

■ Evidence on performance: Recorded data



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.



This work is licensed by the EXAM 4.0 Partnership under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

EXAM 4.0 partners:

TKNIKA – Basque VET Applied Research Centre, CIFP Miguel Altuna, DHBW Heilbronn – Duale Hochschule Baden-Württemberg, Curt Nicolin High School, Da Vinci College, AFM – Spanish Association of Machine Tool Industries, 10XL, and EARLALL – European Association of Regional & Local Authorities for Lifelong Learning.

Abstrakt

Dies ist ein Bericht mit detaillierten Informationen, der den Beitrag und die Informationen aller Partner des EXAM4.0-Pilotprojekts belegt. Er enthält relevante Aspekte des Projekts: Belege für die Planung und Durchführung des Prozesses, Hauptaktivitäten, aufgetretene Zwischenfälle, erzielte Ergebnisse, gelernte Lektionen. Tabellen, Bilder, Videos sind direkt im Dokument oder indirekt über Links verfügbar.

Inhaltsübersicht

Abstrakt.....	1
Inhaltsübersicht	1
Abkürzung.....	3
1. Einführung.....	4
2. Einführung von Industrie 4.0-Technologien.....	4
2.1. Curt Nicolin Gymnasiet	4
2.2. Miguel Altuna.....	6
2.3. Da Vinci.....	9
2.4. DHBW.....	9
2.5. TKNKA.....	14
3. EXAM 4.0 Kollaborative Lernfabrik.....	20
3.1. Produktdesign.....	21
3.2. Verfahrenstechnik.....	32
3.3. Herstellung.....	36
3.3.1. Miguel Altuna	36
3.3.2. Curt Nicolin Gymnasiet.....	38
3.3.3. Da Vinci Hochschule.....	40
3.3.4. DHBW	40
3.4. Montage des Produkts	41
3.5. Prüfung.....	46
4. Aufgetretene Vorfälle	47
5. Erzielte Ergebnisse.....	47
6. Gelernte Lektionen und zukünftige Herausforderungen.....	50
7. Tabelle der Abbildungen	53



8. Referenzen	56
---------------------	----



Abkürzung

AGV = Automatisch geführtes Fahrzeug

AM = Fortschrittliche Fertigung

AR = Erweiterte Realität (Augmented Reality)

CAD = Computergestützter Entwurf

CLF = Kollaborative Lernfabrik

CNG = Curt Nicolin Gymnasiet

DHBW = Duale Hochschule Baden-Württemberg / Baden-Württembergische Duale Hochschule

ERP = Unternehmensressourcenplanung

HVET = Higher Vocational Education and Training (Höhere berufliche Bildung)

IIoT = Industrielles Internet der Dinge

IT = Informationstechnologie

KET = Key Enabling Technology (Schlüsseltechnologie)

LF = Lernende Fabrik

MOM = Manufacturing Operations Management

M2M = Maschine zu Maschine

PLM = Produktlebenszyklus-Management

RFID = Radiofrequenz-Identifikation

TPE = Thermoplastische Elastomere

VET = Vocational Education and Training (Berufsbildung)

VR = Virtuelle Realität

1. Einführung

In diesem Dokument werden die bei der Durchführung des EXAM 4.0-Pilot-Workshops gesammelten Nachweise detailliert aufgeführt und die aufgezeichneten Daten zur Verfügung gestellt, um die interne Prüfung der Initiative und die Überprüfung durch die Expertengruppe zu ermöglichen. Das Dokument beschreibt die beiden Aktionslinien, die das Konsortium verfolgt hat. Einerseits die Technologien und Anwendungen der Industrie 4.0, die während der Entwicklung des Projekts gekauft oder installiert wurden. Auf der anderen Seite der Prozess der Schaffung der CLF-Wertschöpfungskette. Am Ende des Dokuments werden die Vorkommnisse, die erzielten Ergebnisse und die gezogenen Schlussfolgerungen zusammengefasst.

2. Einführung von Industrie 4.0-Technologien

Eine der Hauptaktivitäten des Arbeitspakets war die Schaffung einer Collaborative Learning Factory (im Folgenden CLF) als Testszenario. Während des Projekts wurden verschiedene Technologien der Industrie 4.0 (i4.0) und verschiedene Arten der Arbeit mit diesen Technologien analysiert, und all dies führte zur CLF. Bei der Entwicklung der CLF wurden diese Technologien je nach ihrem Nutzen auf die verschiedenen Teile der Wertschöpfungskette verteilt und jede Berufs- und Weiterbildungseinrichtung hat einige von ihnen für den korrekten Betrieb der CLF integriert. In diesem Abschnitt werden die Schlüsseltechnologien aufgeführt, die in jeder Berufsbildung/Höheren Berufsbildung jedes Konsortialpartners implementiert wurden.

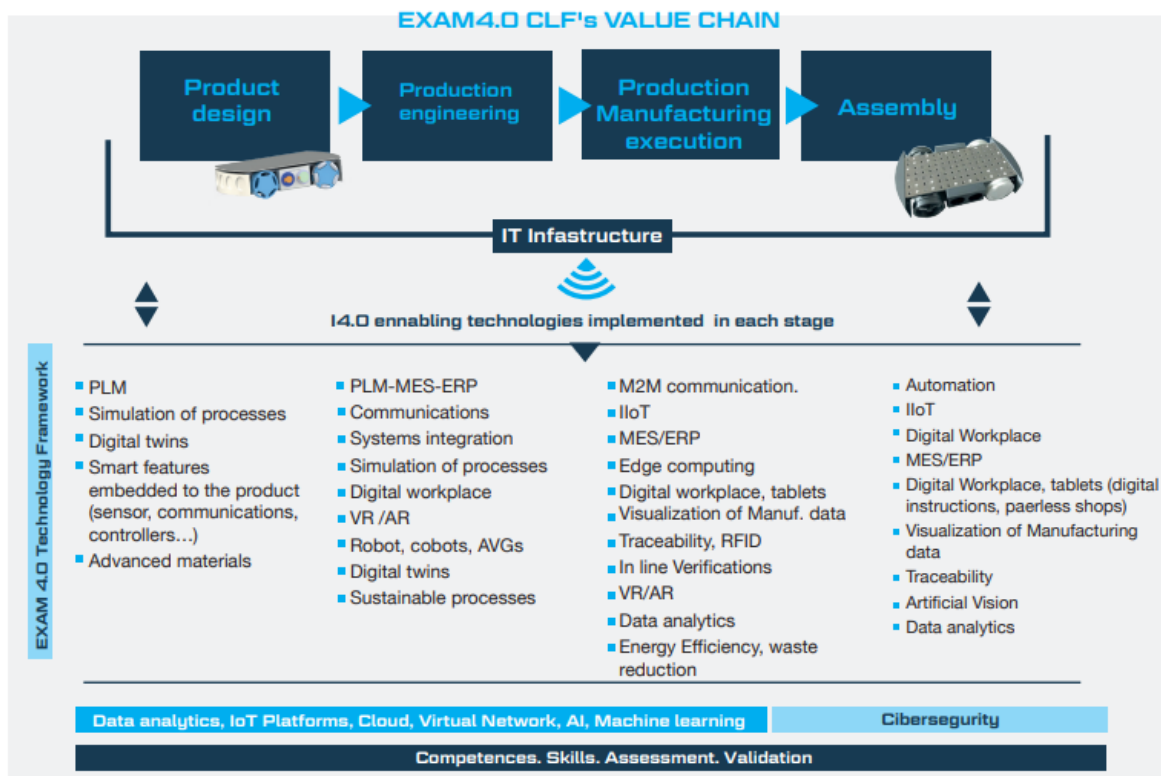


Abbildung 1: EXAM 4.0 Collaborative Learning Factory (CLF) Prozess und Technologien. Quelle: Eigene Kreation der Autoren

Im nächsten Abschnitt wird beschrieben, wie die einzelnen Partnereinrichtungen während der Durchführung des CLF verschiedene i4.0-Technologien getestet und erprobt haben.

2.1. Curt Nicolin Gymnasiet

Im Rahmen des Projekts wurden bei CNG fortschrittliche VR-Technologie und ein neuer 3D-Drucker eingesetzt. Der Drucker verwendet Kohlefasern, was zu wertvolleren Ausdrucken führt. Dieser Drucker arbeitet auch

schnell, was für die Herstellung von Prototypen von Vorteil ist. Der neue 3D-Drucker wird für das Prototyping und die Herstellung von Komponenten für den EXAM-Roboter eingesetzt.

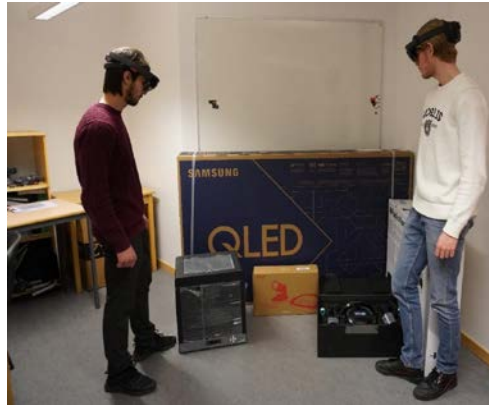


Abbildung 2: Eingeführte Technologien am Curt Nicolin Gymnasiet. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Virtuelle Realität/Augmented Reality

Virtual Reality/Augmented Reality wird am Curt Nicolin Gymnasiet eingesetzt, um einen digitalen Zwilling zu erstellen. Augmented Reality wurde auch eingesetzt, um eine papierlose Produktion während des Prozesses zu unterstützen. So wurden Zeichnungen digital in AR angezeigt und dienten als Werkzeug zur Verbesserung der Kommunikation und des Informationsaustauschs zwischen den Partnern.

Augmented Reality:	Das Curt Nicolin Gymnasiet hat Augmented Reality als Unterrichtsmethode eingeführt, und zwar in Form der Microsoft HoloLens 2. Microsofts Dynamics 365-Anwendungen wie Remote Assist und Dynamics Guides wurden mit dem Ziel eingesetzt, den Unterricht zu verbessern. Diese Software wird derzeit an der Schule evaluiert und wird sicherlich in der zukünftigen Ausbildung eingesetzt werden.
Remote Assist:	Diese Anwendung ist nützlich, um Fernunterstützung durch einen Experten zu erhalten. Die Person, die die HoloLens benutzt, ruft den Experten in Microsoft Teams bei Bedarf über Remote Assist an. Die HoloLens verfügt über eine integrierte Kamera an der Vorderseite des Headsets, so dass der Experte die gleichen Dinge sieht wie die Person, die das Headset trägt (erste Person). Das Headset verfügt auch über ein integriertes Mikrofon und Audio, so dass die Hände frei sind. Der Experte kann zusätzliche Objekte platzieren, die in der Ansicht des Headsets für den Benutzer erscheinen, so dass sie in Echtzeit erscheinen und die Realität für den Benutzer erweitern.
Dynamics-Führer:	Dynamics Guides werden verwendet, um visuelle Beschreibungen über HoloLens zu geben. Sie erweitern die Realität für den Benutzer und geben visuelle Anweisungen in Form von Pfeilen, Kreisen, Text usw. Visuelles Lernen und Schulungen vor Ort sind oft eine gute Art des Lernens.
Das Curt Nicolin Gymnasiet implementiert auch Schlüsseltechnologien, um Treffen mit lokalen KMU-Kunden zu organisieren. Wir entwickeln etwas, das wir "Nod" nennen, einen physischen Raum, in dem lokale Unternehmen ihre Kunden virtuell treffen können. Auf diese Weise können Unternehmen und Partner ihre Kunden virtuell treffen, um Produkte, Entwürfe und allgemeine Konzepte zu besprechen, ohne dass sie dafür ins Ausland reisen und ihre Kunden treffen müssen. Die Unternehmen haben die Macht der Digitalisierung erkannt, es ist keine Zeit mehr zu zögern. Am Curt Nicolin Gymnasiet treiben	

wir die Digitalisierung und Virtualisierung weiter voran, um sicherzustellen, dass unsere Partner mit dem Markt Schritt halten können. Dies könnte ein nützliches Werkzeug für die Partner der EXAM4.0-Plattform sein.

3D-Druck

Curt Nicolin Gymnasiet optimierte und aktualisierte den 3D-Drucker, um ihn an die Anforderungen von Industrie 4.0 anzupassen und ihn zu einem wertvollen Werkzeug für das EXAM 4.0-Projekt zu machen. Der 3D-Drucker kann Signale an ein SPS-System senden, und ein kollaborativer Roboter ist so programmiert, dass er die 3D-gedruckten Teile aus dem Drucker abholt, wenn er fertig ist. Dieser Prozess ist noch nicht vollständig für die automatische Produktion bereit, aber er wird es bald sein.



Abbildung 3: Anpassung des 3D-Druckers für I4.0. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Der 3D-Drucker ist auch mit dem Internet verbunden und verfügt über eine integrierte Kamera, so dass er aus der Ferne gesteuert werden kann. Das ist sehr nützlich, wenn die Mitarbeiter von zu Hause aus arbeiten, zum Beispiel während der Covid-19-Pandemie. Der Roboter ist so programmiert, dass er sowohl den Druckvorgang starten und die Maschine leeren als auch die Bauplatte austauschen kann, was alles aus der Ferne möglich ist. Dieser Drucker wird in einem Bildungsumfeld eingesetzt, daher werden fast nie geheime Teile produziert, und es ist daher möglich, die Dateien über das Internet zu versenden, ohne dass geheime Informationen verloren gehen könnten. Das Ethernet-Kabel kann jedoch leicht entfernt werden, wenn die Teile geheim sind. In diesem Fall muss der Drucker manuell gestartet werden und die Dateien müssen mit einer SD-Karte (Speicherkarte) exportiert werden.

2.2. Miguel Altuna

Der Bereich, in dem Miguel Altuna am meisten gearbeitet hat, war die Fertigung. Deshalb haben sich die angewandten Technologien auf diesen Bereich konzentriert. Bei Miguel Altuna haben wir die folgenden Technologien getestet: M2M-Kommunikation, Werkzeugkontrolle und Rückverfolgbarkeit, Cobots in der Produktion, AVGs in der Produktion und virtuelle Desktops.

M2M-Kommunikation.

M2M bezieht sich auf Technologien, die den automatischen Informationsaustausch zwischen den Maschinen in den fortschrittlichen Fertigungslabors von Miguel Altuna ermöglichen. Durch die Implementierung fortschrittlicher Kommunikationstechnologie, integrierter Sensoren und Datenüberwachungssysteme ist es möglich, aussagekräftige Informationen aus dem gesamten Labor zu übermitteln, die die Schnittstelle zwischen der physischen und der virtuellen Welt bilden. Durch die Implementierung von SPS in konventionellen Maschinen, Datenübertragungssystemen und Rückverfolgbarkeitssystemen für Menschen und Werkzeuge konnte ein effizientes Studentenverwaltungssystem eingeführt werden.

M2M-Kommunikation ermöglicht die Einrichtung digitaler Arbeitsplätze für Studenten.



Abbildung 4: Kommunikation bei Miguel Altuna. Quelle: Miguel Altuna

Werkzeugkontrolle und Rückverfolgbarkeit

Studenten und Mitarbeiter von Miguel Altuna setzen RFID-Lektoren ein, um die Werkzeugkontrolle zu gewährleisten. Durch den Einsatz von zwei verschiedenen Arten von RFID-Systemen ist es möglich, sowohl die Maschinenbuchung als auch die verwendeten Werkzeuge zu kontrollieren.

Die Identifizierung von Personen ist durch die Verwendung verschiedener Anmeldepunkte möglich. Alle Geräte und Maschinen des Labors sind für die RFID-Reservierung vorbereitet.



Abbildung 5: RFID-Karte, Werkzeuge mit RFID und RFID-Lesegeräte bei Miguel Altuna. Quelle: Miguel Altuna

Wir haben unsere eigenen IT-Anwendungen zur Verwaltung des Werkzeugkontrollsystems und der Rückverfolgbarkeit entwickelt. Alle Daten werden auf unseren Servern gespeichert. Für die Datenanalyse wird die Lösung Microsoft Power BI verwendet.

Cobots in der Produktion

Cobots werden in der mechanischen Fertigung für verschiedene Zwecke eingesetzt. Cobots sind benutzerfreundliche Roboter, die leicht zu programmieren sind und keine besonderen Schutzmaßnahmen erfordern. Wir haben sie in verschiedenen Anwendungen in den Labors ausprobiert, da sie leicht von einer Phase des Prozesses zu einer anderen transportiert werden können. Die Anwendung war: Zuführung von Teilen zu den CNC-Maschinen; Handhabung von Teilen in Montagestationen. Integration von Cobot mit anderen Elementen (AVGs, intelligenten Zugangswerkzeugen, Scannern für Inverse Engineering, Vision-Kameras).



Abbildung 6: Cobots bei Miguel Altuna. Quelle: Miguel Altuna

AVGs bei der Produktion

Ein fahrerloses Transportsystem (AGV) wurde im Fertigungslabor aufgestellt. Bei dem verwendeten FTS handelt es sich um einen mobilen Industrieroboter (MIR)-100.

