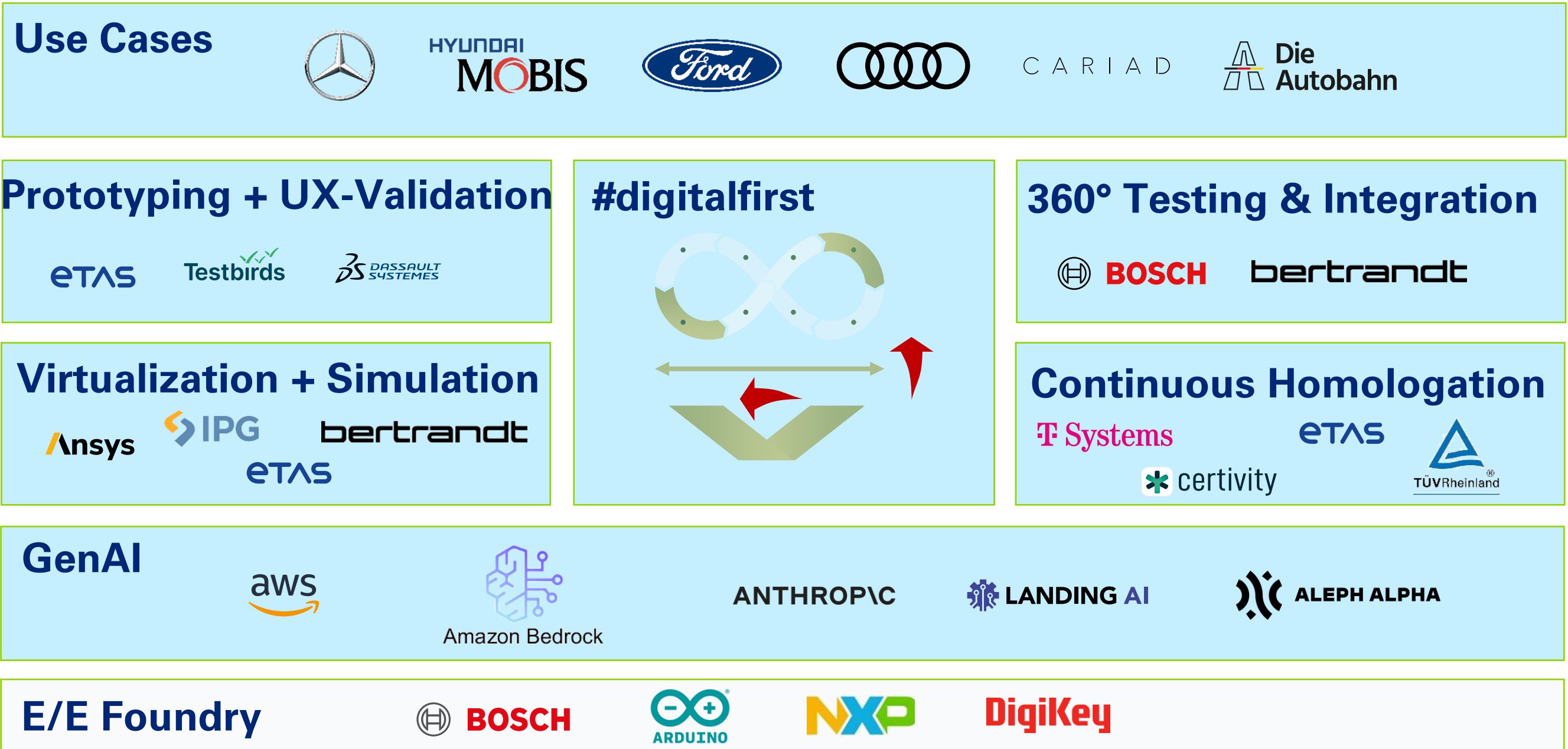
Initiators



BOSCH

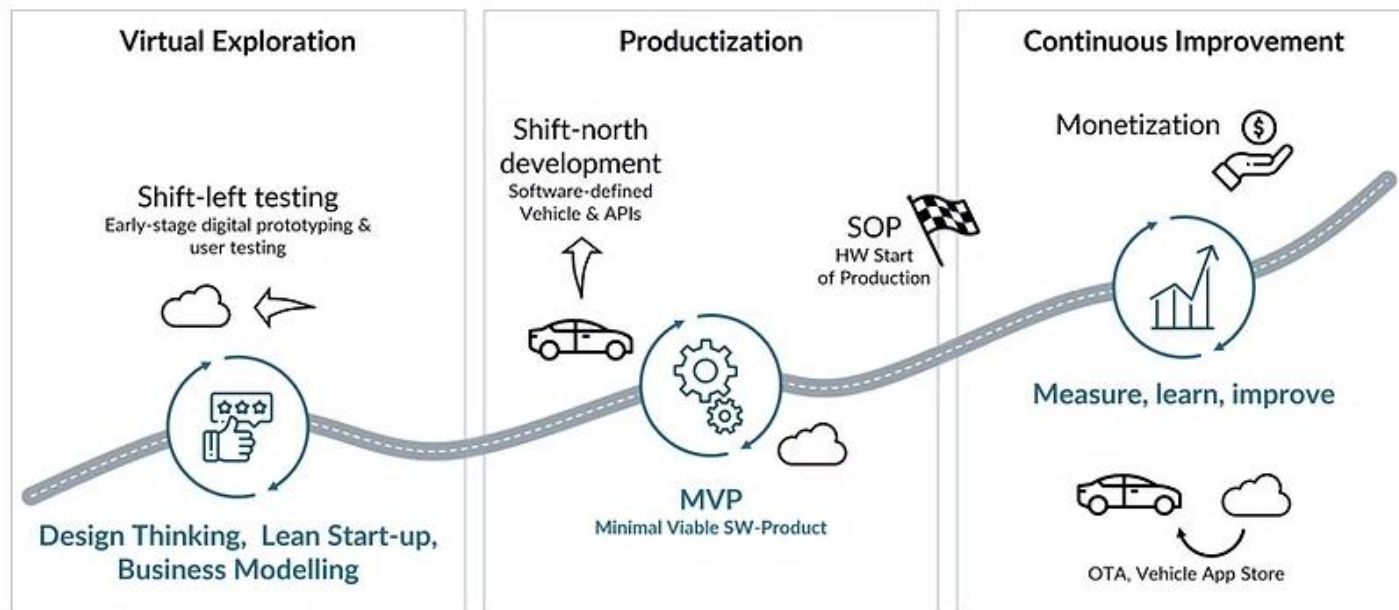


Das Value Stream Ecosystem von digital.auto



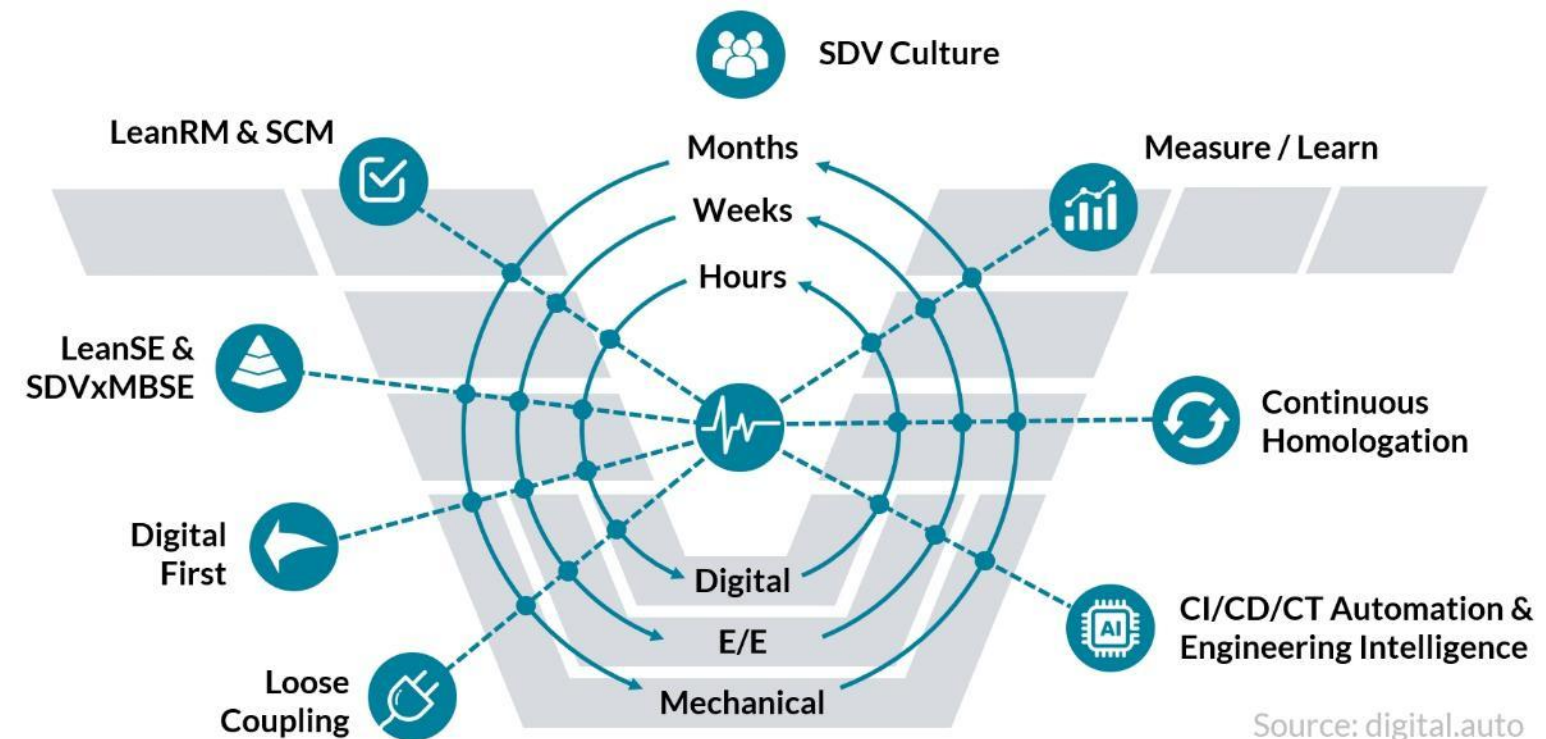
Der SDV Guide ./pulse erklärt die digital.auto [r]evolution

