

```
// calculate position/directions of fixings
val edges = sketch.edges
var fixingsPerEdge = 4.0
var listOfDirections = new ArrayList()
var listOfPositions = new ArrayList()
for (edge : edges) {
    val e = edge as geo.Edge // as geometry-edge
    val edgeSegments = fixingsPerEdge + 1;
    for (var i = 1; i < edgeSegments; i++) {
        val k = i / (edgeSegments)
        val edgePosition = e.positionAt(k)
        val tangentPosition = e.tangentAt(k)
        val vertex = geo.Vertex.makeVertex(edgePosition)
        val direction = geo.Vertex.makeVertex(tangentPosition)
        listOfDirections.add(direction)
        listOfPositions.add(vertex)
    }
}
```

7. Trendausblick, Transformations-Hub Leitungssatz

# 3D-Kabelbaumentwurf automatisieren

*Graphen-basierte Entwurfssprachen  
als Treiber der digitalen Engineering-Transformation*

Dr.-Ing. Roland Weil, IILS mbH

```
// create paths
val fixingList = fixings.fixings
val firstFixing = fixingList.get(0)
val lastFixing = fixingList.get(fixingList.size-1)
val paths = Routing.routing.paths
for (i: 0..fixingList.size-2) {
    val beginOfPath = fixingList.get(i)
    val endOfPath = fixingList.get(i+1)
    // create new path
    paths.add(beginOfPath, endOfPath)
}
```



# IILS mbH

Ingenieurgesellschaft für intelligente Lösungen und Systeme mbH



## Kleinunternehmen (KMU)

- 14 Mitarbeiter
- Sitz in Leinfelden-Echterdingen
- Unabhängiges Unternehmen für Engineering-Automatisierung



## Ausgründung der Universität Stuttgart

- Gegründet im Juli 1999
- Entstanden am Institut für Statik und Dynamik der Luft- und Raumfahrtkonstruktionen (ISD)
- Forschungsk Kooperation mit dem Institut für Flugzeugbau (IFB)



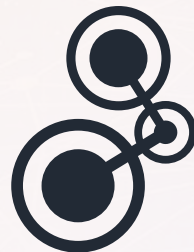
## Tätigkeitsfelder

- Softwareentwicklung für Engineering-Automatisierung (Design Cockpit 43®)
- Digitalisierung und Engineering-Dienstleistungen
- F&E-Projekte im Bereich Digital Engineering und Entwurfssprachen



## Mission

- Europäischer Think-Tank für EaaS und MBSE-Automatisierung
- Entwickler der weltweit fortschrittlichsten Engineering Design Compiler



**IILS mbH**  
Leinfelder Straße 60  
D-70771 Leinfelden-Echterdingen

# Das Problem im Engineering

Traditionelle Engineering-Prozesse in vielen Industrien sind von mehreren kritischen Problemen geprägt:



## Zersplitterte Datenlandschaft

Informationen verteilen sich auf voneinander getrennte „Dateninseln“, wodurch der Zugriff und die Verarbeitung zeitaufwendig werden.



## Inkohärente Prozesse

Die Unternehmensprozesse entwickeln sich organisch ohne ganzheitliche Überprüfung, was zu Ineffizienzen in Arbeitsabläufen führt.



## Dokumentenzentrierter Austausch

Der Wissenstransfer basiert auf manuell erstellten Dokumenten, was einen unnötigen Mehraufwand darstellt.



## Manuelles Modellieren

Simulationsmodelle über mehrere Domänen hinweg werden von Hand erstellt und aktualisiert, was langsame, fehleranfällige Iterationen zur Folge hat.“



# Die Vision der IILS

Unsere Vision ist die vollständige Automatisierung von Entwurfsprozessen über den gesamten Produktlebenszyklus:



## Konsistente Domänenmodelle

Automatische Erzeugung und Pflege synchronisierter Ingenieurmodelle über alle Domänen hinweg.



## Fehlerfreie Automatisierung

Routine- und fehleranfällige Aufgaben werden durch Automatisierung eliminiert.



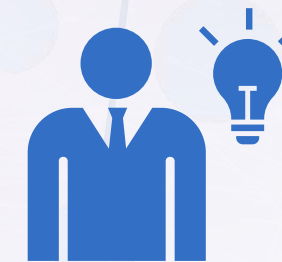
## Minimale Entwurfzeit

Reduktion der Designzeit auf das theoretische Minimum, begrenzt nur durch die Laufzeit der Algorithmen.



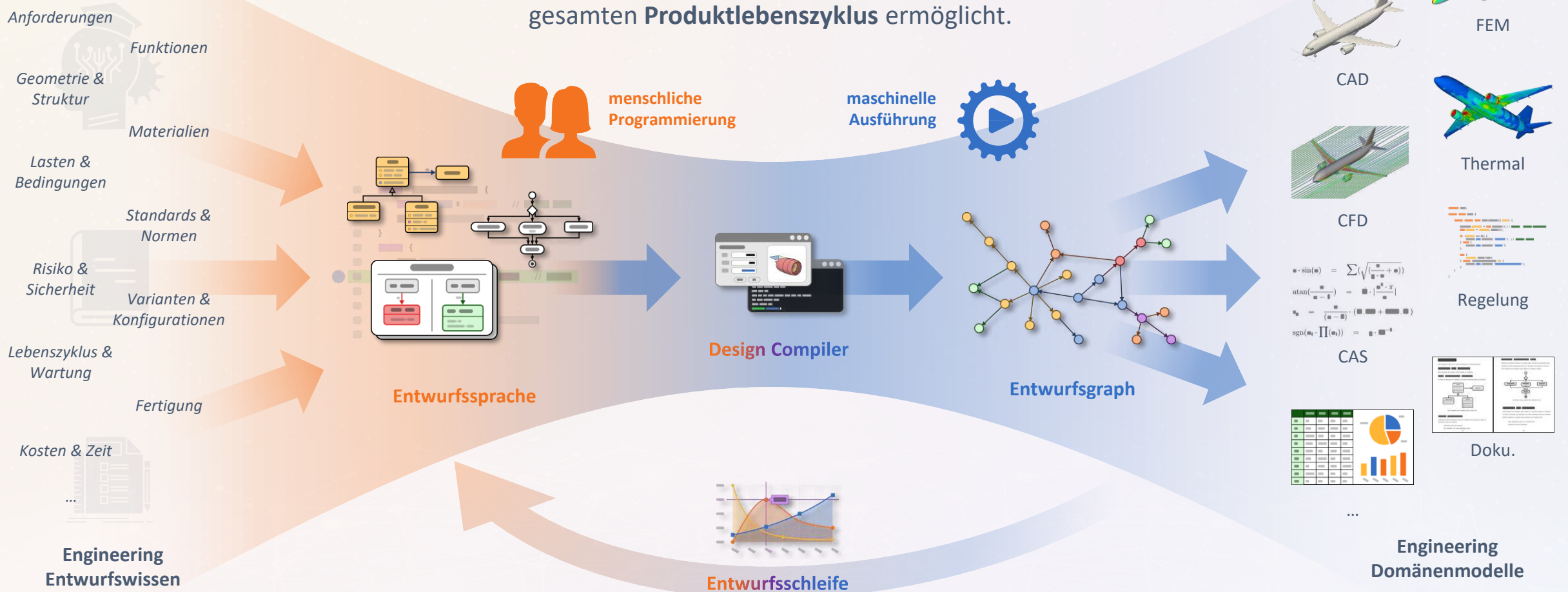
## Kreativer Fokus

Ingenieur:innen steuern den Entwurfsprozess und analysieren Lösungen, statt Fehler zu beheben oder manuelle Schritte zu wiederholen.



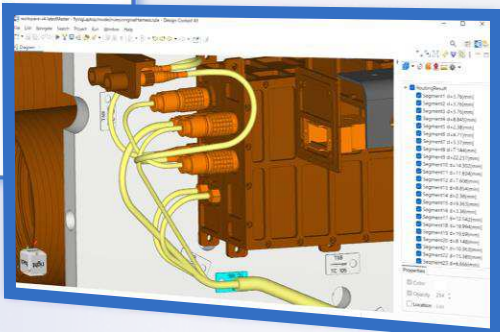
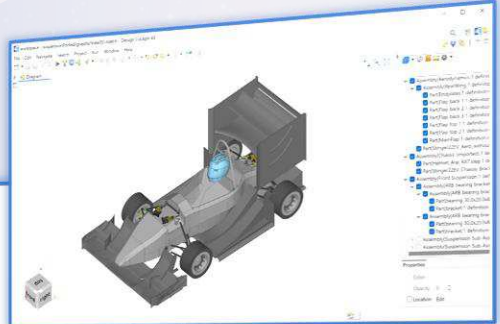
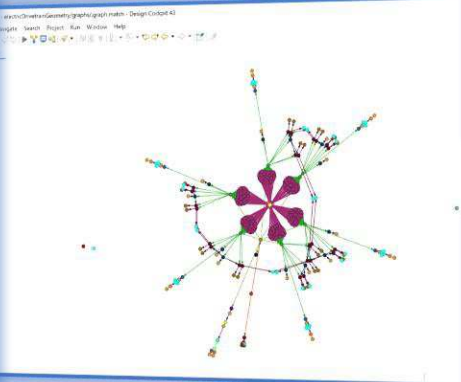
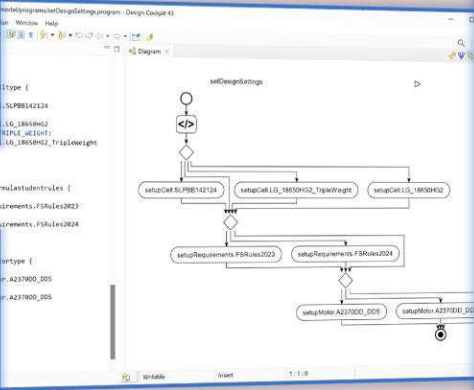
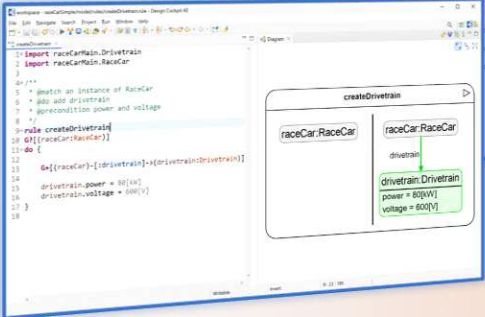
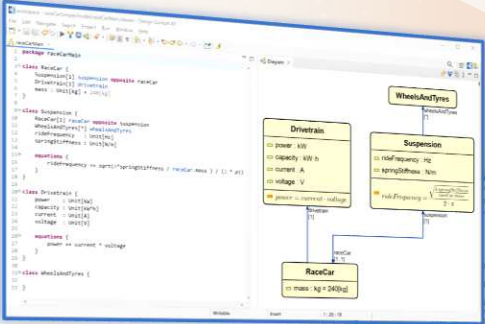
# Die Lösung: Graphenbasierte Entwurfssprachen

Graphen-basierte Entwurfssprachen sind eine systematisch entwickelte Methodik zur Formalisierung von Entwurfswissen im Engineering in eine computerbasierte Beschreibung, die eine automatische Modellgenerierung und Bewertung über den gesamten Produktlebenszyklus ermöglicht.



# Die Software: Design Cockpit 43®

Design Cockpit 43® (DC43®) ist eine hochmoderne, leistungsfähige Softwareplattform, die den kollaborativen Entwurf komplexer Ingenieurprodukte ermöglicht und mittels Graphen-basierter Entwurfssprachen eine vollständige End-to-End-Automatisierung von Engineering-Prozessen realisiert.

