

# ROBOTIK CHALLENGE 2026

1. Januar 2026  
bis 15. Mai 2026

Leitfaden für Teilnehmende –  
Aufgabenbeschreibung, Rahmenbedingungen  
und Begleitforschung

Stand: 15. Dezember 2025

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Executive Summary

Die **Robotik Challenge 2026** ist ein branchenübergreifendes Innovationsformat, welches Forschung und Industrie zusammenbringt, um die Automatisierung der Leitungssatzfertigung gezielt voranzutreiben.

Im Mittelpunkt steht die Aufgabe, manuelle Tätigkeiten bei der Herstellung eines hybriden Leitungssatzmoduls mithilfe von Robotik effizient, zuverlässig und normenkonform zu automatisieren – mit Fokus auf kurze Taktzeiten und robuste, flexibel einsetzbare Maschinen.

Erstmals wird dabei ein **hybrides Leitungssatzmodul** gefertigt, bestehend aus mehreren Stecksystemen, Einzelleitungen, einer verdrillten Leitung und einer Koaxialleitung. Diese Aufgabe spiegelt reale Bedingungen der industriellen Produktion wider und soll zeigen, wie moderne Robotik, Sensorik und Steuerungstechnik die heute überwiegend manuelle Montage ablösen kann.

Neu hinzu kommt in diesem Jahr eine **Begleitforschung zur Digitalisierung**. Sie ist kein Bestandteil der Wettbewerbsbewertung, erweitert die Challenge jedoch strategisch um die Perspektive der datengetriebenen Fertigung. Untersucht werden Konzepte wie die digitale Identität, der digitale Fertigungsauftrag und der digitale Produktpass (DPP) mit dem Ziel, langfristig standardisierte Datenschnittstellen und interoperable Systeme für zukünftige automatisierte Fertigungsprozesse zu fördern.

Die Challenge richtet sich an **Teams aus Industrie, Forschung und Start-ups**, die sich mit Themen der Robotik, Sensorik, Steuerung, Fertigungsplanung und Softwareintegration beschäftigen. Der **Bearbeitungszeitraum** erstreckt sich von **Januar bis Mai 2026**. Die Ergebnisse werden im Rahmen des **Innovationsforums Leitungssatz am 17. Juni 2026** in Stuttgart vorgestellt.

Dieses Dokument beschreibt die technische Aufgabenstellung, die Rahmenbedingungen und die Begleitforschung zur Digitalisierung. Es soll den Teilnehmenden ermöglichen, die Challenge vollständig zu verstehen und auf dieser Grundlage eine effiziente Fertigungszelle zu konzipieren – auch ohne tiefere Vorkenntnisse in der Leitungssatzproduktion.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>1</b>
<b>1 Motivation der Robotik Challenge 2026 .....</b>	<b>2</b>
1.1 Der Leitungssatz.....	2
1.2 Die Automatisierung der Leitungssatzmontage .....	4
1.3 Die Robotik Challenge als Enabler der automatisierten Leitungssatzmontage.....	4
<b>2 Ablauf der Challenge .....</b>	<b>6</b>
2.1 Teilnehmende Organisationen .....	7
2.2 Zeitplan .....	7
<b>3 Aufgabenbeschreibung.....</b>	<b>8</b>
3.1 Allgemeine Anforderungen.....	8
3.2 Begleitendes Forschungsprojekt zur Digitalisierung.....	8
3.3 Bauplan des Leitungssatzes .....	9
<b>4 Komponenten, Bauteile, Werkzeuge .....</b>	<b>12</b>
4.1 Stückliste.....	13
4.2 Grundlagen zur Steckverbindung.....	15
4.3 Leitungsmaterial .....	16
4.4 Fixierung der Leitungsbündel.....	17
<b>5 Prozessschritte zur Fertigung des Leitungssatzes .....</b>	<b>18</b>
5.1 Prozesskette zur Herstellung des Leitungssatzes .....	18
5.2 Detaillierte Darstellung der einzelnen Prozessschritte.....	21
<b>6 Evaluation.....</b>	<b>25</b>
6.1 Kriterien zur Bewertung der Ergebnisse .....	25
6.2 Digitale Ergebnispräsentation.....	26
<b>7 Digitalisierung .....</b>	<b>28</b>
7.1 Relevante Datenstandards.....	29
7.2 Bereitstellung der Modelle .....	30
7.3 Datenanalyse .....	32
7.4 Traceability.....	34
7.5 Guidelines zur Modellierung.....	35
<b>8 Transfer der Ergebnisse .....</b>	<b>36</b>
8.1 Präsentation auf dem Innovationsforum Leitungssatz.....	36
8.2 Veröffentlichung in Fachmedien.....	36
8.3 Transfer über die Netzwerke des Leitungssatz-Hubs .....	36
<b>9 Über den Transformations-Hub Leitungssatz und Ansprechpartner.....</b>	<b>37</b>
<b>10 Literatur.....</b>	<b>38</b>

## 1 Motivation der Robotik Challenge 2026

Die Automatisierung der Leitungssatzproduktion gehört aktuell zu den zentralen Herausforderungen der Automobilindustrie. Noch immer werden ca. 80% der Herstellungsprozesse manuell ausgeführt. Aus diesem Grund sind die Fertigungsstandorte der Leitungssatzhersteller in Best cost Countries angesiedelt, die allerdings enorme logistische Aufwände und einen nicht unerheblichen Bedarf an qualitätssichernden Maßnahmen erfordern. Die Automatisierung der Leitungssatzproduktion hat einen deutlich positiven Effekt die Lieferkette. Ein entscheidender Aspekt für die Einführung der Automatisierung ist die Wirtschaftlichkeit. Analysen zeigen Bedingungen unter denen Roboterzellen wirtschaftlich betrieben werden können. Um das Potential der Automatisierung zu heben ist sowohl auf der Seite der Automatisierer als auch der Seite der Leitungssatzhersteller ein Austausch spezifischen Knowhows notwendig. Der Hub als Vernetzer der Akteure der Branche nimmt hier seine Aufgabe als Verbinder der Welten der Robotik und der Leitungssatzproduktion wahr und veranstaltet das Format der Robotik Challenge.

Eine wirtschaftliche Rechtfertigung der automatisierten Fertigung gegenüber einer traditionellen manuellen Fertigung erfordert, dass die automatisierten Prozesse kürzer und präziser sein müssen, um einen für die Anwendung notwendigen Kostenvorteil zu erzeugen. Die Robotik Challenge möchte zeigen, dass mit modernen Robotersystemen, effektiven hochpräzisen Sensoren und effizienten Anlagensteuerungen, Fertigungszellen gebaut werden können, die in der Leitungssatzproduktion zukünftig eine entscheidende Rolle spielen werden.

Die neue Aufgabenstellung knüpft an die Impulse der Robotik Challenge 2024 und 2025 an und führt sie einen entscheidenden Schritt weiter. Während in den ersten beiden Challenges grundlegende Montageschritte wie das Bestücken von Steckern, das Routen von Leitungen und das Fixieren mit Kabelbindern im Mittelpunkt standen, liegt der Fokus nun auf komplexeren Montageschritten und deren Einbindung in den Kontext von Industrie 4.0. Hierbei untersucht der Transformations-Hub die zum Erstellen der Anlagen genutzten Datenräume und -strukturen für die Optimierung der Prozesse in der Leitungssatzproduktion. Darüber hinaus wird untersucht, wie sogenannte digitale Produktpässe aus automatisierten Herstellungsverfahren abgeleitet werden können. Diese spielen zukünftig für die Bereiche Traceability und Nachhaltigkeit eine zentrale Rolle.

### 1.1 Der Leitungssatz

Der Leitungssatz ist mit ca. 5000 Einzelteilen eine der teuersten und komplexesten Einzelkomponenten im Kraftfahrzeug mit einem Gewicht von bis zu 60kg. Die verbaute Leitungslänge beträgt ca. 3500 m. Er ist vergleichbar mit dem Nervensystem und Blutkreislauf des Menschen und bewerkstelligt die Signal- und Leistungsvernetzung der Antriebs- und Steuerungssysteme im Kraftfahrzeug. Leitungssätze werden als dreidimensionale Baugruppe gemäß den zur Verfügung stehenden Bauräumen in der Karosserie gefertigt. Die wesentlichen Komponenten sind Stecksysteme und Übertragungsmedien wie Leitungen unterschiedlichster Art. Zum Schutz der Leitungsbündel und zur

Formgebung werden Vliesbänder, Klebebänder, Kabelbinder, Kabelkanäle, Tüllen, Leerrohre und Schaumstoffteile verwendet. Zum Befestigen in der Karosserie oder Modulen wie Sitze, Türen und Verkleidungen werden Clipse, Klammern oder Schellen eingesetzt. Das beispielhafte Bild eines Leitungssatz mit integrierter Sicherungsdose, Befäderung aus Vliesstoffen, Isolierband und Tüllen zum Abdichten zwischen den Bereichen Trocken- und Feuchtraum in der Karosserie zeigt Abbildung 1.



*Abbildung 1: Beispielhafter Leitungssatz mit integrierter Sicherungsdose*

Durch die Vielzahl wählbarer Fahrzeugkonfigurationen und Ausstattungspakete entsteht eine Vielzahl an Varianten pro Fahrzeugmodell und folglich an die Leitungssätze (Kundenspezifischer Kabelsatz – KSK). Entwicklungstrends wie Elektromobilität und autonomes Fahren bringen einen stetig wachsenden Funktionsumfang mit sich, der sich im Teileumfang des Bordnetzes widerspiegelt. Beispiele hierfür sind Leitungen für erweiterte Sicherheit- Fahrassistenten- und Komfortsysteme sowie effizientere Antriebssysteme. Hierfür werden eine Vielzahl an Busleitungen (Verdrillte Leitungen), Einzeladern, Hochvolt-Leitungen, Leitungen mit reduziertem Querschnitt zur Miniaturisierung der Komponenten und HF-Leitungen benötigt.

In einem durchschnittlichen Leitungssatz befinden sich ca.:

- 500 Einzelleitungen
- 500 verdrillte Leitungen
- 1.500 Kontaktteile
- 100 Fixierungskomponenten
- 500 m Tapes
- 10 Tüllen
- Zahlreiche Kabelkanäle
- Diverse Schaumteile

Der Leitungssatz wird zum überwiegenden Teil wegen seines biegeschlaffen Charakters und der sehr unterschiedlichen Steckergeometrien manuell gefertigt. Die Endmontage des Leitungssatzes

erfolgt, wie in Abbildung 2 gezeigt wird, in sequenzieller Abfolge der Arbeitsschritte auf sogenannten Formbrettern. Auf dem Formbrett befindet sich, meistens aufgeklebt, eine vollständige Zeichnung des zu fertigenden Leitungssatzes.



Abbildung 2: Manuelle Endmontage von Leitungssätzen an Formbrettern

## 1.2 Die Automatisierung der Leitungssatzmontage

Roboterbasierte Prozesse liegen als Automatisierungslösungen nahe, jedoch bestehen noch Vorbehalte aufgrund neu zu entwickelnder Maschinenkonzepte, schwer abschätzbarer Investitionskosten, noch zu bestimmender Betriebskosten und die notwendigen Betriebsstrukturen. Eine Automatisierung bietet signifikante Vorteile, insbesondere hinsichtlich Verkürzung der Fertigungszeiten, Stabilisierung der Fertigungsqualität sowie Präzision der Fügeprozesse bei filigranen Bauteilen im Millimeterbereich. Auf diesen Aspekten liegt der Schwerpunkt der Robotik Challenges 2026.

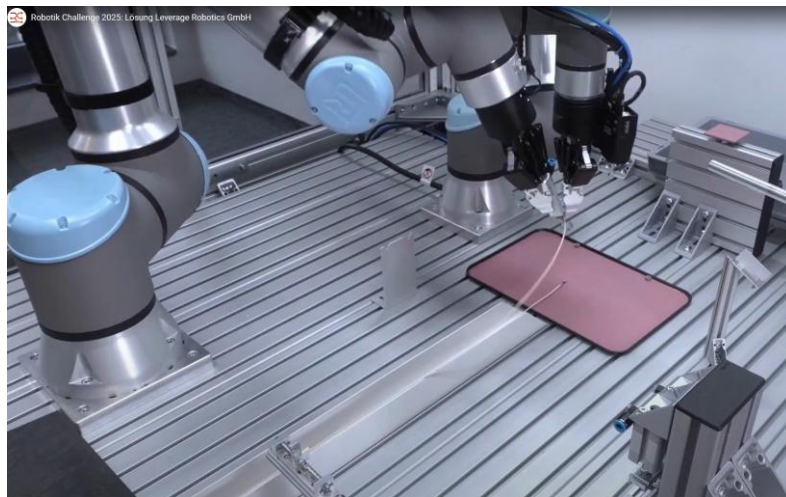
## 1.3 Die Robotik Challenge als Enabler der automatisierten Leitungssatzmontage

Das Projekt „Transformations-Hub Leitungssatz“ mit seiner offenen, neutralen Struktur und dem fachlichen Hintergrundwissen bietet sich ideal als Initiator und Moderator eines Ideenwettbewerbs für die Automatisierung der Leitungssatzmontage an. Hierbei fungiert es als Plattform für die Aggregation von innovativen, leistungsstarken Automatisierungslösungen und gewährleistet so den Austausch von kreativen Teams aus der Automatisierungswelt mit den Automobilherstellern sowie Leitungssatzlieferanten. Der Erfolg zeigte sich in den vergangenen Challenges.

In der ersten **Robotik Challenge 2024** wurde ein Prozess zum Bestücken eines an eine Leitung gecrimpten Kontaktes in die Kammern eines typischen Automotive-Steckers als Aufgabe definiert. Der Bearbeitungszeitraum der Challenge erstreckte sich über 14 Wochen vom 1. Dezember 2023 bis zum 14. März 2024. Die einzelnen Termine für die Präsentation von Konzepten wurden Ende März 2024 durchgeführt. Die finale Präsentation der Ergebnisse fand vor Publikum im Rahmen des Innovationsforums Leitungssatz im April 2024 statt. Allen Teilnehmern wurde ein Hardware-Kit zu Beginn der Bearbeitung übergeben, um gleiche Startvoraussetzungen zu ermöglichen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen: Moderne kollaborierende Roboter (COBOTS) verfügen über eine ausreichende Genauigkeit beim Anfahren von Punkten im Raum und in translatorischen Bewegungen, um den Steckprozess präzise zu bewerkstelligen. Adäquate Greifsysteme sind in der Lage sensible Leitungen mit Kontaktteilen ohne Beschädigung stabil zu greifen. Kamerasensoren erfassen in sehr kurzer Zeit exakt die räumliche Geometrie der Kontakte und Kammern der Stecksystem und liefern Koordinaten für die Wege der Roboterbewegung.