The digital.auto target picture



digital.auto following the digital and the physical value stream.




<https://www.digital.auto/>



Source: digital.auto

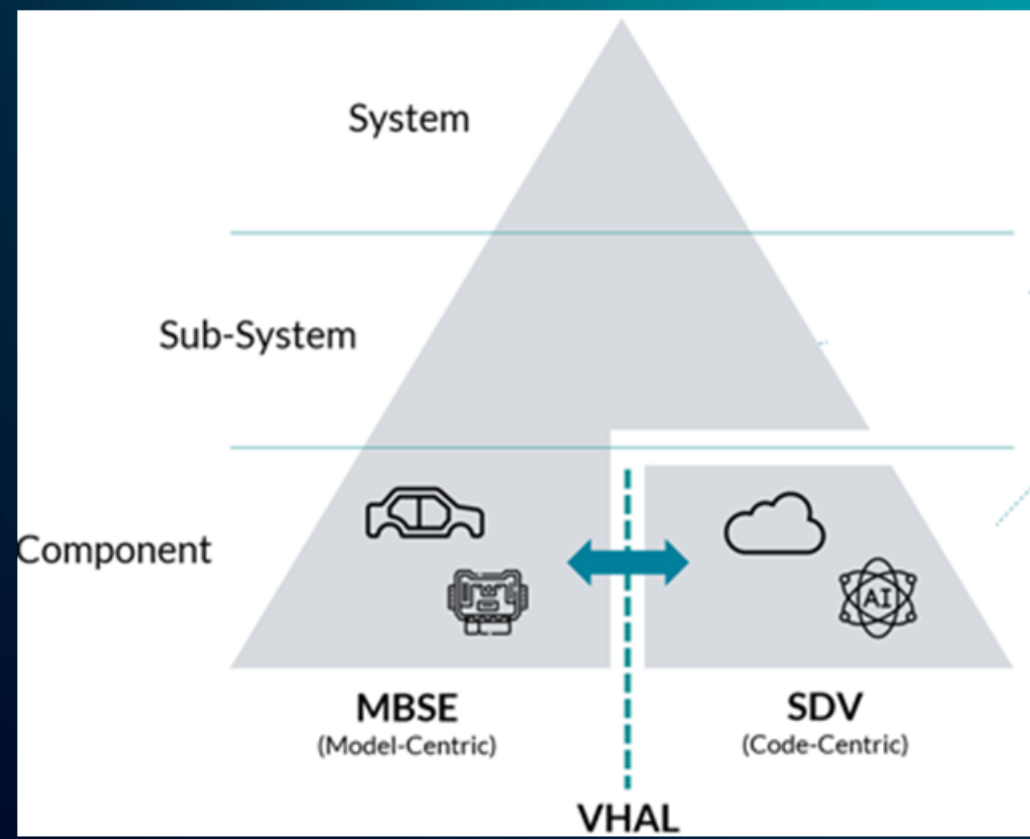
<https://www.sdv.guide/>

Bridging the Gap: Warum benötigen wir **SDVxMBSE**?

- **Context – why ./pulse?**
 - OEMs need multi-speed delivery across software-defined vehicle (SDV) development — from fast-paced digital features to slower, stable systems engineering layers.
-  **The Challenge**
 - Digital-first teams iterate in hours to weeks, pushing updates, experiments, and AI-driven features.
 - Systems engineering operates on months-long planning cycles, with rigorous safety, compliance, and integration concerns.
 - This speed mismatch creates coordination friction and increases risk in integration, validation, and homologation
-  **Enter SDVxMBSE!** (SDVxMBSE = Software-defined Vehicles meet Systems Engineering)
 - Aligns model-based discipline with agile & DevOps practices
 - Utilizes digital twins of systems, dependencies, and impacts
 - Supports pre-integration, simulation, and early compliance checks
-  **Outcome**
 - SDVxMBSE acts as a bridge — maintaining system integrity while enabling rapid, iterative delivery.
 - It's essential to realize the full potential of the ./pulse framework: Fast where possible. Stable where necessary.

Intended Board innovation project 2025

SDV x MBSE Prove of Concept with the intelligent vehicle safety system Safe Door Opening System (SDOS)



Supported by Dassault - ECN

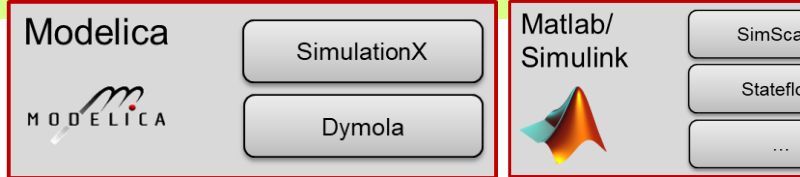
Transformation 2: Erweitertes MBSE, skalierbarer (1D/3D) Modellaufbau

Beispiel: Fahrdynamik / intelligente Fahrfunktionen

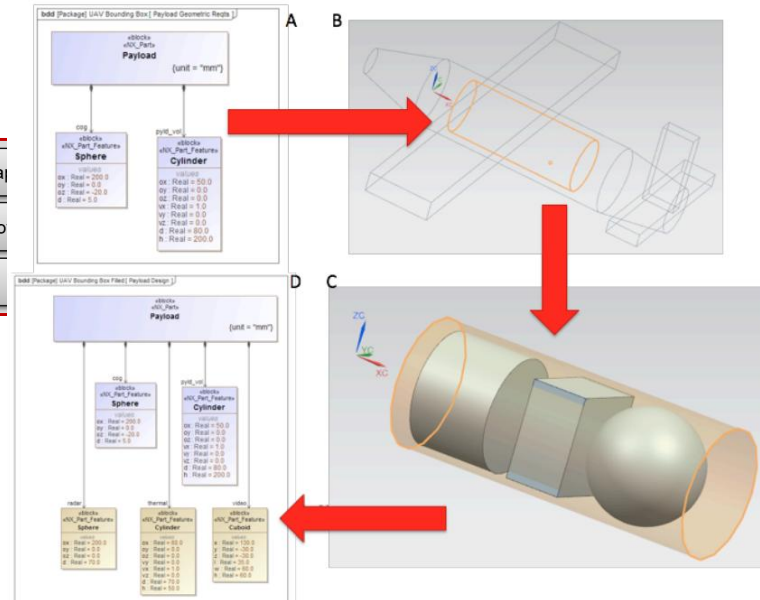
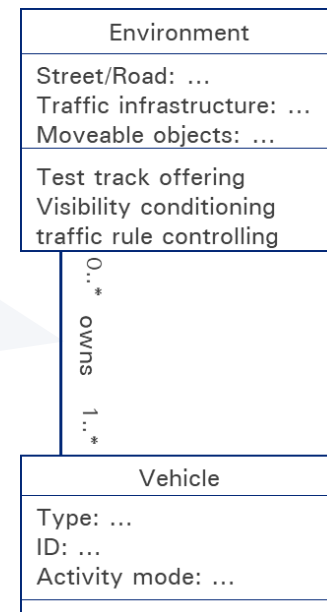
SysML Model:
System Architecture,
Functional Flow;
Solution neutral



**Logical Design/
Behaviour Model
(1D CAE):**
solution defined, split
in domains



**CAD/3D CAE
Simulation
MBS, FEA**



Source: IAMTS MathWorks, Siemens, Syndea, TASS, BMW, IPG Carmaker, Altair, VW, Dassault

Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark | 2025

Die Zukunft der Digitalisierung des Automotive Engineering und des vernetzten Fahrzeugs