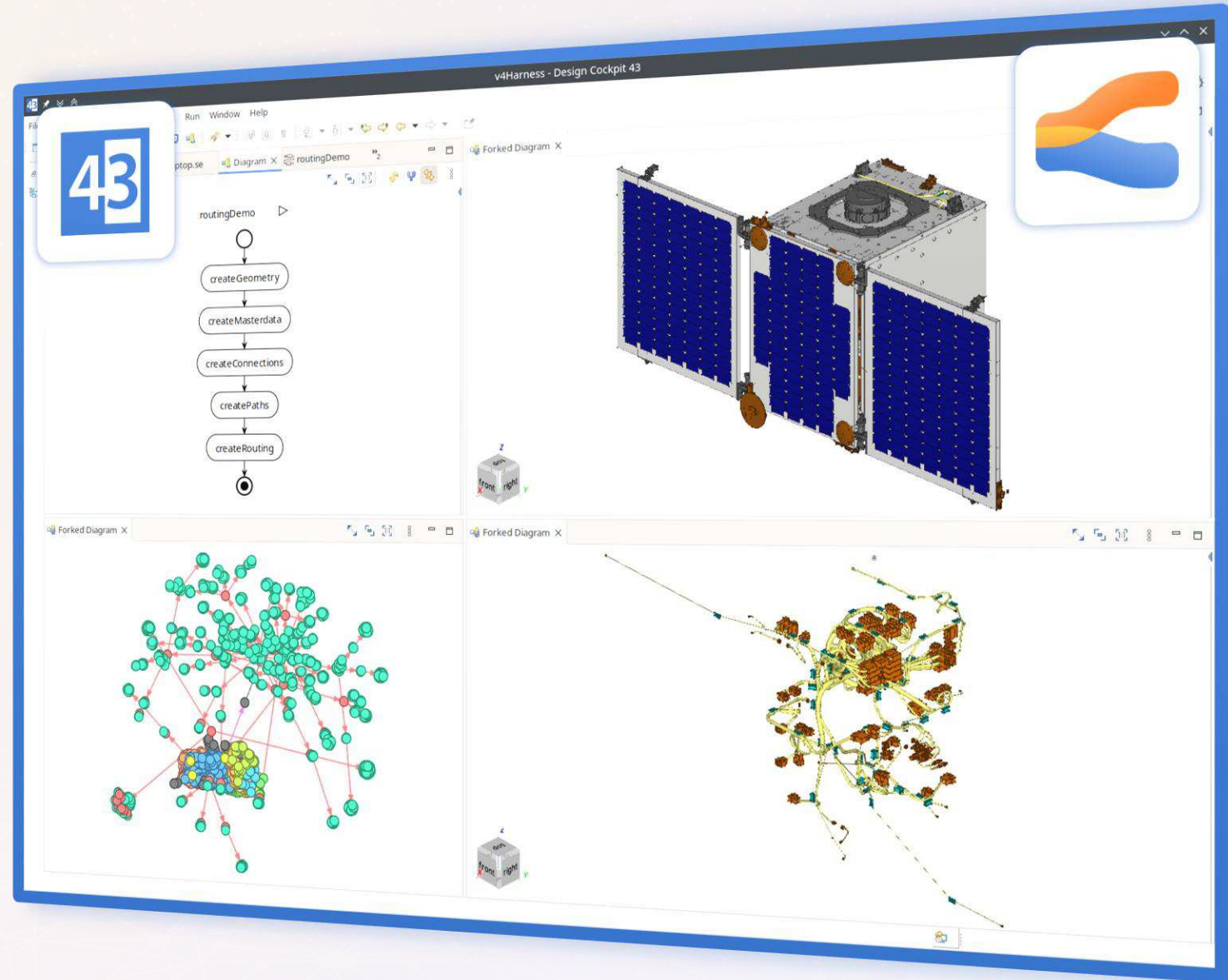


# Design Cockpit 43®

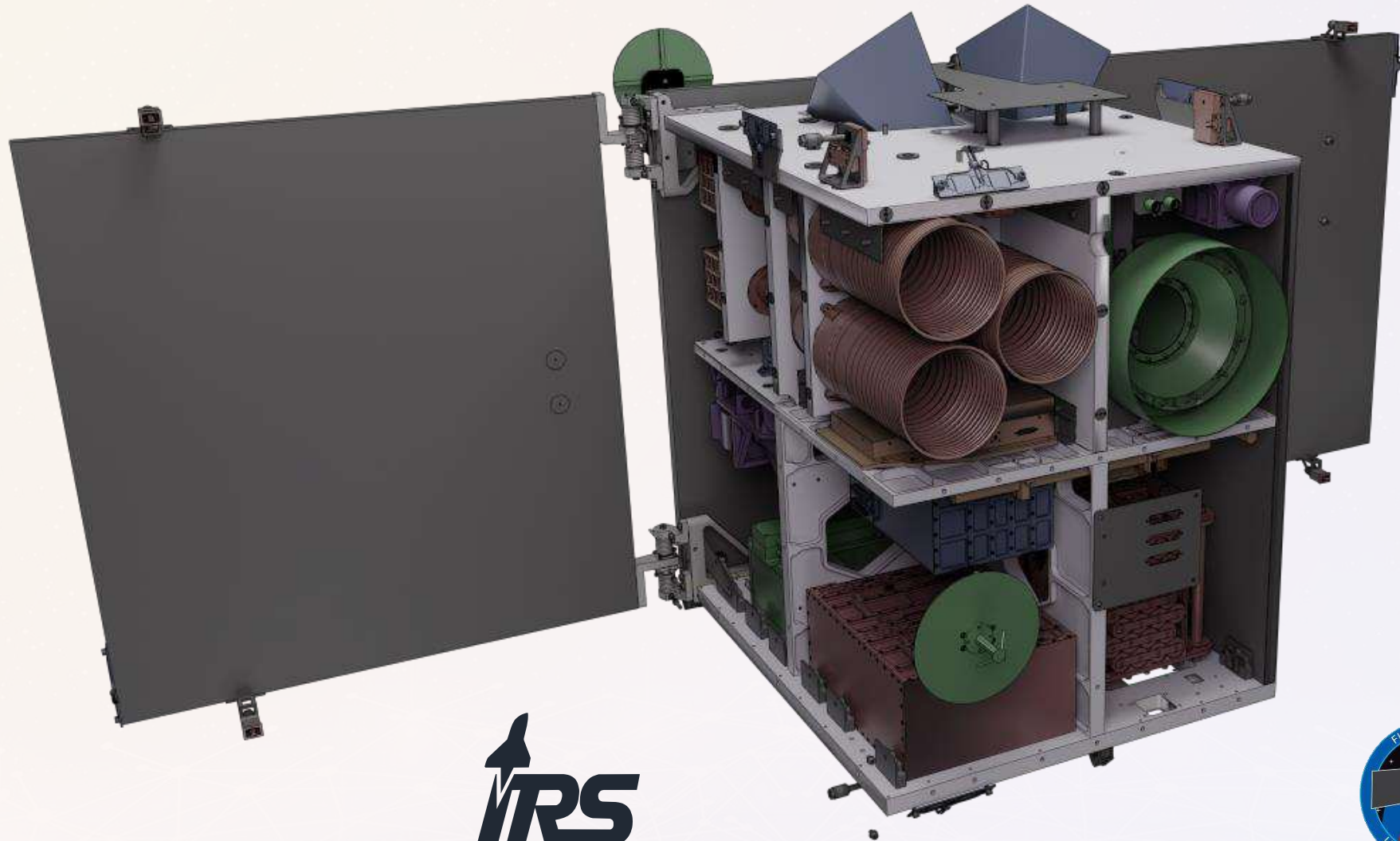
Engineering Automation by Design Compilation

## DC43<sup>®</sup> Harness Module

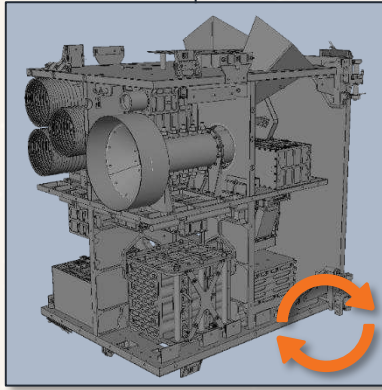
- Regelbasierte Modellierung
- Schnelle Handhabung komplexer Geometrien
- CAD-Integration
- Echtzeit-3D-Visualisierung
- Import-/Export-Schnittstellen



# Kleinsatellit „Flying Laptop“

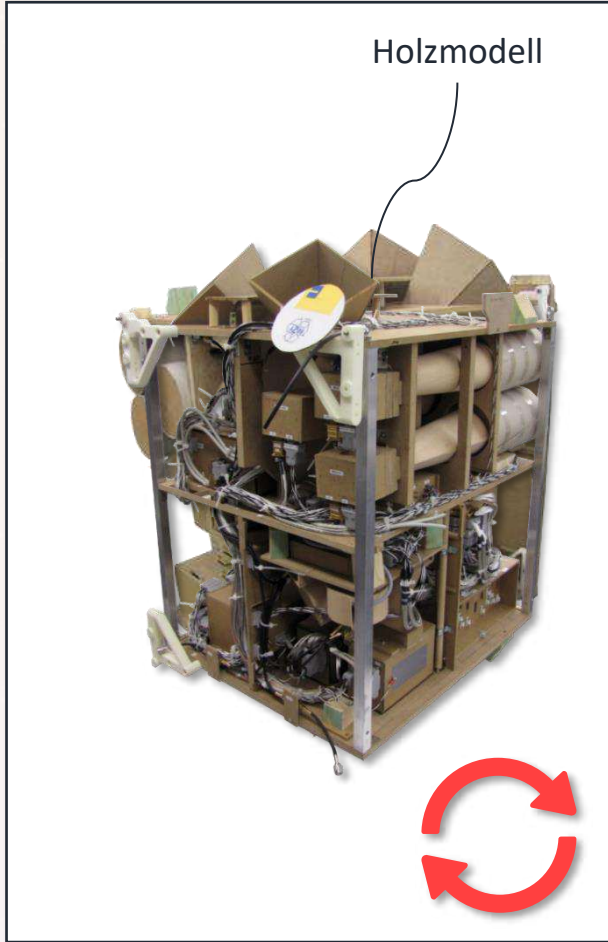


Geometrie (CAD)



# Leitungssatz „Flying Laptop“

Holzmodell

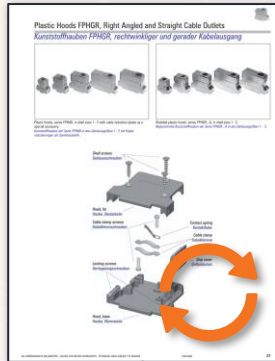


Flugmodell

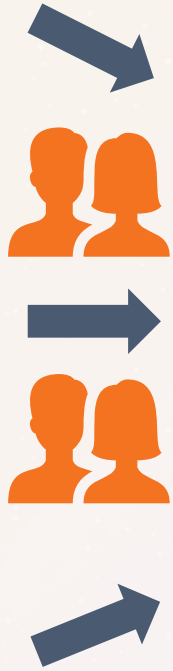


Empfänger	Sender	Band	Modulation	Prüf. Code	Target	Transp.	Orbit	Height
IRIS-1	IRIS-1	120-130 MHz	FM	001	001	1000	1000	1000
IRIS-2	IRIS-2	120-130 MHz	FM	002	002	1000	1000	1000
IRIS-3	IRIS-3	120-130 MHz	FM	003	003	1000	1000	1000
IRIS-4	IRIS-4	120-130 MHz	FM	004	004	1000	1000	1000
IRIS-5	IRIS-5	120-130 MHz	FM	005	005	1000	1000	1000
IRIS-6	IRIS-6	120-130 MHz	FM	006	006	1000	1000	1000
IRIS-7	IRIS-7	120-130 MHz	FM	007	007	1000	1000	1000
IRIS-8	IRIS-8	120-130 MHz	FM	008	008	1000	1000	1000
IRIS-9	IRIS-9	120-130 MHz	FM	009	009	1000	1000	1000
IRIS-10	IRIS-10	120-130 MHz	FM	010	010	1000	1000	1000

Elektrologik

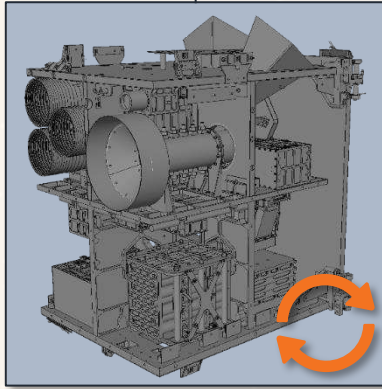


Komponentendaten



- **Problem:** hoher manueller Änderungsaufwand

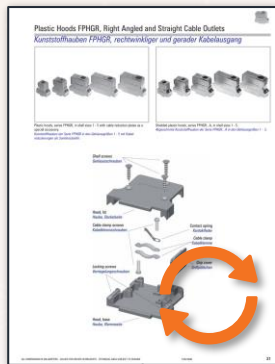
Geometrie (CAD)



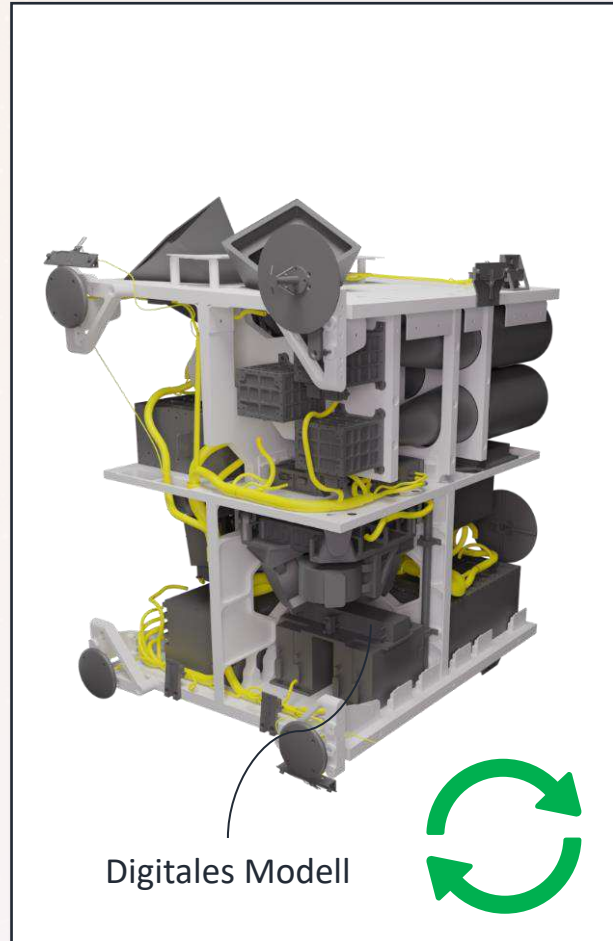
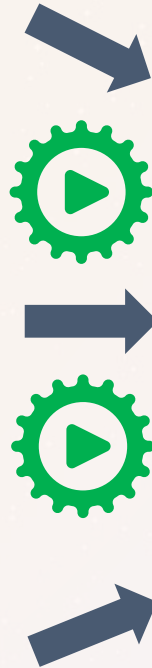
# Leitungssatz „Flying Laptop“

Empfänger	Sender	Elektronische	Peripherie	Prüf. Code	Target	Typ	Ordnung	Weg
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...