In der zweiten **Robotik Challenge 2025** wurde an diesem Konzept festgehalten und als neue Aufgabe eine Prozesskette mit 9 Prozessschritten für einen kompletten Leitungssatz (Leitungssatz) festgelegt. Zu den Steckprozessen der Leitungen in vier unterschiedliche Stecker waren noch das Verlegen der Leitungen, die Integration in das Umgehäuse und das Fixieren der Leitungsbündel mit mehreren Kabelbindern von den Robotern auszuführen. Eine besondere Schwierigkeit war die Bearbeitung des NanoMQS-Steckers der eine Präzision in der Sensorik und der Handhabung der Fügepartner im Submillimeterbereich erforderte. Für die gesamte Prozesskette war eine Zeit unter 3 min angegeben, die die Teilnehmer teilweise um 20% unterschritten. Es konnte gezeigt werden, dass die Roboterkonzepte für Fertigungszellen mit Investitionskosten um die 70.000€ ohne Entwicklungskosten hergestellt werden können. Alle Teilnehmer stellten Ihre Kompetenzen in den leicht zu programmierbaren Anlagensteuerungen unter Beweis. Hervorzuheben ist die Verwendung von sogenannten kognitiven kollaborierenden Robotern (COBOTS), wie in Abbildung 3 gezeigt wird, die teilweise auf engstem Raum zusammen komplizierte Handhabungsaufgaben effizient lösten.



*Abbildung 3: Ein Demonstrator der Robotik Challenge 2025 mit zwei kollaborierenden Robotern der Fa. Leverage Robotics GmbH*

Die dritte **Robotik Challenge 2026** wird wie in den Jahren zuvor im gleichen Format durchgeführt. Als neue Aufgabe sollen hierbei neue Aspekte und Impulse aus den beiden vorher gegangenen mit einfließen und mit Robotern einen Leitungssatz gefertigt werden. Im Fokus steht diesmal die automatisierte Produktion eines hybriden Leitungssatzmoduls, bestehend aus:

- sechs verschiedenen Stecksystemen,

- einer Einzelader mit dem Querschnitt  $0,13\text{mm}^2$ ,
- zwei Einzeladern mit einem Querschnitt von  $1,5\text{mm}^2$ ,
- einer verdrehten Leitung UTP (unshielded twisted pair) mit einem Querschnitt von  $0,35\text{mm}^2$ ,
- einer Koaxialleitung vom Typ RG174 und
- einem modularen Stecksystem.

Die genannten Komponenten wurden ausgewählt, weil sie in modernen Leitungssätzen häufig zur Signal- und Leistungsvernetzung eingesetzt werden. Die Technologien für die Fixierung der Leitungsbündel können frei gewählt werden. Der Fokus liegt bei der Taktzeit. Sie muss deutlich unter der manuellen Prozesszeit liegen, um automatisierte Prozesse wirtschaftlich rechtfertigen zu können. Ebenso muss die Komplexität der Anlagen so weit wie es realisierbar ist, reduziert werden, um die Investitionskosten gering zu halten.

Neben der Leistungssteigerung der physikalischen Prozessautomatisierung soll den Teilnehmern als neuen Aspekt in der Durchführungsphase der Robotik Challenge über ein Begleitprojekt seitens des Trafo-Hubs die Heranführung an das Thema Digitalisierung angeboten werden.

Da eine durchgängige Automatisierung in der Leitungssatzproduktion noch wenig realisiert wurde, existieren infolgedessen keine etablierten digitalen Methoden, um beispielsweise mit Konstruktionsdaten eine Anlagensteuerung zu programmieren. Der Transformations-Hub Leitungssatz möchte die aktuellen Bedürfnisse der Branche abbilden und interessierten Unternehmen Innovationsbegleitung im Bereich Digitalisierung anbieten. Dabei soll das real vorliegende Beispiel der Robotik Challenge in Workshops reflektiert und in Richtung „ideale Welt“ im jeweiligen Handlungsfeld der Teilnehmer weiterentwickelt werden. Da sich das Thema Digitalisierung vorwiegend in den Kompetenzfeldern IT und Softwareentwicklung abspielt, sollen damit auch die entsprechenden Zielgruppen in den teilnehmenden Unternehmen angesprochen werden. Ausdrücklich soll auch Branchenteilnehmern mit reinen Softwareprodukten eine Teilnahme ermöglicht werden, also bspw. Anbietern von Engineering Tools, Visualisierungslösungen sowie Simulationslösungen.

## 2 Ablauf der Challenge

Dem Leitungssatz-Hub ist bewusst, dass mit der Aufgabenstellung zur Robotik Challenge der Spagat geschafft werden muss zwischen Praxisrelevanz der Lösungen und einer handhabbaren Komplexität. Der Aufwand für teilnehmende Firmen/Forschungseinrichtungen darf nicht zu groß werden, damit die Teilnahme an der Challenge noch neben dem üblichen operativen Tagesgeschäft abgeleistet werden kann. Die erarbeiteten Lösungen müssen Relevanz für das Kernbusiness haben, um sie dort Mehrwert stiftend verwenden zu können. Die Teams arbeiten in ihren eigenen Laboren mit eigenen Maschinen, Werkzeugen, Steuerungen und Software.

## 2.1 Teilnehmende Organisationen

Wir laden alle interessierten Unternehmen insbesondere Start-Ups und Forschungseinrichtungen ein, ihre Ideen einzureichen und Teil dieser spannenden Challenge zu werden. Hierzu zählen Hersteller von Handhabungs- und Montagegeräten, Maschinenbauer, Sensorhersteller, Integratoren, Steuerungsanbieter, Softwareanbieter und Entwickler. Die Größe und Zusammensetzung der Teams ist nicht vorgeschrieben.

## 2.2 Zeitplan

Zum Teilnehmen müssen sich die Teams aus der Industrie und Forschungseinrichtungen bis zum 30. November 2025 über die Homepage anzumelden: <https://www.leitungssatz-hub.de/robotik-challenge/robotik-challenge-2026/>

Fortlaufend aktualisierte Informationen zur Teilnahme, die detaillierte Aufgabenbeschreibung und weitere Fakten finden Sie ebenfalls auf unserer Webseite.

Der Ablauf der Robotik-Challenge erstreckt sich bis zum 15. Mai 2026 und umfasst folgende Termine:

- 23. Oktober 2025: 1. Informationsveranstaltung
- 24. November 2025: 2. Informationsveranstaltung
- 30. November 2025: Anmeldeschluss der Teilnehmer
- Dezember 2025: Versand der Komponenten an die Teilnehmer
- 01. Januar 2026: Start des Bearbeitungszeitraums
- 15. Mai 2026: Ende des Bearbeitungszeitraums
- Bis 08. Juni 2026: Bewertung der Ergebnisse durch die Jury
- 17. Juni 2026: Innovationsforum Leitungssatz 2026 mit Vorstellung der Ergebnisse

### 3 Aufgabenbeschreibung

Die grundsätzliche Herausforderung der Challenge besteht in einer leistungsfähigen Fertigungsautomatisierung in Bezug auf schnelle Taktzeiten, geringen Invest und hohe Präzision (Prozessfähigkeit). Wenn damit die Wirtschaftlichkeit der Automatisierung in greifbare Nähe rückt, besteht auch die Chance für alle Teilnehmer Projekte mit der Leitungssatz Community zu starten oder neue Geschäftsfelder zu erschließen.

#### 3.1 Allgemeine Anforderungen

Die Teilnehmer-Teams erhalten vom Transformations-Hub Leitungssatz vor Start der Bearbeitungszeit Anfang Dezember 2025 ein Hardware-Paket, in dem 100 Bausätze für den Leitungssatz versandt werden. Den Teams ist grundsätzlich freigestellt, mit welchen Anlagenkonzept sie die Roboterzelle ausführen möchten. Die Demonstratoranlage sollte jedoch transportierfähig sein, da die Lösungen der Teams auf dem Innovationsforum Leitungssatz am 17. Juni 2026 dem Publikum bei einer Live-Vorführung vorgestellt werden soll.

In den folgenden Kapiteln wird erklärt, welche typischen Prozesse und Komponenten zur Herstellung des hybriden Leitungssatzes für die Robotik Challenge typischerweise angewandt werden. Es ist dabei nicht primär das Ziel, die seit langem eingespielten und optimierten manuellen Prozesse zu mechanisieren, vielmehr soll aufgezeigt werden, welchen neuen Optionen durch moderne roboter-gestützte Verfahren möglich sind. Die Prozesse müssen jedoch den in der Automobilindustrie geltenden Qualitätsanforderungen genügen.

#### 3.2 Begleitendes Forschungsprojekt zur Digitalisierung

Durch eine Begleitforschung, in der Datenkonzepte für die Produktidentifikation, Anlagenprogrammierung und Erstellung des digitalen Produktpasses untersucht und erarbeitet werden, sollen allgemeingültige Datenmodelle für die zukünftige Automatisierung der Leitungsproduktion definiert werden.

Hierbei werden gemeinsam mit den Teilnehmern von Experten des LS-Hubs adäquate Datenmodelle und deren Verarbeitung in den erarbeiteten Fertigungszellen untersucht und weiterentwickelt, um Prozessketten zu verschlanken. Für die Teilnehmer besteht bei Interesse die Möglichkeit der Mitwirkung an diesem Projekt der Begleitforschung (Details hierzu in Kapitel 7).

### 3.3 Bauplan des Leitungssatzes

In Abbildung 4 ist der zu fertigende Leitungssatz in seiner Zielausprägung dargestellt. Bei jeder Komponente wurden die Fachbezeichnungen angegeben (z.B. „18 x MQS“ = Micro Quadlok System mit 18 Kammern). Hierbei können sich die Teilnehmer in die Terminologie der Leitungssatz Branche einarbeiten, die bei Geschäftsbeziehungen im Automotive-Bereich verwendet werden. In der Zeichnung wird zudem die Verschaltung der Leitungen in den Steckern und den entsprechenden Steckerkammern gezeigt (eindeutige Nummerierungen befinden sich am Stecker).

Auf der rechten Seite in der Zeichnung werden die zu den Stecksystemen dazugehörigen Kontaktteile vorgestellt. Die verdrehten Leitungen und die Leitung mit dem Querschnitt  $0,13\text{mm}^2$  verbinden zwei unterschiedliche Steckergehäuse und haben folglich zwei unterschiedliche Kontakte an den Enden. Im unteren Bereich ist ein modularer Stecker (Umgehäuse) mit sechs Insertkammern abgebildet. Darin können unterschiedliche Stecker bzw. Inserts platziert und damit zu einem individuellen Stecksystem werden.

Zur eindeutigen Identifizierung ergänzen Teilenummern die Informationen zu den Komponenten – diese spielen auch beim Datenmodell des DPP eine Rolle.

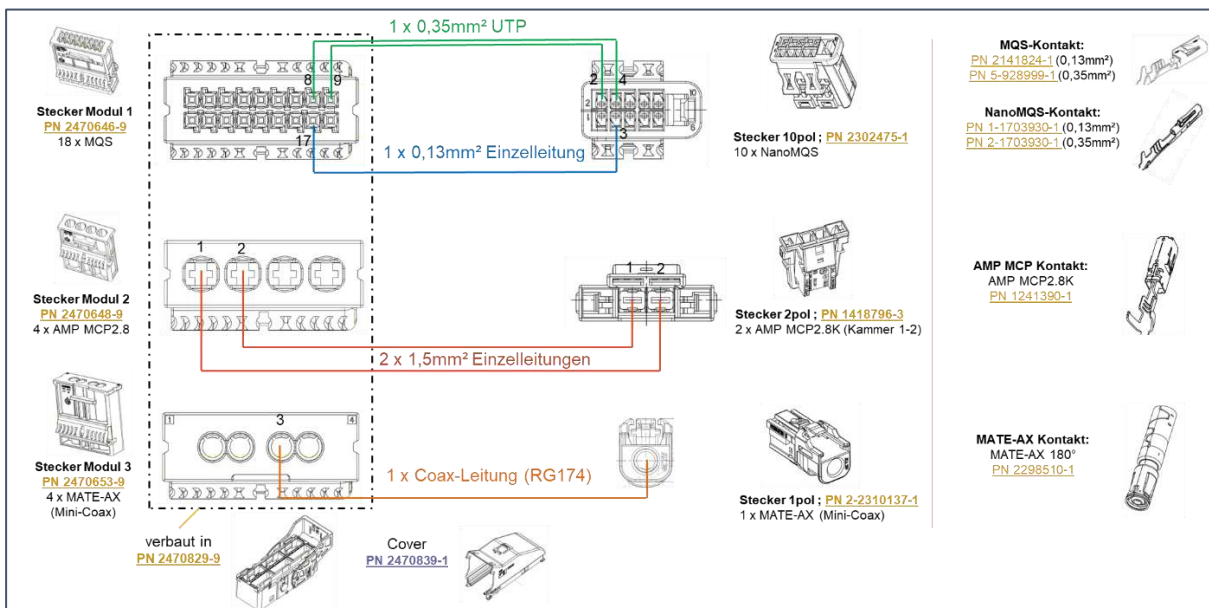


Abbildung 4: Schematische Darstellung des hybriden Leitungssatzes der Robotik Challenge 2026

Der Leitungssatz besteht aus 6 verschiedenen Steckern, einem Umgehäuse mit Kappe im unteren Bereich, in welches 3 Stecker als Insert zu einem kombiniert werden. Als Besonderheit ist der Einbezug von Leitungen mit einem reduzierten Querschnitt von  $0,13\text{mm}^2$ , miniaturisierte NanoMQS-Stecker und entsprechend miniaturisierte Kontaktteile zu nennen. Im oberen Teil der Skizze befindet sich grün gekennzeichnet die verdrehte Leitung UTP  $0,35\text{mm}^2$ . Sie muss vor dem Stecken in die Steckerkammern gemäß Abbildung 6 entdrillt werden. Von einem Modulstecker (MQS-Kontakte) werden 2 FLRY-Leitungen des Querschnitts  $0,13\text{mm}^2$  und eine FLRY-Leitung des Querschnitts  $0,35\text{mm}^2$  in einen NanoMQS-Stecker geführt. Von einem zweiten Modulstecker (AMP MCP2.8K Kontakte)

werden 2 FLRY-Leitungen mit einem Querschnitt von  $1,5 \text{ mm}^2$  in einen 2poligen AMP MCP2.8K Stecker geführt. An den Enden der Koaxialleitung der Type RG 174 (Radio Gauge) wurden MATE-AX 180° Kontakte angecrimpt die in die entsprechenden HF -Stecker (Hochfrequenz) eingeschoben werden. Eine detailliertere Beschreibung dazu erfolgt im Kapitel 4.

Die Abbildung 5 zeigt eine Skizze des Bauplans des Leitungssatzes. Diese beinhaltet alle Komponenten mit ihrer Verortung im Leitungssatz. Dargestellt sind hier folgende Aspekte:

- Stecker mit ihren Positionen
- Leitungen mit unterschiedlichen Farbcodierungen (FLRY 0,35 und FLRY 0,13 sowie FLRY 1,5)
- Geometrie des Leitungssatzes.