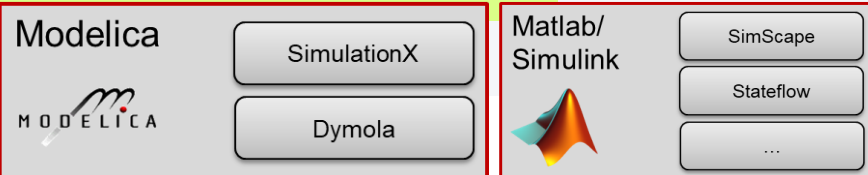
Transformation 2: Erweitertes MBSE, skalierbarer (1D/3D) Modellaufbau

Beispiel: Fahrdynamik / intelligente Fahrfunktionen

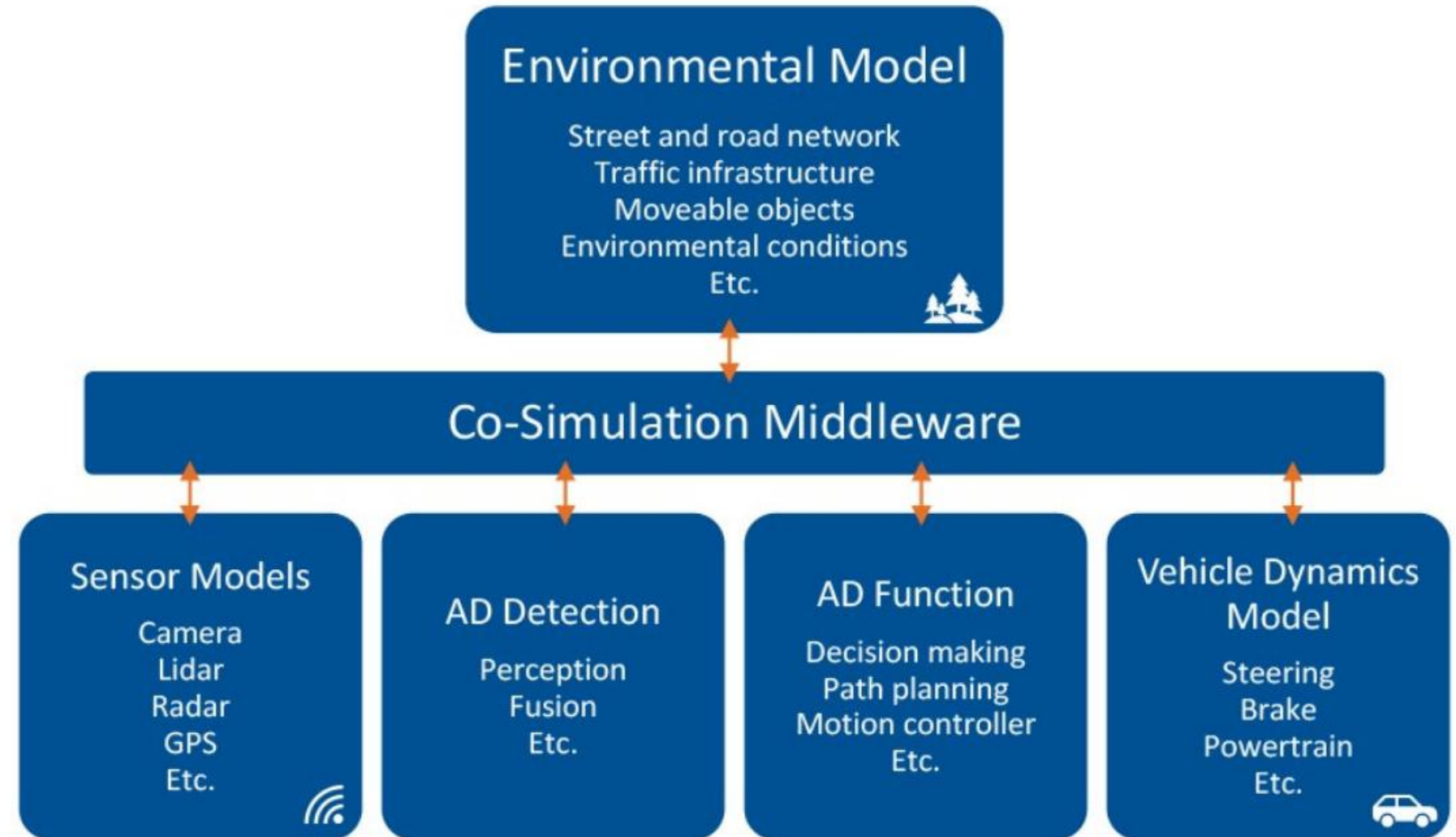
SysML Model:
System Architecture,
Functional Flow;
Solution neutral



**Logical Design/
Behaviour Model
(1D CAE):**
solution defined, split
in domains



**CAD/3D CAE
Simulation
MBS, FEA**



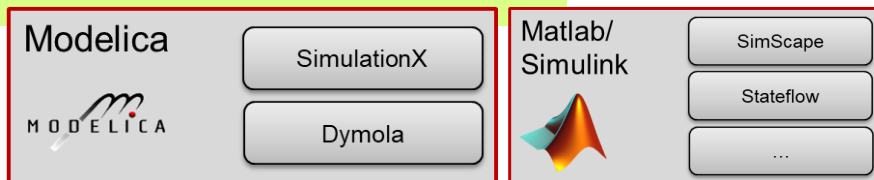
Transformation 2: Erweitertes MBSE, skalierbarer (1D/3D) Modellaufbau

Beispiel: Fahrdynamik / intelligente Fahrfunktionen

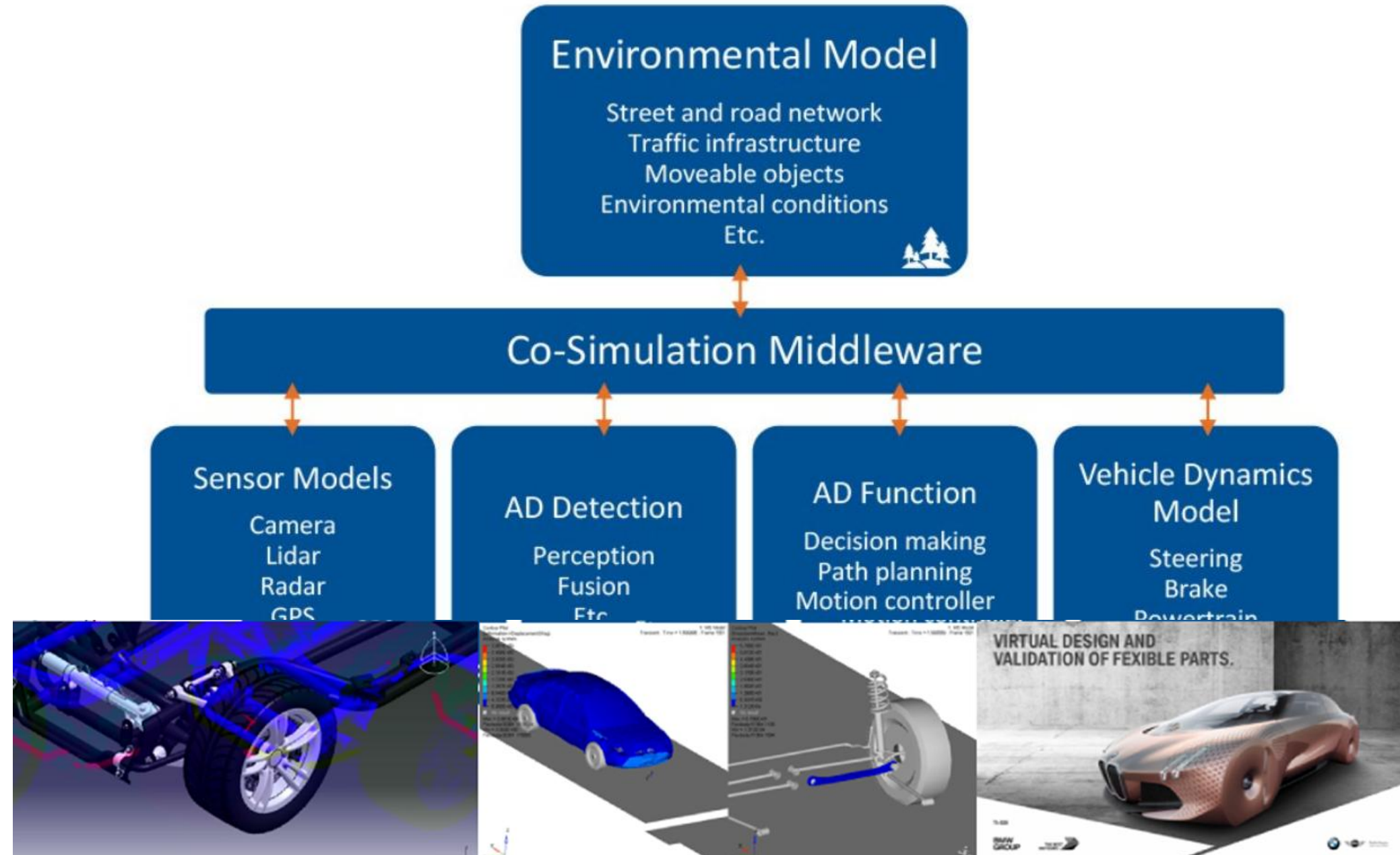
SysML Model:
System Architecture,
Functional Flow;
Solution neutral