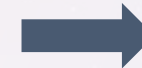
Elektrologik



Komponentendaten



Digitales Modell

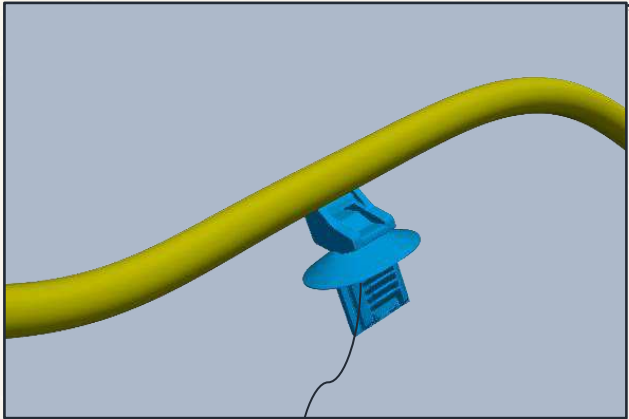


Flugmodell

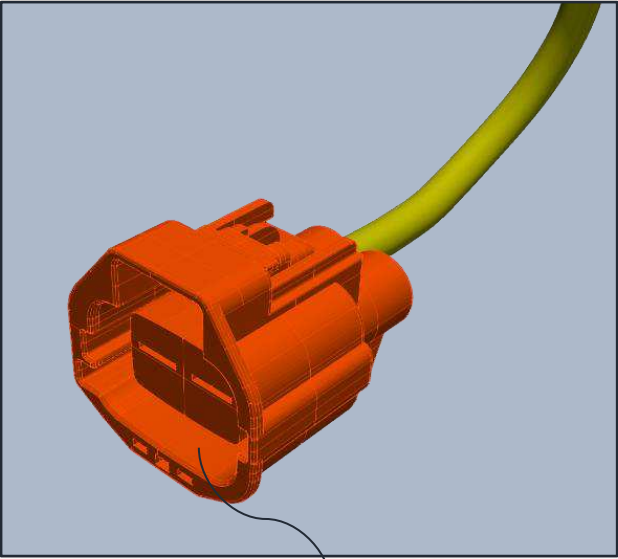


- **Problem:** hoher manueller Änderungsaufwand
- **Lösung:** digitales Leitungssatzmodell automatisch generieren

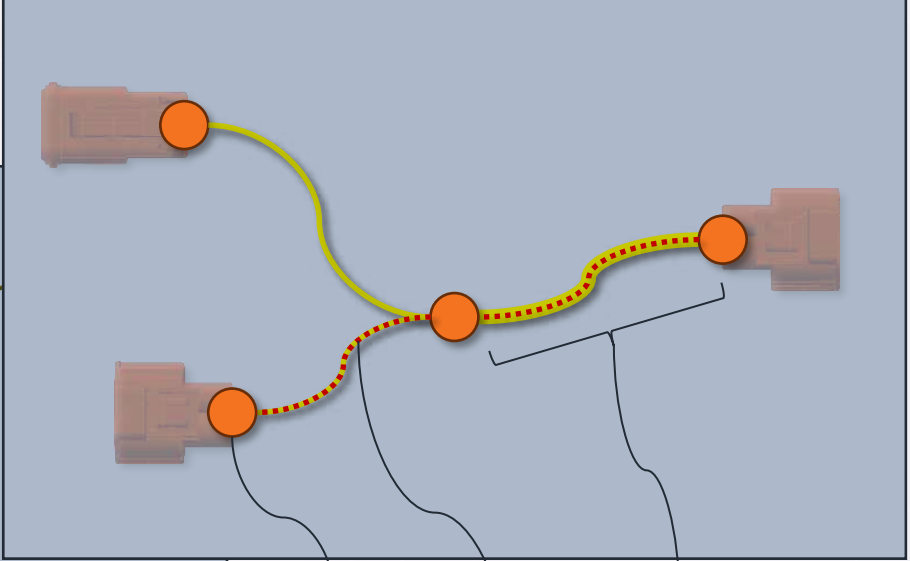
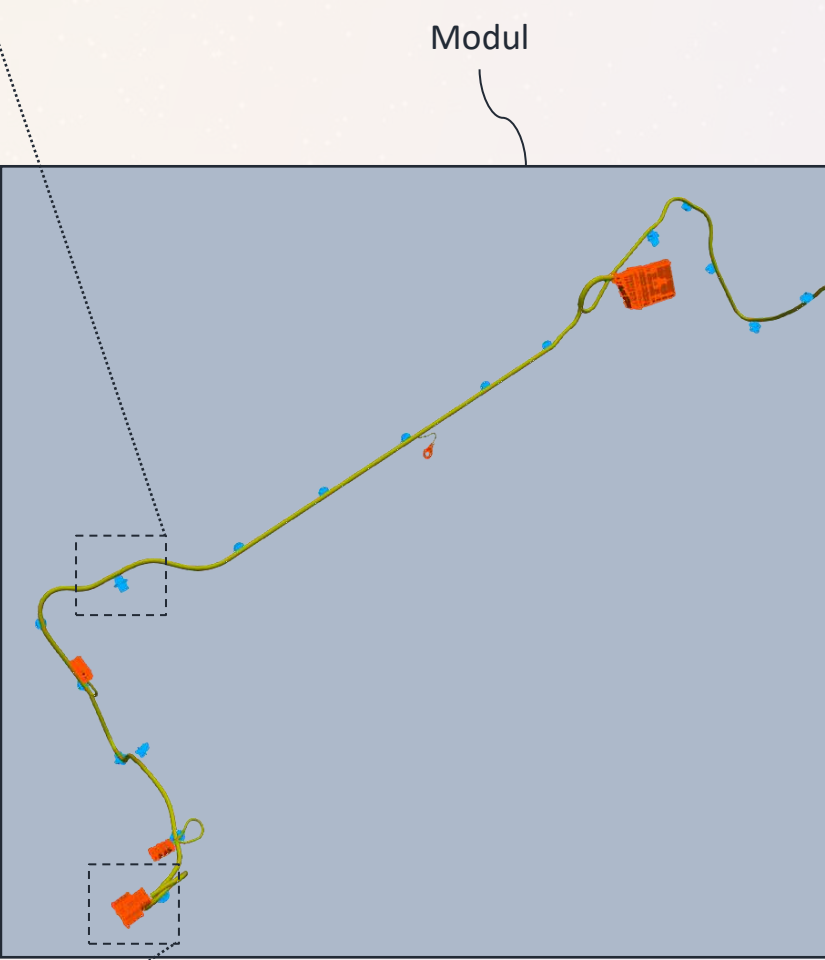
# Leitungssatzmodell



Halterung



Steckverbinder

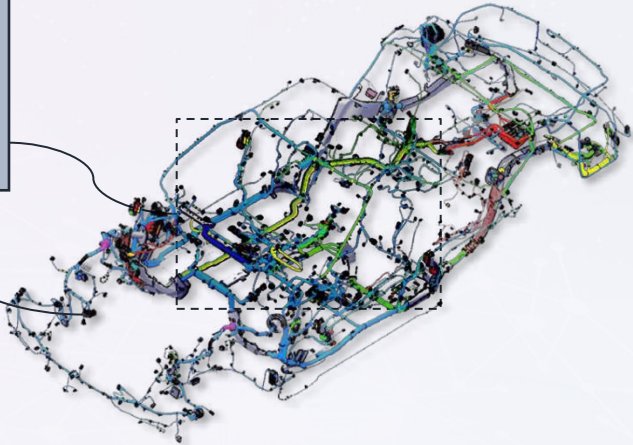


Knoten

Segment

Leitungsrouting

Leitungssatz

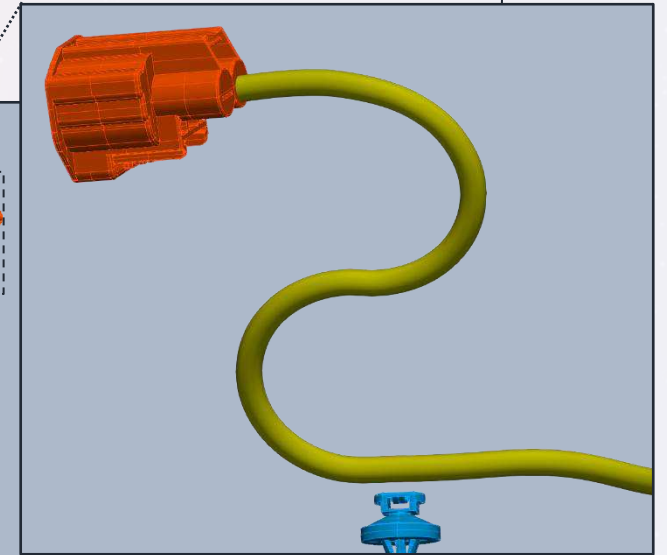
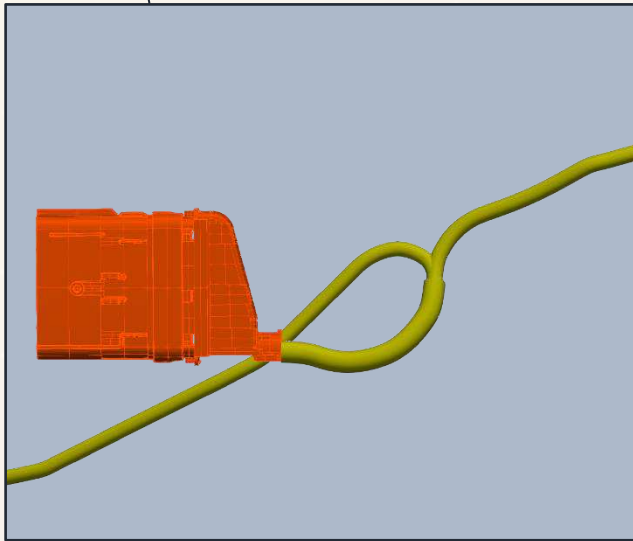


H. Kellerman, G. Nemeth, J. Kosteletzky, K. Barbehön, F. El-Dwaik, L. Hochmuth, "BMW 7 Series architecture", ATZextra, November 2008.