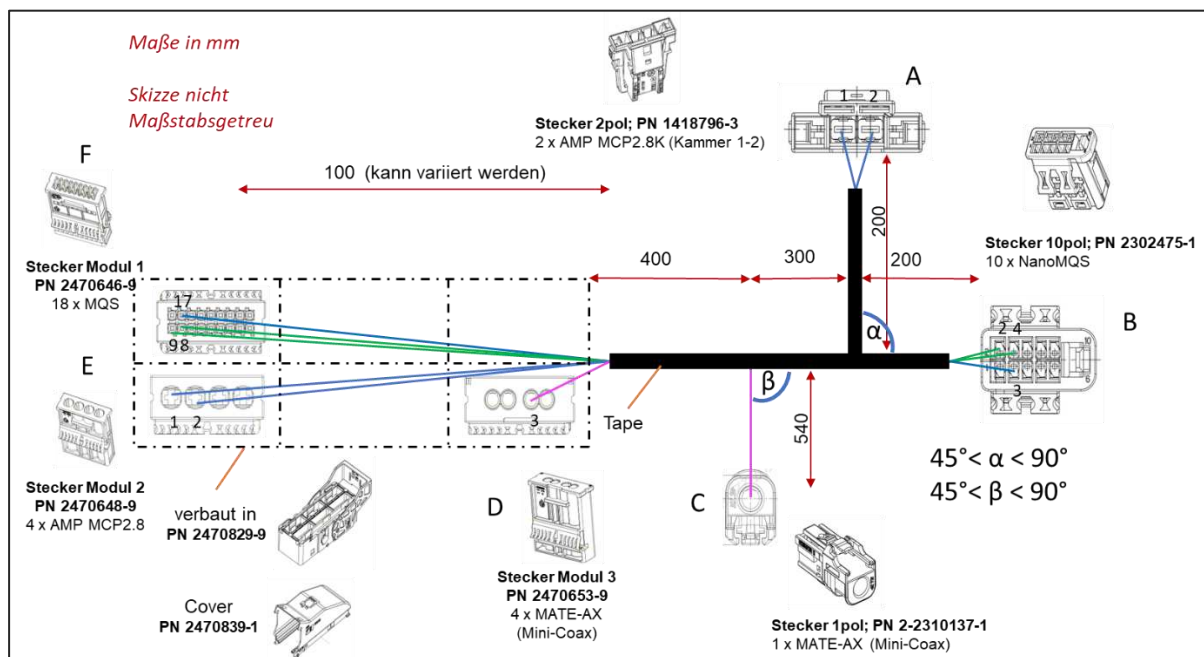


Abbildung 5: Bauplan des Leitungssatzes

Die Winkel zwischen den Steckerpositionen A und B, bzw. B und C sind frei wählbar zwischen  $45^\circ$  und  $90^\circ$ . Das entstehende Kabelbündel soll im Abstand von mindestens 50 mm mit einer frei wählbaren Technologie fixiert werden.

### Definition UTP 2 x 0.35mm<sup>2</sup>

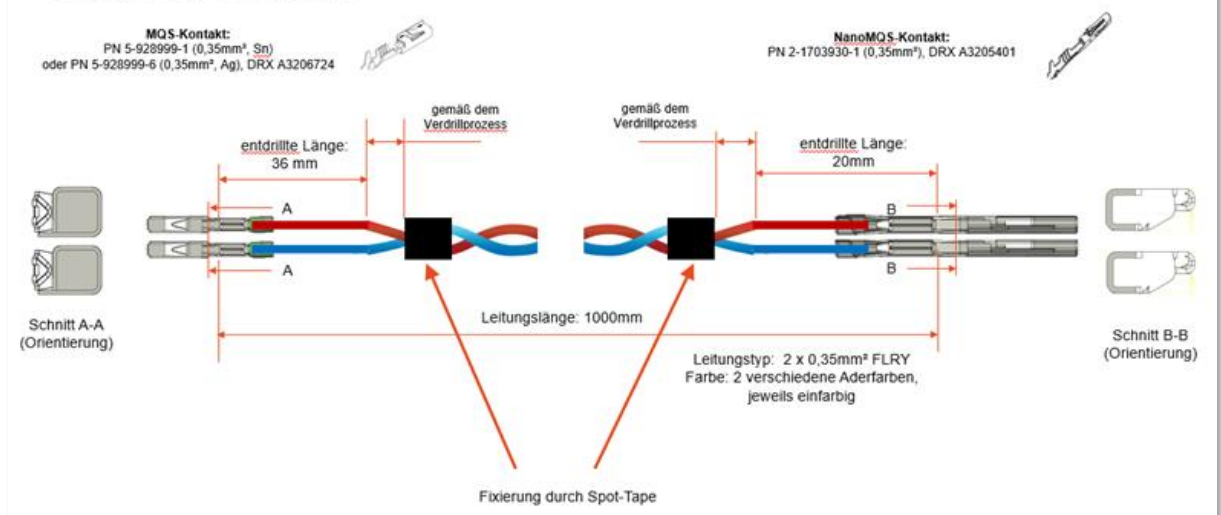
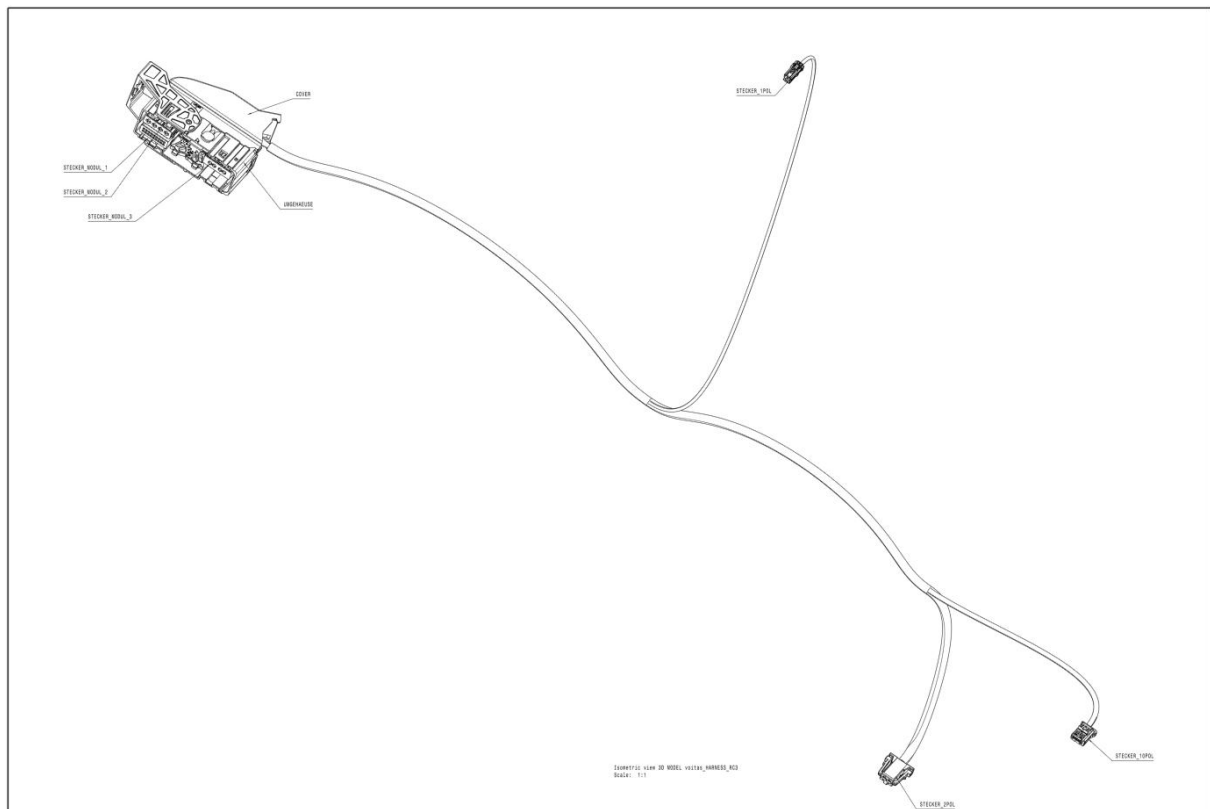


Abbildung 6: Handhabung der verdrehten Leitung zum Verarbeiten in Stecksysteme

Für die Bearbeitung der Aufgabe ist es essenziell, den Bauplan sehr genau zur Kenntnis zu nehmen und sich an die dort aufgeführten Vorgaben zu halten. Nur so ist ein fairer Vergleich der Lösungen über die verschiedenen Teilnehmer der Robotik-Challenge bei der späteren Bewertung möglich.



## 4 Komponenten, Bauteile, Werkzeuge

Jeder Teilnehmer erhält ein Paket mit einem Satz von 100 Einzelteilen der benötigten Bauteile, sodass eine ausreichende Menge zum Entwickeln und Testen vorhanden ist. Einen Überblick über die Einzelteile zeigt Abbildung 7.

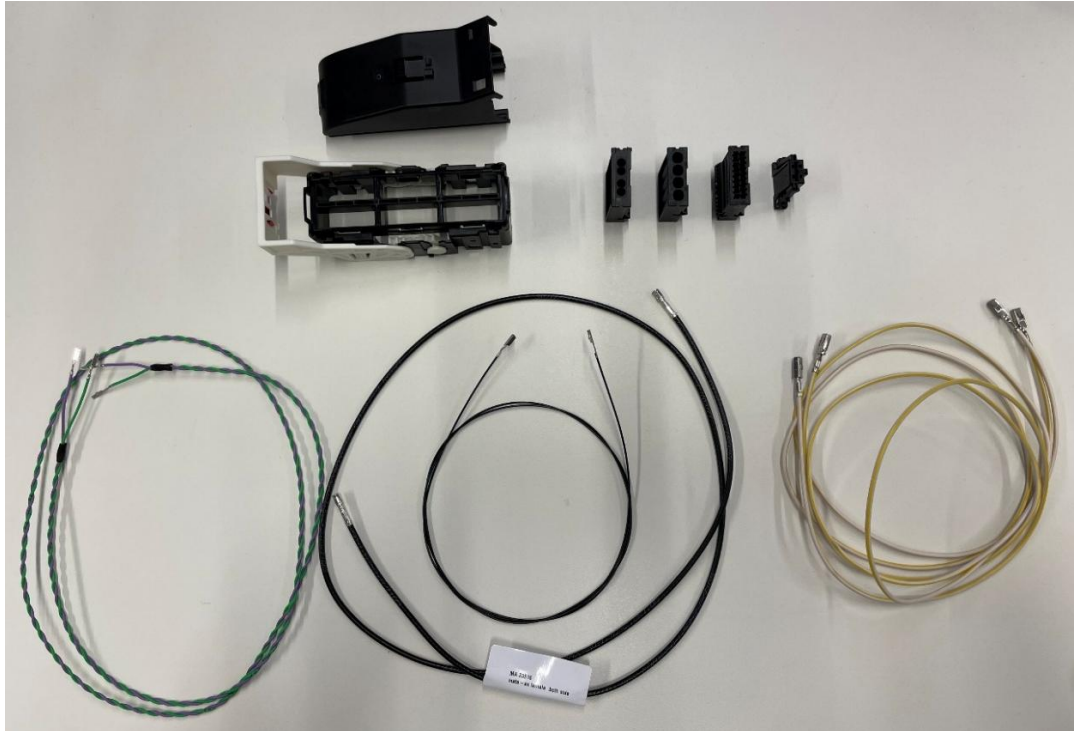


Abbildung 7: Überblick der Basis Komponenten (zur Verfügung gestellt von TE Connectivity)

Die Komponenten wurden sorgfältig gemeinsam mit Konfektionären, Steckverbinderherstellern und weiteren Fachexperten der Branche ausgewählt, sodass der in Abbildung 7 gezeigte Leitungssatz hergestellt werden kann.

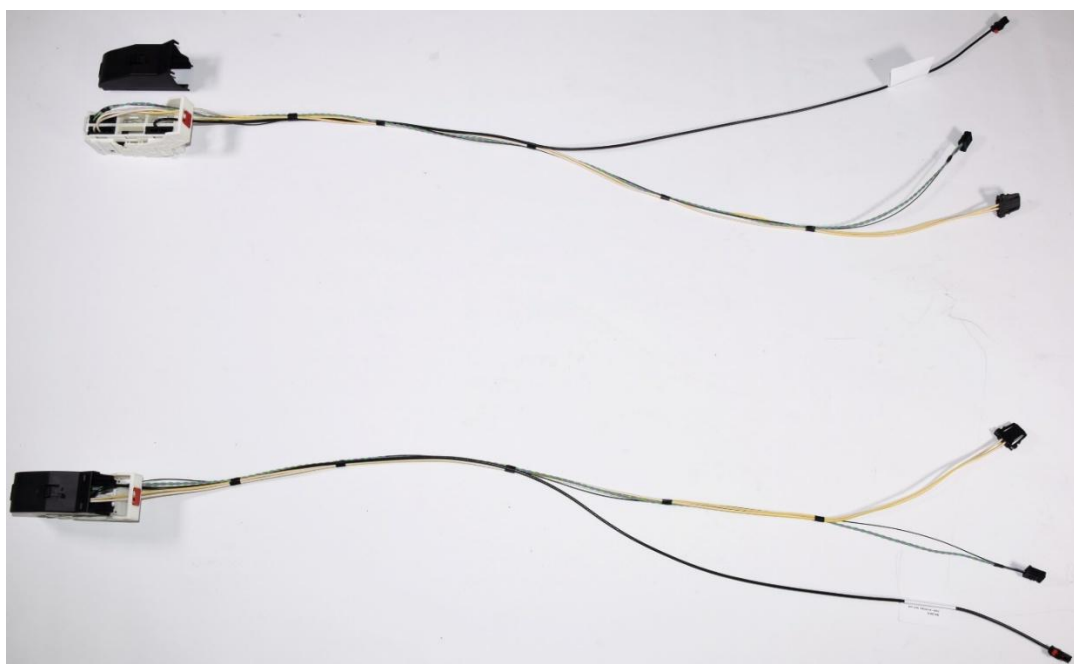
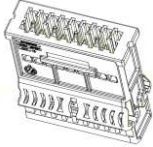

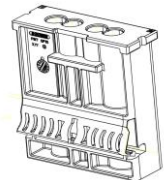
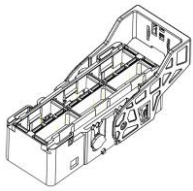

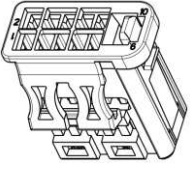
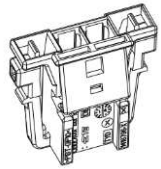
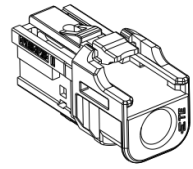


Abbildung 8: Fertiger Leitungssatz (zur Verfügung gestellt von TE Connectivity)

#### 4.1 Stückliste

Im Einzelnen sind für die angestrebte LS-Fertigung folgende Komponenten erforderlich. In der Tabelle 1 wurden alle Einzelteile mit ihren Teilenummern und Hersteller-Produktbezeichnung sowie eine Zeichnung aufgeführt.