Das MIR bewegt sich selbstständig im Labor. Dank eines Positionierungssystems und einer Reihe von Sensoren. Die Positionierung basiert auf CAD-Dateien des Gebäudes, die direkt auf den Roboter geladen werden. Einige Feineinstellungen werden über eine webbasierte Schnittstelle programmiert (es sind keine Programmierkenntnisse erforderlich). Die Aufgabe des Roboters kann leicht über ein Smartphone, ein Tablet oder einen mit dem Netzwerk verbundenen Computer angepasst werden.

Was die Bewegungen im Labor betrifft, so erkennt das MiR100 dank eingebauter Sensoren und Kameras und hochentwickelter Software seine Umgebung und nimmt den effizientesten Weg zu seinem Ziel, wobei es Hindernisse und Personen sicher umgeht. Es wurden keine unflexiblen Drähte oder Sensoren installiert, die die Einrichtungen des Labors verändern.

Der MIR100 kommuniziert auch mit UR-Cobots, die sowohl auf dem MIR als auch an einem nahe gelegenen Arbeitsplatz aufgestellt sind.

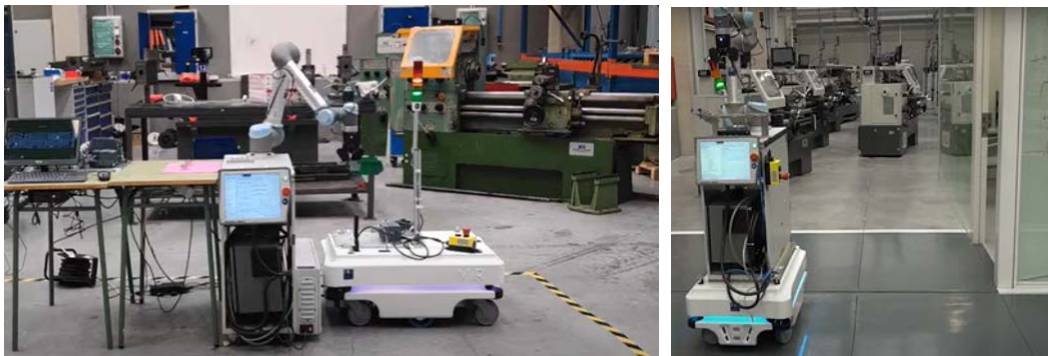


Abbildung 7: AGV-Roboter bei Miguel Altuna. Quelle: Miguel Altuna

Virtuelle Desktops

In Miguel Altuna wurden virtuelle Desktop-Dienste eingerichtet. Auf einem lokalen Server wurden virtuelle Desktops für Schüler und Mitarbeiter eingerichtet. Virtuelle Desktops sind vorkonfigurierte Abbilder von Betriebssystemen und Anwendungen, bei denen die Desktop-Umgebung von dem physischen Gerät, mit dem darauf zugegriffen wird, getrennt ist. Die Nutzer können auf ihre virtuellen Desktops aus der Ferne und mit jedem beliebigen Gerät zugreifen.

Während der Pilotphase wurde der Server eingerichtet und alle Installationen und Infrastrukturen wurden vorgenommen, um die virtuellen Desktops betriebsbereit zu machen. Wir haben verschiedene Desktops für verschiedene Benutzer definiert und die entsprechenden Anwendungen mit ihren jeweiligen Lizenznummern installiert. Die Anwendungen (Software) können eine unterschiedliche Anzahl von Nutzern haben, daher sind die Partitionen des virtuellen Desktops für diesen Zweck vorbereitet worden.

2.3. Da Vinci

Wie in der Industrie hat Da Vinci seinen eigenen Maker Space, der Teil des CLF von Davinci ist und sich in der Nähe des IOT/3D-Drucklabors befindet. Wir haben eine 3D-Druckerkabine, in der die Drucker mit Filament gefüttert werden. Das Filament kann aus einer Vielzahl von Materialien bestehen, wie PET, PLA, Nylon, sogar Beton oder Aluminium.



Abbildung 8: 3D-Druckerkabine. Quelle: Da Vinci



Abbildung 9: Die Filabot-Maschine verwandelt Granulat in Filament für 3D-Drucker. Quelle: Da Vinci

2.4. DHBW

Roboter

Die DHBW am Campus Heidenheim hat einen Schwerpunkt in Robotik und Strukturanalyse. In zwei Laboren haben wir eine Sammlung von Industrierobotern, kollaborativen Robotern und einigen mobilen Robotern.



Abbildung 10: Roboter an der DHBW. Quelle: DHBW

Kollaborativer Roboter

Der 7-achsige Sawyer-Roboter ist ein kollaborativer Roboter mit einer einfachen, auf Symbolen basierenden Programmierschnittstelle. Pick-and-Place-Aufgaben können leicht vermittelt werden. Er hat keine hohen Sicherheitsanforderungen beim Betrieb mit Schülern. Das Web-Interface und die angeschlossene Kamera ermöglichen die Integration des Roboters in ein CPS-System und insbesondere in unser CLF.



Abbildung 11: Kuka KR5-Six R650 und kuka Agilus KR 6 R700. *Quelle: DHBW*

Die 3 industriellen Roboter-Trainingszellen wurden mit einem neuen Kuka Agilus Roboter aktualisiert. Diese Zellen werden für das Robotiklabor verwendet, das auch Lehr- und Sicherheitsfragen umfasst.



Abbildung 12: Cobots. *Quelle: DHBW*

UR 5 Roboter

Ein kollaborativer Roboter für Projekte und den Unterricht mit Schülern. Der Roboter basiert auf einem Trolley, um sehr flexibel zu sein. Er kann in jedem Klassenzimmer eingesetzt werden.



Abbildung 13: Dobot Magician beim Zusammenbau des EXAM-Roboters. *Quelle: DHBW*

Magier Dobot.

Ein einfacher kleiner Roboter für Ausbildung und Projekte. Er hat eine sehr einfache Programmier-API und kann leicht in IOT-Projekte integriert werden.

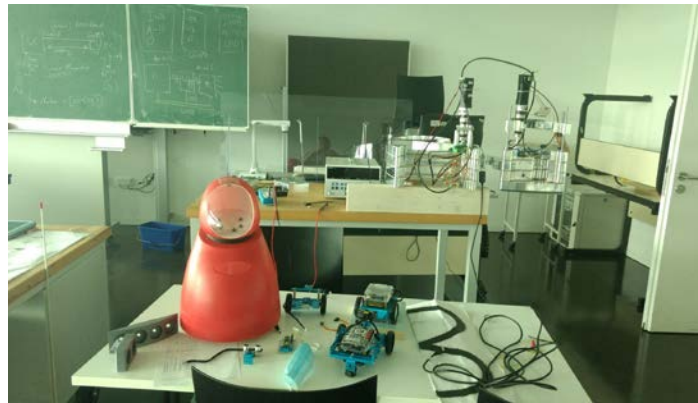


Abbildung 14: Mobile Roboter auf der Grundlage von Makeblock Ranger. Quelle: DHBW

Eine sehr einfache Plattform für mobile Roboter, um die ersten Schritte in der mobilen Robotik mit verschiedenen Sensorsystemen zu machen. Die Cobots verwenden die Arduino-Plattform und verfügen über Bluetooth-Kommunikation, wodurch sie in IOT-Projekte integriert werden können.

Modulares Produktionssystem als Startup für CLF

Die beiden modularen Produktionssysteme von Festo wurden mit Robotern und einigen industriellen Kommunikationsfunktionen auf der Basis von Feldbussen, drahtlosen Technologien und einer IP-Verbindung mit OPC/UA und Intouch als Scada-System kombiniert.

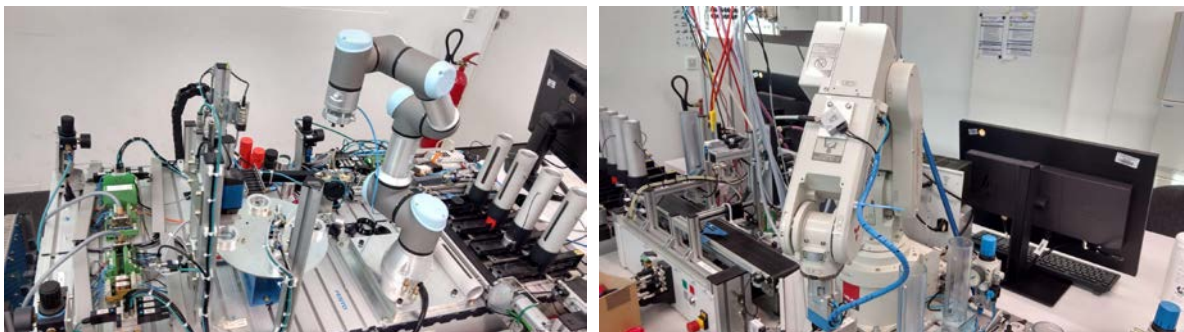


Abbildung 15: Modulares Produktionssystem von Festo mit UR3-Roboter und Mitsubishi Robot RV-2SD. Quelle: DHBW

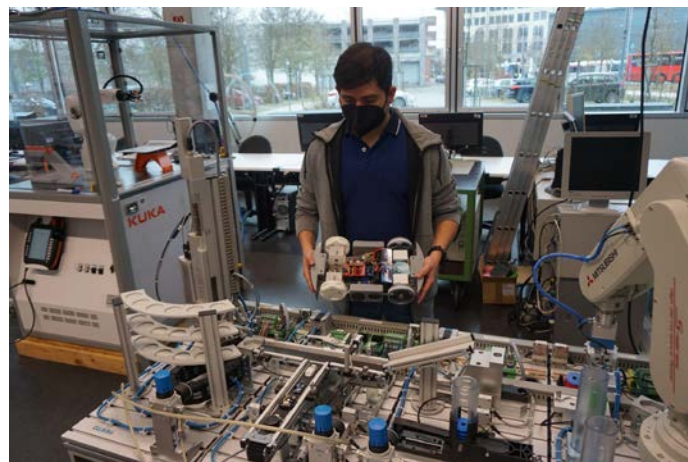


Abbildung 16: Modulares Produktionssystem als Teil der CLF. Quelle: DHBW

Die Antriebssysteme sollten in diesem Baukastensystem vormontiert werden. Ausgehend von einer Bestellung für eine spezielle Konfiguration können verschiedene Antriebsarten wie Schrittmotoren oder DC- sowie BLDC-

Motoren mit einfachen Rädern mit oder ohne Lenkung und Federung kombiniert werden. Omni Wheels oder Mecanum Wheels mit einem Durchmesser von bis zu 80mm können im CLF eingesetzt und montiert werden.

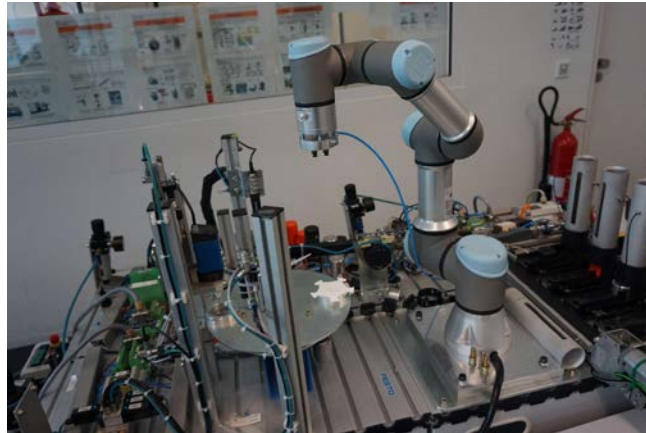


Abbildung 17: Modulares Produktionssystem von Festo mit UR3 Roboter. Quelle: DHBW

Es ist möglich, kleinere Komponenten in dieser Anlage vorzumontieren. Besonders flexibel und modular wird die Montage von Sensorsystemen durchgeführt.

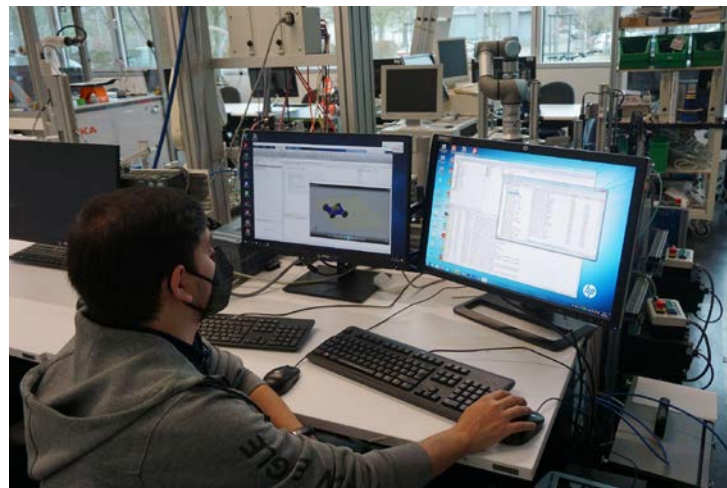


Abbildung 18: Webverbindung mit OPC-Server und MES-Schicht für das MPS-System. Quelle: DHBW

Das zentrale System enthält die Wonderware Intouch Software als SCADA System. I adUA Server und unterstützt das MQTT-Protokoll mit einem gekoppelten Thingsboard-IO Server.

Die Produktautomatisierung wird bei der Montage des Roboters eingesetzt, um den Prozess zu automatisieren.

Forschungslabor

Strukturelle Analyse und Reverse Engineering.



Abbildung 19: 3D-Scanzelle für Reverse Engineering. Quelle; DHBW

Im Labor für Forschungsprojekte wurden verschiedene Technologien für Reverse Engineering und Strukturanalyse kombiniert.

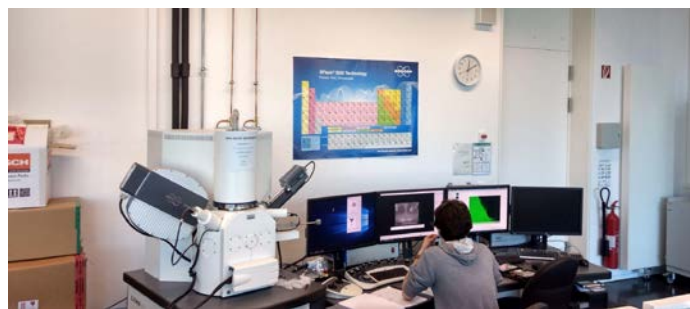


Abbildung 20: : Rater-Elektronenmikroskop Zeiss, Brucker. DHBW



Abbildung 21:: Koordinatenmessgerät Zeiss UMC500. Quelle: DHBW

Diese Maschine wird für die Qualitätskontrolle der in der CLF gefertigten Komponenten verwendet. Die Steuerungssoftware Calypso wird ebenfalls in unsere CLF integriert.



Abbildung 22: 3D-Drucker EOS P 396 Lasersinter. Quelle: DHBW

Die meisten Teile für den EXAM-Roboter konnten in diesem System hergestellt werden.

2.5. TKNIKA

IoT

In der Technik wird das IoT unter verschiedenen Gesichtspunkten bearbeitet. Einerseits haben wir im I4.0-Labor die SIF-400 Learning Factory von SMC integriert. SIFMES-400 ermöglicht dem Benutzer die Steuerung und Verwaltung des SIF-400-Systems durch Speicherung und Überwachung aller Prozessdaten. In dem angeschlossenen Unternehmen werden Kunden, Hersteller und Lieferanten dank einiger Funktionen dieser Software miteinander kommuniziert und verbunden (SMCtraining, 2021).



Abbildung 23: Didaktische Ausrüstung von SMC für Industrie 4.0 SIF-400. Quelle: Tknika

Sie ist in vier Blöcke gegliedert:

- **Management:** Produktionsaufträge, Planer, Werfer, Inventar, Logistik, Kunden, Wartung, Datenbank und Datenanalyse...
- **Bewegungen:** physisches Layout, logisches Layout, Systemreset und Rückverfolgbarkeit von Bewegungen...
- **Visualisierung:** Systemstatus und Alarmer: Wartung, Energie, Analyse und statistische Prozesskontrolle...
- **Verwaltung:** Datenbank-, Rollen- und Störungsmanagement (Referent)...

Diese Software stellt einen wichtigen Schritt in Richtung Digitalisierung und intelligente Fertigung dar, da diese Technologie in der neuen industriellen Realität eine grundlegende Rolle spielt.