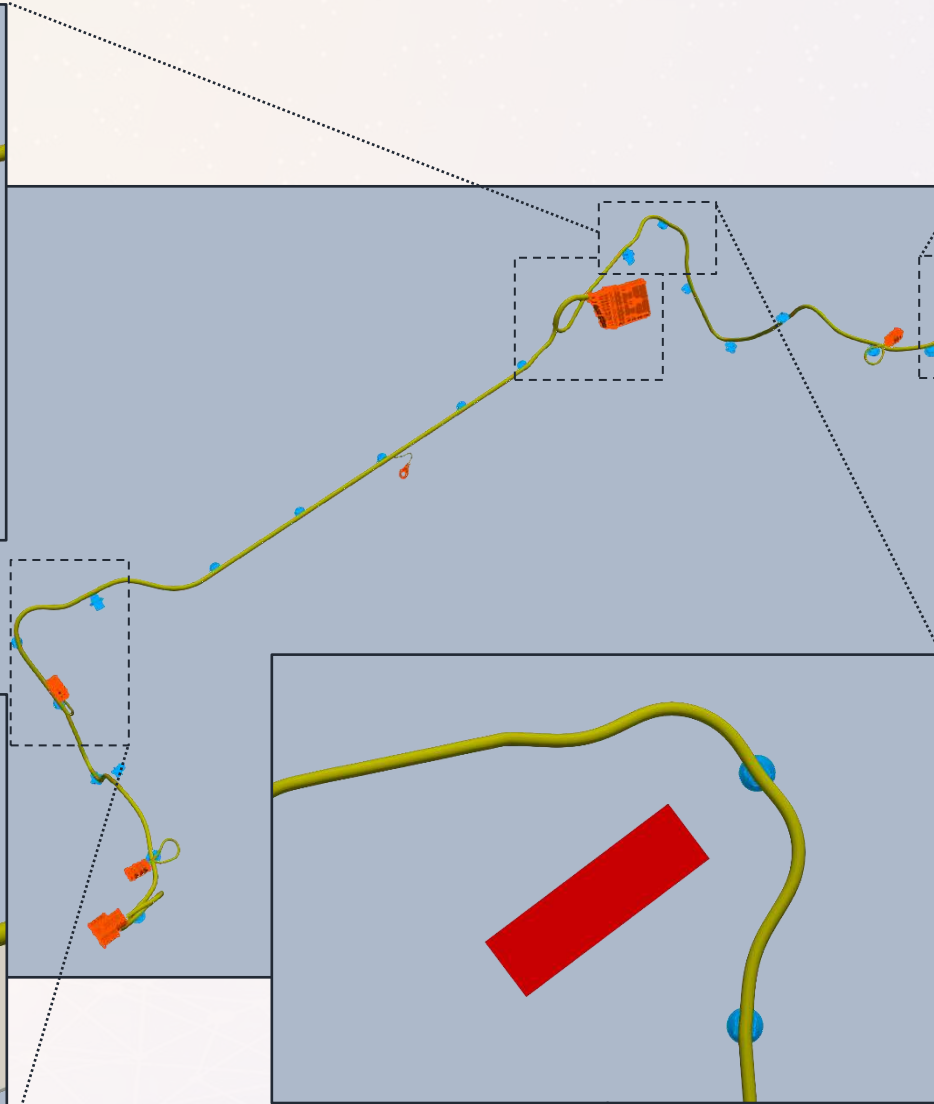
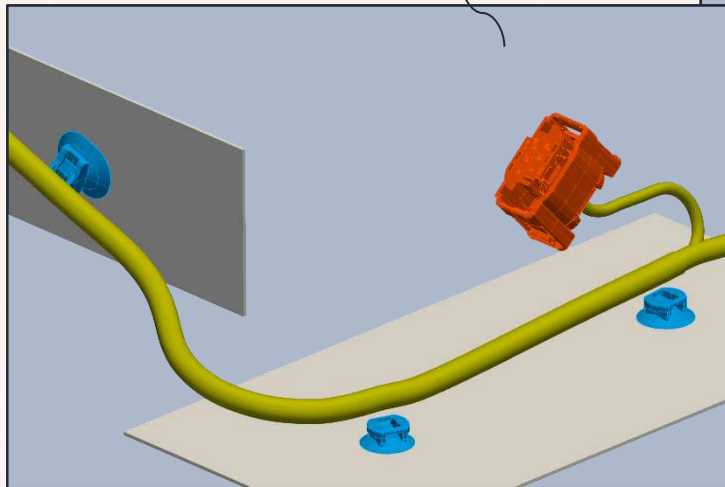
Bündelungen

# Leitungssatztopologie und -geometrie

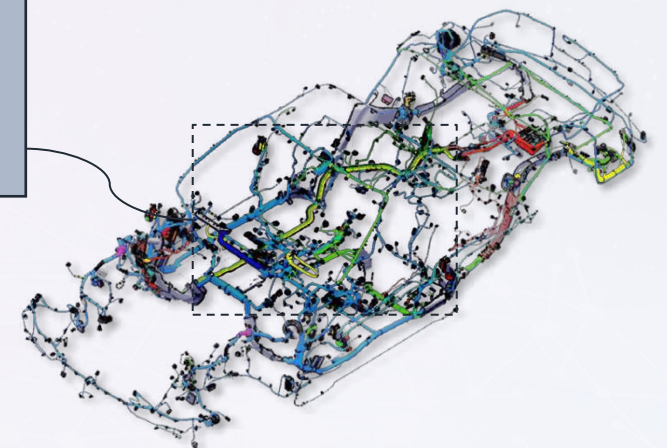
minimale  
Biegeradien



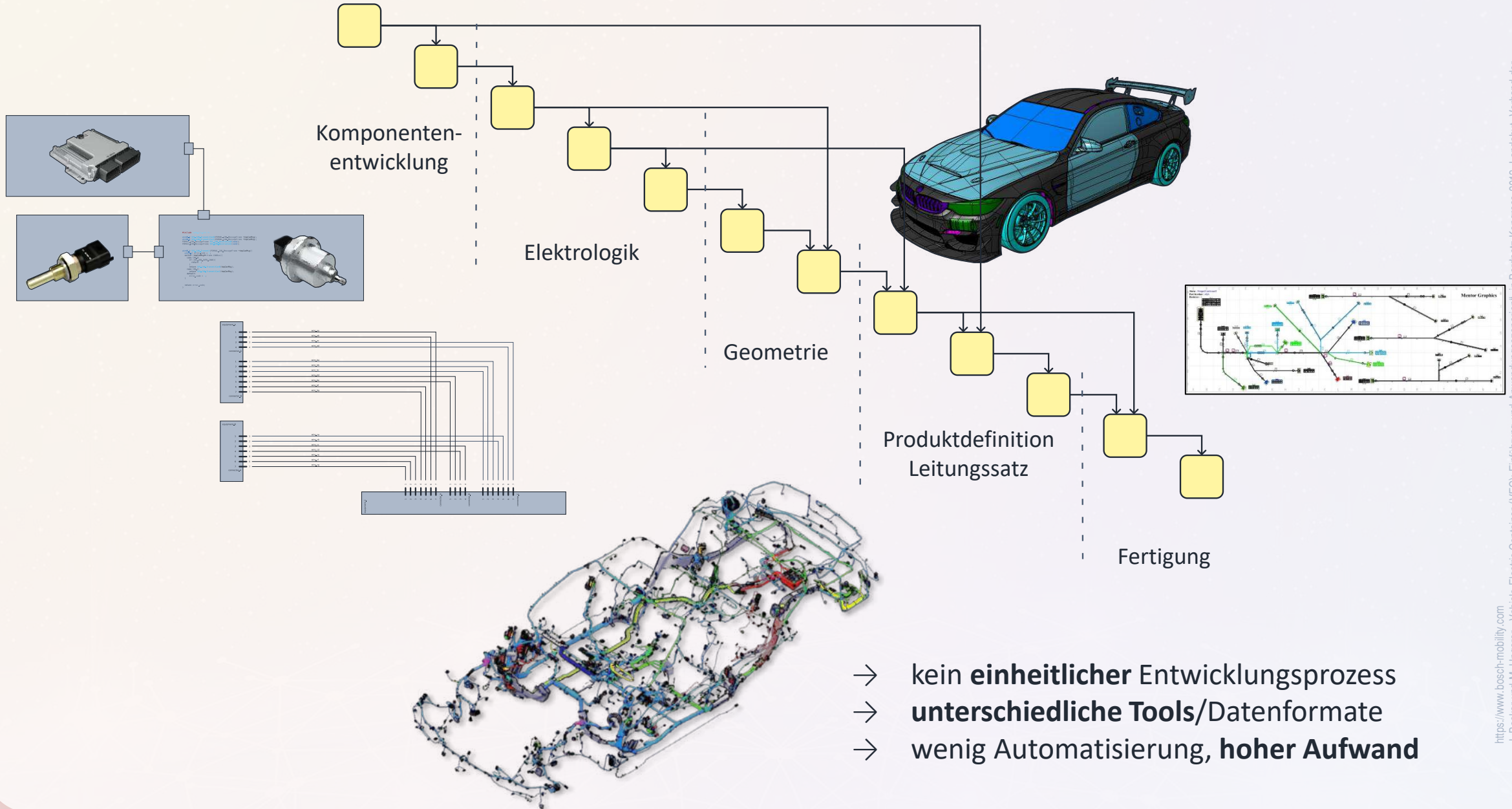
Befestigungen



kollisionsfrei, Mindestabstände



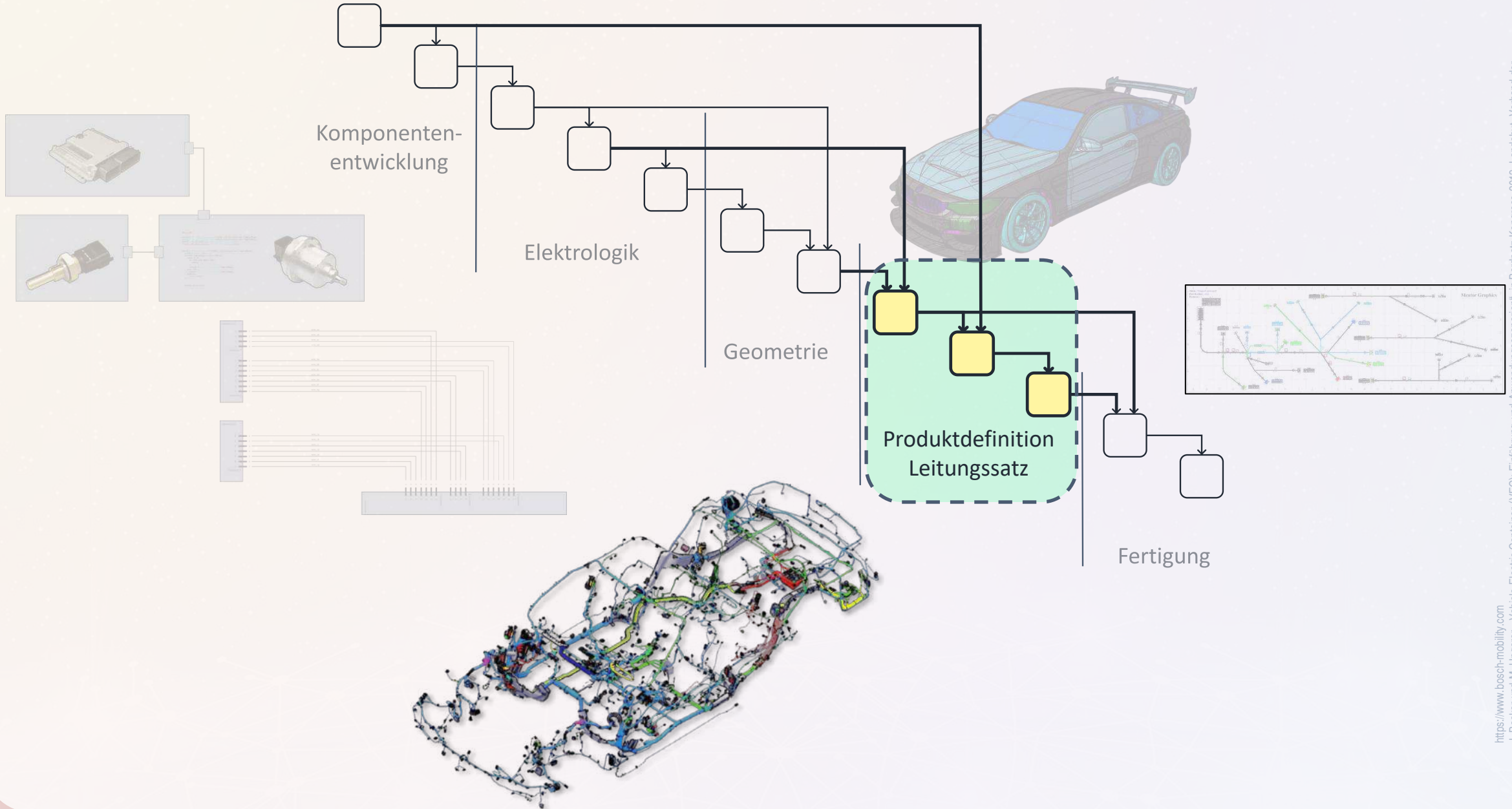
# Heutiger Entwicklungsprozess



- kein **einheitlicher** Entwicklungsprozess
- **unterschiedliche Tools/Datenformate**
- wenig Automatisierung, **hoher Aufwand**