Pos	Menge	Bezeichnung im LS	Teilenummer	Hersteller-Produktbezeichnung	Abbildung
1	1	Stecker Modul 1	<a href="#">2470646-9</a>	18POS,MQS,REC INNER HSG ASSY,UNSLD	
2	1	Stecker Modul 2	<a href="#">2470648-9</a>	4POS,AMP MCP 2.8,REC INNER HSG ASSY	
3	1	Stecker Modul 3	<a href="#">2470653-9</a>	4POS,DIA 4MM,SOC HSG ASSY,UNSLD	
4	1	Umgehäuse	<a href="#">2470829-9</a>	6POS,HYBRID,REC HSG ASSY	
5	1	Cover	<a href="#">2470839-1</a>	REC CONN CVR,2POS,HYBRID	
6	1	Stecker 10pol	<a href="#">2302475-1</a>	10POS,NANOMQS,REC HSG,COD A	
7	1	Stecker 2pol	<a href="#">1418796-3</a>	REC. HSG. MCP 2.8K,2POSN.	
8	1	Stecker 1pol	<a href="#">2-2310137-1</a>	1 P MATE-AX, SOC HSG W CPA, COD A	

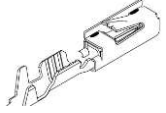
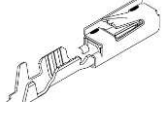


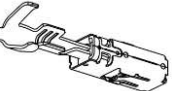
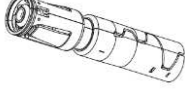




9	1	MQS-Kontakt (0,13mm <sup>2</sup> )	<a href="#">2141824-1</a>	MQS0,63 Sn rec LL unseal. 0,13-0,17	
10	2	MQS-Kontakt (0,35mm <sup>2</sup> )	<a href="#">5-928999-1</a>	MQS0,63 Sn rec LL unseal. >0,2-0,35	
11	1	NanoMQS-Kontakt (0,13mm <sup>2</sup> )	<a href="#">1-1703930-1</a>	NANOMQS, RECEPTACLE TERMINAL	
12	2	NanoMQS-Kontakt (0,35mm <sup>2</sup> )	<a href="#">2-1703930-1</a>	NANOMQS, RECEPTACLE TERMINAL	
13	4	AMP MCP Kontakt	<a href="#">1241390-1</a>	AMP MCP 2.8K, CONTACT	
14	1	MATE-AX Kontakt	<a href="#">2298510-1</a>	CONTACT MINI COAX , KIT, FEMALE, RG174	
15	1	0,35mm <sup>2</sup> UTP		UTP Leitung FLRY 0,35 mit 1x Kontakt MQS und 1x Kontakt NanoMQS	
16	1	0,13mm <sup>2</sup> Einzelleitung		Leitung FLRY 0,13 mit 1x Kontakt MQS und 1x Kontakt NanoMQS	
17	2	1,5mm <sup>2</sup> Einzelleitungen		Leitung FLRY 1,5 mit 2x Kontakt AMP MCP2.8K	
18	1	Coax-Leitung		COAXIAL CABLE RG 174 U schwarz	

Tabelle 1 Stückliste der Bauteile für den hybriden Leitungssatz

## 4.2 Grundlagen zur Steckverbindung

Steckverbinder werden verwendet, um Leitungen miteinander zu verbinden oder zu trennen. Durch das Anstecken der Steckverbinder an Verbraucher, Energiesysteme und Antrieb entsteht der Aufbau des gesamten Bordnetzes in einem Kraftfahrzeug. An Steckverbinder und deren Anwendung werden höchste Anforderungen an die Qualität und Zuverlässigkeit gestellt, die auch bei der Robotik Challenge berücksichtigt werden.

**Steckverbinder:** Jede Steckverbindung besteht aus zwei Hauptkomponenten, die während des Steckvorgangs miteinander verbunden werden: eine Hälfte enthält die weiblichen Kontakte (Buchsengehäuse), während die andere Hälfte die männlichen Kontakte (Stiftgehäuse) enthält.

### Primärverriegelung:

Die Kontakte werden in der Regel von Hand in die Buchsengehäuse montiert. Dabei muss jeder an einer Leitung gecrimpte Kontakt, entsprechend orientiert, ganz in die Kammer des Buchsengehäuses eingeschoben und verrastet werden (z.B. durch Einrasten der Rastlanze in die Innenkontur, also der Kammer, des Buchsengehäuses). Die Primärverriegelung wird also durch die Rastlanzen der Kontaktteile erreicht (siehe auch Abbildung 11).

### Sekundärverriegelung

Um in der manuellen Fertigung sicherzustellen, dass die Kontakte korrekt in die Buchsengehäuse eingerastet sind, werden sogenannte Sekundärverriegelungen eingesetzt. Dabei gibt es, je nach Gehäuse und Kontaktform, verschiedene Prinzipien. Alle Prinzipien detektieren, ob ein Kontakt in Endstellung ist oder nicht. Üblicherweise werden dabei zuerst die Kontakte entsprechend einer vorgegebenen Kammerbestückung in das Buchsengehäuse gesteckt und die Rastlanze verrastet (Primärverriegelung). Anschließend erfolgt das Schließen der Sekundärverriegelung, die alle mit der Primärverriegelung verrasteten Kontaktteile gleichzeitig nochmal arretiert.

### Besonderheiten im Rahmen der Robotik Challenge:

Bei der Automatisierung des Steckprozesses durch Roboter oder andere Automatisierungslösungen entfällt der Kontrollschritt der Sekundärverriegelung, da die korrekte Verrastung auch durch andere Verfahren sichergestellt werden kann (z.B. Kraft-Wege Messung). In der Robotik Challenge muss das Buchsengehäuse zuerst in eine Aufnahme gesteckt. Diese Aufnahme (oder eine wie auch immer gestaltete Fixierung) ist von den Challenge-Teilnehmern selbst zu gestalten oder 3D zu drucken.

In der aktuellen Robotik Challenge soll ein sogenannter NanoMQS Stecker mit 3 Leitungen bestückt werden. Es handelt sich bei den Kontaktteilen um der Type NanoMQS mit der Größe 0.5mm. Zwei Leitungen haben einen Querschnitt von jeweils  $0,35\text{mm}^2$  und bilden eine Twisted-Pair Leitung (UTP

= unshielded twisted pair), die dritte Leitung mit einem Querschnitt von  $0,13\text{mm}^2$  wird als Einzelleitung verwendet.

Bei der aktuellen Aufgabe werden drei Steckermodule nach dem Bestücken in ein Umgehäuse eingeschoben. Die Verfahrensweise wird in Abbildung 9 gezeigt. Dieses Umgehäuse kann nicht als Aufnahme für das Bestücken der Steckermodule verwendet werden, da nur Stecker mit geschlossener Sekundärverriegelung in das Umgehäuse montiert werden können. Nachdem die drei Steckermodule in dem Umgehäuse platziert wurden, wird eine Schutzkappe aufgeschoben.

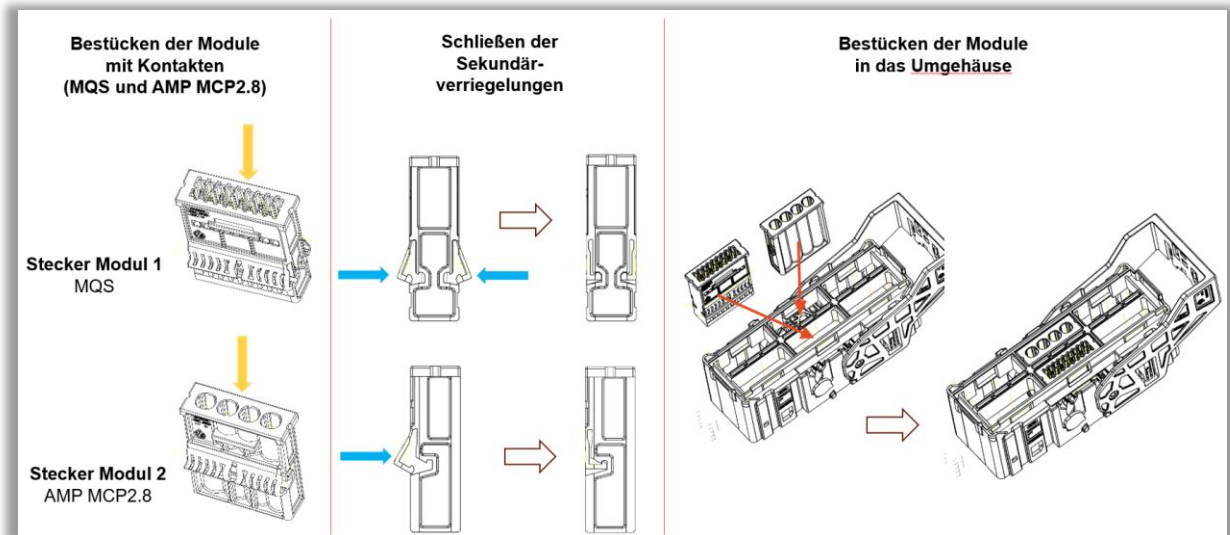


Abbildung 9 Schließen der Sekundärverriegelung und Bestücken des Umgehäuses

### 4.3 Leitungsmaterial

Für die Montage des Leitungssatzes werden verschiedene Fahrzeugleitungen mitgeliefert. Fahrzeugleitungen wie in Abbildung 10 sind aus einem flexiblen Leiter (mehrdrahtige verseilte Litze aus Elektrolytkupfer der Güte ETP-1 und einer Isolationsschicht (Thermoplastische Polymere) aufgebaut.

<sup>1</sup>

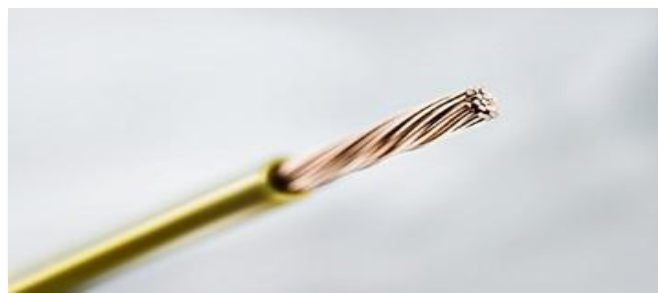


Abbildung 10 Fahrzeugleitung mit flexiblen Leiter FLRY 0,35 (Quelle: Leoni)

<sup>1</sup> Fahrzeugleitungen haben die Bezeichnung FLRY nach der DIN 76722 – 2013- 12 (Fahrzeugleitung mit reduzierter Wandstärke aus einer PVC-Isolationsschicht)

Niederquerschnittsleitungen NQL mit einem Querschnitt von  $0,13\text{mm}^2$  besitzen einen Leiter aus CuAg 0,1, CuMg 0,2 oder CuSn 0,3 um die geforderte Zugfestigkeit zu gewährleisten. Sie verhalten sich bei der Verarbeitung anders als die größeren Querschnitte und können ebenso große Kräfte wie die rein kupferbasierten Leiter aufnehmen.

Die zu montierenden Leitungen sind 1 m lang und an beiden Enden mit Steckkontakten versehen. Abbildung 11 zeigt ein zusammengerolltes Bündel wie es Teilnehmer, in PE-Beutel verpackt, zugesandt bekommen.

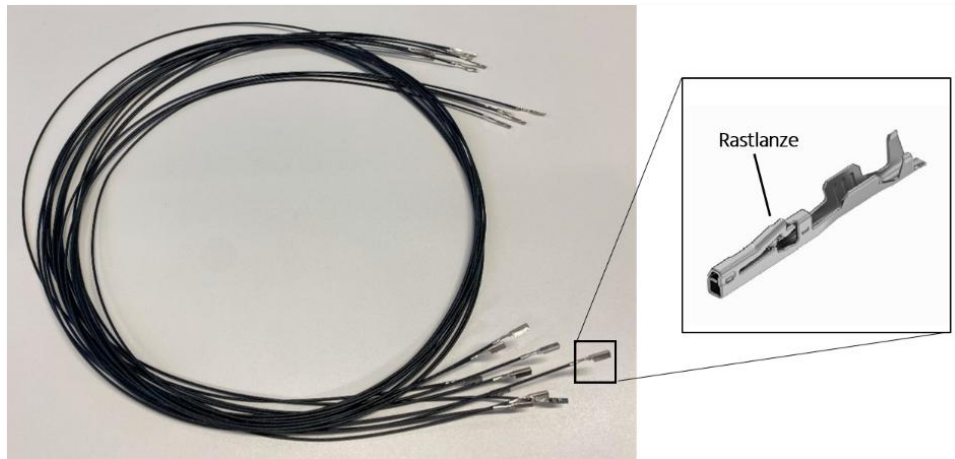


Abbildung 11: Bündel aus FLRY 0,13 mit gecrimpten Kontaktteilen für NanoMQS Stecker (Quelle TE Connectivity)

Bei dem Vereinzeln der Leitungen ist darauf zu achten, dass die Kontaktteile nicht verbogen oder beschädigt werden, da sie sich bei gegenseitiger Berührung in den Rastlanzen leicht verhaken.

#### 4.4 Fixierung der Leitungsbündel

Neben Klebebändern werden in der Leitungssatzmontage Kabelbinder, Spottapes, Wellrohre, verschließbare Manschetten (Zipper) oder andere Technologien zum Fixieren der Leitungsbündel und zum Formen eingesetzt. In der aktuellen Robotik Challenge ist es den Teilnehmern freigestellt welche Technologie eingesetzt wird.



Abbildung 12: Spot taping Maschine zum Setzen von einzelnen Klebebändern (Quelle <https://www.springmillsmf.com/>)

## 5 Prozessschritte zur Fertigung des Leitungssatzes

Im Nachfolgenden werden die Prozessschritte der Aufgabe nacheinander erläutert und auf Besonderheiten hingewiesen. Zu diesem Zweck wird an dieser Stelle nochmal auf Abbildung 14 verwiesen, in der die Prozessschritte dargestellt sind.

Die teilnehmenden Teams können je nach dem Konzept der Roboterzelle eine optimale Zuführung der gecrimpten Leitungen wählen. Das Greifen und Positionieren von Steckergehäuse hingegen wurde bereits in den ersten Challenges bearbeitet und ist nicht Bewertungsgegenstand dieser Challenge.

Grundsätzlich beginnt der Herstellungsprozess mit der Bestückung der fixierten Stecker. Dabei werden die Leitungen gegriffen und in die vorgegebenen Kammern eingesteckt und verrastet. Sind die Stecker an einer Seite bestückt, werden die Leitungen abgelegt und geroutet. Es folgt das Einstecken der Kontaktteile in den zweiten Stecker, sodass dann das Fixieren der Leitungen mit Kabelbindern erfolgen kann. Nachdem die Sekundärverriegelungen geschlossen wurden, werden die Inserts in das Umgehäuse eingeführt. Damit ist die Aufgabe gelöst.

Die Reihenfolge der Leitungsmontage obliegt grundsätzlich den Teilnehmern, sie ist nicht vorgegeben. Damit kann der Fertigungsprozess von den Teams optimal auf die robotische Handhabung ausgestaltet werden.

### 5.1 Prozesskette zur Herstellung des Leitungssatzes

Zur Montage der angesprochenen Komponenten zum Leitungssatz sind bestimmte Prozessschritte zu durchlaufen. Diese Prozessschritte sind im Folgenden insoweit erklärt, als dass man ein grundsätzliches Verständnis der Leitungssatzproduktion erhält.

Die geschnittenen, an beiden Enden gecrimpten Leitungen, entstehen in einer **Vorkonfektion** durch hochoptimierte Schneid- und Crimp-Anlagen und werden den Teilnehmern bereitgestellt. In der nachfolgenden Abbildung ist auf der linken Seite eine entsprechende Maschine zu sehen.