**Logical Design/
Behaviour Model
(1D CAE):**
solution defined, split
in domains



**CAD/3D CAE
Simulation
MBS, FEA**



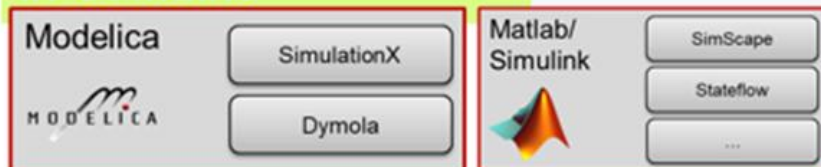
Transformation 2: Erweitertes MBSE, skalierbarer (1D/3D) Modellaufbau

Beispiel: Fahrdynamik / intelligente Fahrfunktionen

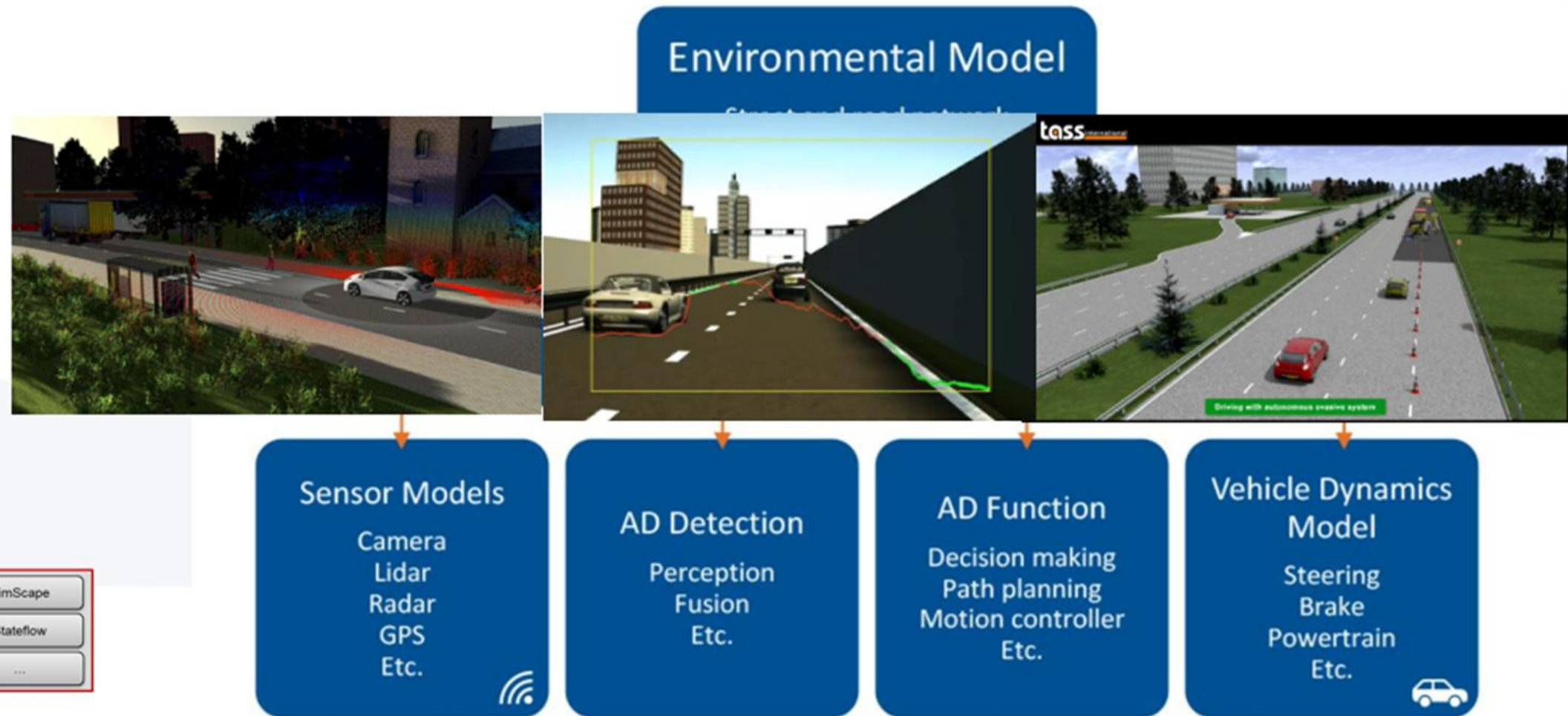
SysML Model:
System Architecture,
Functional Flow;
Solution neutral



**Logical Design/
Behaviour Model
(1D CAE):**
solution defined, split
in domains



**CAD/3D CAE
Simulation
MBS, FEA**



Transformation 2: Erweitertes MBSE, skalierbarer (1D/3D) Modellaufbau

Beispiel: Fahrdynamik / intelligente Fahrfunktionen

SysML Model:
System Architecture,
Functional Flow;
Solution neutral

SysML



**Logical Design/
Behaviour Model
(1D CAE):**
solution defined, split
in domains

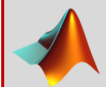
Modelica



SimulationX

Dymola

Matlab/
Simulink



SimScape

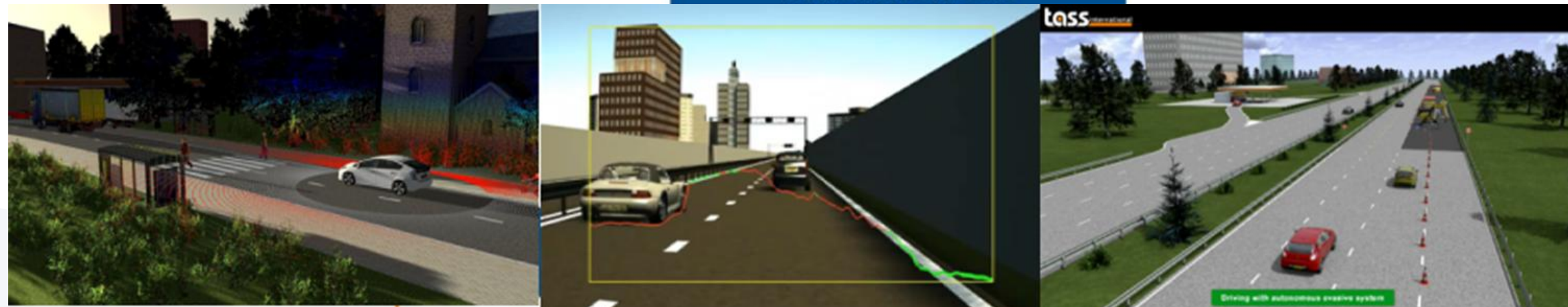
Stateflow

...

**CAD/3D CAE
Simulation
MBS, FEA**

Environmental Model

Street and road network
Traffic infrastructure



Sensor Models

Camera
Lidar
Radar
GPS
Etc.



AD Detection

Perception
Fusion
Etc.

AD Function

Decision making
Path planning
Motion controller
Etc.

Vehicle Dynamics
Model

Steering
Brake
Powertrain
Etc.