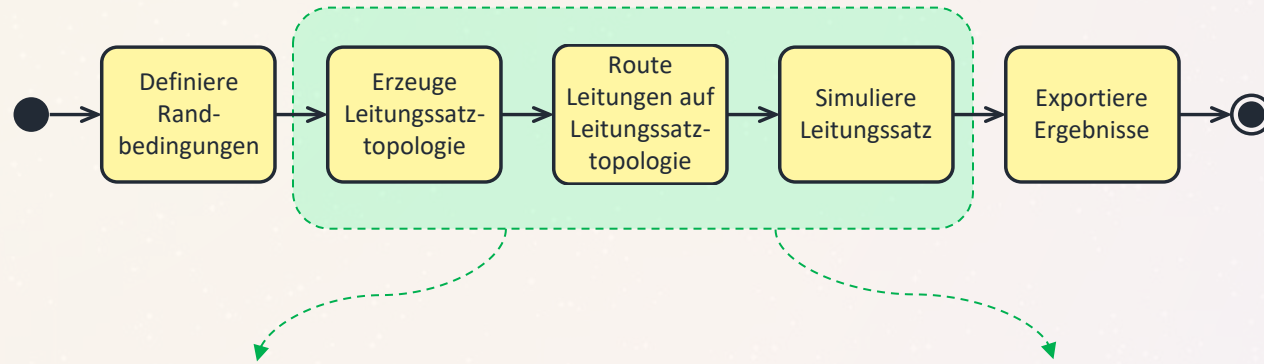
<https://www.bosch-mobility.com>  
J. Becker und M. Ungerer, „Vehicle Electric Container (VEC): Einführung und Anwendungsszenarien“, in: Bordnetz-Kongress 2013, Landshtut, Verband der Automobilindustrie (VDA) und ProSTEP N/P, Sep. 2013.  
<https://wiringharnessnews.com/capital-formboard-managertechnology-for-greater-wire-harness-manufacturing-efficiency/>  
H. Kellerman, G. Nemeth, J. Kosteletzky, K. Barbehön, F. El-Dwail, L. Hochmuth, „BMW 7 Series architecture“, ATZextra, November 2008.  
<https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/photo/detail/P90390597/Munich-GER-29th-May-2020-BMW-M4-GT4-Racing-development-virtual-sim-CAD>

# Automatisierung Leitungssatzentwurf



# Technologien

## Prozessaktivitäten



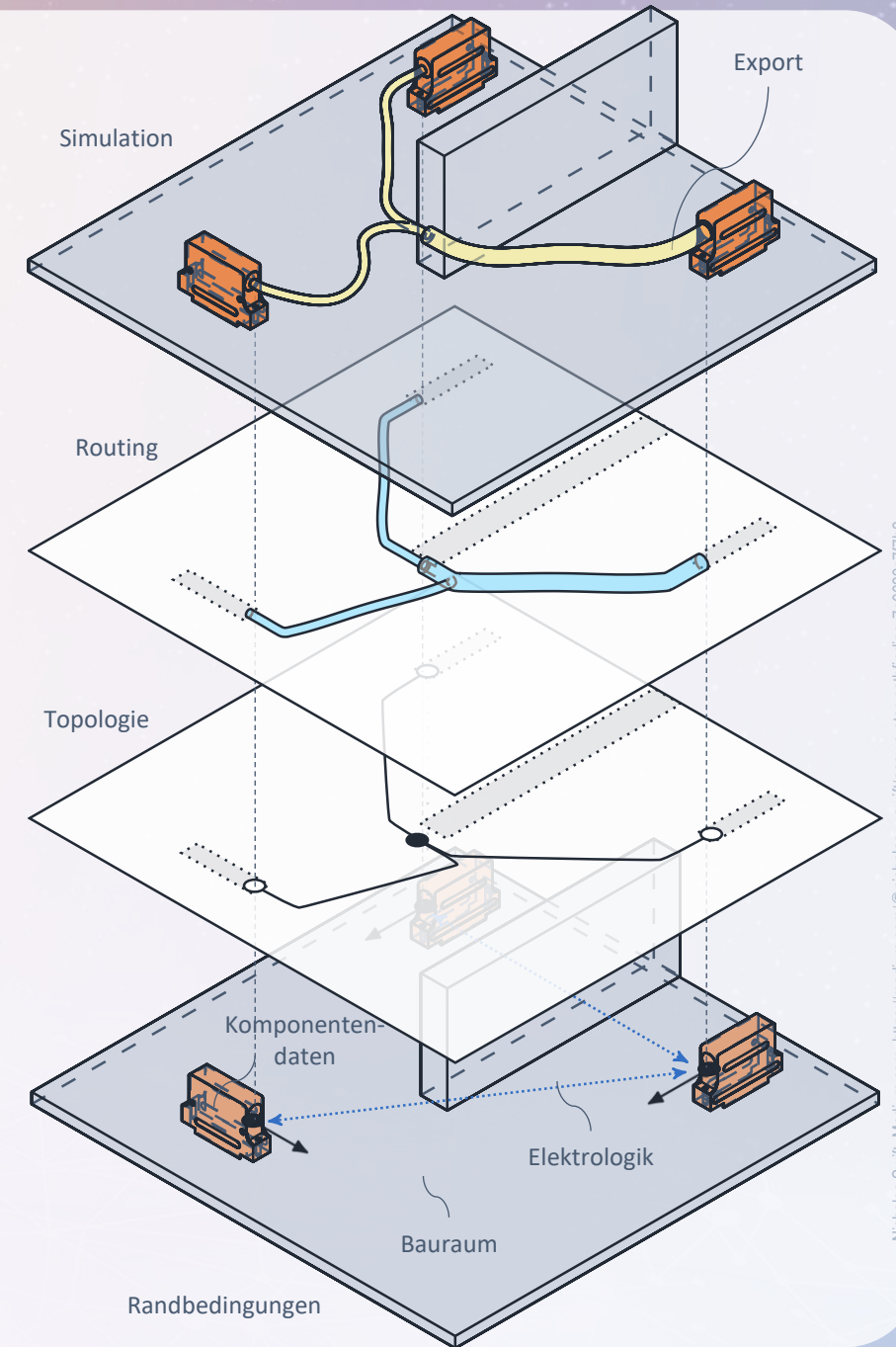
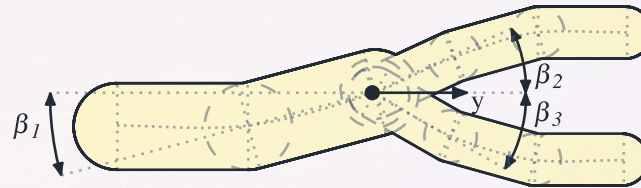
## Pfadfindungsalgorithmus

- **optimaler Weg** zwischen zwei Punktmengen
- **A\*-Algorithmus**
  - nutzt **Heuristik**
  - arbeitet auf **definiertem Graphen**

7	6	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
6	5	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
5	4	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
4	3	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4	3	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
5	4	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
6	5	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

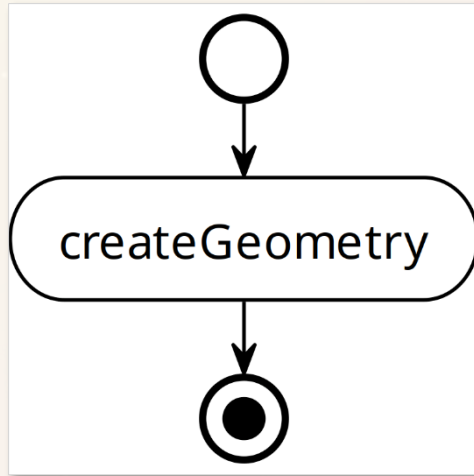
## Mehrkörpersimulation (MKS)

- **Modellierung** und **Simulation** komplexer **mechanischer Systeme**
- **simuliert** miteinander **verbundene Körper** mit **Kräften**, **Kollisionen** und **Gelenken**

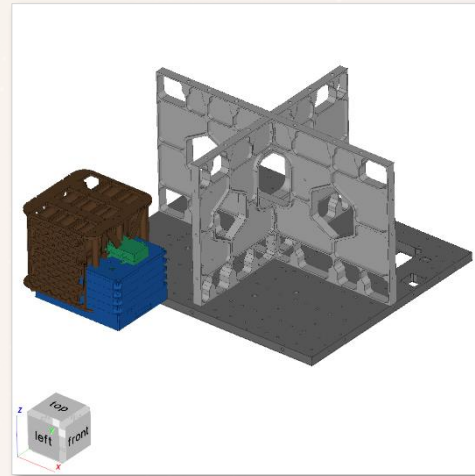


Nicholas Swift, Medium.com, <https://medium.com/@nicholas.w.swift/easy-a-star-pathfinding-7e6689c77b2>

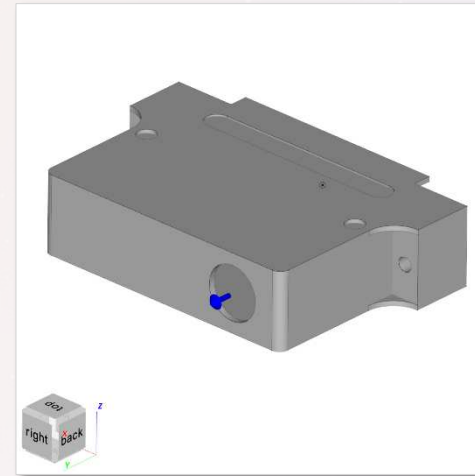
# DC43 Demo: Bauraum, Komponenten und Verbindungen