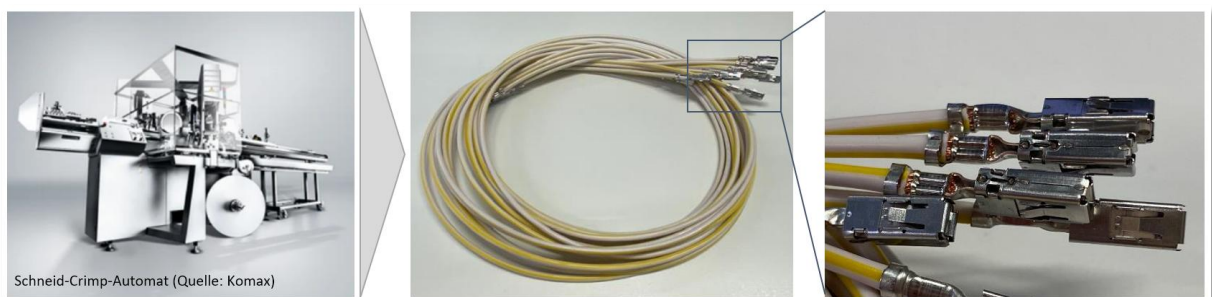


Abbildung 13: Vorkonfektion von gecrimpten Fahrzeugleitungen

Stand heute fallen die gecrimpten Fahrzeugleitungen ungeordnet in einen Behälter und werden von dort der manuellen Produktion beigestellt. Wir gehen jedoch hinsichtlich der automatisierten Produktion davon aus, dass zukünftig Lösungen entwickelt werden, die eine orientierte Zuführung von

den Schneid-Crimp-Automaten zu Roboterzellen ermöglichen. Daher geben wir den Challenge-Teilnehmern die Möglichkeit, die Zuführung der Komponenten zu ihren Montagezellen optimal zu gestalten. Hierbei muss entschieden werden, ob die Leitungen nur an einem Ende oder ob mit einem Greifer bereits beide Enden der Leitungen gegriffen werden sollen (Prozessschritte 1+2+3).

Nachdem die Vorkonfektionierung erfolgt ist, startet die Prozesskette zum Fügen des Leitungssatzes. Diese Prozesskette, die 10 Prozessschritte umfasst, wird in Abbildung 14 dargestellt. Sie reicht von der Bereitstellung der Komponenten und dem Greifen, Orientieren, Ausrichten und Einstecken der Kontakte über das Routen der Leitungen bis hin zum Fixieren der Leitungen, dem Einstecken der Inserts in das Umgehäuse und dem Aufsetzen der Kappe.



Abbildung 14: Prozesskette zur Montage des Leitungssatzes

Die dargestellte Prozesskette, die sich an die manuelle Fertigung anlehnt, ist in diesem Zusammenhang als beispielhaft anzusehen und kann von den Teilnehmern im Rahmen der Challenge auch in anderer Reihenfolge durchlaufen werden. Wichtig ist, dass das fertige Produkt, also der fertige Leitungssatz, vollständig gemäß Beschreibung vorliegt.

Es gibt einige Besonderheiten, die im Handling der Komponenten zu beachten sind.

- Beim Einführen oder Einstecken der Kontakte in die Kammern müssen für die Ausrichtung der Kontakte entsprechende Sensoren gewählt werden. Die Kontakte müssen gemäß der Orientierung der Kontaktkammer im Steckergehäuse ausgerichtet werden bevor sie in das Gehäuse bestückt werden.
- Bei den Leitungen (0,35 und 0,13mm<sup>2</sup>) sind zwei unterschiedliche Kontaktteile angecrimpt: ein Kontaktteil für den MQS und einer für den NanoMQS Stecker. Die Unterscheidung erfolgt über die Größe der Kontakte.
- Ein Kontaktteil gilt dann als ordnungsgemäß eingeschoben, wenn die Rastlanze (vgl. Abbildung 11) im Steckergehäuse hör- und spürbar einrastet und damit gegen ein unbeabsichtigtes Herausziehen gesichert ist (Prozessschritt 4).
- Das Verlegen (Routen) der Leitungen erfolgt nach dem Bauplan in Abbildung 5 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

- Der Prozessschritt 6 umfasst das Einstecken der Gegenseite der gecrimpten Leitung in den Stecker auf der Gegenseite.
- Für das Fixieren des Leitungsbündels Prozessschritt 7 können von den Teilnehmern adäquate effektive Technologien ausgewählt werden.
- Bei allen Steckern muss die Sekundärverriegelung geschlossen werden, indem die Lasche fest in die Flanke des Steckers gedrückt wird. Damit sind die Kontaktteile in den Kammern fixiert (Prozessschritt 8).
- Anschließend müssen drei Stecker, nämlich der 4x AMP MCP2.8K, der 18x MQS und der 4x MATE-AX in drei vorgesehenen Kammern des Umgehäuses bis zum Einrasten eingeschoben werden (Prozessschritt 9).
- Zum Schluss wird auf das Umgehäuse eine Schutzkappe aufgeschoben (Prozessschritt 10).

Die detaillierte Beschreibung der einzelnen Prozessschritte erfolgt in Kapitel 5.2. Dort wird neben den Prozessschritten auch die entsprechende Erfolgskontrolle zum Abschluss des jeweiligen Prozessschritts angegeben.

## 5.2 Detaillierte Darstellung der einzelnen Prozessschritte

Im Folgenden werden die Prozessschritte nummeriert und erläutert, wie sie aus Sicht der manuellen Fertigung aussehen würden. Die Abfolge der Prozessschritte kann zur Steigerung der Effizienz bei der robotergestützten Montage je nach Fertigungskonzept frei gewählt werden.

Schritt	Operation	Erfolgskontrolle
1	<p><b>Bereitstellung der Komponenten</b></p> <p>Es wird davon ausgegangen, dass die Zuführung der Leitungen mit gecrimpten Kontakten zukünftig aus den Schneid-Crimp-Maschinen orientiert erfolgt, deswegen können die Teilnehmer eine für den nachfolgenden Prozess günstige Anordnung der Zuführung wählen. Die Fixierung für das Buchsengehäuse kann mittels geeigneter Aufnahmen auf einer Arbeitsfläche befestigt werden. Ob die Aufnahme des Buchsengehäuses horizontal oder vertikal montiert wird, ist den Teams freigestellt. In der Praxis wird die Aufnahme meist horizontal positioniert, da sonst die Kabelenden am Greifer vorbei in den Bestückungsbereich fallen.</p>	<p>Leitungen mit Kontakten sind so positioniert, dass der Greifer sie sicher aufnehmen und greifen kann. Die Stecker sind sicher in einer Aufnahme arretiert.</p>
2	<p><b>Greifen der Leitung an Griffpunkt am Crimp</b></p> <p>Die Leitungen werden derart gegriffen, dass die Leitung im Greifer fixiert ausgerichtet werden können. Die Effektoren (Greifer) sollen von den Teilnehmern entsprechend optimiert ausgeführt werden. Die Kraft muss so niedrig sein, dass die Isolation der Leitung nicht beschädigt wird. Es dürfen keine Druckmarken zu erkennen sein. Gleichzeitig muss die Kraft so hoch sein, dass die gegriffene Leitung beim Manipulieren im Greifer nicht verrutscht.</p>	<p>Die Leitungen sind vom Greifer sicher gegriffen ohne dass die Kontaktteile beschädigt, verdrückt, gestaucht oder verbogen werden.</p>
3	<p><b>Orientieren und Ausrichten der Kontaktteile</b></p> <p>Orientieren des Kontaktteils und lagerichtiges Ausrichten als Vorbereitung für das Einstecken des Kontaktes in die vorgesehene Steckerkammer. Die korrekten anzuvisierenden Kammern sind identifiziert. Die Kontakte sind derart ausgerichtet, dass sie der Ausrichtung der jeweils zu bestückenden Kontakt-kammer entsprechen (die Rastlanze kann innen einrasten).</p>	<p>Kontaktteil wurde korrekt vor der zugehörigen Kammer des Steckers ausgerichtet.</p>

4	<p><b>Einstecken in den ersten Stecker gemäß Plan</b></p> <p>Nachdem die korrekte Kammer identifiziert wurde und das Kontaktteil ausgerichtet ist, erfolgt nun das Einstecken des Kontaktteils in die anvisierte Kammer. Das Einschieben der Kontakte in die entsprechende Kammer ist mit mäßigem Widerstand (durch die Reibung der Rastlanze an der Innenseite der Kammer) bis zum Einrasten möglich.</p>	<p>Kontaktteil ist vollständig in den Stecker eingeführt und wurde durch die Rastlanze der Primärverriegelung verrastet.</p> <p>Hinweis: Am Stecker sind unter der Sekundärverrastung kleine Fenster im Kunststoff, durch die die korrekte Positionierung der Rastlanzen zu sehen ist. Die Bilder der Kontakte müssen einheitlich sein.</p>
5	<p><b>Routen bzw. Ablegen der Leitungen in Haltevorrichtungen</b></p> <p>Die Gabeln oder alternative Haltevorrichtungen müssen von den Teilnehmern bedarfsgerecht, prozessorientiert entworfen und gefertigt werden bspw. mit einem 3D-Drucker. Sie haben hier völlig freie Handhabe, in welcher Art und Weise oder mit welchen Mitteln die Leitungen bzw. der Leitungssatz für die weitere Manipulation gehalten oder fixiert wird. In diese Haltevorrichtung wird nun die Leitung mit dem angeschlagenen Kontaktteil im Stecker eingeführt und abgelegt. Durch das Zusammenführen aller Leitungen in den Haltegabeln und der Fixierung entsteht das Routen der Leitungen, welches dem Leitungssatz die im Bauplan definierte Form gibt.</p>	<p>Die Leitung ist spannungsfrei in den vorgesehenen Haltepunkten lt. Bauplan abgelegt.</p> <p>Die Stecker befinden sich nach dem Routen an den vorgesehenen Enden des Leitungssatzes.</p> <p>Die gerouteten Leitungen sind in den Haltepunkten dergestalt fixiert, dass die weiteren Verfahrensschritte durchgeführt werden können.</p>
6	<p><b>Einstecken in den zweiten Stecker gemäß Plan</b></p> <p>Lagerichtiges Zuführen und Einstecken des Kontaktteiles in die entsprechende Steckerkammer bis zur Verrastung.</p> <p>Achtung! Da vier unterschiedlich große Kontakte verwendet werden, muss für jeden Kontakt mit der zugehörigen Kammer explizite Algorithmen zum Ausrichten und Zielen verwendet werden. Mit der Bauteilgröße reduziert sich die Toleranzkette der zu fügenden Bauteile proportional. Das trifft besonders auf den NanoMQS zu.</p> <p>Die Kammern des NanoMQS Steckers besitzen keine Einführschrägen, deswegen müssen die Kontaktteile vorsichtig an die Kammern herangeführt</p>	<p>Kontaktteil ist vollständig in den Stecker eingeführt und wurde durch die Rastlanze der Primärverriegelung verrastet.</p>

	werden, bis sie an der Innenwand der Kammern anliegen (vgl. Abbildung 15).	
Wdh.	<p>Wiederholung der Schritte 2 bis 6 (Greifen, Ausrichten, Einstecken Seite 1, Routen, Einstecken Seite 2) bis alle 5 Leitungen in den entsprechenden Kammern der Stecker an den Kontaktteilen eingeführt und verrastet sind und das Routing durch das Ablegen aller Leitungen in den Haltevorrichtungen erfolgt ist.</p> <p>Die Leitungen mit den entsprechenden Steckern sind im Folgenden aufgeführt (vgl. <i>Abbildung 4</i>):</p> <p><b><u>Leitung 1:</u></b> Leitung FLRY 0,35 mm<sup>2</sup> mit 10x NanoMQS, <b>Kammer 2</b> und 18x NanoMQS, <b>Kammer 4</b></p> <p><b><u>Leitung 2:</u></b> Leitung FLRY 0,35 mm<sup>2</sup> mit 10x NanoMQS, <b>Kammer 2</b> und 18x NanoMQS, <b>Kammer 12</b></p> <p><b><u>Leitung 3:</u></b> Leitung FLRY 0,13 mm<sup>2</sup> mit 10x NanoMQS, <b>Kammer 3</b> und 18x NanoMQS, <b>Kammer 17</b></p> <p><b><u>Leitung 4:</u></b> Leitung FLRY 1,5 mm<sup>2</sup> mit 4x AMP MCP2.8K, <b>Kammer 1</b> und 2x AMP MCP2.8K, <b>Kammer 2</b></p> <p><b><u>Leitung 5:</u></b> Leitung FLRY 1,5 mm<sup>2</sup> mit 4x AMP MCP2.8K, <b>Kammer 2</b> und 2x AMP MCP2.8K, <b>Kammer 1</b></p> <p><b><u>Leitung 6:</u></b> Leitung Koaxleitung RG 174 mit MATE-AX in 4X MATE-AX, <b>Kammer 3</b></p>	Alle Kontaktteile an beiden Enden der Leitungen sind in die entsprechende Kammer des zugehörigen Steckers eingesteckt und verrastet und die Leitungen sind in den Haltevorrichtungen fixiert.
7	<p><b>Fixieren der Leitungsbündel</b></p> <p>Die Kabelbündel werden im Abstand von 50mm mit einer geeigneten Technologie fixiert.</p>	Die Fixierung wird vom Hauptbündel in die Zweige fortgeführt. Die Einzeladern dürfen nicht verdrückt werden.