Andererseits wurde ein IIoT-Gateway (Hardware & Software) entwickelt, das die Kommunikation mit jeder industriellen Steuerung ermöglicht, die das OPC UA-, Modbus- oder S7-Protokoll beherrscht. Das Gateway namens **IoM2040 wurde** auf der Grundlage eines Raspberry Pi 4 und eines Softwarepakets namens **IoMBian** (Raspbian Lite, Node RED, Mosquitto, MQTT-Client, Monit, Samba usw.) entwickelt. Alles wurde so konzipiert, dass es einfach zu implementieren ist. Weitere Informationen über diese Projekte finden Sie unter den folgenden Links:

- **IoMBian:** <https://github.com/Tknika/iombian>
- **IoM2040:** <https://github.com/Tknika/iom2040>



Abbildung 24: IoMBian und IoM2040. Quelle: Tknika

Datenanalytik

Im Bereich der Datenanalyse wurde eine IoT-Plattform in der Cloud eingerichtet, um den verschiedenen CLFs Dienste anzubieten. Zu diesem Zweck testet Tknika die IoT-Plattform Thingsboard. ThingsBoard ist eine Open-Source-IoT-Plattform für die Datenerfassung, -verarbeitung, -visualisierung und das Gerätemanagement. Sie ermöglicht die Konnektivität von Geräten über IoT-Standardprotokolle - MQTT, CoAP und HTTP - und unterstützt sowohl Cloud- als auch On-Premises-Einsätze.

In unserem IoT-Labor, einer skalierten Lernfabrik, bietet die ThingsBoard-Plattform Dienste wie diese an:

- Stellen Sie Geräte, Anlagen und Kunden bereit und definieren Sie die Beziehungen zwischen ihnen.
- Erfassen und visualisieren Sie Daten von Geräten und Anlagen.
- Analysieren Sie eingehende Telemetriedaten und lösen Sie Alarme mit komplexer Ereignisverarbeitung aus.
- Steuerung von Geräten über Remote Procedure Calls (RPC).
- Erstellen Sie Workflows auf der Grundlage eines Gerätelebenszyklusereignisses, eines REST-API-Ereignisses, einer RPC-Anfrage usw.
- Entwerfen Sie dynamische und reaktionsschnelle Dashboards und präsentieren Sie den Kunden Geräte- oder Anlagentelemetrie und Erkenntnisse.
- Aktivieren Sie anwendungsspezifische Funktionen mithilfe anpassbarer Regelketten.
- Übermittlung von Gerätedaten an andere Systeme.

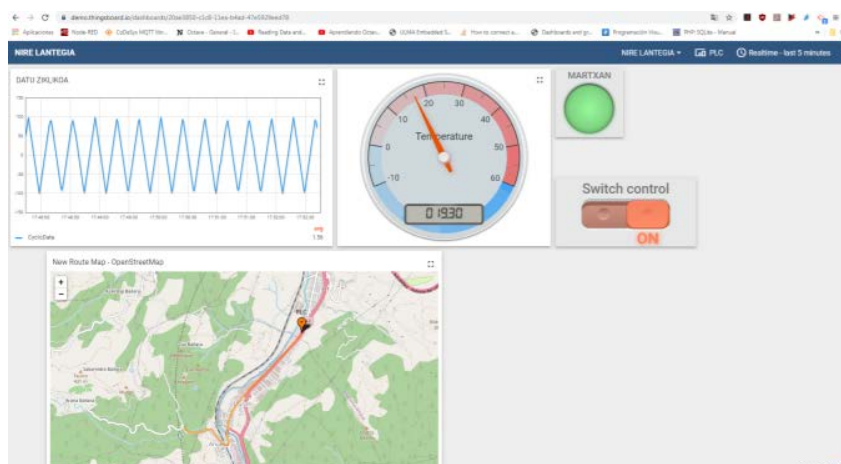


Abbildung 25: Dashboards für die Datenanalyse. Quelle: Tknika

Virtuelle Realität und erweiterte Realität

Es wurden verschiedene VR-Lösungen getestet. Wir testen immersive Technologien und ihre Möglichkeiten. Es gibt verschiedene Anwendungen in der fortgeschrittenen Fertigung, wo diese Technologie eingesetzt werden kann.



Abbildung 26: Schüler beim Lernen in der virtuellen Realität. Quelle: Miguel Altuna

Demonstration des VR-Immersionsraums für junge Studenten im Rahmen des STEM-Tags der offenen Tür in den Einrichtungen von Miguel Altuna.

Unter der integrierten Software und Hardware, die Tknika verwendet, finden sich die folgenden Werkzeuge und Geräte:

- **Soldamatic:** für Schweißsimulationen. Soldamatic IE setzt neue Technologien wie AR/VR ein, um den Lernprozess zu verbessern, und nutzt reale Schweißgeräte, um Fähigkeiten und Muskelgedächtnis zu entwickeln. Es nutzt Gamification, um die Motivation der Auszubildenden zu verbessern, personalisiertes Lernen, um sich an ihre persönlichen Bedürfnisse anzupassen, und grüne und sichere Technologie, um Risiken und Umweltverschmutzung zu reduzieren .



Abbildung 27: Schweißen VR in Tknika. Quelle: Tknika

- **SimSpray:** für Lackier-Simulationen. SimSpray ist ein VR-Lackier- und Beschichtungssystem, das von Unternehmen und Schulen weltweit zur Verbesserung ihrer Schulungsprogramme eingesetzt wird. SimSpray ist einfach zu bedienen und hilft Ihren Programmen, schneller, sicherer und kostengünstiger zu trainieren.



Abbildung 28: Malerei VR in Tknika. Quelle: Tknika

- **Innvision und InnXr:** für VR-Meetings in verschiedenen Städten. Es hilft, die Bedürfnisse der Kunden durch die Entwicklung von 3D-Inhalten für virtuelle und immersive Realität zu erfüllen
- **Einige HMD:** Oculus Quest2, HTC Vive, Oculus Rift und andere



Abbildung 29: VR-Ausrüstung. Quelle: Tknika

- **Einige AR- und XR-Headsets:** Microsoft HoloLens 1 und 2



Abbildung 30: Microsoft HoloLens AR-Ausrüstung. Quelle: Tknika

- **Unity:** als Entwicklungs-IDE. Unity ist eine Multiplattform-Engine für die Entwicklung von Videospielen. Mit anderen Worten, sie ermöglicht es Ihnen, Spiele für verschiedene Konsolen und Geräte auf der gleichen Basis zu entwickeln, ohne sie für jede Plattform von Grund auf neu erstellen zu müssen.

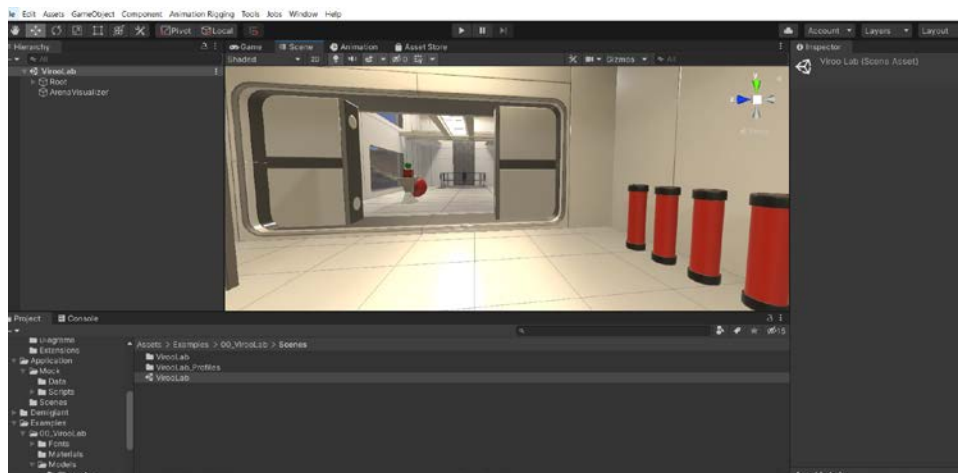


Abbildung 31: In Unity entworfener Raum für VR. Quelle: Miguel Altuna

Da es für verschiedene Plattformen kompiliert werden kann, ermöglicht es die Entwicklung von Videospielen für das Internet, Handys, Konsolen, Smart-TVs und sogar für Geräte der virtuellen und erweiterten Realität.

- **Blender:** als Software für Modellierung, Bildhauerei und Animation
- **Motion Captor:** für Körperverfolgung und Bewegungserfassung

Reverse Engineering

Das Reverse Engineering wurde in Tknika zusammen mit den Technologien der Additiven Fertigung eingeführt, da beide Technologien gemeinsame Vorteile haben und sich in bestimmten Anwendungen perfekt kombinieren lassen.

Digitalisierung und Replikation von Werkstücken auf komplexen Oberflächen, schnelles Prototyping: diese Prozesse und Funktionen erfordern die Kombination beider Technologien, um Projekte richtig zu entwickeln.



Abbildung 32: 14.0-Ecke in Tknika. Quelle: Tknika

In der Abbildung oben ist die Scannerecke von Tknika zu sehen. Sie ist Teil des Labors des IKASLAB-Projekts. Scanner von links nach rechts: Creaform Go!Scan Spark, Creaform Handyscan 700 und Solutionix Rexcan CS+. Alle diese Scanner können von Schülern des baskischen Berufsbildungssystems genutzt werden.

Die in Tknika verwendete Software ist:

- **Ezscan:** Scannen und Verarbeiten von Punktwolken für Solutionix Rexcan CS+ Scanner.

- **VX Elements:** Scannen und Verarbeiten von Punktwolken für alle Creaform-Scanner. Es kommt zusammen mit VX Model, um einen Reverse-Engineering-Prozess zu entwickeln, und VX Inspect, das die Gegenüberstellung eines Referenzmodellteils ermöglicht.
- **Polyworks:** fortschrittliche industrielle Inspektionssoftware, die in Kombination mit einem Handscanner bei der Teileinspektion nach oder während eines Fertigungsprozesses helfen kann.
- **Geomagic Design X:** vollständige Rekonstruktion von Geometrien ausgehend von einem gescannten Teil.

Cybersecurity

Das Cybersecurity Factory Lab von Tknika hat sich mit verschiedenen Szenarien beschäftigt.

Zum einen gibt es die IT-bezogenen Szenarien, die aus einer IT-Zone und einem Honeypot bestehen. In der IT-Zone gibt es ein Rack mit Firewalls, Switches und 3 PCs, die zur Erforschung der Anfälligkeit von IT-Systemen und zur Schulung in der Erstellung und Entwicklung sicherer IT-Systeme verwendet werden. In der Honeypot-Zone wird erforscht, welche Arten von Angriffen auf ein ungeschütztes Gerät möglich sind, woher sie kommen und wie man sie abwehren kann.

Neben diesen spezifischen Bereichen können die Grundlagen und der richtige Umgang mit dem Internet in jedem Berufsbildungszyklus gelehrt werden, um Informationsverlust, Ransomware, Viren, Malware usw. zu vermeiden.

Um all dies zu erreichen, wird verschiedene Software verwendet, wie z. B.:

- Proxmox Virtuelle Umgebung
- VMWare
- VirtualBox
- Modernes Honig-Netzwerk
- Visual Studio 2019
- PaloAlto Akademie
- Wireshark
- Kali

Auf der anderen Seite haben wir die Industrie- und Automatisierungsszenarien, den Bereich Omron PLC und den Bereich Siemens PLCs.

Für das nächste Jahr sind vor allem die folgenden Maßnahmen geplant:

- Entwicklung und Umsetzung eines CyberRange-Raums.
- Social Engineering
- Sichere Fernzugriffe
- Sichere Kodierung
- SIEM-Werkzeuge

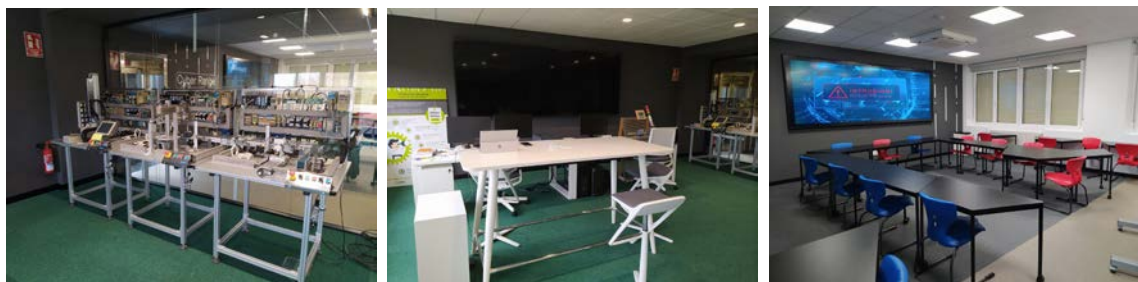


Abbildung 33: Cybersecurity-Einrichtungen in Tknika. Quelle: Tknika



Abbildung 34: Gebiet der Omron PLC. Quelle: Tknika

Normalerweise waren Automatisierungselemente isoliert, aber Industrie 4.0 und Fernunterstützung haben neben anderen Faktoren dazu geführt, dass diese Systeme an das Netzwerk angeschlossen werden müssen. Aufgrund der fehlenden Aktualisierung der automatisierten Systeme sollten/müssen sich Studenten der Industrie und der Automatisierungstechnik der Gefahr bewusst sein und Maßnahmen zu ihrem Schutz ergreifen.

Insgesamt müssen alle IT-Systeme geschützt werden. Nicht nur die, die in Büros oder Serverräumen stehen, sondern auch die in Industriemaschinen, HMI oder Scadas.

Um all dies zu erreichen, wird verschiedene Software verwendet, wie z. B.:

- TIA-Portal
- Cx Eins

Digitale Zwillinge

Eines der Ziele des digitalen Zwillingslabors von Tknika ist es, einen digitalen Zwilling der Werkstattausrüstung zu erstellen, um die vollständige Simulation eines realen Produktionsprozesses zu ermöglichen. Das SIF-400-Lehrerteam arbeitet an diesem Aspekt, einem SMC-Modell, das eine hochautomatisierte intelligente Fabrik emuliert, einschließlich Technologien im Zusammenhang mit Industrie 4.0, fortschrittlichen Fertigungskonzepten und der Realität des vernetzten Unternehmens.



Abbildung 35: Links die reale Maschine und rechts der digitale Zwilling der SMC SIF400-Maschine. Quelle: Tknika

3. EXAM 4.0 Kollaborative Lernfabrik

Die EXAM 4.0-Partner haben die Labore der einzelnen Zentren zu einer kollaborativen Lernfabrik zusammengefasst. Diese Lernfabrik soll für drei Hauptzwecke genutzt werden.

1. Bereitstellung einer Industrie 4.0-Lernumgebung, die von zukünftigen Partnern der Plattform genutzt werden kann.



2. Pilotprojekte zur Einführung von Schlüsseltechnologien für die fortgeschrittene Fertigung.
3. Förderung der Zusammenarbeit zwischen Labors an verschiedenen Standorten durch die Herstellung eines gemeinsamen Produkts. Das Konzept der CLF durch die Produktion des EXAM-Roboters zu zeigen.

Jedes Zentrum implementierte eine bestimmte Anzahl von Technologien in seinem Labor, um sicherzustellen, dass alle relevanten Technologien abgedeckt waren. Alle Zentren trugen auch zur Produktion des EXAM-Roboters bei, der in der CLF entwickelt wurde. Die Partner verfolgten einen kollaborativen Ansatz, indem sie die Labore der verschiedenen Zentren in einer Collaborative Learning Factory zusammenführten. Mit Hilfe der implementierten Technologien trug jeder Partner mit seinem Kerngeschäft zur CLF und zur Produktion des Roboters bei, unterstützte aber auch die anderen Aktivitäten in der Produktionskette. Der CLF-Ansatz gewährleistet einen qualitativ hochwertigen Daten- und Informationsaustausch zwischen den Partnern und macht das Projekt zu einer hochwertigen Bildungsumgebung.

3.1. Produktdesign

Um alle Technologien zu implementieren und in der gesamten Wertschöpfungskette zu arbeiten, war es notwendig, ein gemeinsames Produkt zu entwickeln und herzustellen. Das Produkt, das in einem LF hergestellt werden soll, ist eine wichtige Entscheidung, da es den Schülern Raum bieten muss, um während des Produktionszyklus eine bestimmte Anzahl von Kompetenzen zu entwickeln.

Bei dem ausgewählten Produkt handelt es sich um ein mobiles Robotersystem. Der Roboter wird mit Elektronik und einer Reihe von Sensoren ausgestattet sein, um seine autonome Mobilität und Kontrolle zu gewährleisten. Physisch muss der mobile Roboter geeignet sein, in Unterbaugruppen unterteilt zu werden, um die Fertigungsaufgaben auf verschiedene Labors und die Endmontage an einem bestimmten Ort zu verteilen. Die ausgewählten Teilsysteme sind die folgenden: Antriebssysteme. Fahrgestell. Lenksysteme, Elektronik und Sensoren, Steuerungsanwendung und Kommunikation.

Das Produktdesign deckt hauptsächlich die funktionalen Aspekte ab, während der ästhetische Teil eine untergeordnete Rolle spielt. Was die Anpassbarkeit betrifft, so kann das Produkt bis zu einem gewissen Grad individuell gestaltet werden. Um dies zu erreichen, werden die verfügbaren Bewegungssysteme Omni-Räder, Mecanum-Räder und Standardräder sein. Für die 3D-gedruckten Komponenten werden einige Farboptionen verfügbar sein.