MBSE am Beispiel eines Vehicle Safe Door Opening / Closing System

MBSE-Methodik und Review mit der 3DExperience Plattform von Dassault Systèmes am FG Industrielle Informationstechnik

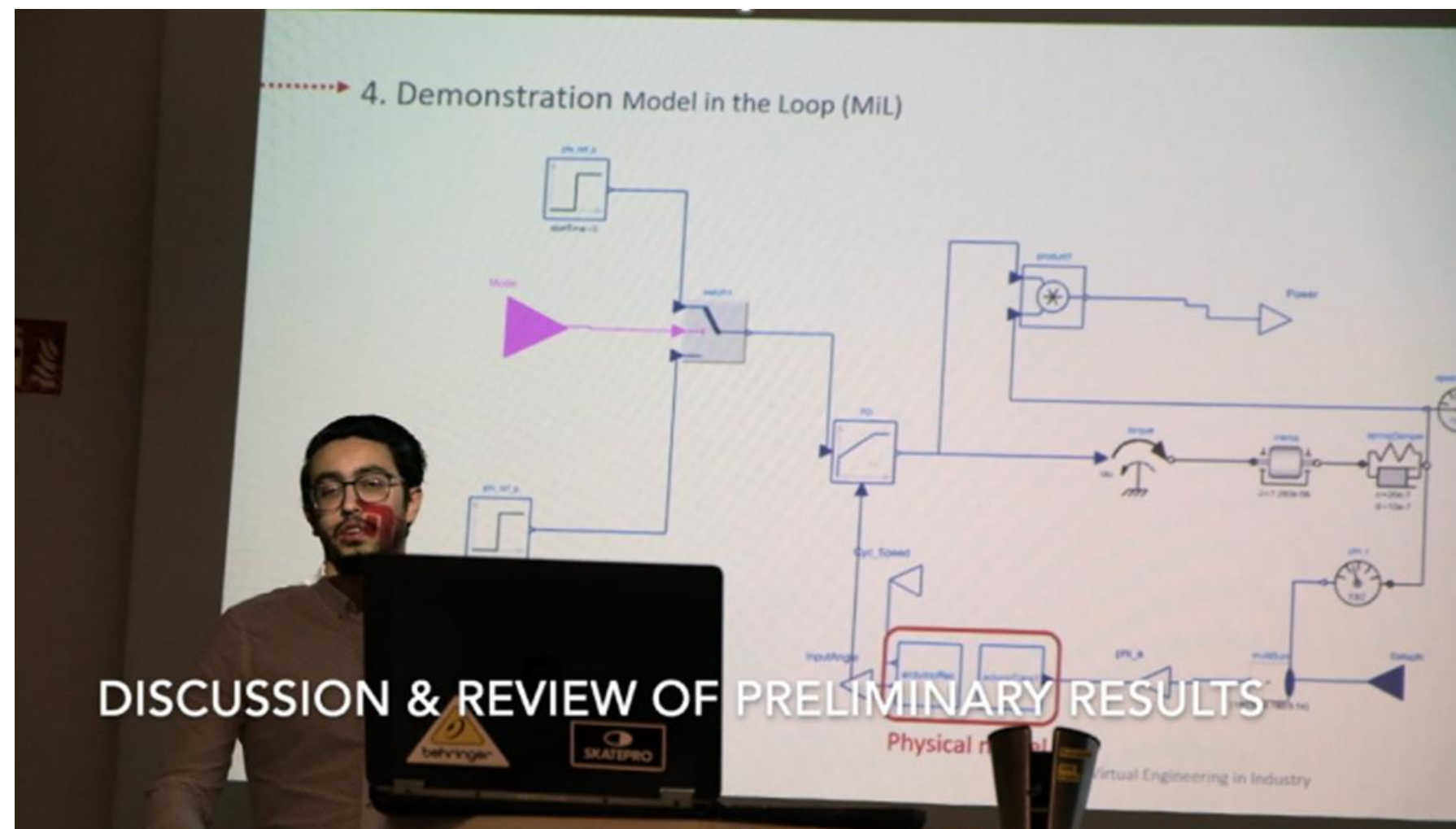
Testfall 1



Testfall 2

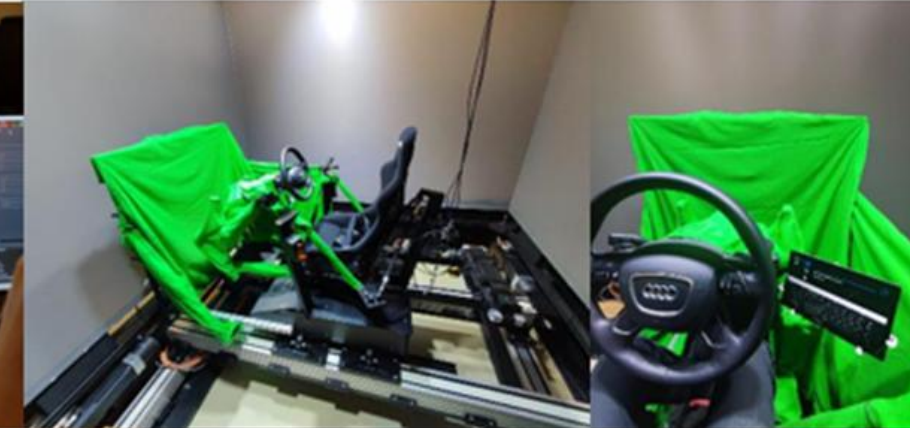
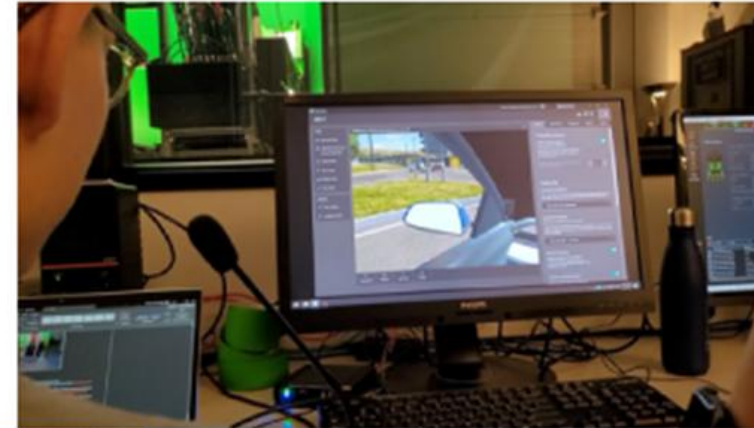


Interaktiver MBSE Design Review (Live mit unterschiedlichen MBSE-Modellen)

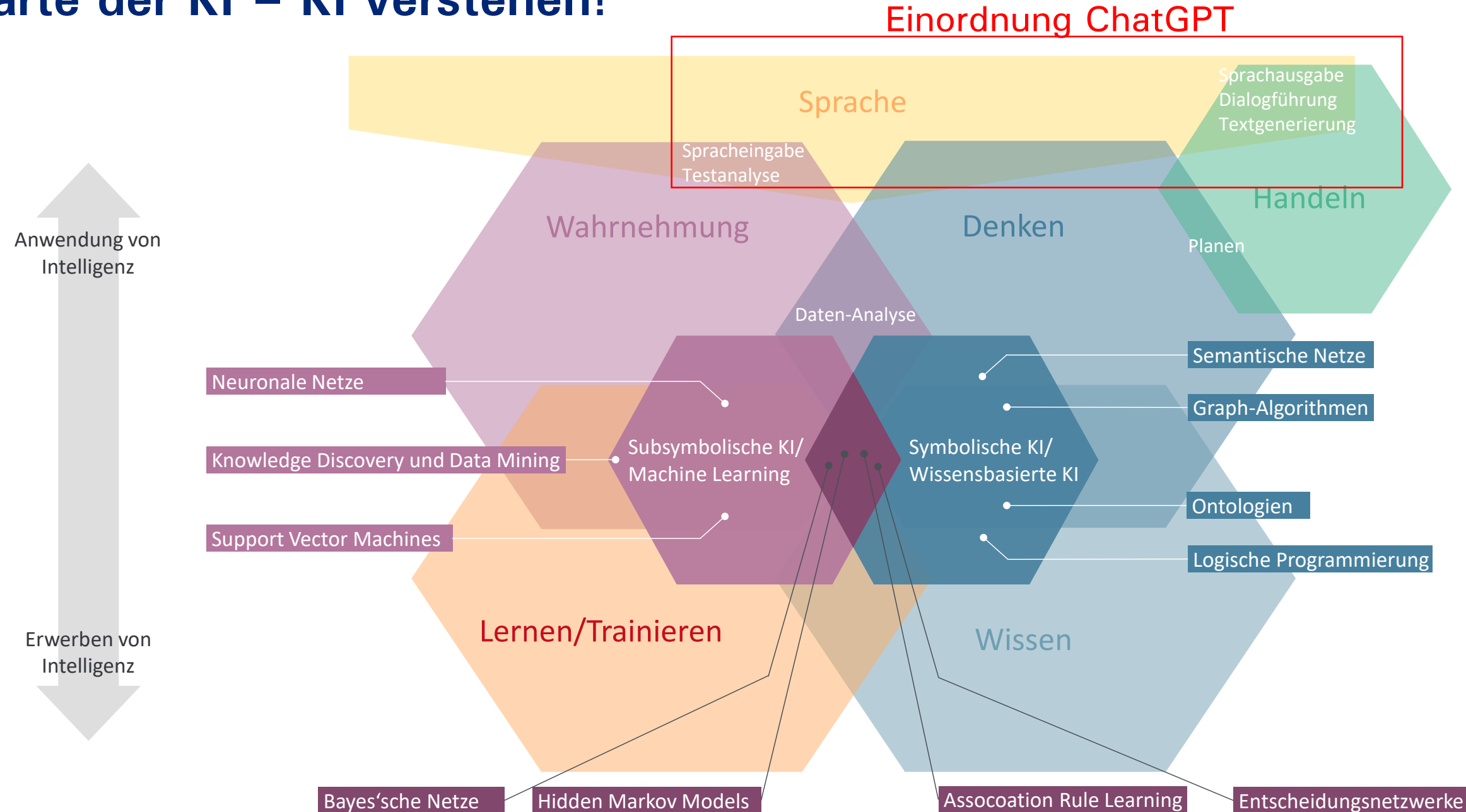


MBSE erleben für die dynamische Fahrzeug ADAS & Cockpit-Beurteilung

DCTC (Digital Cube Test Center), TU Berlin – Erlebe Deine Modelle im Umfeld von Verkehr & Umgebung: **Zusammenarbeit mit VW**
"road to rig to bit to **Functional Drive**")