8	<p><b>Schließen der Sekundär Verriegelung</b></p> <p>Schließen der Sekundärverrastung an den Steckern 18x MQS und 4x AMP MCP2.8K 4 x MATE-AX. Dies ist notwendig, da die Inserts bei ausgestellten Sekundärverrastungen nicht in das Umgehäuse eingeführt werden können.</p>	<p>Die Kunststoffflaschen der Sekundärverriegelung sind in den Stecker eingedrückt und fixiert.</p>
9	<p><b>Einstecken Insert A+B+C in das Umgehäuse</b></p> <p>Einstecken der Inserts in das Umgehäuse bis sie einschnappen. Hier ist darauf zu achten, dass die Inserts von der korrekten Seite in das Umgehäuse eingeführt werden. Dies ist an dem Hebel zu erkennen. Dieser Hebel befindet sich auf der Seite, wo die Inserts in das Umgehäuse eingeführt werden (vgl. Abbildung 9).</p> <p>Geliefertes Teil: 1x Umgehäuse zur Aufnahme von 10x MQS, 4X AMP MCP2.8K und 4XMATE AX</p>	<p>Stecker sind als Insert in die richtige eingeführt worden und fixiert.</p>
10	<p><b>Aufsetzen der Kappe auf das Umgehäuse</b></p> <p>Das Cover wird mit der offenen Seite auf der Seite des Umgehäuses mit den Leitungssabgängen so aufgebracht, dass die geschlossene Seite der Kappe zum Verriegelungshebel zeigt. Hierbei wird die Arretierung in die beiden Vorrichtungen eingehängt und die Kappe auf den Modulstecker verrastet.</p>	<p>Die Kappe sitzt fest auf dem Umgehäuse. Die Leitungen ragen auf der offenen Seite heraus und werden so in eine Richtung gelenkt.</p>

Tabelle 2 Prozessbeschreibung und Anforderungen

Eine besondere Herausforderung der aktuellen Challenge ist das Greifen und Orientieren der Steckkontakte für den NanoMQS-Stecker. Eine Arbeitsanweisung wird in Abbildung 15 Arbeitsanweisung zum Bestücken von NanoMQS Steckern gezeigt. Die ausgerichteten Kontakte werden vorbestückt, also nur 0,3 mm tief in die Kammern gesteckt und dann auf die rechte Kammerflanke gefahren. Danach kann der Kontakt in die Kammer bis zum Verrasten eingeschoben werden

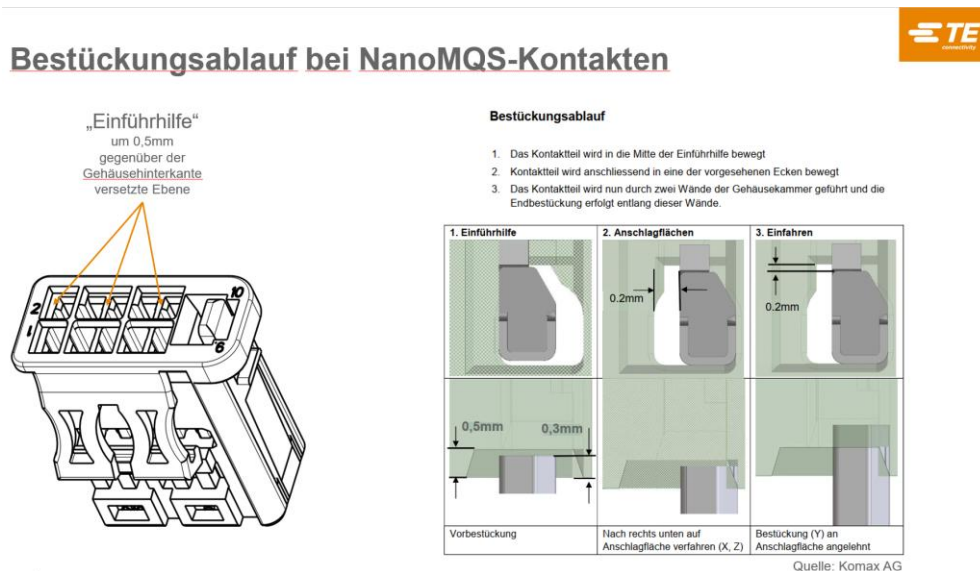


Abbildung 15 Arbeitsanweisung zum Bestücken von NanoMQS Steckern

## 6 Evaluation

### 6.1 Kriterien zur Bewertung der Ergebnisse

Die Evaluation der Lösungen erfolgt im Mai 2026 durch eine Jury aus Fachexperten der Branche. Dazu wird mit jedem Team eine Bewertungssitzung durchgeführt, in der die Lösung im Detail vorgestellt wird und die Jury anhand von definierten Kriterien die Bewertung vornimmt. Für die Realisierung der Prozesskette werden für jeden Prozessschritt Höchstpunktzahlen definiert, die erreicht werden können. Diese sind abhängig von der Erfolgskontrolle des Zielzustands. Dazu muss in der Bewertungssitzung der Abschluss eines jeden Prozessschritts mit einem Bild (z.B. Standbild des Videos oder separates Foto) über den Zielzustand der Komponenten abgeschlossen werden, dass für die Jurymitglieder eine Beurteilung zulässt.

Es werden folgende Themengebiete bewertet:

- **Wirtschaftlichkeit**

Bewertet werden Aspekte wie die Komplexität des Aufbaus und damit verbundenen Kostenimplikationen, Integrationsfähigkeit in übergeordnete Prozessabläufe.

- **Technologischer Ansatz**  
Bewertet werden Aspekte wie die technische Ausführung der Lösung, Zeit, die zur Bearbeitung der Prozessschritte in Anspruch genommen wird (Zielwert: 3:00 Minuten, Details siehe unten).
- **Innovation und Neuartigkeit**  
Bewertet werden Aspekte wie die Neuartigkeit einer Lösung und die Innovationskraft einer Lösung, um schwierige Teile der Aufgabe robust und schnell zu lösen.
- **Robustheit**  
Bewertet werden Aspekte wie die Robustheit des Prozesses bei veränderten Randbedingungen, Anteil der erfolgreichen Bestückungen, Verhalten im Fehlerfall, fortlaufende Repeitierbarkeit des Prozesses

Die Erwartungshaltung ist grundsätzlich, dass der Gesamtprozess erfolgreich durchlaufen wird. Es ist jedoch auch **möglich nur Teilaspekte** bzw. ausgesuchte Prozessschritte zu bearbeiten. Auch in diesen Fällen sollen Lösungen bewertet und berücksichtigt werden, wenn sie durch Fokussierung auf z.B. Kernkompetenzen besonders innovative, robuste oder wirtschaftliche Ansätze hervorbringen. Die volle Punktzahl kann jedoch nur bei erfolgreichem Durchlauf durch den Gesamtprozess erreicht werden.

Einer der wichtigsten **Bewertungskriterien ist die Prozessdurchlaufzeit**. Selbst die innovativste Lösung ist letztendlich darauf angewiesen, eine im industriellen Maßstab wettbewerbsfähige Taktzeit zu bieten. Denn die Taktzeit ist der größte Kostentreiber und das maßgebliche Kriterium, bei dem sich die Maschinen bzw. der Roboter mit der manuellen Fertigung vergleichen muss. Der Transformations-Hub Leitungssatz hat sich daher im Vorfeld mit den Experten der Konfektionäre den heutigen manuellen Fertigungsprozess des Leitungssatzes aus der Aufgabenstellung angesehen und die Fertigungszeit ermittelt. Diese beträgt **4 min 30 sec** durch eine Fachkraft in einer Fabrik der Konfektionäre. Daraus abgeleitet und unter Berücksichtigung eines Faktors, wonach es sich bei Lösungen der Teilnehmer um Demonstratoren handelt, sollten sich die Teilnehmer an einem **Richtwert von 4:00 Minuten** für einen Durchlauf orientieren.

## 6.2 Digitale Ergebnispräsentation

Jedes Team erhält einen Zeitslot von einer Stunde zur Vorstellung seiner Ergebnisse. Grundlage für die Bewertung in der Jurysitzung ist ein 5- bis 10-minütiges Video (mindestens Full-HD-Qualität), das bis spätestens 18. Mai 2026 einzureichen ist.

Die Ergebnispräsentation findet in einem digitalen Meeting (Microsoft Teams) statt. Während der Sitzung teilen die Teams ihren Bildschirm, spielen das Video ab und kommentieren den Prozessverlauf. Das Video kann bei Bedarf pausiert werden, um Erklärungen zu ergänzen oder Fragen der Jury zu beantworten (z. B. nach einzelnen Prozessschritten).

Eine Live-Vorstellung der Ergebnisse mit der Hardware (Demonstratoren) erfolgt im Rahmen des Innovationsforums Leitungssatz am 17. Juni 2026 in der ARENA2036 in Stuttgart.

### **Inhalt des Videos:**

Das Video sollte mindestens einen vollständigen, ungeschnittenen Prozessdurchlauf zeigen (zur Bestimmung der Zykluszeit). Zusätzlich können einzelne Prozessschritte aus anderen Perspektiven erneut gezeigt werden, falls sie im Hauptdurchlauf nicht klar erkennbar sind.

Das Video soll den gewählten technologischen Ansatz erläutern und, wenn möglich, auf die folgenden Punkte eingehen:

- Welcher technologische Ansatz liegt der Lösung zugrunde?
- Was ist das Besondere oder Innovative an der Umsetzung?
- Wo lagen die größten Herausforderungen – und wie wurden sie gelöst?
- Wie erfolgt die Qualitätsabsicherung (z. B. Robustheit, Verhalten im Fehlerfall)?
- Wie viele Wiederholungen können fehlerfrei durchgeführt werden?
- Wie hoch sind die Kosten des Aufbaus, und welche Komponenten wurden verwendet?
- Wie könnte die Lösung in der Praxis industrialisiert werden?

Die Jury bewertet insbesondere:

- die erfolgreiche Umsetzung aller Prozessschritte,
- die dafür benötigte Zeit sowie
- die Qualität und Nachvollziehbarkeit der präsentierten Lösung.

### **Veröffentlichung der Ergebnisse**

Die eingereichten Videos werden nach Abschluss der Jurybewertung für die Kommunikation der Ergebnisse genutzt, beispielsweise auf der Website und den Social-Media-Kanälen des Transformations-Hub Leitungssatz. Eine Veröffentlichung erfolgt erst nach dem Innovationsforum Leitungssatz.

Bis zu diesem Zeitpunkt sollten gegebenenfalls alle Schutzrechte angemeldet sein. Die Teams stellen sicher, dass ihre Videos frei von urheberrechtlich geschütztem Material Dritter sind.

## 7 Digitalisierung

Flankierend zur physikalischen Fertigungsautomatisierung soll im Rahmen der Robotik Challenge 2026 auch eine Begleitforschung für digitalisierungsrelevante Aspekte betrieben werden. Dabei sollen vor allem folgende übergeordneten Ziele verfolgt werden:

- 1) Förderung der Standardisierung der branchenspezifischen Datenformate VEC und KBL
- 2) Definition eines **Digitalen Produktpasses für den Leitungssatz** im Datenformat AAS

Als grundsätzliche Motivation dient die Erkenntnis, dass Digitalisierung auch in nicht- oder teilautomatisierten Bereichen signifikante Effizienzgewinne ermöglicht und generell der Branche einen Modernisierungsschub verschafft. Momentan existieren im wesentlichen Automaten für das Schneiden, Crimpen und Blockloading, zukünftig wird ein durchgängiger Datentransfer und durchgängige Verarbeitung für die Umsetzung der hochautomatisierten Fertigung erforderlich sein. Um die Anforderungen hierfür zu ermitteln, nutzt der Transformations-Hub Leitungssatz die Robotik Challenge.

Vorteile der Digitalisierung der Prozesskette sind unter anderem:

- Einbindung von Beschaffungs- und Logistikprozessen über maschinelle Schnittstellen.
- Höhere Produktionsflexibilität durch datengesteuerte Prozesse möglich
- Effizienzsteigerung durch maschinelle Rüstung von Fertigungsautomaten
- Bessere Qualitätssicherung durch Erfassung, Auswertung und Visualisierung der Fertigungsprozesse und -daten.
- Bessere Nachvollziehbarkeit und Erfüllung legislativer Vorgaben

Potentielle Untersuchungsfelder im Rahmen der Begleitforschung zur Robotik Challenge sind:

- 1) Export von relevanten Daten aus Engineering-Tools mittels Datenstandards
- 2) Import von relevanten Eingangsdaten mittels Datenstandards
- 3) Ermittlung des Zeit-, Energie- und Materialverbrauchs für den Fertigungsvorgang.
- 4) Protokollierung der wesentlichen Aspekte des Fertigungsvorgangs
- 5) Erzeugung eines digitalen Produktpasses (DPP) am Ende des Fertigungsprozesses

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die anstehenden Aktivitätencluster erläutert.

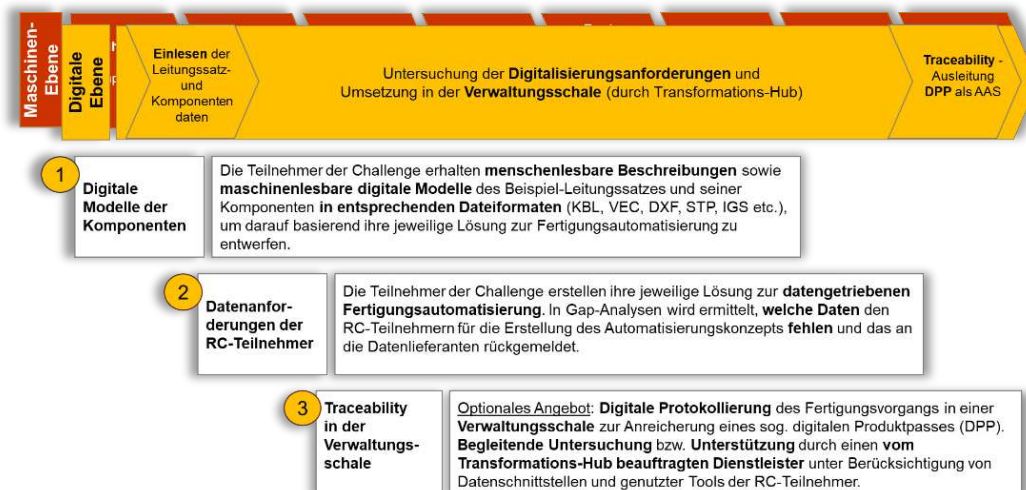


Abbildung 16: Digitale Ebene der Robotik Challenge 2026

## 7.1 Relevante Datenstandards

[AASX \(Asset Administration Shell XML\)](#) ist ein containerbasiertes Datenformat für die Asset Administration Shell (AAS) der Industrie 4.0. Es basiert auf dem Open-Packaging-Format (.aasx als ZIP-ähnlicher Container) und enthält XML- oder JSON-Dateien ([AAS-Metamodell gemäß IEC 63278](#)), Binärdateien (z. B. 3D-Modelle), PDFs oder andere Anhänge. Eine AAS beschreibt digitale Zwillinge von Assets (bspw. Produkte, Maschinen) mit Submodellen für Eigenschaften, Schnittstellen und Verhalten.

Der [Digitale Produktpass \(DPP\)](#) ist ein standardisierter, digitaler Datensatz, der die gesamte Lebenszyklus-Informationen eines Produkts (z. B. Materialien, Herkunft, Reparaturanleitungen, CO<sub>2</sub>-Fußabdruck) in maschinenlesbarer Form speichert. Er basiert auf EU-Vorschriften (z. B. Ecodesign-Verordnung ESPR) und soll ab 2026/2027 für Batterien, Elektronik und Textilien verpflichtend werden. Der DPP soll im AAS-Format mit den vorhandenen Submodell-Templates der IDTA erstellt werden.

[STEP \(Standard for the Exchange of Product model data\)](#) nach ISO 10303 ist ein internationaler Standard zur Speicherung und zum Austausch von 3D-Modellen und Produktdaten in der Industrie. Es ermöglicht, Geometrie, Materialien und Metadaten neutral zwischen verschiedenen CAD-Programmen ohne Datenverlust zu übertragen. In einer STEP-Datei (meist mit Endung .step, .stp oder .p21) werden die Daten in einer textbasierten Struktur nach dem EXPRESS-Schema codiert.

[KBL \(Kabelbaumliste\)](#) wurde als XML-basiertes Datenaustauschformat für die digitale Produktspezifikation eines Kabelbaums als Grundlage für den Austausch zwischen OEM und Konfektionär entwickelt, nachdem sich die bis dahin übliche Verwendung von Konstruktionszeichnungen als nicht mehr hinreichend erwiesen hatte.

[VEC \(Vehicle Electric Container\)](#) ist ebenfalls ein XML-basiertes Datenaustauschformat und der moderne Nachfolger der KBL, entwickelt für den Datenaustausch im Entwicklungsprozess des physikalischen Bordnetzes mit Übergang zur Produktion in der Automobilindustrie. Er bietet ein integriertes Modell mit umfassenden Möglichkeiten, unter anderem zur Beschreibung von Kabelbaumkomponenten, verschiedenen elektrologischen Sichten, sowie der Produktspezifikation des Kabelbaums mit dessen geometrischer Form (3D & 2D).