Bei den Funktionen haben wir vorgesehen, dass der mobile Roboter eine bestimmte Last tragen kann, um in Zukunft Elemente wie Cobots, Kameras, Teilebehälter usw. auf ihm zu platzieren. Diese mechanischen Spezifikationen müssen also ebenfalls berücksichtigt werden.

Auch die Größe des Roboters wird begrenzt sein. Da einige Partner ihre aktuellen Automatisierungs-LF für die Montage einiger Unterkomponenten der Roboter verwenden werden, ist die maximale Größe dieser Unterbaugruppen durch die Spezifikationen dieser LF's begrenzt.

Für die Entwurfsphase haben wir beschlossen, alle Phasen einschließlich des Entwurfs gemeinsam durchzuführen, anstatt die Aufgaben unter den Partnern aufzuteilen und den gesamten Produktentwurf einem von ihnen zu übertragen. Auf diese Weise könnten wir den Vergleich mit einem Unternehmen anstellen, in dem wir von der Entwurfsphase über die Verfahrenstechnik und die Herstellung bis hin zur anschließenden Montage und Auslieferung arbeiten würden. Die Arbeit am gesamten Produkt würde uns Informationen liefern, um zu sehen, welche IT wir innerhalb unserer Verfahrenstechnik benötigen würden. Dieser Ansatz hat uns dazu gezwungen, kollaborative Design-Tools zu implementieren. Wir haben unter anderem Tools für das Produktlebensmanagement analysiert.

Um mit der Entwurfsphase zu beginnen, wurde nach verschiedenen Treffen und der Analyse der Eigenschaften (Größe, Funktionen ...), die unser Roboter haben sollte, ein Team gebildet, das für den Entwurf verantwortlich war. Die Aufgabe dieses Teams bestand darin, das Feedback des Konsortiums zu sammeln und die Spezifikationen des Roboters zu konkretisieren.

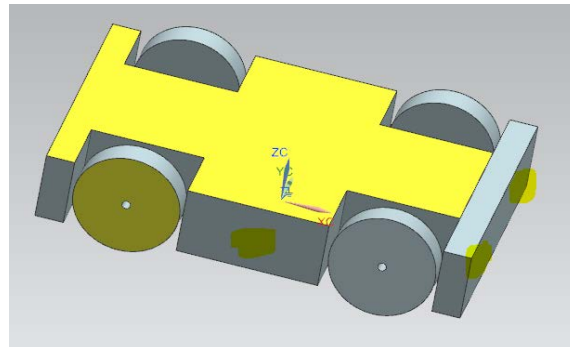


Abbildung 36: Erstes Auftreten des Roboters. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Die technische Expertengruppe hat zahlreiche Sitzungen zur Gestaltung des Roboters abgehalten. Die Hauptthemen, die während der Sitzungen diskutiert wurden, waren das Aussehen des Roboters, die Abmessungen aller enthaltenen Komponenten und die Platzierung.

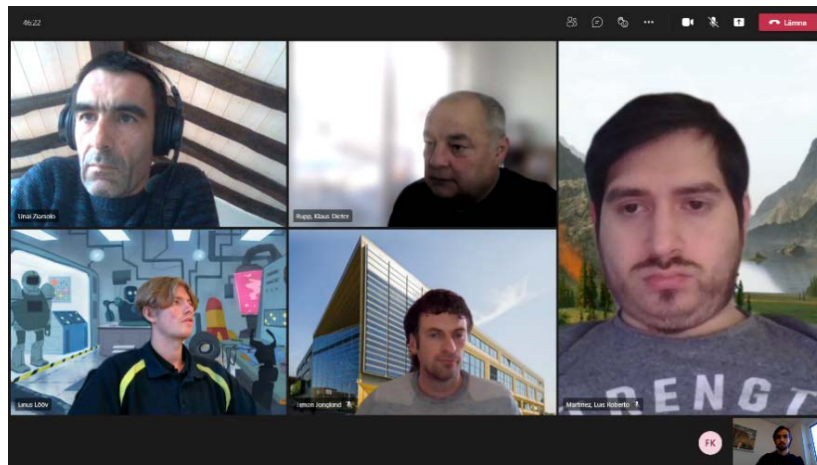


Abbildung 37: Sitzung der technischen Planungsgruppe. Quelle: Exam4.0

EXAM Robotersteuerung

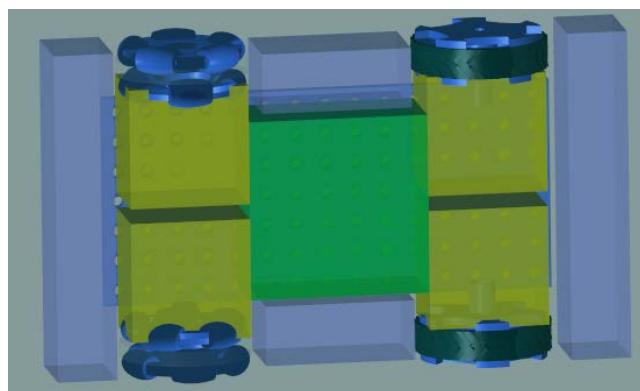


Abbildung 38: Konzept eines modularen mobilen Roboters. Quelle: DHBW

Der modulare mobile Roboter besteht aus einigen grundlegenden Subsystemen. Er bietet Platz für 4 Antriebssysteme und 4 Sensorikboxen. Oben befindet sich die Base-Plate und in der Mitte der Controller. Die Sensor-Boxen enthalten zwei oder vier Sensor-Geräte oder Anzeigeelemente. Das Drive-System enthält den Motor, den Motorcontroller und zusätzlich das Lenk- oder Federungsmodul.

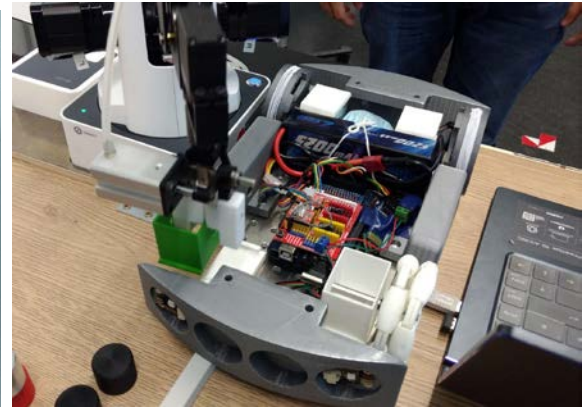


Abbildung 39: EXAM-Roboter mit Steuerung und Batterie. Quelle: DHBW

Für den Roboter können verschiedene Steuerungen verwendet werden: Ein Arduino-kompatibler Controller, eine ESP32-Controller-Serie oder sogar ein Raspberry Pi-kompatibler Controller. Er verfügt über eine Bluetooth- und eine WLAN-Schnittstelle, um in ein IOT-System integriert zu werden.

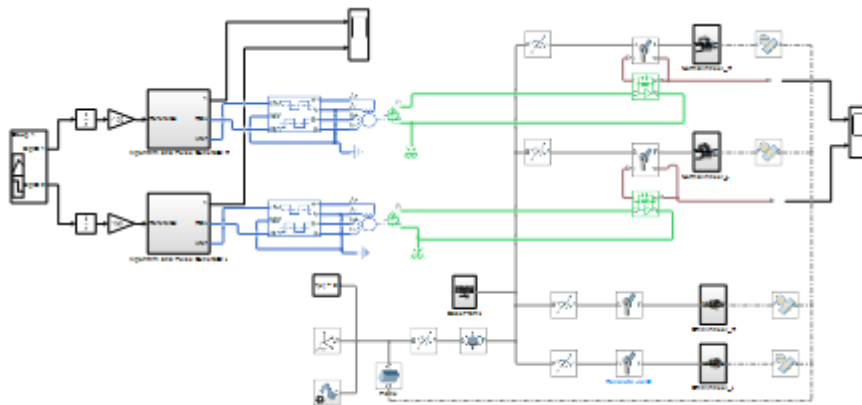


Abbildung 40: Simulation des EXAM4.0-Roboters. Quelle: DHBW



Abbildung 41: EXAM-Roboter mit Dobot-Magier an der Spitze als Anwendung zum Aufnehmen von Objekten. Quelle: DHBW

Der Prüfungsroboter ist ein modularer mobiler Roboter mit einer sehr großen Anzahl von möglichen Konfigurationen. Das Design kann im Rahmen von Studentenprojekten verändert werden. Er kann als Basis für zahlreiche Anwendungen verwendet werden.

ANDERE Gestaltungsaspekte

Neben den Schlüsselementen des mobilen Roboters (Antriebssysteme, Fahrgestell, Lenksystem, Elektronik) haben wir auch andere Aspekte berücksichtigt, die die Möglichkeit einer automatisierten Montage der Teilsysteme gewährleisten. Aspekte wie die Verbindungselemente, die die Verwendung von Elementen wie Schrauben, Muttern usw. vermeiden, die deren automatisierte Montage erschweren würden.

Nach einer Analyse und Diskussion verschiedener kommerzieller Fügeverfahren haben wir uns für ein Bauteil mit Clipfunktion entschieden, um die Bauteile mit dem Roboterrahmen oder untereinander zu verbinden.



Abbildung 42: Clip-Funktion. Quelle: DHBW

Nach einigen letzten Besprechungen und in Kenntnis der Methode, mit der die Verbindungen hergestellt werden sollten, wurden zwei endgültige Entwürfe erstellt.

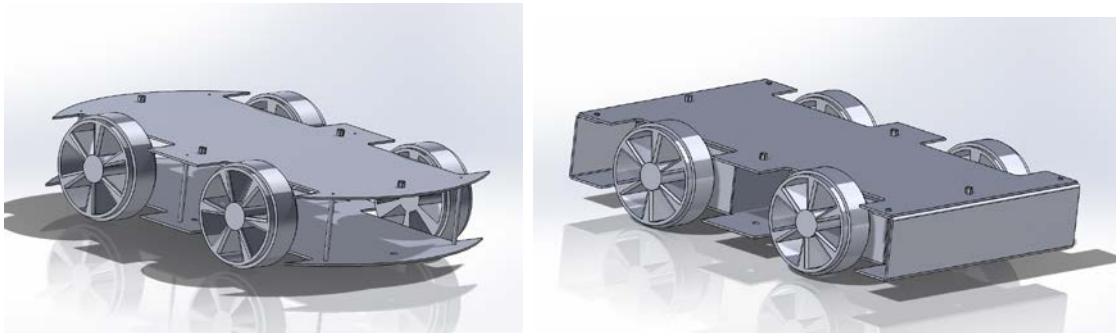


Abbildung 43: Das 2 endgültige Design der Roboter. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Die beiden unterschiedlichen Entwürfe wurden von Curt Nicolin Gymnasiet erstellt und der Gruppe vorgestellt. Die Gruppe der technischen Experten entschied sich für das Aussehen des ersten Roboters, d. h. desjenigen links im Bild oben.

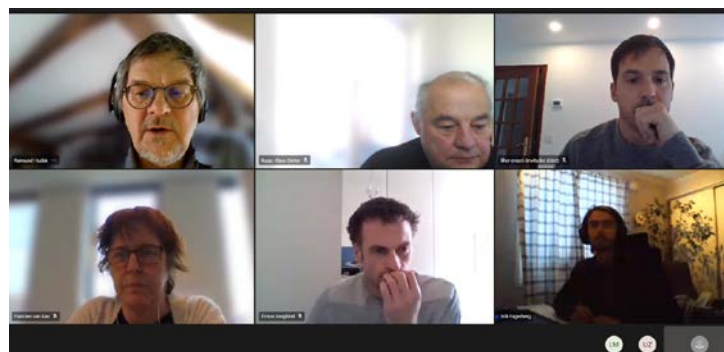


Abbildung 44: Eine Besprechung über Dimensionen. Quelle: Exam4.0

Dieses Bild stammt von einem Treffen, bei dem der Entwurf ausführlicher besprochen wurde. Die Abmessungen der Komponenten für den Roboter wurden festgelegt. Obwohl sie während des Prozesses geändert werden konnten, waren dies die Richtlinien, an denen gearbeitet werden sollte.

Abmessungen beschlossen:

- Rahmen oben: 350x200x5

- Rahmen unten: 350x200x1,5
- Rad: D85x28
- Sensor-Box: 200x25x60
- Kleine Sensorbox: 100x25x60
- Steuergerät: 120x100x40
- Akku-Batterie: 137x35x47

Die Reifen für die Räder waren ebenfalls ein Diskussionsthema. Es wurde beschlossen, dass diese Reifen in einem der LAB der Partner hergestellt und nicht gekauft werden sollten. Es wurden zwei verschiedene Methoden vorgeschlagen. Eine Methode war, einen 3D-Drucker mit einem geeigneten Material zu verwenden, um die Reifen zu drucken. Die andere Methode bestand darin, einen normalen 3D-Drucker zu verwenden und eine Form zu drucken, die zum Gießen der Reifen verwendet werden sollte.

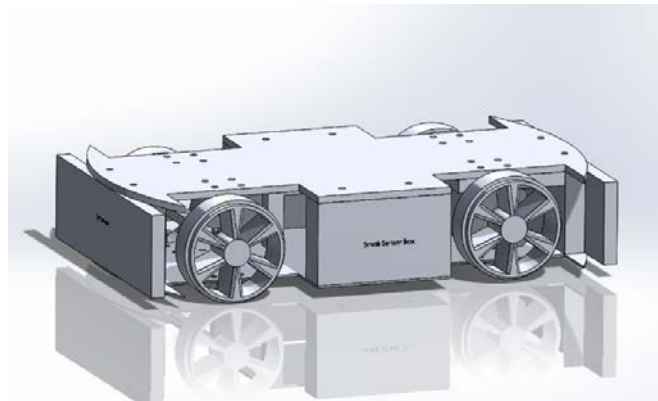


Abbildung 45: Aufbau des Roboters. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Dieses Bild zeigt den ersten Entwurf des Roboters, der Sensorboxen, Batterien und die Steuerung umfasst. Die Sensorboxen an der Vorder- und Rückseite wurden optimiert, um Platz für die Lenkung der Räder zu haben. Die Platte oben und unten wurde ebenfalls angepasst, um mehr Platz für die Räder zu schaffen. Die Schrittmotoren werden um 10 Millimeter von der oberen Platte abgesenkt. Zu diesem Zweck wird ein zusätzliches Bauteil hinzugefügt, damit die Räder bei der derzeitigen Höhe und Konstruktion des Roboters den Boden erreichen können. Das Teil, das die Funktion hat, die Schrittmotoren um 10 mm abzusenken, wird mit Hilfe der additiven Fertigung hergestellt.

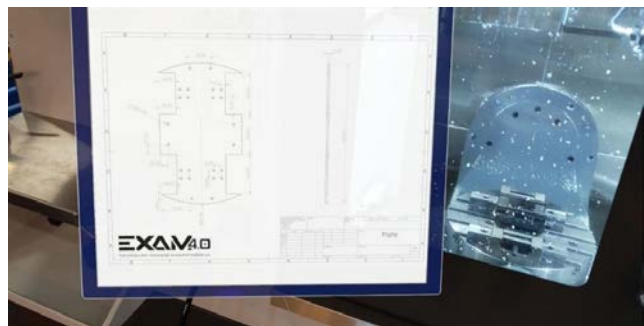
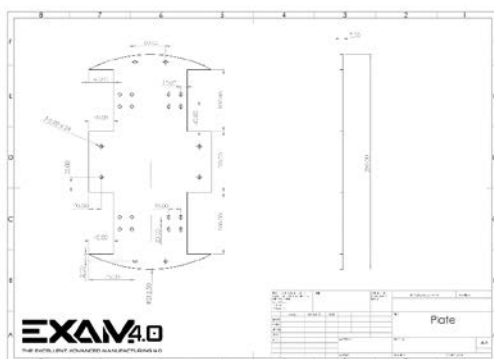


Abbildung 46: Regelmäßige und AR-Zeichnung eines Bauteils für den Roboter. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Curt Nicolin Gymnasiet erstellte Zeichnungen der Teile, die in den LABs der Partner hergestellt werden. Diese Zeichnungen werden in der Produktionsphase verwendet, insbesondere bei der Herstellung der bearbeiteten Teile. Die Zeichnung auf der rechten Seite wird in Augmented Reality durch ein HoloLens 2-Headset angezeigt.

Diese Methode trägt zu einer papierlosen Produktion während des Produktionsprozesses bei und ist Teil der Implementierung von Schlüsseltechnologien.

Danach fand eine kleine Besprechung unter den technischen Experten statt. Die Themen der Sitzung waren die Steuerung des Roboters und wie die verschiedenen Komponenten während der Montage miteinander verbunden werden sollten. Die DHBW präsentierte verschiedene Möglichkeiten der Steuerung, basierend auf einer Präsentation von Studenten des Da Vinci College.