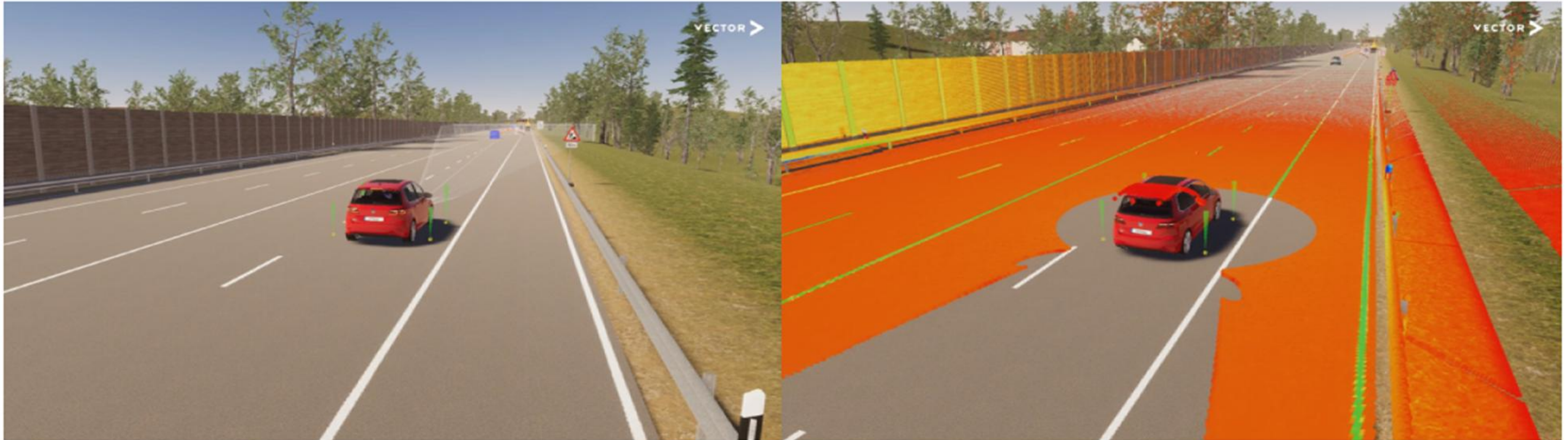
Landkarte der KI – KI verstehen!



Transformation 3 – KI-Unterstützung im Engineering

(1/6)

Neue synthetische Daten und Analytik für KI-Modelle beim Training von Sensormodellen



Beispiel: Auslegung und Entwicklung von Sensor-Modellen für hochautomatisiertes Fahren

A Camera based sensor to achieve *moving object detection*

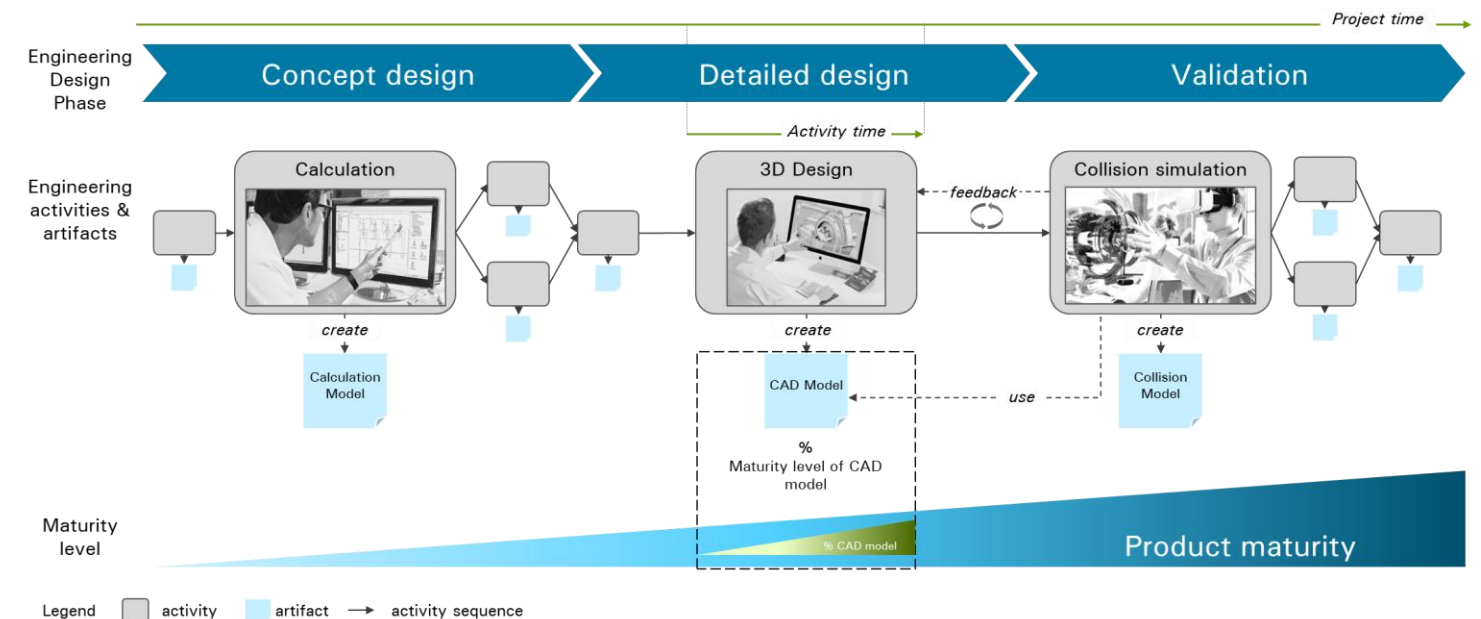
(use of 2D based AI analysis of graphics)

B Lidar based sensor to achieve *complete environment detection*

(use of 3D based graphical radiosity / raytracing / raycasting analysis
+ subsequent 2D/3D AI analysis)

Transformation #3: *KI-Unterstützung im Engineering* (2/6) *KI-basierte Projektfortschrittsmessung, Teil 1*

- Problem state
 - Recording of project-relevant information almost exclusively by manual process to predefined milestones or informally. More frequent queries mean high administrative and time expenditure.
- Solution
 - Using artifacts created during the product development process to measure the progress.
 - Each artefact is considered individually and a maturity level is determined, which together represent the product maturity level across all artefacts.
 - An ML model was implemented for the CAD model, which determines the progress based on the design operations performed.



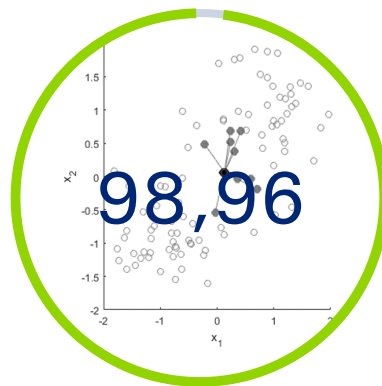
Transformation #3: *KI-Unterstützung im Engineering*

(3/6)

KI-basierte Projektfortschrittsmessung, Teil 2

Accuracy of predictions

Example CAD model



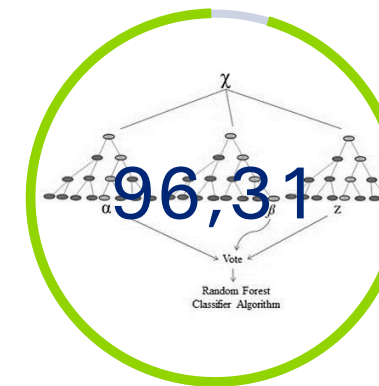
K NEAREST NEIGHBORS

Distributes the data sets in a coordinate system and selects the maturity level for a new point as the mean value of the k-nearest points.



DECISION TREE

Subdivides the data records using construction operations until the maturity level can be read off at the bottom of the 'sheet'.



RANDOM FOREST

Uses multiple decision trees to achieve a lower variance. The maturity level is determined as the average of the individual trees.