## 7.2 Bereitstellung der Modelle

Moderne Leitungssatz-Engineering-Tools unterstützen die Erzeugung des KBL- oder VEC-Formats. Die Teilnehmer der Challenge erhalten neben den **menschenlesbaren Beschreibungen** aus den vorigen Kapiteln zusätzlich **maschinenlesbare digitale Modelle** des Beispiel-Leitungssatzes und seiner Komponenten in diesen relevanten Dateiformaten (KBL, VEC, STEP etc.). Von den Teilnehmern aus dem Kreis der Engineering-Dienstleister, also den Leitungssatz-Konstrukteuren und Datenlieferanten, werden **mehrere** Modellierungs-Datensätze desselben Leitungssatzes zur Verfügung gestellt. Die Fertigungsautomatisierer können sich aus allen diesen Datenquellen zur Lösung Ihrer Aufgabe bedienen, wobei der Transformationshub Expertenunterstützung bei der Datenanalyse anbietet.

Grundlegende Herausforderung bei der Digitalisierung ist die **global eindeutige Identifizierbarkeit von Assets** und Ihre **informelle Verlinkbarkeit in Datenräumen**. Beides erreicht man über die Bildung einer sog. **AssetId in URI-Form**, welche die Hersteller-ID und Artikelnummer enthält, ggf. auch die Artikel-Version. Zur Identifikation des Leitungssatzes selbst und seiner Komponenten ist es deshalb wichtig, dass in den Engineering-Modellen des KBL und VEC die entsprechenden Identifikations-Properties des Leitungssatzes selbst und seiner Komponenten korrekt und konsistent befüllt sind. Wichtig dabei sind jeweils ein eindeutiger Herstellername, Produktbezeichner, Teilenummer und idealerweise eine URL auf den jeweiligen Herstellerkatalog des Produkts. Auf Ebene des Leitungssatzes soll mit dem Präfix des jeweiligen Engineering-Dienstleisters „XYZ“ als Produktbezeichner „XYZ Leitungssatz RobotikChallenge 2026“ verwendet werden, für die eindeutigen Identifier [URItauglich](#) abgekürzt, also z.B. „XYZ\_LSRC3“. Als Produktkatalog-Referenz soll initial die URL auf die Homepage der Robotik Challenge hinterlegt werden (<https://www.leitungssatz-hub.de/robotik-challenge/robotik-challenge-2026/>). Im Folgenden ein beispielhafter KBL-Code:

```
<Harness id="XYZ_LSRC3">
  <Part_number>XYZ_LSRC3</Part_number>
  <Company_name>XYZ</Company_name>
  <Version>0.1</Version>
  <Abbreviation>XYZ_LSRC3</Abbreviation>
  <Description>XYZ Leitungssatz RobotikChallenge 2026</Description>
  <Alias_id id="https://robotik-challenge.arena2036.app/XYZ_LSRC3_01">
    <Scope>AssetId</Scope> </Alias_id>
  <Alias_id id="https://www.leitungssatz-hub.de/robotik-challenge/robotik-challenge-2026/">
    <Scope>ProductURI</Scope> </Alias_id>
  ...
</Harness id>
```

Wichtig ist auch, dass die Dateinamen der beigefügten Modelldateien (z.B. VEC, KBL, STEP, PDFs) einer durchgängig konsistenten Namensystematik folgen, die den Hersteller und die Produkt-Id beinhalten, also z.B. „XYZ\_LSRC3\_Stromlaufplan.pdf“. Dies dient vor allem dazu, Verwechslungen zu vermeiden. Die beigefügten Modelldateien müssen aus KBL bzw. VEC heraus auffindbar referenziert werden, so dass das komplette Modell digital navigierbar wird.

Für die Befüllung des DPP sind gepflegte Komponentendaten wichtig, insbesondere zur Identifikation und Materialzusammensetzung. Die verwendeten Engineering-Tools (z.B. PREEvision, SmartCa-

ble V5H, Siemens Capital Harness Designer, etc.) der Datenlieferanten müssen entsprechende Datenpunkte im KBL bzw. VEC ausleiten. In der folgenden Tabelle ist eine Zusammenstellung der bekannten Mengen und Materialkenndaten für die verwendeten Komponenten, fehlende bzw. abweichende Bestandteile sollen von den Teilnehmern in Ihrem Modell ergänzt werden:

Pos	Menge	Bezeichnung im LS	Teilenummer	Hersteller-Produktbezeichnung	Material	Menge
1	1 Stk	Stecker Modul 1	<a href="#">2470646-9</a>	18POS,MQS,REC INNER HSG ASSY,UNSLD	PBT-GF 15	5,74g
2	1 Stk	Stecker Modul 2	<a href="#">2470648-9</a>	4POS,AMP MCP 2.8,REC INNER HSG ASSY	PBT-GF 15	4,64g
3	1 Stk	Stecker Modul 3	<a href="#">2470653-9</a>	4POS,DIA 4MM,SOC HSG ASSY,UNSLD	PBT-GF 15	4,34g
4	1 Stk	Umgehäuse	<a href="#">2470829-9</a>	6POS,HYBRID,REC HSG ASSY	PBT-GF	39g
5	1 Stk	Cover	<a href="#">2470839-1</a>	REC CONN CVR,2POS,HYBRID	PBT-GF 15 PIR	18g
6	1 Stk	Stecker 10pol	<a href="#">2302475-1</a>	10POS,NANOMQS,REC HSG,COD A	PBT-GF 10	1,1g
7	1 Stk	Stecker 2pol	<a href="#">1418796-3</a>	REC. HSG. MCP 2.8K,2POSN.	PBT-GF 10	1,97g
8	1 Stk	Stecker 1pol	<a href="#">2-2310137-1</a>	1 P MATE-AX, SOC HSG W CPA, COD A	PA66 GF30	0,75g
9	1 Stk	MQS-Kontakt (0,13mm <sup>2</sup> )	<a href="#">2141824-1</a>	MQS0,63 Sn rec LL unseal. 0,13-0,17	CuNiSi	0,11g
10	2 Stk	MQS-Kontakt (0,35mm <sup>2</sup> )	<a href="#">5-928999-1</a>	MQS0,63 Sn rec LL unseal. >0,2-0,35	CuNiSi	0,13g
11	1 Stk	NanoMQS-Kontakt (0,13mm <sup>2</sup> )	<a href="#">1-1703930-1</a>	NANOMQS, RECEPTACLE TERMINAL	CuSn8	0,08g
12	2 Stk	NanoMQS-Kontakt (0,35mm <sup>2</sup> )	<a href="#">2-1703930-1</a>	NANOMQS, RECEPTACLE TERMINAL	CuSn8	0,08g
13	4 Stk	AMP MCP Kontakt	<a href="#">1241390-1</a>	AMP MCP 2.8K, CONTACT	CuNiSi	0,52g
14	1 Stk	MATE-AX Kontakt	<a href="#">2298510-1</a>	CONTACT MINI COAX , KIT, FEMALE, RG174	CuSn/PBT/STEEL	0,46g
15	X lfm	0,35mm <sup>2</sup> UTP	<a href="#">BEDIKABEL 23106080908</a>	FLRY-A 2x0.35mm <sup>2</sup> twisted automotive cable	Cu-ETP1 Soft-PVC	9,3 Kg/km
16	X lfm	0,13mm <sup>2</sup> Einzelleitung	<a href="#">LEONI 76693005</a>	FLCUSN03RY 0,13-A	CuSn0,3 Soft-PVC	2,1 kg/km
17	X lfm	1,5mm <sup>2</sup> Einzelleitungen	<a href="#">HELUKABEL 28529</a>	Vehicle Cable FLRY Type B weiß 1 x 1,5 mm <sup>2</sup>	E-Cu58 F21 PVC	Cu 14,4 kg/km PVC 1,6 kg/km
18	X lfm	Coax-Leitung	<a href="#">HELUKABEL 400189</a>	COAXIAL CABLE RG 174 U schwarz	Cu PVC	Cu 7,0 kg/km PVC 4,0kg/km
19	X lfm	Tape	<a href="#">Tesa 51036</a>	tesa® 51036 PV2	PET	230 g/m <sup>2</sup>
			<a href="#">HellermanTyton 712-10002</a>	HTAPE-PROTECT180	PET	
20	X Stk	Fixierung	<a href="#">HellermanTyton 126-00000</a>	T50SOSEC13E-PA66HS-BK	PA66	

Die tatsächlich benötigten Materialmengen für den Leitungssatz sollen im Zuge des Engineeringprozesses toolgestützt ermittelt und im KBL bzw. VEC abgelegt werden. Als Informationsquelle sollte auch die IMDS-Datenbank ([International Material Data System](#)) als zentrale Plattform zur Erfassung und Verwaltung von Materialdaten in der Automobilindustrie herangezogen werden.

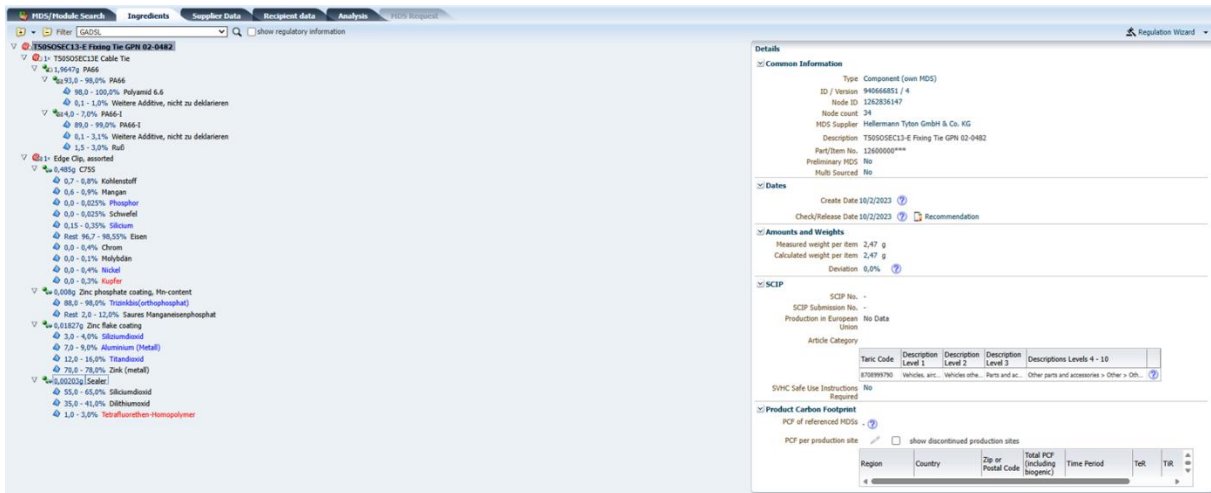


Abbildung 17: IMDS – Beispielhafter Datensatz

Interessant ist in diesem Kontext auch die Klärung der automatisierten Datenübernahme aus der IMDS-Datenbank.

### 7.3 Datenanalyse

In durch den Leitungssatz-Hub begleiteten **Gap-Analysen** werden zu Beginn der Durchführungsphase die RC-Teilnehmer dabei unterstützt, die benötigten Daten für die Erstellung Ihres Automatisierungskonzepts aus den zur Verfügung gestellten Modelldaten zusammenzustellen. Fehlen notwendige Daten, wird dies an die Datenlieferanten (z.B. Komponentenhersteller, Engineering-Dienstleister) zurückgemeldet, um die Verbesserung der Datenbestände bzw. Engineering-Toolkette zu ermöglichen.

Die Teilnehmer der Challenge können dann mit dieser gemeinsam erarbeiteten Datenbasis ihre jeweilige Lösung zur **datengetriebenen Fertigungsautomatisierung** umsetzen. Ziel ist es, sich damit dem Konzept eines Digitalen Fertigungsauftrags und einer flexiblen Fertigungsautomatisierung anzunähern.

Die Prozessschritte und deren Parameter sollen dabei möglichst nicht hartcodiert im Automatisierungsprogramm hinterlegt sein, sondern stattdessen datengetrieben über eine einzulesende Parametrierungsdatei abgeleitet werden. Diese Datei soll von den Teilnehmern selbst für Ihre jeweilige Lösung zusammengestellt werden, eine dedizierte Formatvorschrift besteht dabei nicht, empfohlen wird aber das Submodell-Template *ProcessParameters* der *Verwaltungsschale (AAS)*. Seitens des Leitungssatz-Hubs wird dabei für die Erstellung und den Know-How-Aufbau Unterstützung angeboten. Aus den bei diesem Parametrierungsansatz gewonnen Erkenntnissen können dann in den begleitenden Digitalisie-

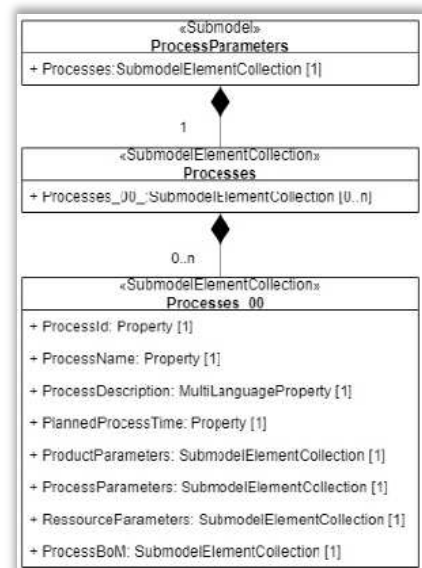


Abbildung 18:  
Submodell ProcessParameters

rungsworkshops Vorschläge zu standardgetriebenen Digitalisierungsschnittstellen erarbeitet werden, bspw. wie der [VEC](#) weiterentwickelt werden muss.

### Prozess zur Datenermittlung für eine robotergestützte Fertigungsautomatisierung

Üblicherweise erfolgt nach einer hochautomatisierten Vorkonfektionierung (Schneiden, Abisolieren, Crimpen, Stecker-Einführung) eine robotergestützte Montage (Verlegen nach Schema, Einbau in Modulrahmen, Fixieren mit Bindern/Band, Einbringen in den EOL-Tester). Der gedankliche Definitionsprozess für eine derartige robotergestützte Fertigungsautomatisierung umfasst im Wesentlichen folgende vereinfachten Aktivitäten:

- 1) **Digitalisierung:** Erstellung eines maschinenlesbaren digitalen Zwillings des Leitungssatzes (basierend auf Geometriemodellen, Verlegeschema, Steckerpositionen, Stromlaufplan).
- 2) **Prozesszerlegung:** Zerlegen in automatisierbare Teilschritte (Schneiden, Crimpen, Einführen, Verlegen, Fixieren, EoL-Testen).
- 3) **Produktanalyse und Extraktion relevanter Elemente:** Komponenten (Wires, Connectors, Cavities für Greif- und Einführungspunkte). Placement (3D-Koordinaten, Leitungsverläufe, Fixierpunkte für Binder/Band).
- 4) **Transformation für Roboter:** Benötigte Daten aus dem digitalen Zwilling zusammenstellen für Anwendung in der Robotersprache (z. B. ROS-Path, KUKA KRL oder Offline-Simulationstools wie Process Simulate).

Die bei diesem gedanklichen Prozess ermittelten Prozessbeschreibungen und zugehörige Parametrierungsdaten sollen im Submodell [ProcessParameters](#) systematisch erfasst werden.

## 7.4 Traceability

Ein weiterer Untersuchungsgegenstand ist die **Digitale Protokollierung** des Fertigungsvorgangs in einer sog. **Verwaltungsschale (AAS)**. Als Ergebnis soll am Ende des Fertigungsvorgangs ein **Digitaler Produktpass (DPP)** entstehen, der die wesentlichen Informationen zum Produkt und dessen Fertigungsvorgang enthält, also typischerweise Zeitverbrauch, Energieverbrauch, Materialverbrauch und Prüfergebnisse.