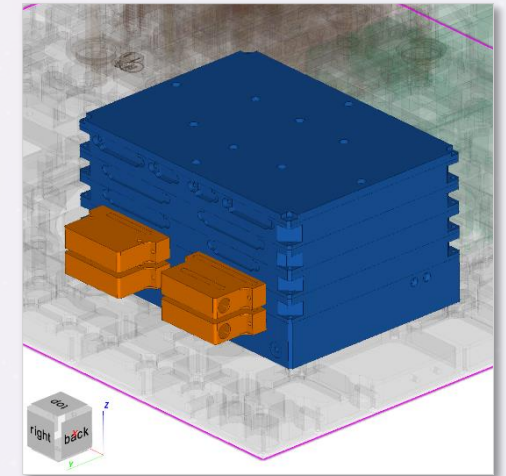
1. Regel



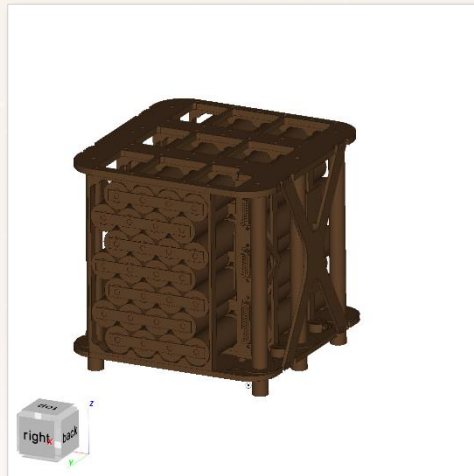
3. Baugruppen



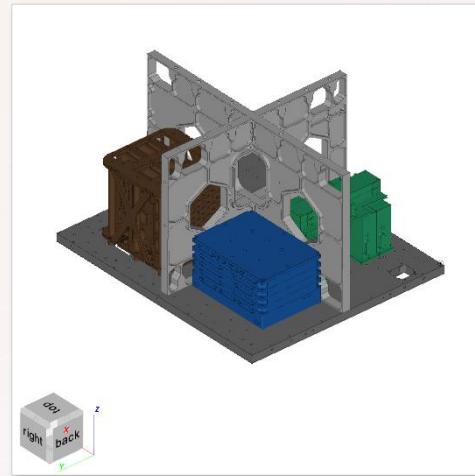
5. Steckertypen



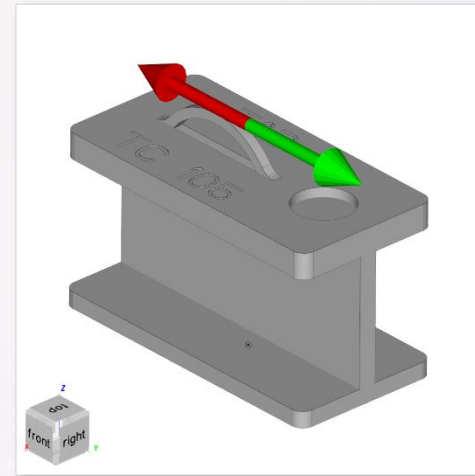
7. Steckverbinder



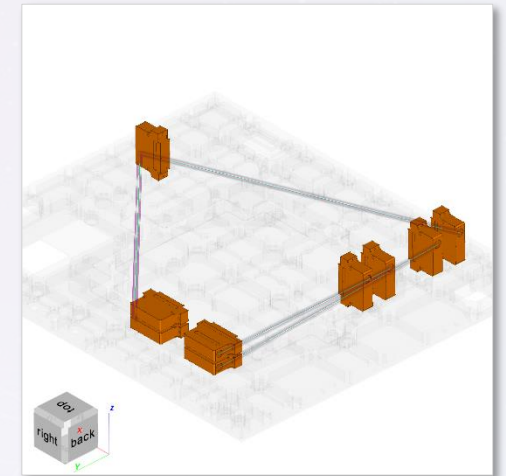
2. Bauteile



4. Positionierung

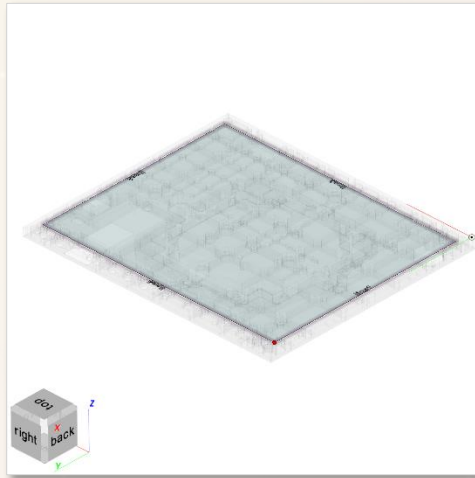


6. Halterungstypen

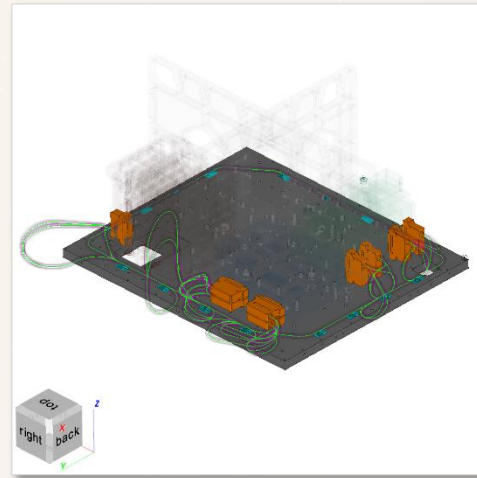


8. Verbindungen

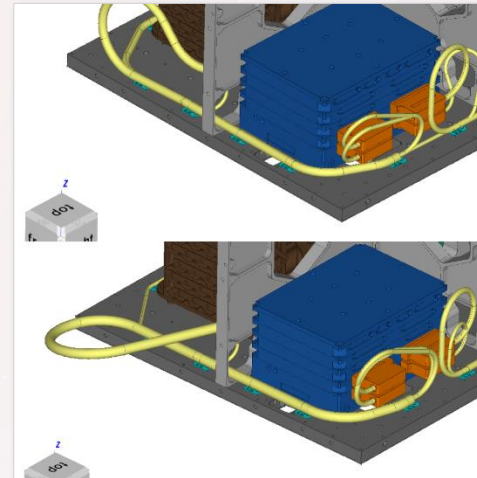
# DC43 Demo: Kabelrouting und Änderungen



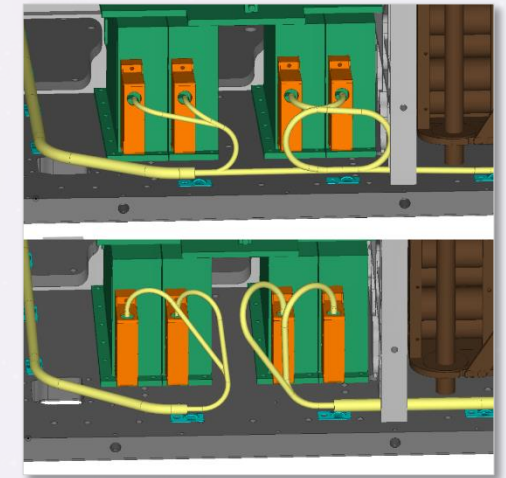
9. Hauptroute



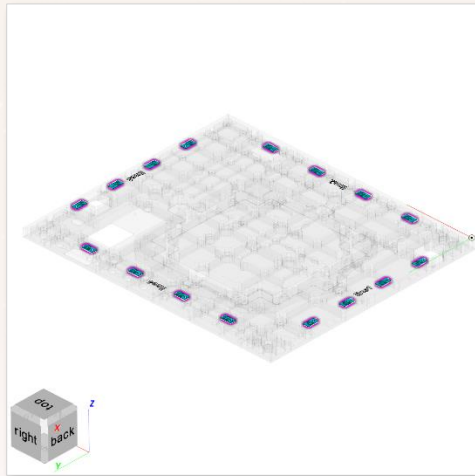
11. Pfadnetzwerk



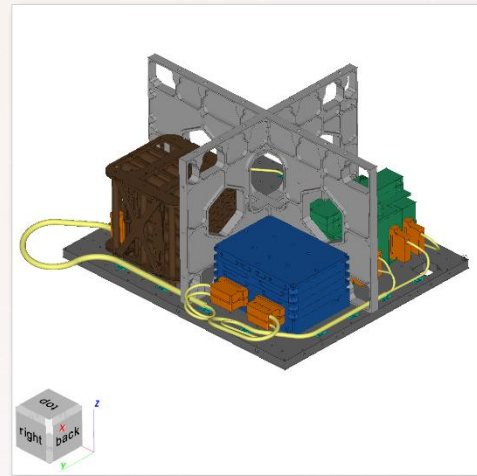
13. Packaging



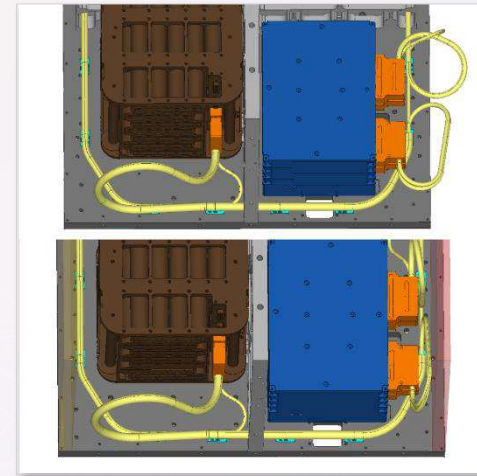
15. Steckverbinder



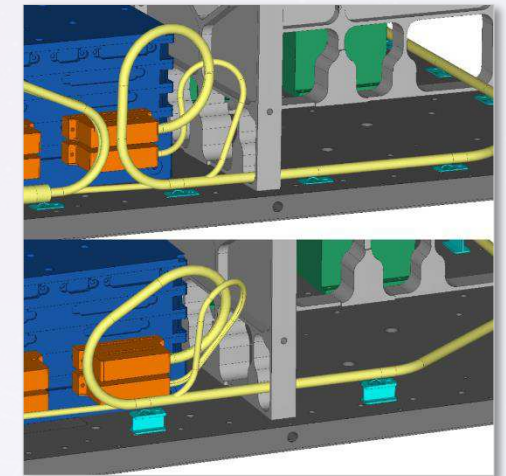
10. Halterungen



12. Leitungsrouting



14. Bauraum



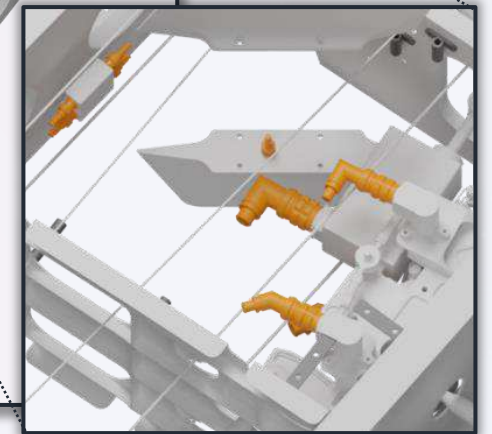
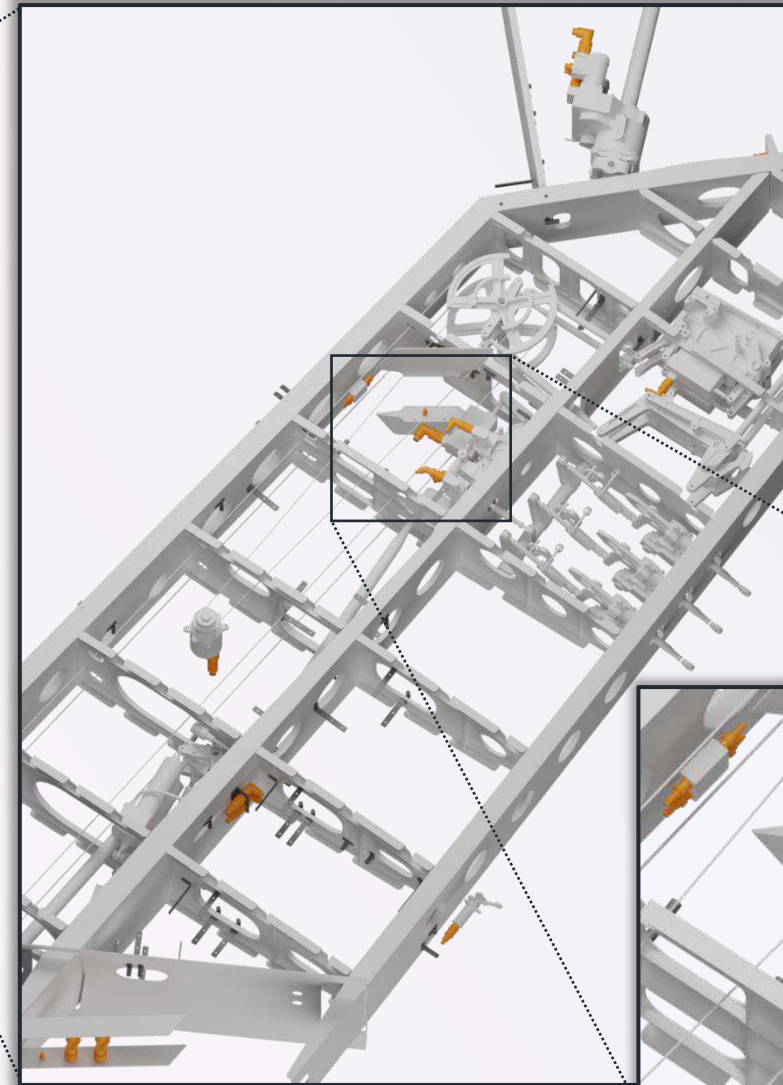
16. Halterungen

# Seitenleitwerk

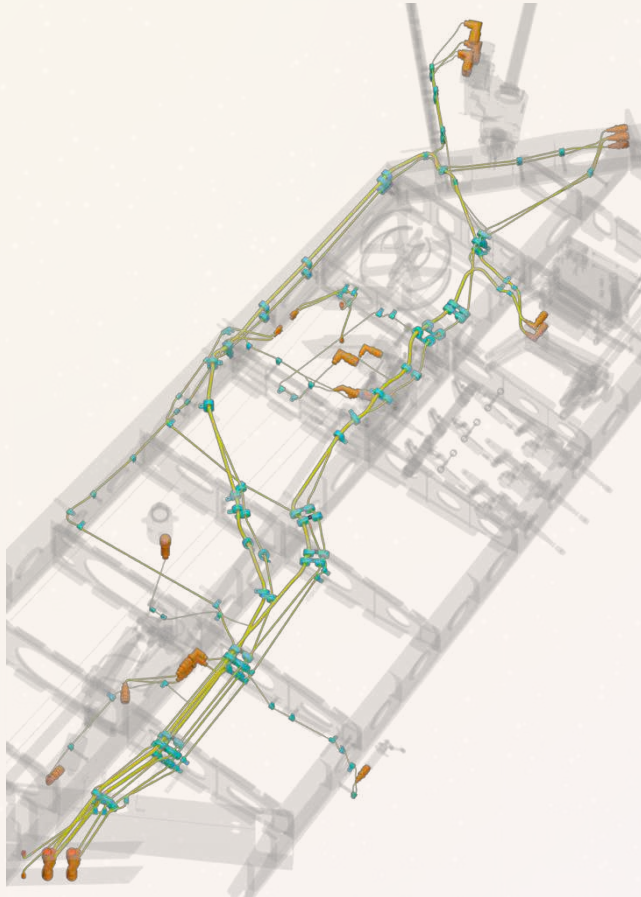


*Fokker 100*

- Seitenleitwerk
- Bauraumgröße: 4500 x 2500 x 560 mm
- Steckverbinder: 35
- Leitungen: 172