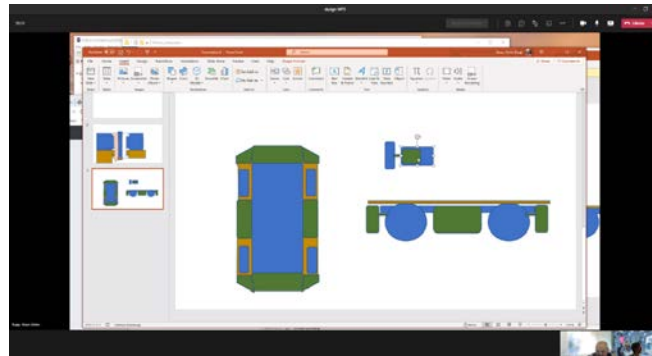


Abbildung 47: Technische Besprechung zur Steuerung. Quelle: Exam4.0

Es wurde entschieden, dass Omni-Räder für die Steuerung des Roboters verwendet werden sollten. Zu diesem Zweck werden zwei Räder verwendet, die an der Vorderseite des Roboters angebracht und mit einer regelmäßigen Achse verbunden sind. Die EXAM Omni-Räder wurden von Schülern des Curt Nicolin Gymnasiums in CAD entworfen und für den 3D-Druck angepasst. Der erste Prototyp wurde am Curt Nicolin Gymnasiet 3D-gedruckt. Er besteht aus 6 verschiedenen Teilen, also 4 verschiedenen "Sternen" sowie Stiften und Rollen.

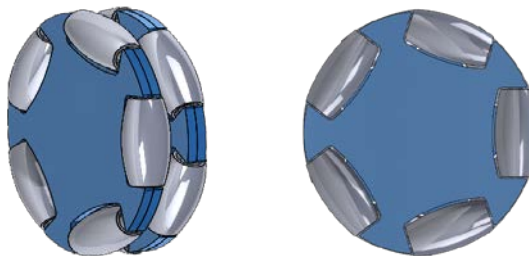


Abbildung 48: Omni-Räder. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

In der folgenden Tabelle sehen wir die Teile des Omni-Rads:

Im EXAM Omni-Rad enthaltene Teile					
Stern 1	Stern 2	Stern 3	Stern 4	Stift	Walze
					

Sobald der Entwurf fertig war, wurde ein schnelles Prototyping durchgeführt. Der 3D-Drucker, der aufgrund von EXAM 4.0 implementiert wurde, diente dazu, Prototypenteile für den EXAM-Roboter herzustellen. Der Prototyp zeigte, dass einige Änderungen im Design der Sterne notwendig waren.



Abbildung 49: Prototyp eines Omni-Rads. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Der nächste Teil war, wie man alle Teile halten kann, und dafür wurde eine Hauptplatte entworfen. Die Hauptplatte hält alle Komponenten des Roboters, dementsprechend sollen alle Komponenten des Roboters an dieser Platte befestigt werden.

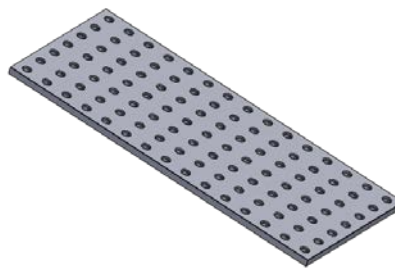


Abbildung 50: : Hauptplatte. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Die Hauptplatte wurde von Miguel Altuna mittels CNC-Fräsen schnell hergestellt. Während des Entwurfs wurde entschieden, dass die Hauptplatte 8 Millimeter dick sein sollte, um alle Komponenten zu halten. Bei der ersten Produktion der Hauptplatte zeigte sich, dass 8 Millimeter etwas zu viel waren, da sie zu schwer war. Es wurde daher beschlossen, die Dicke auf 6 mm zu ändern.

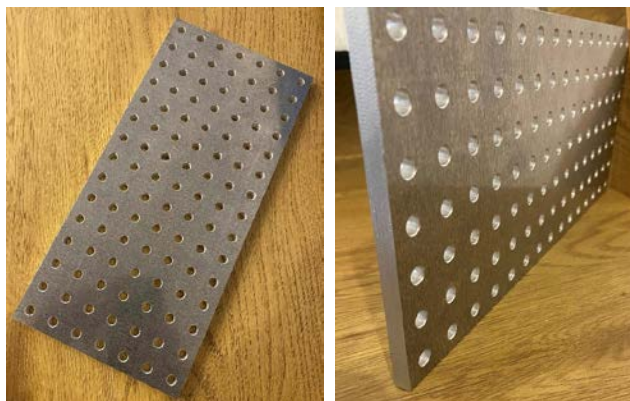


Abbildung 51: Erstmals hergestellte Hauptplatte. Quelle: Miguel Altuna

Diese Komponenten werden mit dem Komponenten-"Clipper" an der Hauptplatte befestigt, um den Zusammenbau des Roboters zu vereinfachen. Die Hauptplatte ist mit mehreren Löchern versehen, um eine große Veränderbarkeit des Roboters zu ermöglichen, so dass die Platzierung der verschiedenen Komponenten leicht geändert werden kann.



Abbildung 52: Clipper. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Der Clipper wurde so konzipiert, dass er über ein Werkzeug verfügt, um alle Komponenten mit der Hauptplatte zu verbinden. Ein Prototyp wurde am Curt Nicolin Gymnasiet 3D-gedruckt und getestet, um zu sehen, wie er funktioniert.

Der Clipper wurde umgestaltet, damit er bei der Montage des Roboters besser funktioniert. An der Unterseite des Clippers wurde eine Abschrägung angebracht, damit ein anderer Roboter den Clipper in ein Loch der Hauptplatte und der anderen Komponenten schieben kann, wodurch der Montageprozess automatisiert wird.

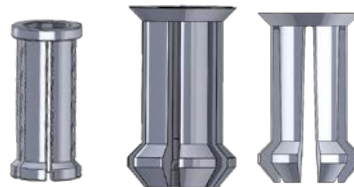


Abbildung 53: Die Entwicklung der Nadel von links nach rechts. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Der Clipper wurde erneut umgestaltet, um bei der Montage noch mehr Funktionalität zu bieten. Jeder "Stift" wurde mit einer Verjüngung versehen, wodurch er an einem Ende breiter und am anderen Ende schmaler wurde. Dadurch wurde die Schere flexibler und konnte leichter in die Löcher anderer Bauteile passen.

Der Pin für Clipper sorgt dafür, dass sie nicht aus den Löchern rutscht, an denen sie befestigt ist. Sobald der Stift entfernt ist, kann die Schermaschine von dem Teil, an dem sie befestigt ist, gelöst werden.

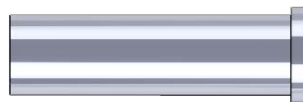


Abbildung 54: Stift für Clipper. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Andererseits werden zusätzlich zu den Omni-Rädern, die zum Drehen dienen, einige Räder benötigt, um den Roboter anzutreiben. Das Design der normalen Räder, die für den Antrieb des Roboters verwendet werden, wurde neu gestaltet, um dem Design der Omnidrivers zu entsprechen. Das neue Design hat das Aussehen eines Sterns, wie das der omnidirektionalen Räder. In das Rad wurde eine Rinne eingebaut, um die Reifen an ihrem Platz zu halten.

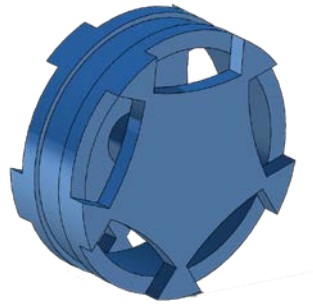


Abbildung 55: Normales Rad. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Die Räder, die für die Fahrten verwendet werden, sollen mit Reifen ausgestattet werden, um eine bessere Bodenhaftung und eine höhere Fahrleistung zu erzielen. Eine Frage innerhalb der technischen Expertengruppe war, wie diese Reifen hergestellt werden sollen. Es wurden zwei Methoden vorgestellt: 3D-Druck einer Form, die zum Gießen der Reifen verwendet wird, oder 3D-Druck der Reifen mit einem weichen Material wie TPE. Miguel Altuna druckte die Prototyp-Reifen mit TPE, und das Ergebnis war gut. Daher wurde beschlossen, dass dies die beste Methode für die Herstellung der Reifen ist.



Abbildung 56: Die ersten in Miguel Altuna gedruckten Reifen. Quelle: Miguel Altuna

Als das Herstellungsverfahren feststand, war es an der Zeit, das endgültige Design des Reifens festzulegen. Die Schüler des Curt Nicolin Gymnasiums bekamen die Aufgabe, Reifen für die Räder zu entwerfen. Das Bild zeigt das Design, für das sich die Gruppe entschieden hat. Die neuen Reifen hatten Spuren, um eine bessere Bodenhaftung zu haben und das Fahren des Roboters zu erleichtern, außerdem sahen sie ästhetischer aus.



Abbildung 57: Reifen mit Spuren. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Die neuen Reifen wurden mit demselben Material wie die ersten gedruckt, nämlich TPE, und das Ergebnis war gut.



Abbildung 58: Neue Reifen werden in Miguel Altuna gedruckt. Quelle: Miguel Altuna

Schrittmotoren, Nema 17, werden als Antrieb für diese Räder im EXAM 4.0 Roboter **verwendet**. In der Zukunft, wenn mehr Roboter produziert werden, könnten verschiedene Antriebsoptionen verwendet werden. Die veränderbaren Abmessungen des Roboters sind daher wichtig, um sicherzustellen, dass verschiedene Antriebsoptionen möglich sind, ohne das gesamte Aussehen und Design des Roboters zu verändern.

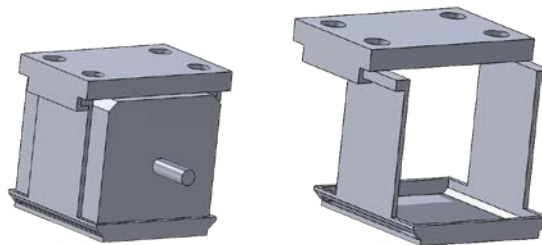


Abbildung 59: Schrittmotor mit der Halterung und der Halterungsbaugruppe. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Eine große Herausforderung war die Frage, wie die Nema-Schrittmotoren an der Grundplatte befestigt werden können. Die Schüler des Curt-Nicolin-Gymnasiums entwarfen daher eine Halterung für diesen Zweck. Eine Herausforderung war auch, dass der Roboter die Möglichkeit haben sollte, sich zu verändern. Deshalb wurde ein Bauteil erfunden, das wir "Top" nennen, um den Schrittmotor mit der Grundplatte zu verbinden. Der Top gleitet auf und von der Halterung und die vier Löcher auf dem Schieber verbinden sich mit der Hauptplatte mit den Clippern.

Bei den Schrittmotoren befand sich das Kabel in der Mitte der Oberseite. Das obere Bauteil für die Schrittmotorhalterung wurde daher neu entworfen. Ein Quadrat des Materials wurde abgezogen, damit das Kabel hineinpasst.

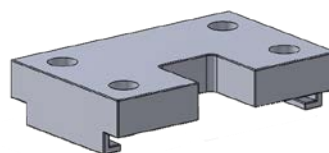


Abbildung 60: Entwickeltes Top. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Die Omni-Räder werden nicht an einem Schrittmotor montiert, sondern an einer Achse befestigt. Die Achse wird sich frei drehen. Das Achsengehäuse ist so gestaltet, dass es dem Schrittmotor ähnlich sieht. Die Achse wird mit zwei Abstandshaltern an ihrem Platz gehalten.

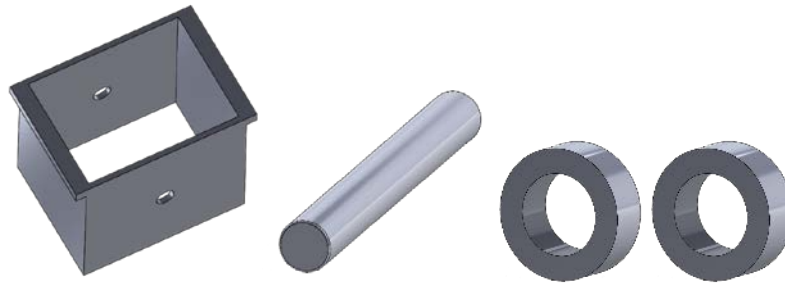


Abbildung 61: Achsenhaus. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Curt Nicolin Gymnasiet kaufte die Schrittmotoren, um sicherzustellen, dass die richtigen Abmessungen für die Halterung verwendet wurden.

Danach wurden zwei verschiedene Sensorboxen für den Roboter erstellt. Der gebogene wird vorne und der andere hinten am Roboter angebracht. Der kleine Sensorkasten wird links und rechts am Roboter angebracht. Diese Boxen sorgen dafür, dass **12 Sensoren oder Aktoren** am Roboter angebracht werden können und halten diese an ihrem Platz.

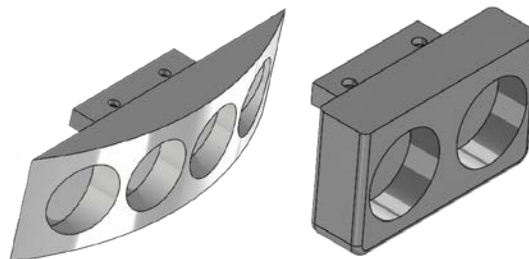


Abbildung 62: Gebogene und kleine Sensorbox. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Schließlich fand eine weitere Sitzung mit den technischen Sachverständigen zum Entwurf statt. Bei diesem Treffen begann der Produktionsprozess. Hier wurde das endgültige CAD des Roboters vorgestellt.

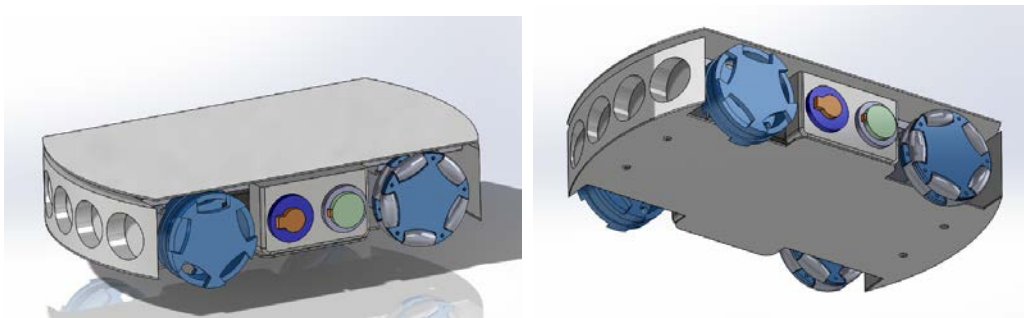


Abbildung 63: Endgültiger Entwurf des Roboters. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Nach diesem Treffen wurde entschieden, welche Komponenten jeder Partner herstellen sollte. Es wurde auch beschlossen, dass die Montage in Deutschland erfolgen sollte.

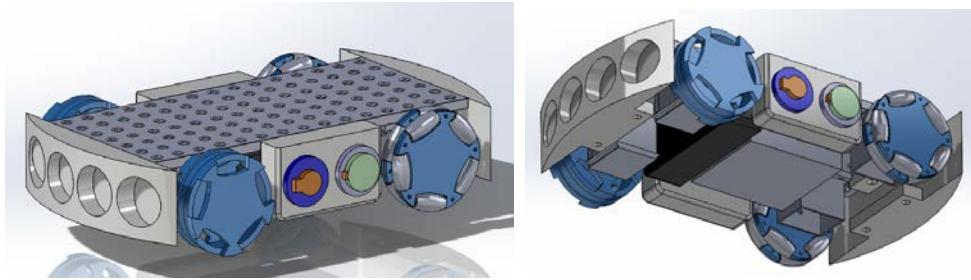


Abbildung 64: Der Roboter ohne Abdeckplatten. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

3.2. Verfahrenstechnik

Trotz der Idee, dass das CLF eine komplexere Struktur für den Informationsaustausch hat, wurde das erste Pilotprojekt auf eine einfachere Weise durchgeführt. Im Prinzip haben zwei Partner, die für den Entwurfteil zuständig sind, zusammen gearbeitet, um den Entwurf aller Komponenten zu erstellen, der in verschiedenen Sitzungen von allen Partnern validiert wurde.