Hierbei werden die teilnehmenden Fertigungsautomatisierer auf Wunsch von einem seitens des Trafo-Hubs für die Robotik Challenge beauftragten IT- und Software-Dienstleister unterstützt. Dieser stellt Softwarebausteine und webbasierte Microservices auf Open-Source-Basis zur Verfügung, die das Erzeugen einer DPP-Verwaltungsschale sehr einfach durch REST-API-Aufrufe eines im Internet verfügbaren Services ermöglichen. Dieser Dienst wird unter der Adresse <https://robotik-challenge.arena2036.app> erreichbar sein.

Der Dienstleister unterstützt auch auf Wunsch bei der Schnittstellenanalyse und Integration in die Steuerungs- bzw. Softwarelandschaft der Teilnehmer. Durch die geplante Umsetzung des Services als Open-Source-Lösung wird für die Branche ein bleibender Mehrwert geschaffen.

Wir sehen diesen Punkt als niedrighschwelliges Angebot für die Teilnehmer, mit wenig Aufwand Ihre Digitalisierungsfähigkeiten in eine Richtung zu erweitern, die in wenigen Jahren als legislative Verpflichtung ohnehin auf Sie zukommen wird.

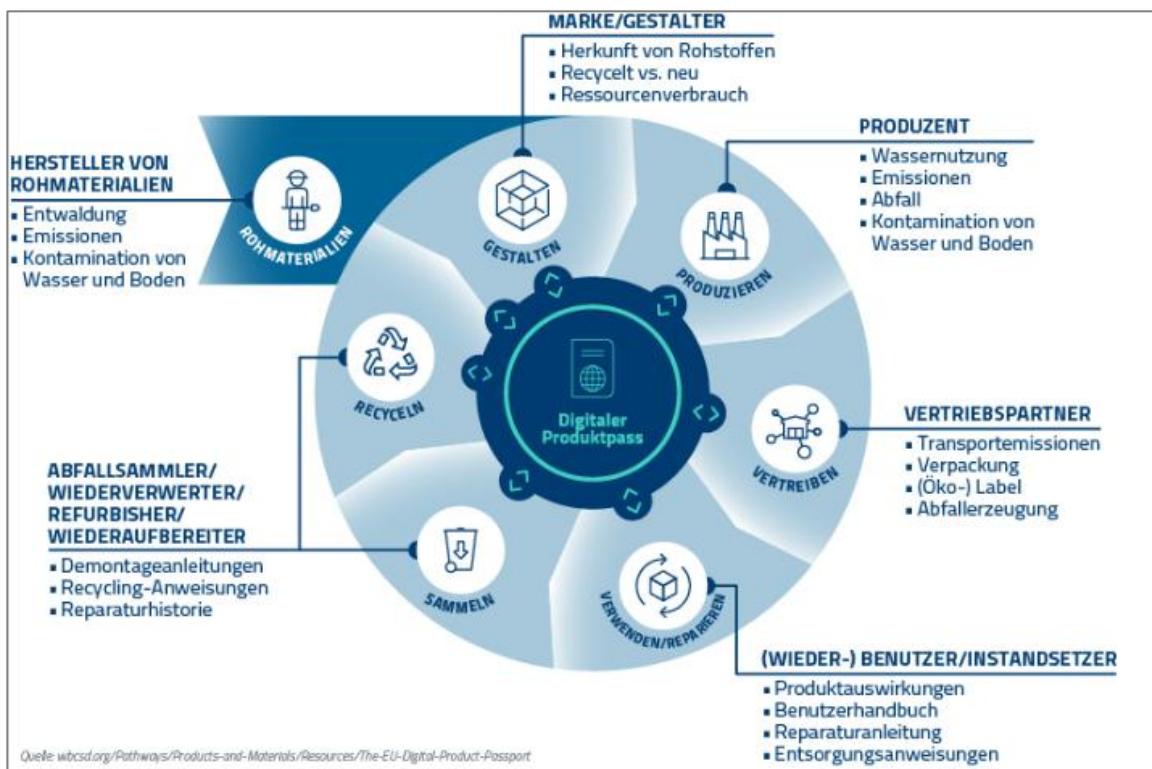


Abbildung 19: Prinzip des Digitalen Produktpass

## 7.5 Guidelines zur Modellierung

Auf Ebene des Leitungssatzes soll mit dem Präfix des jeweiligen Engineering-Dienstleisters „XYZ“ als Produktbezeichner „XYZ Leitungssatz RobotikChallenge 2026“ verwendet werden, für die eindeutigen Identifier [URI-tauglich](#) abgekürzt, also z.B. „XYZ\_LSRC3“. Als Produktkatalog-Referenz soll initial die URL auf die Homepage der Robotik Challenge hinterlegt werden ([„https://www.leitungssatz-hub.de/robotik-challenge/robotik-challenge-2026/“](https://www.leitungssatz-hub.de/robotik-challenge/robotik-challenge-2026/)). Im Folgenden ein beispielhafter KBL-Code, mit dem VEC soll weitgehend analog zum KBL-Ansatz vorgegangen werden:

```
<Harness id="XYZ_LSRC3">
  <Part_number>XYZ_LSRC3</Part_number>
  <Company_name>XYZ</Company_name>
  <Version>0.1</Version>
  <Abbreviation>XYZ_LSRC3</Abbreviation>
  <Description>XYZ Leitungssatz RobotikChallenge 2026</Description>
  ...
</Harness id>
```

Für Referenzen auf externe Dateien und Webseiten wird eine Modellierung mit `<External_reference>` vorgeschlagen, da dort mittels `<Data_format>` auf Dokumente mit einem dedizierten Mime-Type (z.B. „*application/xhtml+xml*“, „*application/pdf*“ usw.) referenziert werden kann.

Für die *AssetId* als reine Identifikations-IRI muss noch ein entsprechender MimeType definiert werden. Für die RC schlagen wir „*application/aas+url*“ vor.

```
<Harness id="XYZ_LSRC3">
  <Part_number>XYZ_LSRC3</Part_number>
  <Company_name>XYZ</Company_name>
  <Version>0.1</Version>
  <Abbreviation>XYZ_LSRC3</Abbreviation>
  <Description>XYZ Leitungssatz RobotikChallenge 2026</Description>
  < External_references>https://robotik-challenge.arena2036.app/XYZ\_LSRC3\_01</External_references>
  < External_references>id_homepage_1</External_references>
  < External_references>id_asset_2</External_references>
  ...
</Harness id>
  <External_reference id="id_homepage_1">
    <Document_type>Homepage</Document_type>
    <Document_number>Robotik Challenge 2026</Document_number>
    <Change_level>1</Change_level>
    <File_name>https://www.leitungssatz-hub.de/robotik-challenge/robotik-challenge-2026/</File_name>
    <Data_format>application/xhtml+xml</Data_format>
  </External_reference>
  <External_reference id="id_asset_2">
    <Document_type>AssetId</Document_type>
    <Document_number>Robotik Challenge 2026</Document_number>
    <Change_level>1</Change_level>
    <File_name>https://robotik-challenge.arena2036.app/XYZ\_LSRC3\_01</File_name>
    <Data_format>application/aas+uri</Data_format>
  </External_reference>
  <External_reference id="id_component_3">
    <Document_type>Homepage</Document_type>
    <Document_number>5-928999-1</Document_number>
    <Change_level>1</Change_level>
    <File_name>https://www.te.com/en/product-5-928999-1.html</File_name>
    <Location>https://www.te.com/en/product-5-928999-1.html </Location>
    <Data_format>application/xhtml+xml</Data_format>
  </External_reference>
```

## 8 Transfer der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Robotik Challenge werden auf mehreren Ebenen in die Branche getragen – durch Präsentationen, Publikationen und die aktive Vernetzung der teilnehmenden Teams.

### 8.1 Präsentation auf dem Innovationsforum Leitungssatz

Am **17. Juni 2026** werden die Ergebnisse der Robotik Challenge im Rahmen des **Innovationsforums Leitungssatz** in der **ARENA2036 in Stuttgart** vorgestellt. Zu dieser Veranstaltung lädt der Transformations-Hub Leitungssatz die gesamte Branche ein – von Komponenten- und Maschinenherstellern über Leitungssatzkonfektionäre bis hin zu OEMs.

Alle Teams präsentieren ihre Lösungen vor Ort anhand ihrer Demonstratoren (Roboterzellen) und zeigen die Funktion ihrer Systeme in Live-Vorführungen. Für die Präsentation werden die Teams in Gruppen aufgeteilt, sodass jede Lösung mehrfach gezeigt wird. Am Ende der Veranstaltung werden die Ergebnisse in einer Podiumsdiskussion gemeinsam mit Vertreterinnen und Vertretern der Teams diskutiert.

### 8.2 Veröffentlichung in Fachmedien

Die Ergebnisse werden durch Medienpartnerschaften des Transformations-Hub Leitungssatz einem breiten Fachpublikum zugänglich gemacht. Geplant sind Veröffentlichungen und Nachberichte in folgenden Fachzeitschriften:

- **Computer & Automation** Fachleser aus den Bereichen Robotik, Steuerung und Automatisierung
- **Elektronik automotive** für Fachpublikum der automobilen Elektrik, Elektronik und Leitungssatzentwicklung
- **VDI Nachrichten** als reichweitenstarkes Medium für Ingenieur:innen und Entscheider aus Technik und Management

In den Medien erscheinen zunächst Teaser und im Anschluss detaillierte Berichte über die Ergebnisse und deren Präsentation auf dem Innovationsforum Leitungssatz.

### 8.3 Transfer über die Netzwerke des Leitungssatz-Hubs

Zusätzlich wird der Wissenstransfer über die bestehenden Kommunikations- und Netzwerkstrukturen des Transformations-Hub Leitungssatz unterstützt:

- **Detaillierte Aufbereitung der Ergebnisse** auf der Website des Leitungssatz-Hubs
- **Veröffentlichungen auf LinkedIn** und im **Newsletter**
- **Verbreitung der Ergebnisse über den Leitungssatz-Beirat und die Leitungssatz-Botschafter**

Die Mitglieder des Beirats sind Führungskräfte aus Forschung, Entwicklung und Produktion namhafter Unternehmen (u. a. Mercedes-Benz, Volkswagen, Kostal, Siemens EDA, Aptiv, Hochschule Landshut). Durch ihre Reichweite und Branchenkenntnis sichern sie die direkte Sichtbarkeit der Ergebnisse in der Leitungssatzindustrie.

Damit erhalten alle Teams eine hohe **Sichtbarkeit in der Branche** und positionieren sich als Expertinnen und Experten für Robotik in der Leitungssatzproduktion.

## 9 Über den Transformations-Hub Leitungssatz und Ansprechpartner

Der Transformations-Hub Leitungssatz wurde im Rahmen des „Zukunftsfonds Automobilindustrie“ der Bundesregierung als Förderprojekt initiiert, um die Transformation der Leitungssatzbranche aktiv zu unterstützen.

Das Konsortium besteht aus ARENA2036, Bayern Innovativ und der Open Hybrid LabFactory (OHLF). Der Hub dient als zentrale Anlaufstelle für Unternehmen und Forschungseinrichtungen und verbindet wissenschaftliche Erkenntnisse mit den praktischen Anforderungen der Industrie. Ziel ist es, zukünftige Themen und Trends frühzeitig zu erkennen, daraus anwendungsorientierte Lösungen zu entwickeln und Kooperationsprojekte zwischen Industrie und Forschung anzustoßen. Dabei werden sowohl brancheninterne als auch branchenübergreifende Perspektiven berücksichtigt. Als Informationsdrehscheibe beteiligt sich der Transformations-Hub Leitungssatz an etablierten Branchenveranstaltungen und organisiert zudem eigene Formate wie Innovationsshows, Informationsveranstaltungen und Trendausblicke.

Für Fragen und bei auftretenden Herausforderungen während der Bearbeitungszeit stehen Ihnen die Betreuer der Challenge zur Verfügung:

- **Robert Süß-Wolf** – Forschungscoordination Leitungssatz
- **Markus Rentschler** – Forschungscoordination Digitale Interoperabilität



**Robert Süß-Wolf**

Forschungscoordination Leitungssatz

[robert.suesswolf@arena2036.de](mailto:robert.suesswolf@arena2036.de)



**Markus Rentschler**

Forschungscoordination Digitale Interoperabilität

[markus.rentschler@arena2036.de](mailto:markus.rentschler@arena2036.de)

### Weitere Informationen:

- **Website:** [www.leitungssatz-hub.de](http://www.leitungssatz-hub.de)
- **E-Mail-Kontakt:** [info@leitungssatz-hub.de](mailto:info@leitungssatz-hub.de)
- **LinkedIn:** [Transformations-Hub Leitungssatz](https://www.linkedin.com/company/transformations-hub-leitungssatz)

## 10 Literatur

1. LEONI Produktkatalog Fahrzeugleitungen [https://d3ga0yfowtcfnef.cloudfront.net/fileadmin/acs/files/publications/product\\_information/single\\_core\\_cables\\_de.pdf](https://d3ga0yfowtcfnef.cloudfront.net/fileadmin/acs/files/publications/product_information/single_core_cables_de.pdf)
2. Vorkonfektion KOMAX Schneid-Crimp Anlagen <https://www.komaxgroup.com/de-de/products/crimp-to-crimp/alpha-550>
3. Automotive Steckverbinder TLF 0214 [https://www.zvei.org/fileadmin/user\\_upload/Presse\\_und\\_Medien/Publikationen/2021/Februar/Technischer-Leitfaden\\_TLF-0214/ZVEI\\_Technischer-Leitfaden-TLF\\_0214.pdf](https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2021/Februar/Technischer-Leitfaden_TLF-0214/ZVEI_Technischer-Leitfaden-TLF_0214.pdf)
4. Kabelbaumzeichnung 2D, ISO 7573, ISO 128-22, ISO 7200, VDA 4961; Aufbau, Symbolik, Layerstruktur, Stücklistenbezug
5. E/E-System-Schaltplan ISO 21617 / IEC 61082-1 Strukturierung von Stromlaufplänen, Funktionsblöcken
6. Steckverbindungen, Pins, Kabelfarben, LV214, LV215, ISO 6722-1, ISO 14572 Material-, Farb- und Crimpstandards
7. CAD-Datenformat / Austausch, KBL / VEC (Vehicle Electric Container) vom VDA-Austauschformat für Harnessdaten zwischen CAD-Systemen (z.B. Zuken E<sup>3</sup>, Catia EHI, Capital, LDorado etc.) <https://ecad-wiki.prostep.org/specifications/>
8. OEM-spezifische Normen; VW, BMW, Daimler, Ford, etc., Eigene Designrichtlinien (z. B. VW 01155, MB-Standard 10005)
9. Ergebnisse Robotik Challenge 2024 : <https://www.leitungssatz-hub.de/robotik-challenge/robotik-challenge-2024/ergebnisse-der-robotik-challenge/>
10. Ergebnisse der Robotik Challenge 2025 : <https://www.leitungssatz-hub.de/robotik-challenge/robotik-challenge-2025/beschreibung-der-challenge/>