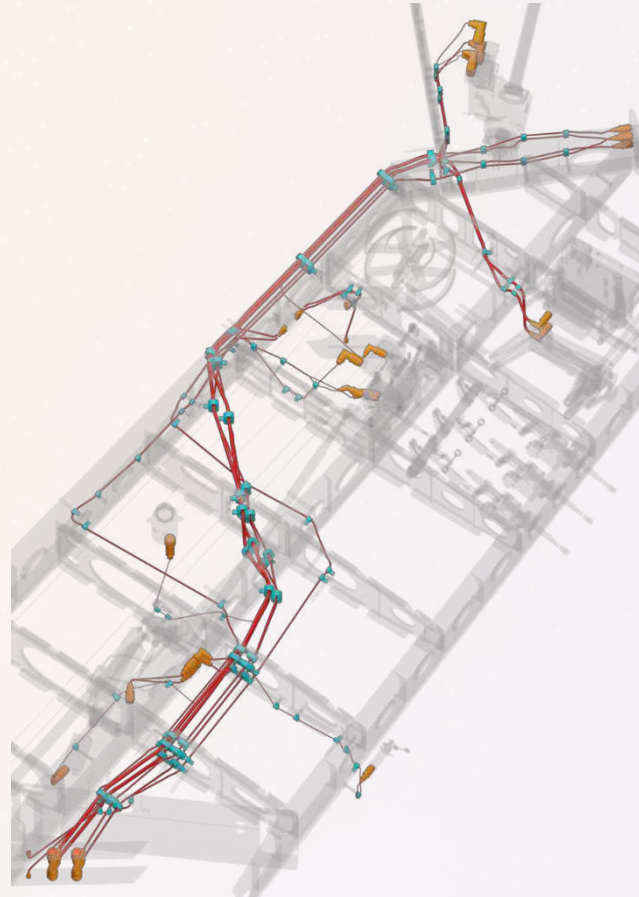


# Leitungssatzvarianten Seitenleitwerk



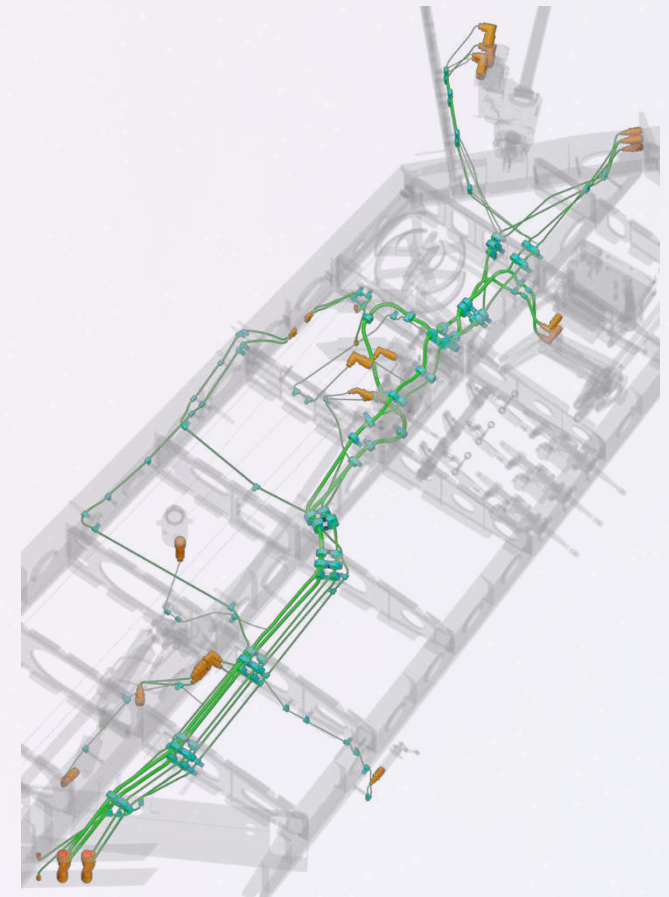
Nachbildung Original

- **zwei Hauptrouten**
- **vorgegebene Halterungen: 150**
- **Gesamtkabellänge: ca. 473 m**



Variante 1

- **Hauptroute über vorderen Holm**
- **vorgegebene Halterungen: 142**
- **Gesamtkabellänge: ca. 486 m**



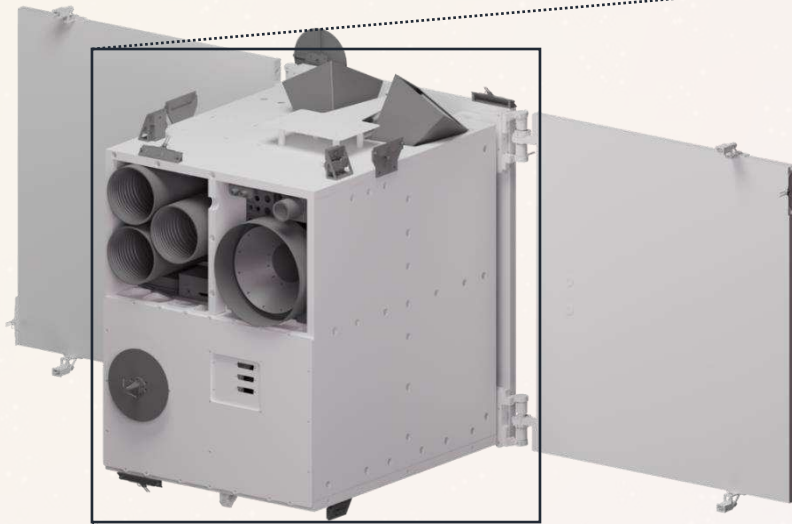
Variante 2

- **Hauptroute über mittleren Holm**
- **vorgegebene Halterungen: 142**
- **Gesamtkabellänge: ca. 469 m**

→ Rechenzeit: 1-2 Minuten\*

\*AMD Ryzen 7 3700X 8-Core, 64 GB RAM

# Kleinsatellit

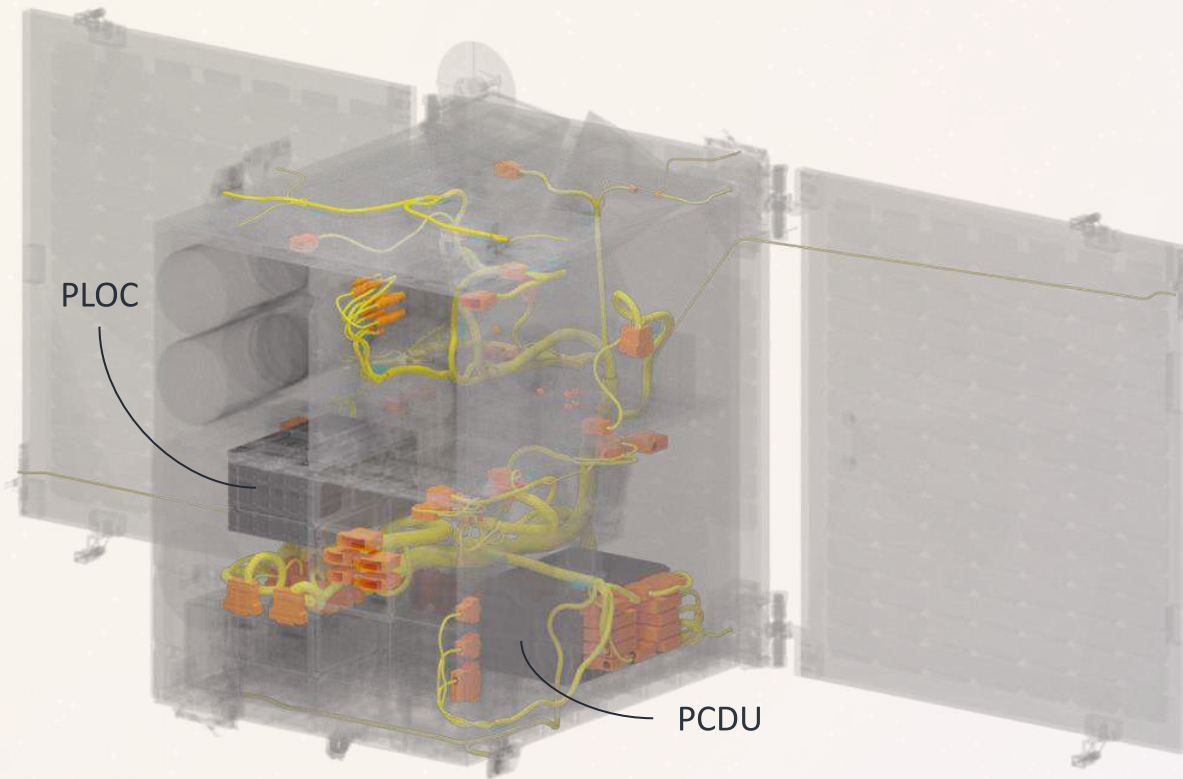


*IRS - Flying Laptop*

- Bauraumgröße: 600 x 700 x 850 mm (ohne Solarpanele)
- Steckverbinder: 116
- Leitungen: 644