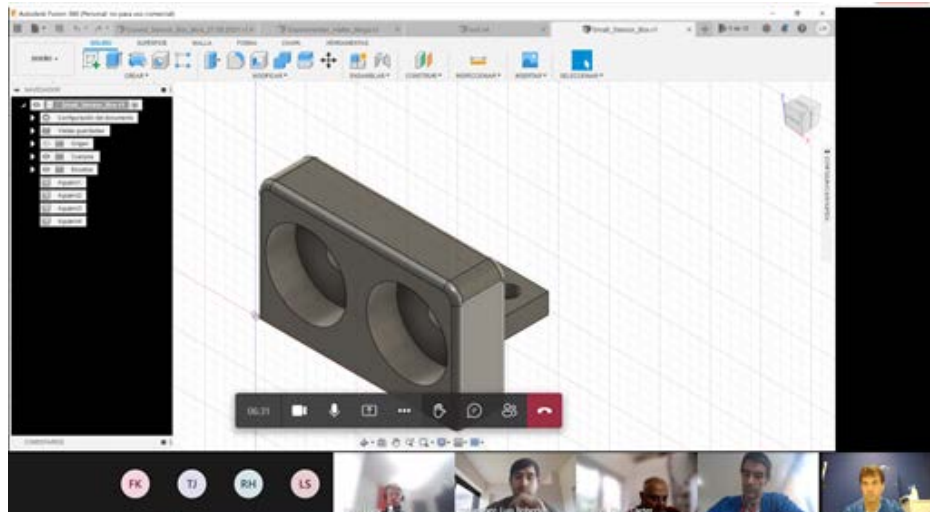


Abbildung 65: Validierung von Teilen des Roboters mit dem Konsortium. Quelle: Exam4.0

Der Konstruktionspartner hat Zeichnungen und Dateien für alle Teile an alle anderen Fertigungspartner verteilt. Jeder Partner erhielt Informationen über die Teile, die er herstellen sollte, mehr dazu im nächsten Abschnitt. Nach der Produktion schickte jeder Partner seine Teile an den Partner, der für den Zusammenbau des Roboters zuständig war. Der Zusammenbauprozess begann, und jeder vom Montagepartner festgestellte Fehler in Bezug auf ein Teil wurde an den Konstruktionspartner zurückgeschickt, um den Prozess von vorne zu beginnen. Alle Teile wurden nach einigen Neudefinitionen genehmigt und der Roboter wurde fertiggestellt.

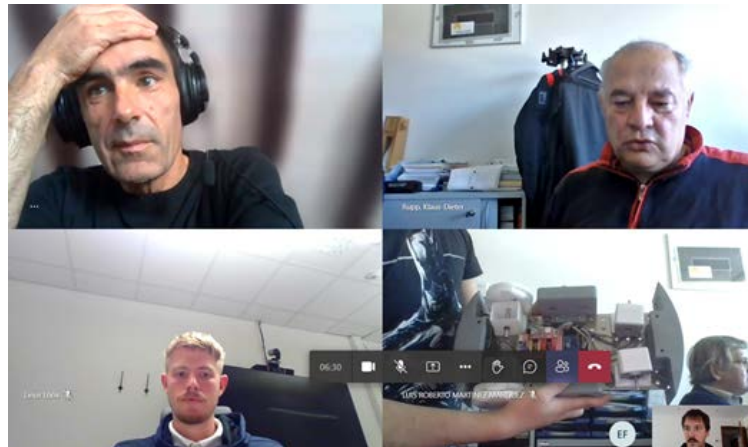


Abbildung 66: Fehlerbehebung durch das Konsortium. Quelle: Prüfung4.0

Dies geschah zwar nur, um die Art der Kommunikation zwischen den Labors zu überprüfen und den ersten Roboter rechtzeitig fertigzustellen, aber es wird erwartet, dass die CLF in naher Zukunft entsprechend der Industrie 4.0 funktioniert und die in den Labors eingebetteten Technologien miteinander verbunden werden. Zu diesem Zweck haben wir einen digitalen Prozess entwickelt, der eines der Ziele der CLF erfüllt: den Datentransfer zwischen den Labors. Es ist wichtig zu lernen, wie wir ein digitalisiertes Labor strukturieren sollten, wie in der folgenden Abbildung dargestellt. Von der Basis, dem Fabrikteil, würden wir Technologien und Maschinen haben, die mit Sensoren verbunden sind und Daten durch eine SPS an ein MES übertragen. Dieses MES wäre über ein PLM mit dem technischen Büro und über ein ERP / SMC / CRM mit dem administrativen Teil verbunden. Alle diese Daten würden in die Cloud übertragen, um anschließend verarbeitet zu werden, wobei die Cybersicherheit stets berücksichtigt wird. Diese Struktur ist in einigen der Labore der Teilnehmer bereits bis zu einem gewissen Grad umgesetzt. Die Komplexität entsteht, wenn wir die entfernten Labore miteinander verbinden. Es ist notwendig, eine gemeinsame IT-Architektur zu entwerfen und zu vereinbaren, um die Datenübertragung zu gewährleisten. Während EXAM4.0 haben wir verschiedene Lösungen und ihre Vor- und Nachteile untersucht. Es gibt bestimmte Elemente, die gemeinsam sein müssen, also müssen wir einen Konsens für ihre Auswahl finden.

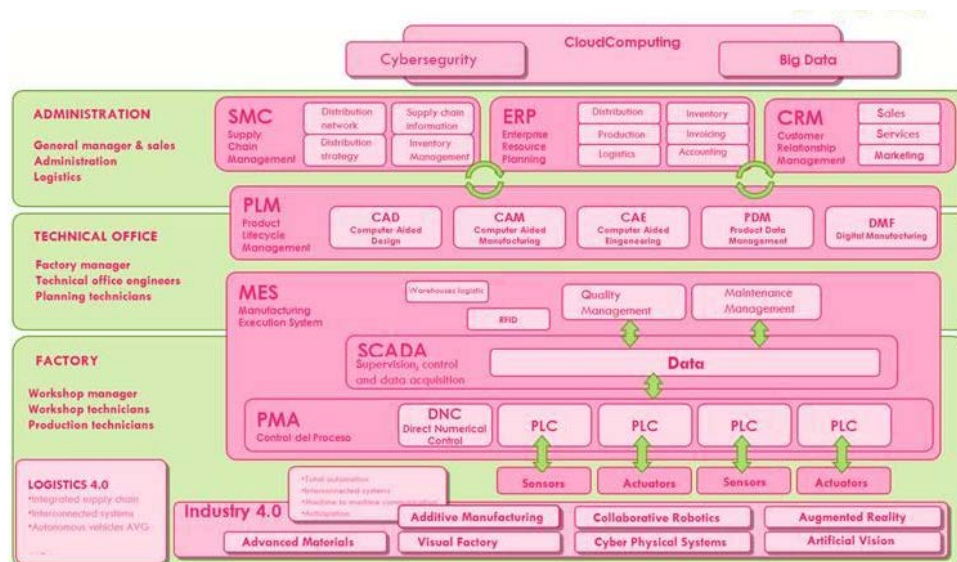


Abbildung 67: Struktur einer vernetzten Fabrik. Quelle: Ibermática

Um die Labore zu vereinen und die Daten aus den verschiedenen Prozessen gemeinsam zu nutzen, müssen wir einen gemeinsamen Prozess schaffen, der jedoch eine gewisse Flexibilität bietet, so dass jedes der Labore seine unabhängigen Prozesse nutzen kann. Das folgende Diagramm zeigt eine mögliche Lösung für einen Produktionsprozess.

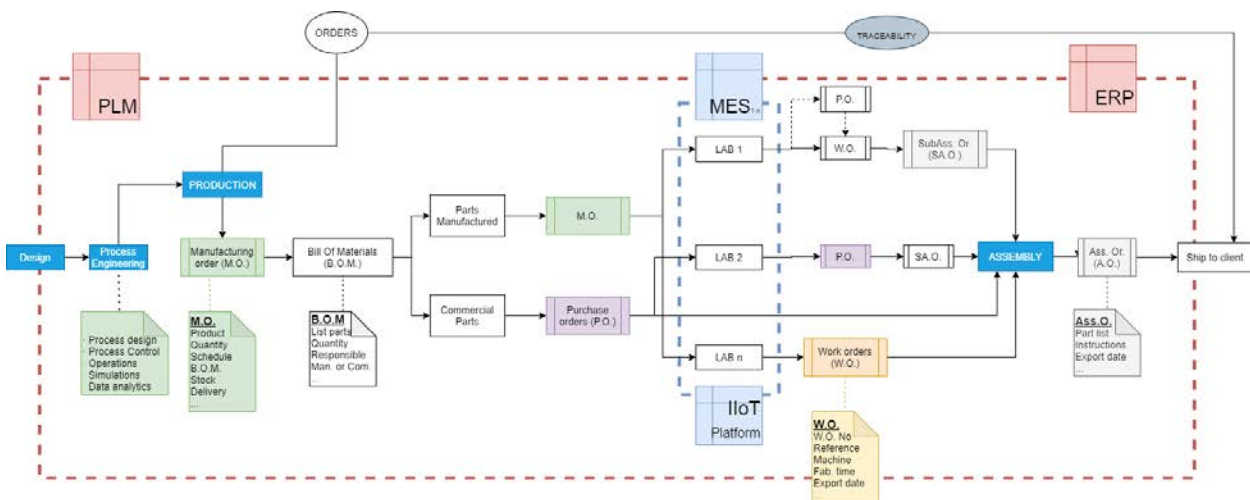


Abbildung 68: Mögliches Schema für den Betrieb des ERP-PLM-MES-Systems der CLF. Quelle: EXAM4.0

Wie in der Abbildung oben zu sehen ist, müssen wir zunächst analysieren, welche Art von System jedes der Labore derzeit verwendet. Enterprise Resource Planning (ERP), Product Lifecycle Management (PLM), Manufacturing Execution Systems (MES), IIoT-Plattform, Cloud-Lösungen und andere. ERP, PLM und MES sind traditionell drei sehr unterschiedliche Säulen des Puzzles der Fertigungstechnologie. Aber in der heutigen Welt, in der die pünktliche Lieferung von Produkten und erstklassige Qualität die Markenzeichen des Erfolgs sind, kommen diese einzelnen Teile zusammen und bilden die Grundlage für eine moderne Interpretation der schlanken Fertigung (AutomationWorld, 2021)

Eine PLM-Lösung könnte möglicherweise im Konsortium implementiert werden, um die Zusammenarbeit zu verbessern. Der erfolgreiche Einsatz einer PLM-Lösung könnte zu mehr Innovationen und höherer Effizienz auf Konsortiumsebene führen (Rudeck, 2021). Während der Laufzeit von EXAM4.0 haben wir zwei Business-Management-Plattformen geprüft, in die PLM-Lösungen eingebettet sind: 3D Experience (Dassault Systems) und Teamcentre (von Siemens). Bisher haben wir noch kein gemeinsames PLM-System auf Konsortiumsebene implementiert. Die einzelnen Partner des Konsortiums haben jedoch Lizenzen für verschiedene PLM-Systeme in ihrem Berufsbildungszentrum. Nach Abschluss der Studie über die auf dem Markt verfügbaren Business Management Plattformen wird das Konsortium über eine gemeinsame Lösung für das EXAM4.0 CLF entscheiden.

Vor diesem Hintergrund ist zunächst einmal ein gemeinsames PLM erforderlich, um die Entwurfsphase und künftige Änderungen abzudecken. Auf diese Weise wird es möglich sein, die Nutzungsdauer und das digitale Konzept des zu entwickelnden Produkts zu verwalten, von der Konzeption der Idee bis zu ihrer Wiederverwertung, durch ihre Konstruktion, Herstellung oder Verteilung/Verkauf. Das PLM wäre für die Erfassung der CAD-Daten der Produkte, ihrer verschiedenen Versionen, der Stücklisten und ihrer Herstellungsprozesse zuständig.

Abbildung 69: Mögliche Stückliste für EXAM4.0. Quelle: EXAM4.0

Das MES-System wird alle Produktionsprozesse in den einzelnen Labors wesentlich effizienter verwalten, und das ERP-System wird die Labors bei ihren Verwaltungs- und Entscheidungsaufgaben unterstützen und alle Prozesse automatisieren. Indem wir den Kreislauf zwischen PLM-, MES- und ERP-Systemen schließen, hoffen wir, den Datenaustausch zwischen den verschiedenen Labors zu erleichtern. Ziel ist es, Transparenz zu schaffen, um die Produktlieferzyklen zu straffen, überflüssige manuelle Prozesse und Verschwendung zu beseitigen und Qualitätsprobleme proaktiv zu erkennen und zu korrigieren, bevor sie zu kostspielig werden und die Kundenzufriedenheit beeinträchtigen.

Wie aus dem Diagramm hervorgeht, ist zur Schaffung dieses Kreislaufs eine IoT-Plattform erforderlich. IoT ist ein Begriff, den es schon seit einiger Zeit gibt und der zweifellos einer der Motoren des Wandels sein wird. Bis vor kurzem wurden IT-Systeme verwendet, um Daten mit Menschen zu verknüpfen, während OT-Systeme verwendet wurden, um Menschen mit elektromechanischen Geräten zu verknüpfen. Mit dem Aufkommen des IoT hat sich dieses Paradigma geändert (Zemana, 2021). Das Internet der Dinge (IoT) ist ein neues Konzept, das ein umfassendes Ökosystem beschreibt, in dem miteinander verbundene Geräte und Dienste Daten sammeln, austauschen und verarbeiten, um sich dynamisch an einen Kontext anzupassen. Das IoT ist eng mit cyber-physischen Systemen verknüpft und ermöglicht in dieser Hinsicht intelligente Infrastrukturen, indem es die Qualität der bereitgestellten Dienste verbessert (Enisa, 2021).

Tknika testet die IoT-Plattform Thingsboard in ihren Labors (ThingsBoard, Inc., 2021). Thingsboard ist eine Open-Source-Lösung, die die von der CLF geforderte Spezifikation erfüllt. Im Moment ist Thingsboard noch nicht auf Konsortiumsebene implementiert. An der DHBW hat man Forcam (Forcam gmbh, 2021) für die Datenerfassung und das IoT-Management getestet. Mit diesen Systemen können wir Daten aus OT (MES, SCADA, PLM...) und IT (ERP, CRM...) sammeln, verbinden und analysieren.

Die getesteten Lösungen Thingsboard und Forcam ermöglichen es uns, unsere Ziele zu erreichen: Wir werden Zugang zu einer lokalen oder Cloud-Lösung haben, die sofort einsatzbereit ist und die serverseitige Infrastruktur für die zu verwendenden Anwendungen ermöglicht. Sie unterstützt die branchenüblichen IoT-Protokolle: MQTT, CoAP und HTTP. Es schafft es, Skalierbarkeit, Fehlertoleranz und gute Leistung zu kombinieren, wenn es um die Erfassung von Gerätedaten zur Verarbeitung und Steuerung geht. Was noch nicht gelöst ist, ist die Integration der getesteten Lösungen.

Was den Aspekt der Cybersicherheit betrifft, so unterstützt es die Bereitstellung und Verwaltung von Geräten über Anmeldedaten. Für jedes Protokoll können benutzerdefinierte Sicherheitsregeln angewandt werden, um die Wahrscheinlichkeit eines unerwünschten oder externen Zugriffs zu verringern. Dadurch wird die Integrität des Netzes geschützt, indem böswillige Angriffe verhindert werden, die ernsthafte Probleme verursachen könnten. Darüber hinaus ermöglicht es die Verwendung von Verschlüsselung sowohl in HTTPS als auch in MQTT.

Der größte Vorteil des IIoT ist, dass es die Möglichkeit bietet, die betriebliche Effizienz von CLFs zu automatisieren und damit zu optimieren. Roboter und automatisierte Maschinen können effizienter und präziser arbeiten und so die Produktivität steigern.

Außerdem können physische Maschinen über Sensoren, die die Leistung ständig überwachen, mit Software verbunden werden. Dies ermöglicht Lehrern und Schülern ein besseres Verständnis der Betriebsleistung des Prozesses.

Wenn man all dies berücksichtigt, würde das gesamte System wie folgt funktionieren:

Zunächst muss es eine Plattform geben, auf der Bestellungen aufgegeben werden können. Anfänglich ist nicht vorgesehen, dass die Aufträge individuell gestaltet werden können, aber das könnte in der zweiten Phase der Fall sein. So muss die Plattform oder der Raum, der für die Platzierung der Aufträge konzipiert wird, dies berücksichtigen.

Dieser Auftrag muss unser ERP erreichen, das die Lieferkette, das Lager, die Produktion sowie andere Daten im Zusammenhang mit dem Produktionsprozess berücksichtigen muss. Wie bereits erwähnt, wird es die Lieferzeiten, die Rückverfolgbarkeit, die Verfügbarkeit der Maschinen ... kontrollieren.

Als nächstes benötigen wir die ERP-PLM-Verbindung. Zu diesem Zweck ist es notwendig, die Informationen vom PLM zu sammeln, wo es die Stückliste des Produkts sammelt und die Arbeit an die verschiedenen Labore unter Berücksichtigung der vom MES gesammelten Informationen verteilt.

Die Funktionen des MES/ERP, die in jedem Labor vorhanden sein sollten, lassen sich in drei Hauptblöcke unterteilen: Verfolgungs- und Rückverfolgungsfunktionen, Prozessmanagement sowie Simulation und vorausschauende Analysen. Diese Blöcke werden in die Vorgänge übersetzt, die in der folgenden Abbildung dargestellt sind.