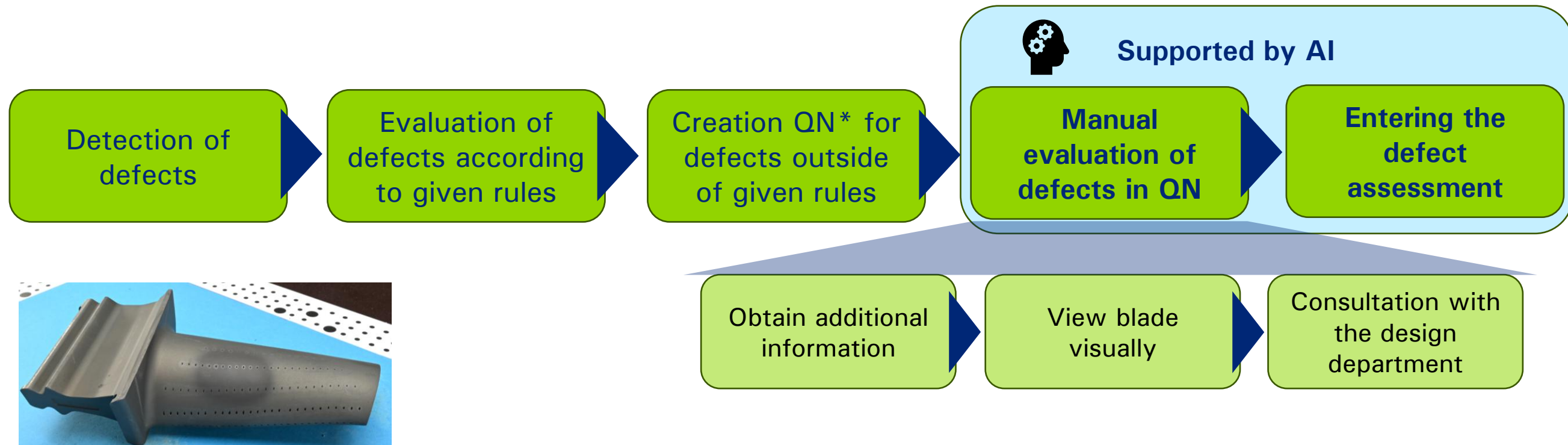


Transformation #3: *KI-Unterstützung im Engineering*

(4/6)

Vorhersage von Reparaturmaßnahmen bei Turbinenschaufeln, Teil 1

- Previously manual process of evaluating defects outside the given rules:



- The manual process will be automated using AI to minimize the assessment time by service engineers.
- The AI will be designed in such a way that the decision-making process becomes transparent for service engineers.
- The proposal of the AI can be changed by service engineers.

QN: Quality Notification

Transformation #3: *KI-Unterstützung im Engineering*

(5/6)

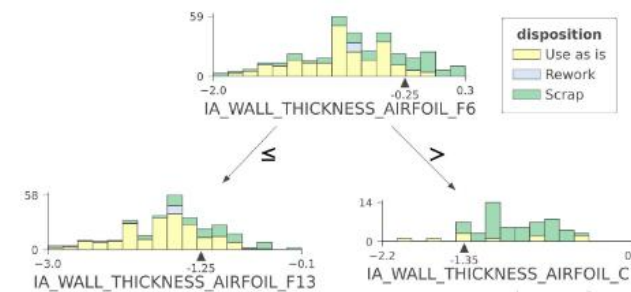
Vorhersage von Reparaturmaßnahmen bei Turbinenschaufeln, Teil 2

• Data perspective:

- Data from 3 data sources must be linked together:
FPI: Data of visual defects,
DDC: Measurement data from physical measurements,
QN: Repair measures

Data amount	FPI	QN	DDC
# records	149.978	17.891	243.476
# records after filtering	2.478	1.407	17.429

Extract of the decision tree



Confusion matrix

	Use as is	Rework	Scrap
Use as is	77	8	6
Rework	13	110	4
Scrap	10	7	59
	Use as is	Rework	Scrap

True label

Predicted label

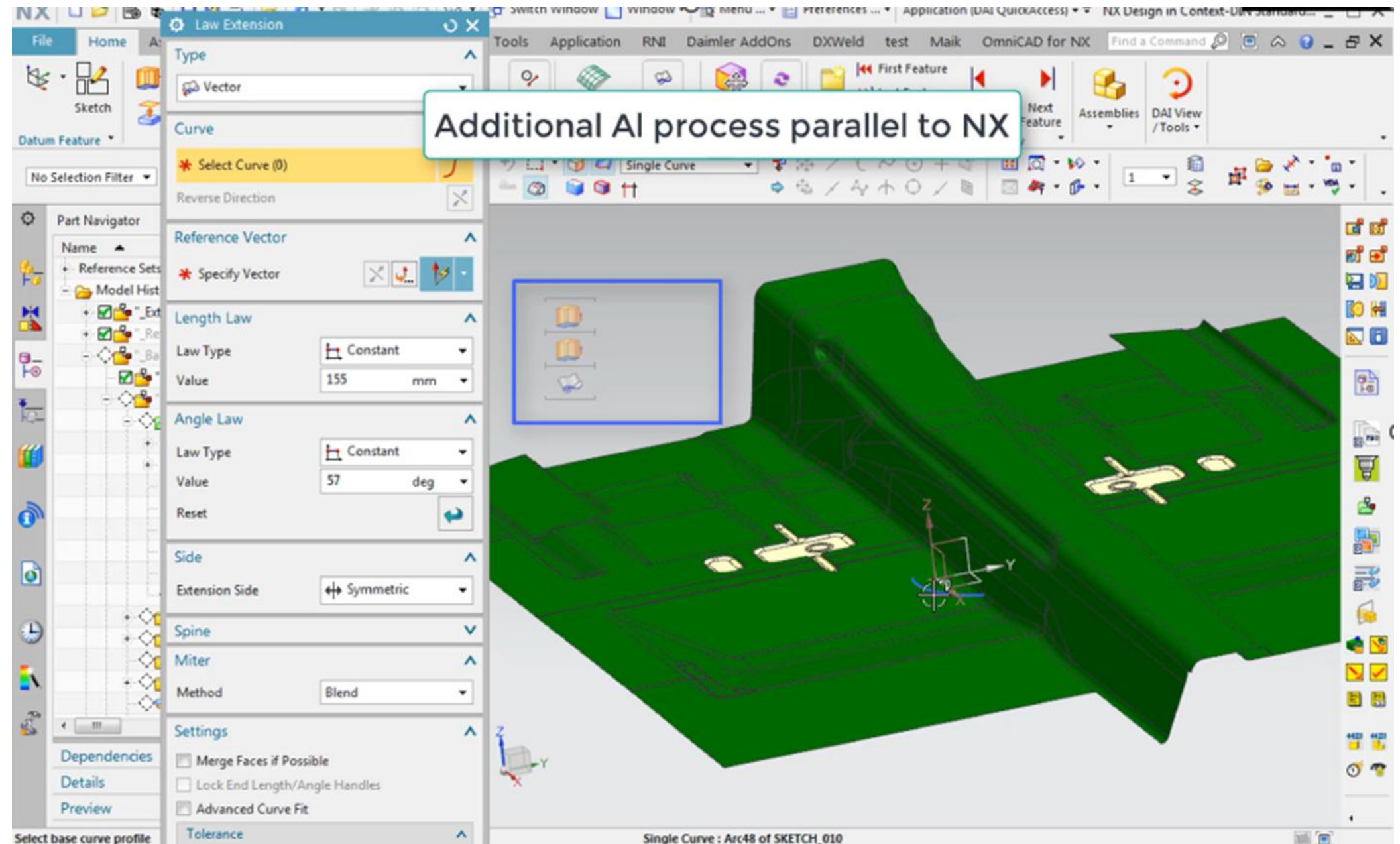
• Solution:

- A Decision Tree was implemented
- *Unfavorable prediction:*
 - Actual “Scrap” is predicted as “rework” or “use as is”
 - Establish a preference ranking: “Scrap” > “Rework” > “Use as is”
 - Introduction of an additional metric: underestimation rate
 - The lower the underestimation rate, the more secure

✓ **Result:** By integrating a ML model into the MRO process manual steps could be replaced and the MRO process be accelerated.

Transformation #3: *KI-Unterstützung im Engineering*

(6/6) *KI-basierte Assistenz bei der CAD-Modellierung im Fahrzeugbau*



Fazit,
nächste Schritte,
Ausblick

4



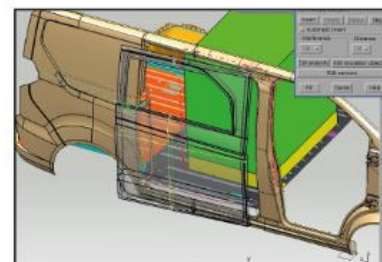
Fazit, nächste Schritte und Ausblick (1/3)

1. Eine Menge von **bestehenden CAx-, virtuellen und KI-Techniken** stehen bereits heute zur Verfügung, sie müssen jedoch konsequent im neuen beschleunigten *Entwicklungsprozess* mit entsprechenden Verantwortlichkeiten ermöglicht und gelebt werden: **Potentiale ernsthaft nutzen!**
2. Selbst die **Zukunft der virtuellen Produktentstehung** ist bereits vorgedacht und z.T. auch schon praxisgerecht vordemonstriert und ausgebildet: **Mut zur kontinuierlichen Erneuerung etablieren!**
3. Kontrovers erscheint das „**merkwürdige Verhältnis**“ zwischen **Software im Fahrzeug** und der benötigten **physikalischen Hardware für ein Automobil** (Trennung von „innerem und äußeren V“): **hier muss nun konzertiert gehandelt werden, die meisten Funktionen im Fahrzeug benötigen beides!**
4. **Der derzeitige KI-Hype** wird sich wieder legen, **trotzdem muss KI im Engineering stark forciert werden!**
5. Die **intrinsische Motivation des mittleren Managements** sich an den Transformationsschritten zur Erneuerung der virtuellen Produktentstehung in der Fahrzeugentwicklung aktiv mit Erfahrung und Stolz zu beteiligen muss gestärkt werden: **Ohne diese aktive Führung kein wirklicher Fortschritt!**
6. Die **gelebte digitale Entwicklungskultur** muss sich stark wandeln: Weg vom hierarchischen Vorstellen, Prüfen und Verbessern hin zum dynamischen Reviewen und Arbeiten an den Modellen und Daten!
Die digitale Arbeitsproduktivität muss massiv gesteigert werden, um schneller entwickeln zu können!