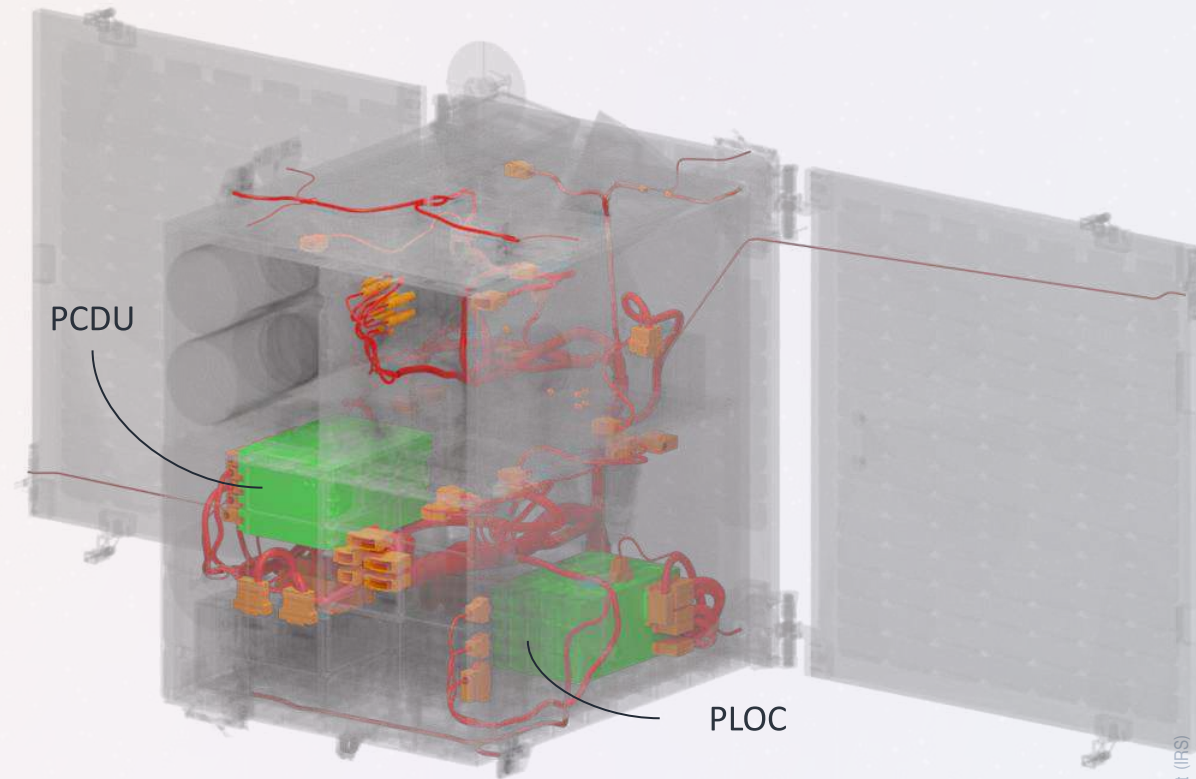


# Leitungssatzvarianten Flying Laptop



Variante mit ursprünglicher Positionierung

- Segmente: 197
- Knoten: 114
- Gesamtkabellänge: ca. 109 m

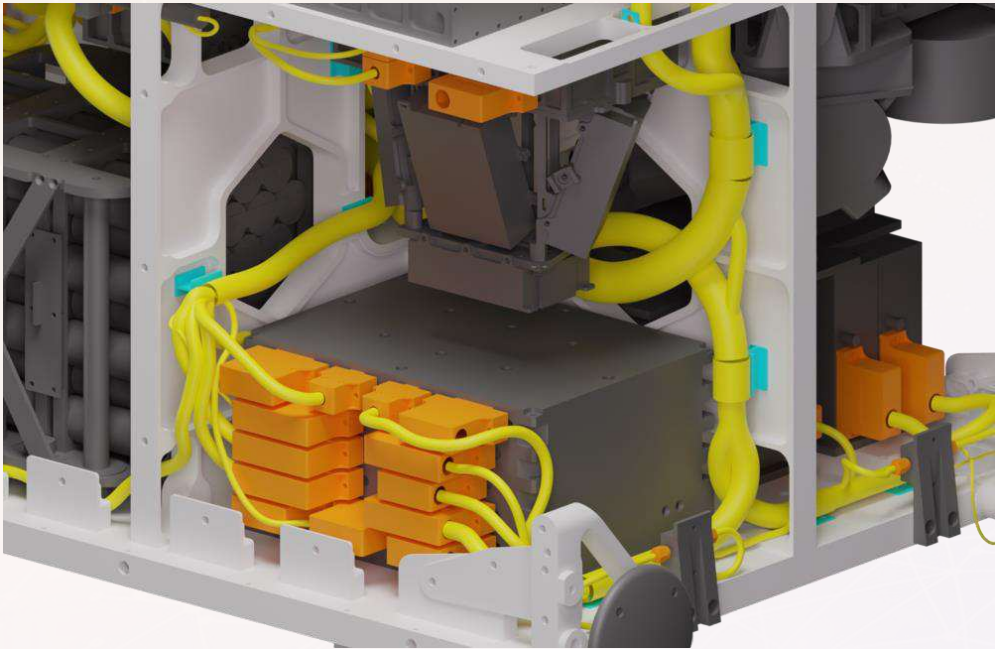
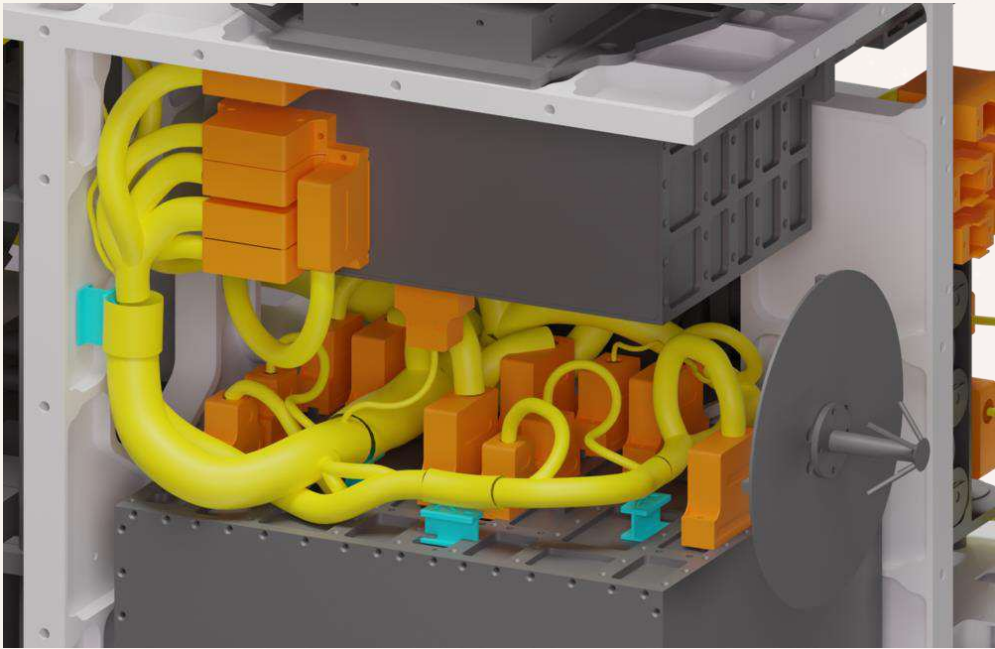


Variante mit vertauschten Komponenten

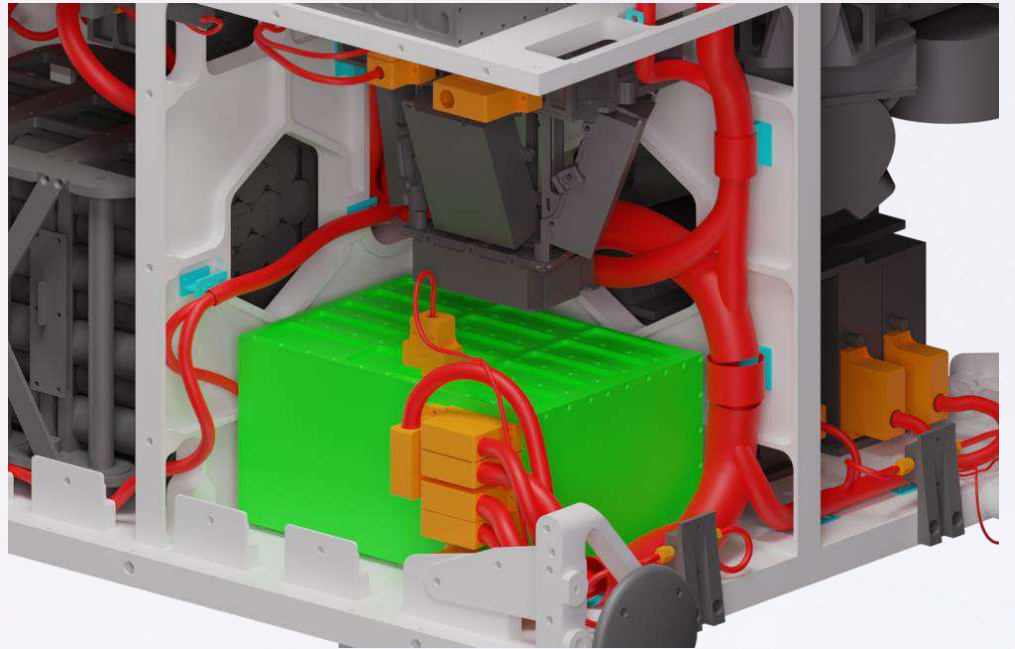
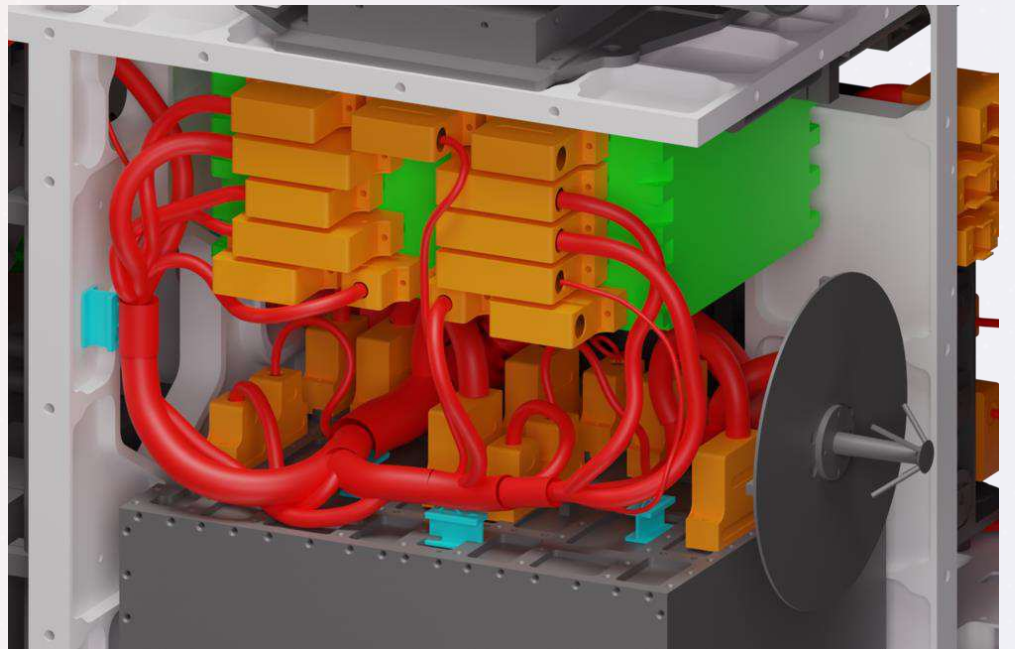
- Segmente: 200
- Knoten: 118
- Gesamtkabellänge: ca. 108 m

- Einsparung: ca. 1% Kabellänge
- Rechenzeit: 2-3 Minuten\*
- Variantengenerierung

\*AMD Ryzen 7 3700X 8-Core, 64 GB RAM



Institut für Raumfahrtssysteme der Universität Stuttgart (IRS)



Institut für Raumfahrtssysteme der Universität Stuttgart (IRS)

# Zusammenfassung und Ausblick

## Konzept

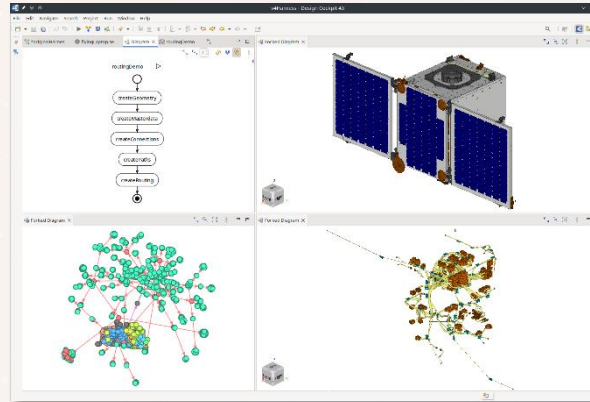
7	6	5	6	7	8	9	10	11		19	20	21	22	
6	5	4	5	6	7	8	9	10		18	19	20	21	
5	4	3	4	5	6	7	8	9		17	18	19	20	
4	3	2	3	4	5	6	7	8		16	17	18	19	
3	2	1	2	3	4	5	6	7		15	16	17	18	
2	1	0	1	2	3	4	5	6		14	15	16	17	
3	2	1	2	3	4	5	6	7		13	14	15	16	
4	3	2	3	4	5	6	7	8		12	13	14	15	
5	4	3	4	5	6	7	8	9		10	11	12	13	14
6	5	4	5	6	7	8	9	10		11	12	13	14	15

- **Automatisierter Prozess** konzipiert
- **Algorithmen** entwickelt
- **Softwarearchitektur** entworfen

kurzfristig:

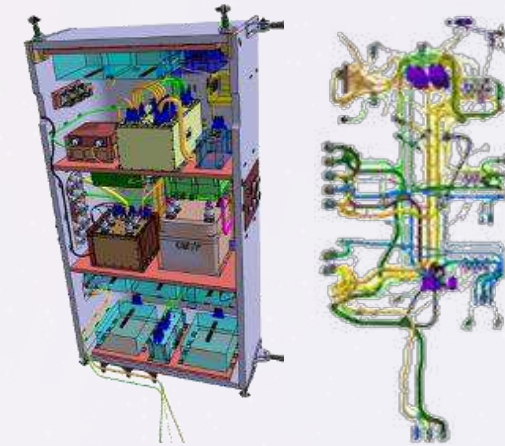
- **Entwurf** kann **optimiert** werden
- **Prozess** wird **beschleunigt**

## Realisierung



- Effiziente und flexible **Implementierung**
- **Integration der Implementierung** in bestehende Engineering Plattform *Design Cockpit 43*
- **Steuerung und Visualisierung**

## Anwendung



- **Industrielle Anwendungsfälle** aus Automobilbau, Luftfahrt und Raumfahrt
- **Integration des Prozesses** in industrielle Tool- und Datenumgebungen
- **Beispiel: Ariane 6 Oberstufe**

langfristig:

- **digitaler Entwicklungsprozess** des **Leitungssatzes** kann **neu gedacht** und **neu strukturiert** werden

## Innovatoren vertrauen uns

Vom Industriebedarf zur  
Forschungsgetriebenen Innovation

### Industriepartner

**AIRBUS**



### Forschungspartner



## Gemeinsam die Zukunft des Engineering gestalten

Kontaktieren Sie uns,  
um Graphen-basierte Entwurfssprachen  
und DC43® kennen zu lernen.



Partnerschafts-  
möglichkeiten



Pilotprojekt oder einen  
Proof of Concept



Integrieren Sie DC43®  
in Ihren Workflow




Gemeinsame  
Forschungsanträge

# Jetzt loslegen!



### Ingenieurgesellschaft für Intelligente Lösungen und Systeme mbH

 Leinfelder Straße 60,  
D-70771 Leinfelden-Echterdingen

 <https://www.iils.de>

 Dr.-Ing. Roland Weil (CEO)

 [roland.weil@iils.de](mailto:roland.weil@iils.de)

 +49 711 217 210 18

 +49 711 217 210 99



[www.iils.de](http://www.iils.de)