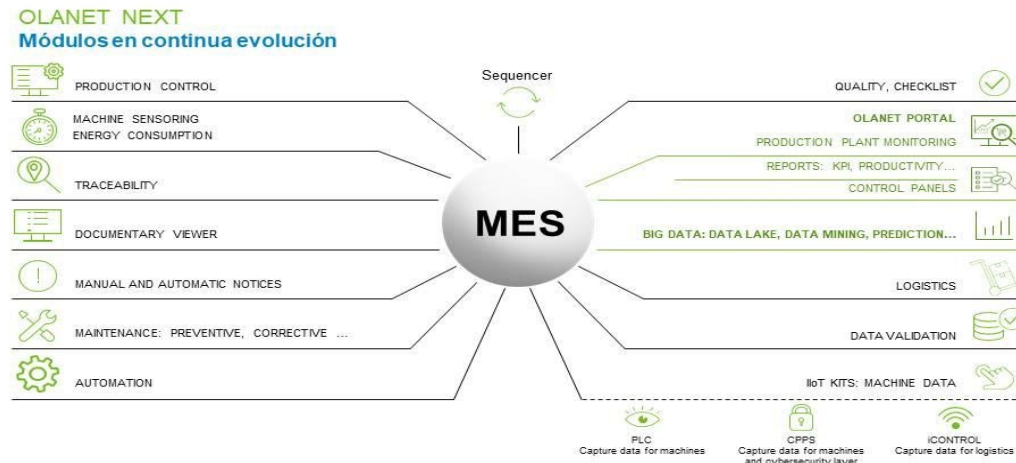


Abbildung 70: Beispiel für die Merkmale eines MES-Systems. Quelle: <https://ibermaticaindustria.com/solucion-olanetennte/>

Wie in der obigen Abbildung zu sehen ist, hat ein komplettes MES-System viele Funktionen, die nicht nur schwierig zu installieren, sondern auch sehr teuer sind. Deshalb muss entschieden werden, welche der Funktionen für die Werkstätten innerhalb der CLF notwendig und welche optional sind. Einige dieser wichtigen Funktionen können die Kontrolle der Fertigungszeit und der Produktqualität sein.

Sobald die Teile und Unterbaugruppen fertiggestellt sind, müssen die MES-Systeme zusätzlich zu den von ihnen erfassten Daten das ERP-System benachrichtigen, damit es die Versand- und Montageaufträge erteilen kann.

Nach der Montage muss schließlich die Mitteilung erfolgen, dass die Lieferung an den Kunden erfolgen soll. Das ERP-System kümmert sich um das Kundenmanagement und sammelt die Nichtkonformitäten, um den Prozess oder das Produkt zu verbessern.

3.3. Herstellung

Jeder Partner stellte die verschiedenen Komponenten für den Roboter her. Dies geschah mit verschiedenen Methoden und Maschinen wie CNC-Maschinen und Laserschneiden, aber die meisten Komponenten wurden im 3D-Druckverfahren hergestellt.

3.3.1. Miguel Altuna

Miguel Altuna stellte die bearbeiteten Teile für den Roboter her, z. B. die neue 6-mm-Hauptplatte und die Abdeckplatten für die Unter- und Oberseite des Roboters.



Abbildung 71: Alle für den Roboter hergestellten Platten. Quelle: Miguel Altuna

Das Verfahren zur Herstellung der Hauptplatte mit vielen Löchern wurde von Studenten der Miguel Altuna mit CNC-Technik durchgeführt.



Abbildung 72: Student bei der Herstellung der Hauptplatte in einer CNC-Fräsmaschine. Quelle: Miguel Altuna

Die Herstellung einer der Abdeckplatten (die rechte) war ziemlich schwierig. Eine der Ideen des Roboters war es, alle Komponenten auf der Hauptplatte mit dem Clipper zu montieren; der Clipper wird vom CLF entwickelt und hergestellt. Es war notwendig, Buchsen mit Innenlöchern auf der Abdeckplatte anzubringen, um die Montage dieser Abdeckplatte auf der Hauptplatte zu ermöglichen. Die Zylinder wurden durch CNC-Drehen hergestellt und dann auf die Platte geschweißt.



Abbildung 73: Schüler bei der Herstellung der Buchsen auf einer CNC-Drehmaschine. Quelle: Miguel Altuna

3.3.2. Curt Nicolin Gymnasiet



Abbildung 74: Gedruckter Clipper und Stift für Clipper. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Curt Nicolin Gymnasiet druckte die neueste Version des Clippers sowie die Pins in einer großen Menge. Der Clipper ist ein kompliziertes Bauteil, das mehrfach umgestaltet werden musste, um die Last der schwersten Bauteile zu halten. Dieses Bauteil ist sehr klein, etwa 11 mm hoch. Die sehr dünnen Merkmale machen es schwierig, diese Teile auf normalen FFF-Druckern zu drucken (das Gewinde ist zu breit und die Toleranzen sind nicht gut genug). Aus diesem Grund wurden diese Teile auf einer SLM/LSM-Maschine gedruckt.



Abbildung 75: Verschiedene gedruckte Teile. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Der "Top"-Teil wurde auf der EOS formiga p110 gedruckt, da die Schiebefunktion gute Toleranzen erfordert. Das "Achsenhaus" wurde ursprünglich in der EOS formiga p110 gedruckt. Beim ersten Druck zeigte sich, dass

einige Maßänderungen notwendig waren. Das "Achsenhaus" musste daher in letzter Minute neu gedruckt werden. Curt Nicolin Gymnasiet entschied sich, dieses Teil in seinem neuen ZYYX-Drucker zu drucken, der sehr schnell arbeitet, was notwendig war, um das Teil rechtzeitig produzieren und versenden zu können.



Abbildung 76: Abstandshalter. Quelle: Curt Nicoling Gymnasiet

Der "Abstandshalter" sollte ursprünglich mit einer Säge und einem Bohrer aus Stahl hergestellt werden. Es gab jedoch einige Probleme mit der Säge, die zu nicht perfekt gefertigten Abstandshaltern führten. Es wurde daher beschlossen, die Abstandshalter auch mit dem EOS Formiga p110 zu drucken, um die besten Ergebnisse zu erzielen.



Abbildung 78. Achse

Die "Axis" wurde mit einer Metallsäge und einer Schleifmaschine hergestellt.

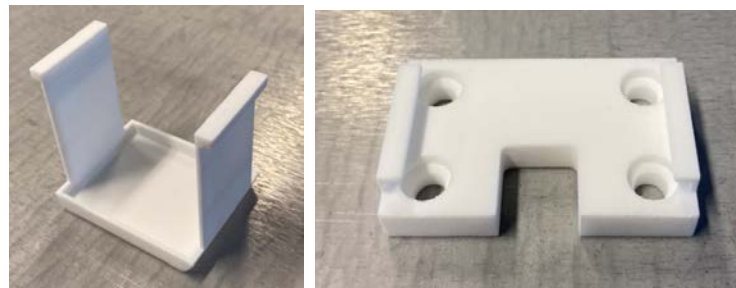


Abbildung 77: Gedruckter Halter für Schrittmotor. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Sowohl die Halterung für den Schrittmotor als auch das neu gestaltete Oberteil wurden auf der EOS Formiga p110 mit einem guten Ergebnis gedruckt. Diese Teile wurden auch wegen der Toleranzen auf dieser Maschine gedruckt.



Abbildung 78: Gedruckte Teile für das Rundlaufgrad. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Die EOS Formiga P110 liefert Teile mit Nylonmaterial, das von hoher Qualität ist. Alle Teile für das EXAM Omni Rad wurden daher mit dieser Maschine und diesem Material gedruckt.

3.3.3. Da Vinci Hochschule

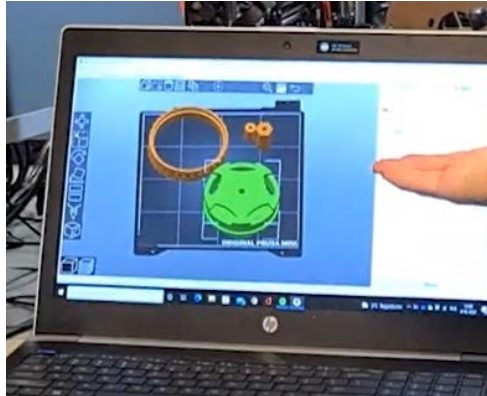


Abbildung 79: Start eines neuen Drucks mit Rad und Reifen . Quelle: Da Vinci Hochschule

Die Da Vinci Hochschule druckte die normalen Räder für den Roboter sowie die Reifen und schickte sie an die DHBW, um sie zu montieren. Die normalen Räder wurden mit einem FFF-Drucker im 3D-Drucklabor der Vinci-Hochschule gedruckt. Die Reifen wurden mit einem weichen Kunststoffmaterial wie PU, Weich-PVC oder TPR gedruckt.

3.3.4. DHBW



Abbildung 80: Produzierte Sensorboxen. Quelle: DHBW

Da die DHBW für die Sensoren zuständig ist, war es eine logische Entscheidung, dass sie auch die Sensorboxen herstellt. Die Sensorboxen wurden in enger Zusammenarbeit zwischen dem Curt Nicolin Gymnasiet, das das Design überwachte, und der DHBW, die den Zusammenbau überwachte, entwickelt. Die DHBW war federführend bei der Konstruktion und hatte die besten Kenntnisse über die Spezifikationen des Roboters in Bezug auf Sensoren, Kabel, Batterie usw. Die Sensorboxen wurden an der DHBW mit einem 3D-Drucker gedruckt. Die Oberfläche der Bauteile ist nicht großartig. Für den ersten Roboter hat die Oberflächenglätte der Sensorboxen jedoch ausgereicht. Die Teile wurden mit dem Ziel einer schnellen Produktion gedruckt, um mit dem Zusammenbau beginnen zu können. Wenn der Roboter in größeren Stückzahlen hergestellt werden soll, könnten in Zukunft andere Produktionsmethoden in Frage kommen. Das liegt daran, dass diese Bauteile groß sind und viel Material benötigen, so dass die additive Fertigung für diese Bauteile keine günstige Produktionsmethode ist.

Fast alle Bauteile wurden neu entworfen und daher auch neu hergestellt. Jeder Partner verwendete bei der Herstellung dieser verschiedenen Bauteile die gleiche Produktionsmethode. Die Schüler waren jedoch beim zweiten Mal umfassender in die Produktion eingebunden.

3.4. Montage des Produkts

Wie bereits erwähnt, wurde die Montage des Roboters in der DHBW, Deutschland, durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden zuvor die Montagepläne erstellt. In der Zwischenzeit schickten die Partner die produzierten Teile dorthin.

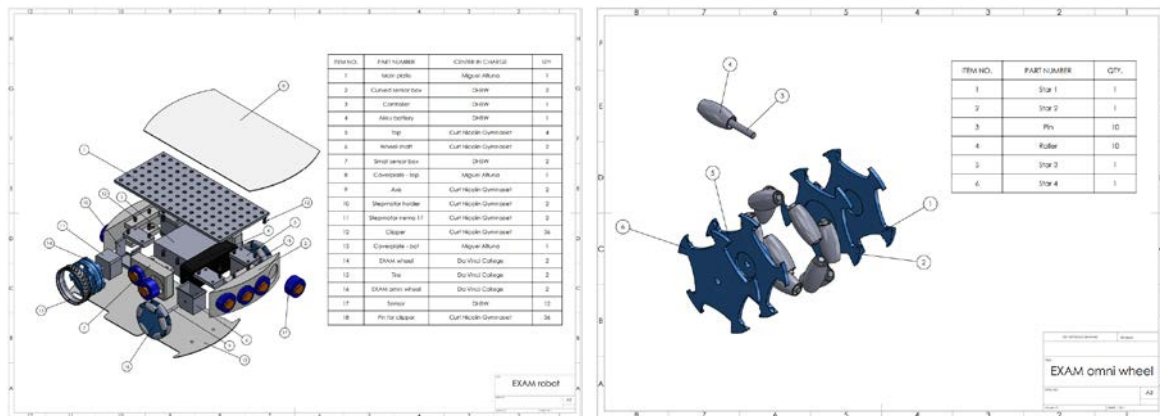


Abbildung 81: Montagezeichnungen des EXAM-Roboters sowie der Omnibusse. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Die ersten Komponenten, die an der DHBW eintrafen, waren die Hauptplatte und die Abdeckplatten. Diese Bilder zeigen den Beginn der Montage an der DHBW.

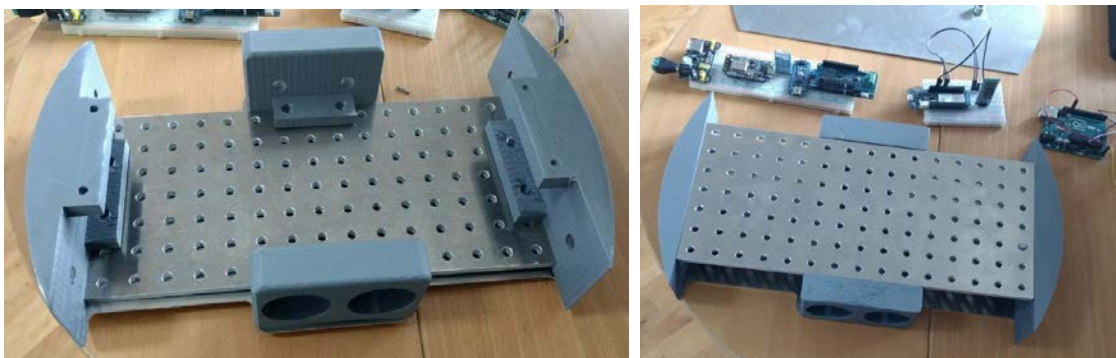


Abbildung 82: Beginn der Montage. Quelle: DHBW

Die Teile von Curt Nicolin Gymnasiet waren die zweiten, die an der DHBW eintrafen. Als diese Teile eintrafen, konnte der eigentliche Zusammenbau des Roboters beginnen. Die Clipper waren eines der Teile, die mit dieser Sendung geliefert wurden, so dass mit der Verbindung und Montage der verschiedenen Komponenten begonnen werden konnte.

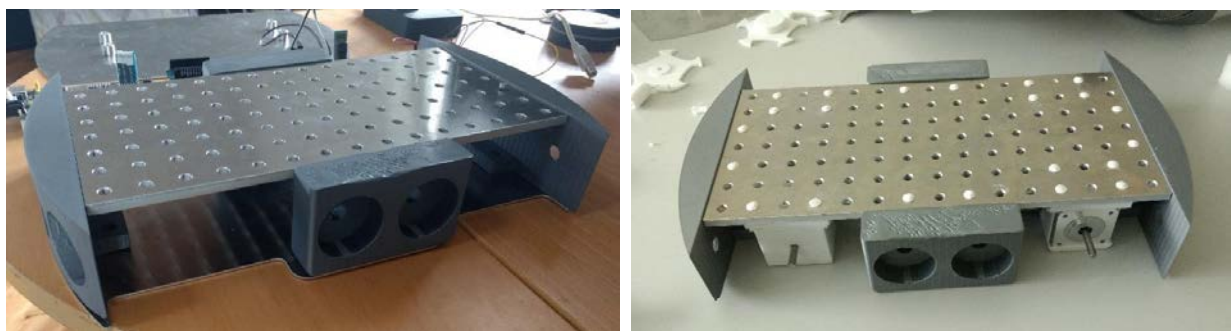


Abbildung 83: Zusammenbau mit Curt Nicolin Gymnasietteilen. Quelle: DHBW

Die Schrittmotoren und die anderen Komponenten für die Steuerung des Roboters wurden ebenfalls in dieser Sendung geliefert. Dieses Bild zeigt, wie die Schrittmotoren an die Steuerung angeschlossen werden.

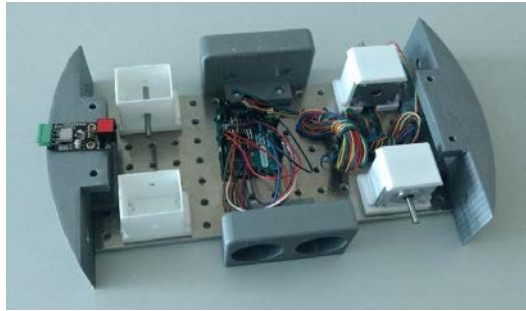


Abbildung 84: Der elektronische Teil der Baugruppe. Quelle: DHBW

Zu diesem Zeitpunkt waren die Teile vom Da Vinci College noch nicht eingetroffen. Die DHBW hatte jedoch provisorische Räder für die Schrittmotoren (die grauen Räder) gedruckt, die bis zum Eintreffen der eigentlichen Räder verwendet wurden.



Abbildung 85: Montage mit provisorischen Rädern. Quelle: DHBW

Auf dem Bild unten ist die kleine Sensorbox zu sehen, die mit dem Clipper und dem Stift für den Clipper mit der Hauptplatte verbunden ist. Der Clipper hat den Vorteil, dass beim Zusammenbau kein Klebstoff benötigt wird. Der Clipper macht es einfach, die Teile des Roboters auszutauschen und auch die Platzierung zu ändern.



Abbildung 86: Gewerkschaft mit Schere. Quelle: DHBW

Der Montageprozess fand an der DHBW statt und es wurden verschiedene Roboter- und Automatisierungsverfahren für diese Aufgabe eingesetzt. Auch die Studierenden hatten die Möglichkeit, sich an der Montage zu beteiligen.