Fazit, nächste Schritte und Ausblick (2/3)

Eliminierung von „mehrstufig aggregierten & dadurch digital verwässerten“ Entscheidungsprozessen

Etablierung von modell- und datenbasierten Kollaborations- und Review Meetings mit geeigneter systemischer Entscheidungsbefugnis



A Reviews with live 3D models (kinematic analysis)



B Reviews with PowerPoint based on 2D screen shots (reduced content)



C Reviews with A3 charts (text only, little technical content)

The “digital degradation dilemma“ of management work life...

Unfavorable separation of Management tools



virtuelle Interaktion, synchron, Office + reales Fahrzeug

physische Interaktion, synchron, modellbasiert im Konferenzraum



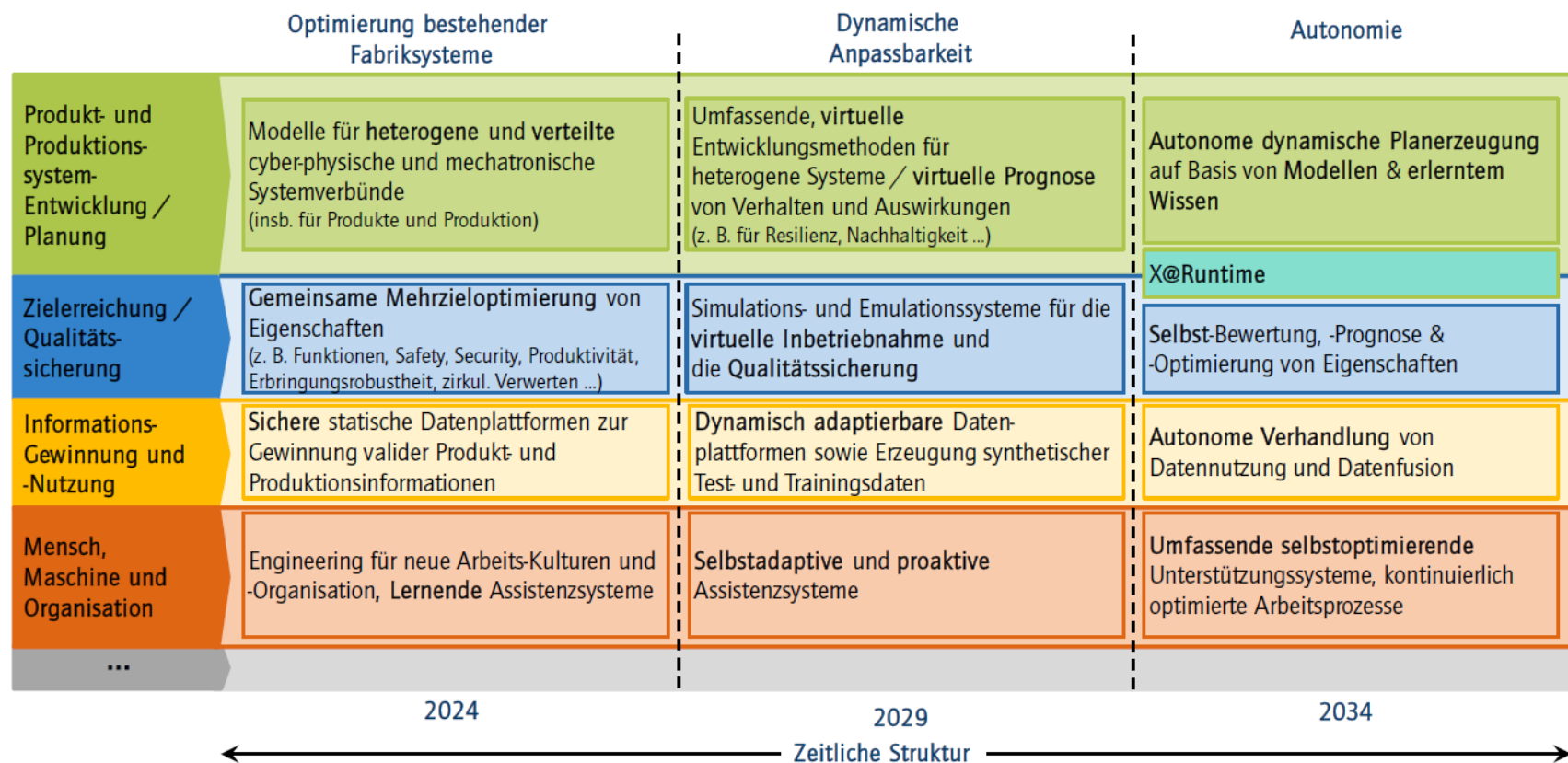
Digitale Prozessinteraktion, asynchron (Tage, Wochen), modellbasiert am Computer

Fazit, nächste Schritte und Ausblick (2/3)

- Der Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0 hat hierfür die **Engineering Roadmap** im Mai 2024 veröffentlicht:



Die Engineering-Roadmap des Forschungsbeirats Industrie 4.0



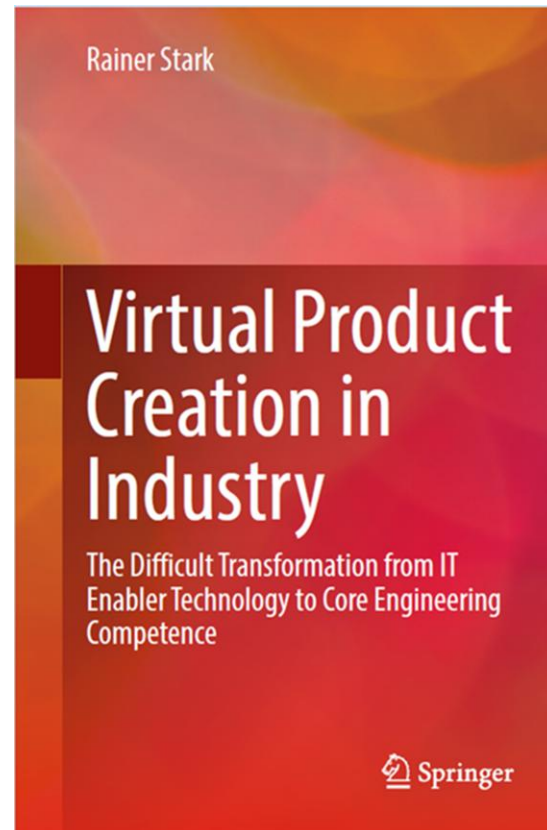
“ Highly networked, increasingly automated or even autonomous technical systems of Industrie 4.0 require a wide range of new development capabilities in order to enable and guarantee functionally safe and equally sustainable operation. The Engineering Roadmap of the Research Council Industrie 4.0 provides the necessary thematic and temporal impetus and direction for the next ten years.



©TU Berlin FG Industrielle Informationstechnik

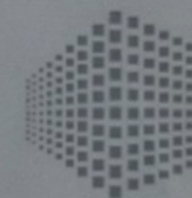
Rainer Stark (TU Berlin), member of the Research Council Industrie 4.0

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.



Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark

Executive Consulting
Virtual Product Creation &
Future Automotive Engineering



Prof. Stark
Executive Consulting
Virtual Product Creation &
Future Automotive Engineering

VISION

Ingenieur*innen sollen mit kreativer Virtualität und digitaler Kontinuität nachhaltiges Leben ermöglichen.

MISSION

Wir virtualisieren die Produktentstehung durch Gestalten von Daten, Modellen, Methoden, Werkzeugen und Prozessen.

Wir verwirklichen neue digitale Entwicklungsintelligenzen als Teil eines soziologischen-technischen Systems für eine nachhaltige Zukunft.

Wir nutzen neueste Technologien der Informationstechnik sowie innovative Methoden der angewandten und experimentellen Forschung.

Damit steigern wir Innovationskraft und Effizienz des Engineerings.