Abbildung 87: Zusammenbau mit dem Roboter, während ein Schüler hilft. Quelle: DHBW

Beim Zusammenbau der Teile wurden weitere Änderungen an den Teilen festgestellt, so dass die Komponenten für den Roboter nicht gut genug waren. Der Prozess musste daher von vorne beginnen. Mehrere Teile wurden neu entworfen, hergestellt und dann erneut zum endgültigen Roboter zusammengebaut.

Das erste Teil, das geändert werden musste, waren die Omni-Räder. Die Räder wurden neu gestaltet, um ein besseres Rollen zu ermöglichen.

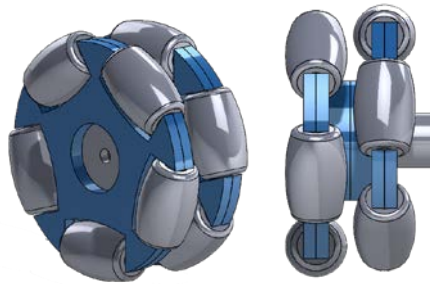


Abbildung 88: Neues Omni-Rad. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Die Räder wurden auch geändert, um eine Nabe in das Rad zu implementieren. Diese Nabe wird der Standard für alle Räder des EXAM-Roboters sein. Die Nabe ist eine Komponente, mit der die Räder an der Achse befestigt werden.



Abbildung 89: Das Drehkreuz. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Auch die Halterung für die Schrittmotoren funktionierte nicht wie vorgesehen. Die Motoren blieben nicht in der Halterung, wenn der Motor gefahren wurde. Das Oberteil wurde daher neu gestaltet. Mit der neuen Konstruktion ist es möglich, die Schrittmotoren mit Schrauben zu befestigen.

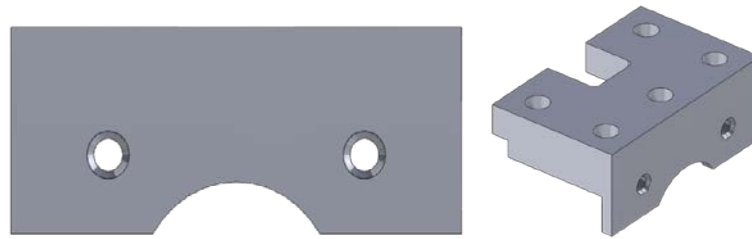


Abbildung 90: Neue Spitze. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Und die letzte Änderung waren die Sensorboxen. Die Sensorboxen wurden so optimiert, dass sie Löcher für die Kabel der Sensoren haben, außerdem haben wir Löcher hinzugefügt, um die Sensoren mit dem Clipper zu befestigen.

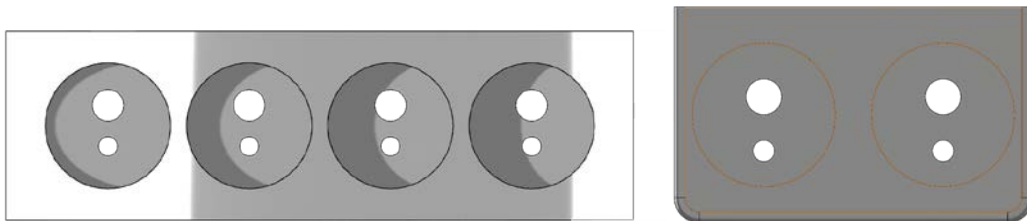


Abbildung 91: Neue Sensorboxen. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet

Alle neuen Teile wurden in den am CLF beteiligten Labors hergestellt. Das Projekt und das CLF sind noch nicht abgeschlossen, und die endgültige Version des Roboters mit allen entwickelten und aktualisierten Komponenten wird derzeit in der Lernfabrik der DHBW zusammengebaut.

EXAM Robotersteuerung

Der Zusammenbau des ersten Prototyps erfolgte manuell. Nachdem die Elemente befestigt und getestet waren, haben wir die funktionalen Aspekte des Roboters validiert.

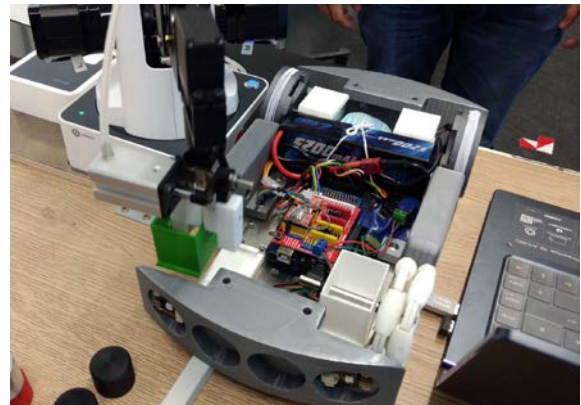


Abbildung 92: EXAM-Roboter mit Steuerung und Batterie

In den Exam-Roboter kann ein anderer Controller eingesteckt werden, z. B. ein Arduino-kompatibler Controller, eine ESP32-Controller-Serie oder sogar ein Raspberry Pi. Einige der Boards benötigen ein Erweiterungsschild für die Ein- und Ausgänge und ein Treiberschild, in der vorherigen Abbildung haben wir ein rotes Board in der Mitte des Roboters, das unser Treibermodul ist und mit Arduino Uno, Mega und Leonardo kompatibel ist. Falls wir einen esp32 verwenden, brauchen wir ein anderes Modul, das kompatibel ist. Der große Unterschied zwischen dem Arduino (ohne MKR und IOT NANO) und dem ESP32 besteht darin, dass der ESP32 über ein integriertes Wi-Fi und Bluetooth verfügt, während der Arduino dies nicht hat und ein Wi-Fi/Bluetooth-Modul benötigt, wenn man diese Kommunikation nutzen möchte.

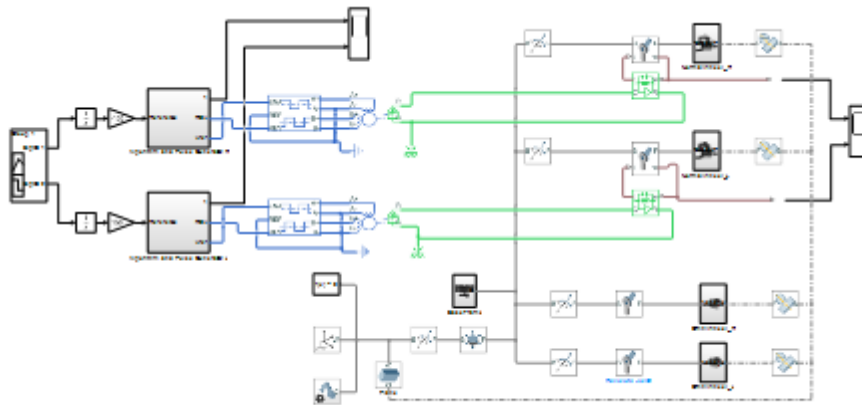
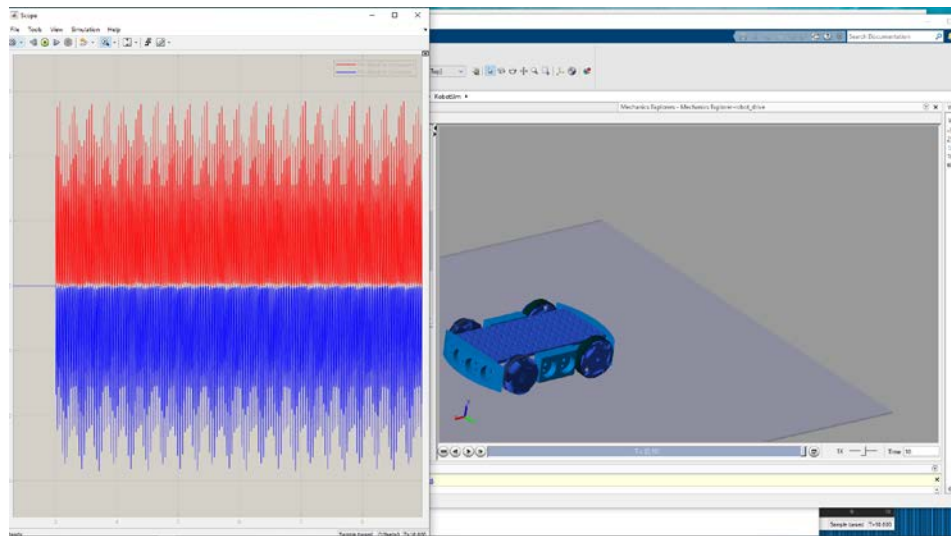


Abbildung 93: Simulation des EXAM4.0-Roboters. Quelle: DHBW

Vor dem Zusammenbau simulierten die Mitarbeiter der DHBW das Modell. Das Simulationsmodell wird verwendet, um die richtige Spezifikation für das System zu finden. Es wurden verschiedene Modelle für die spezifischen Bereiche erstellt, um Antworten auf mechanische, elektrische und steuerungsbezogene Fragen zu erhalten. Die Simulation ist ein erster Schritt auf dem Weg zu einem digitalen Zwilling des Roboters. Um Inhalte mit dem Roboter zu teilen, wird die Simulation des gesamten Systems oder nur bestimmter Komponenten wie Hardware-in-the-Loop- oder Software-in-the-Loop-Simulationen dem Produkt aus dem CLF hinzugefügt.



Abbildung 94: EXAM-Roboter mit Dobot-Magier an der Spitze als Anwendung zum Aufnehmen von Objekten. Quelle: DHBW

Zu diesem Zeitpunkt ist der Prüfungsroboter ein modularer mobiler Roboter mit einer sehr großen Anzahl von möglichen Konfigurationen. Das Design kann im Rahmen von Studentenprojekten verändert werden. Er könnte als Basis für zahlreiche Anwendungen verwendet werden. In einem Studentenprojekt haben wir das System mit einem Dobot Zauberer getestet. Der Roboter konnte über USB mit dem Exam Robot Controller verbunden werden. Zusammen mit einer Kamera in Verbindung mit einem Raspberry Pi4 kann er autonome Missionen mit IOT-Integration durchführen.

3.5. Prüfung

Im ersten Zustand des EXAM-Roboters beschlossen wir, die von uns entworfenen Komponenten zu validieren, aber wir sahen einige Probleme, als wir die Komponenten am Rahmen montierten. Daher änderten wir das 3D-Modell und nahmen einige Änderungen vor, bis wir einen Punkt erreichten, an dem wir mit der Funktionalität zufrieden waren.

Während der Zeit, in der wir die 3D-Designs ändern, haben wir verschiedene Sensoren unabhängig vom Prüfungsroboterrahmen getestet. Die Sensoren, die wir in unserem Test verwendet haben, waren Feuchtigkeitssensor, IR-Sensor, Lautsprechermodul, Lichtmodul, Ultraschallsensor und mehr. Wir haben Testcodes für jeden der Sensoren für den Fall, dass die Schüler mehr über die Interaktion zwischen den Sensoren und dem Controller lernen wollen, und wir planen, die Spezifikation des Sensors mit einem Testcode, eine kleine Dokumentation von unserer Seite und für den Fall, dass eine Bibliothek für den unterstützten Controller benötigt wird, der ESP32, ESP8266, Arduino, Teensy sein könnte.

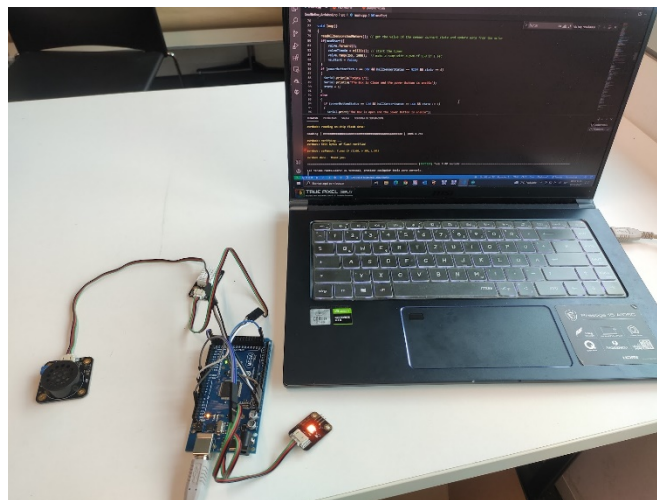


Abbildung 95: Prüfung der Codes. Quelle: DHBW

Die Tests bezüglich der Lenkung waren nicht vollständig möglich, bis die endgültigen Räder mit dem neuen HUB eintrafen. Jetzt sind wir in einem Zustand, in dem wir ein reibungsloses Lenksystem einschließlich einiger Sensoren im Exam-Roboter entwickeln können, um einen voll funktionsfähigen Roboter zu haben.

In unserem derzeitigen Stadium ist es möglich, Befehle über Bluetooth (Handy/Computer) an den EXAM-Roboter zu senden und die Bewegungen zu ändern, sowie die Beleuchtung im Fahrzeug unabhängig zu steuern, wenn dies erforderlich ist. Die Verwendung von Wi-Fi wurde bereits getestet und es ist möglich, den Code über das Netzwerk mit Wi-Fi zu ändern.

Für die Programmierung des Controllers verwenden wir zwei IDE (Integrierte Entwicklungsumgebung)

- Arduino-IDE
- Visual Code Studio (Plattform IO Plug)

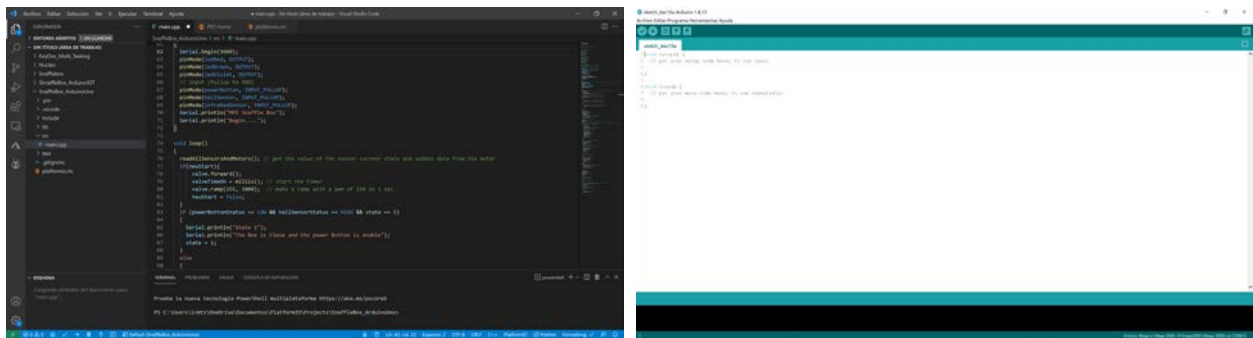


Abbildung 96: Visual Code Studio IDE und Arduino IDE. Quelle: DHBW

4. Aufgetretene Vorfälle

Eines der großen Ziele war die Einbeziehung von Studenten in den Prozess. Das Konsortium entwickelt einen CLF und stellt ein Produkt her, das für die Studenten von großem Nutzen wäre. Ein Faktor, der dies erschwerte, war Covid-19. Die meisten Schulen hatten keine oder nur eine begrenzte Anzahl von Schülern an der Schule. Dies führte zu vielen Problemen und langen Wartezeiten, um zu sehen, ob sich die Situation verbessern würde, was nicht der Fall war.

Es gab viele Änderungen am Design, die zu einem ungünstigen Zeitpunkt kamen und zusätzliche Zeit in Anspruch nahmen. Ein Beispiel war, dass das Curt Nicolin Gymnasiet alle Clipper druckte und bereit war, sie zu versenden, aber in der Sitzung am nächsten Tag beschloss die Gruppe, das Design zu ändern. Die Schule hatte gerade für den Sommer geschlossen, was zu Problemen bei der rechtzeitigen Lieferung der Komponenten führte. Dies war das Ergebnis schlechter Kommunikation oder fehlenden Verständnisses.

Ein weiteres Problem war der Transport. Die verschiedenen Komponenten des Roboters wurden an verschiedenen Standorten in verschiedenen Ländern hergestellt, was bedeutete, dass die Komponenten transportiert werden mussten, um zusammengebaut zu werden. Eine Lieferung von Bauteilen ging während des Transports verloren, und es dauerte lange, das Paket zu verfolgen, bevor man merkte, dass es verschwunden war. Das mit dem Zusammenbau beauftragte Zentrum musste die Teile selbst herstellen. Diese Lösung in letzter Minute führte zu einem minderwertigen Prototyp des Roboters und zu einer Verzögerung des Produktionsprozesses.

5. Erzielte Ergebnisse

In diesem Dokument haben wir den Prozess der Schaffung eines Modells für fortgeschrittene Fertigungslabors für die Berufsbildung, das wir CLF genannt haben, ausführlich beschrieben.

Durch die Umsetzung des CLF haben wir versucht, die im EXAM4.0-Rahmen dargelegten technologischen Trends (EXAM4.0, 2020) mit dem vorgeschlagenen Kompetenzrahmen für fortgeschrittene Fertigung (EXAM4.0, 2020)

Der zentrale Pilotprozess wurde gemeinsam in den Labors der fünf Institutionen durchgeführt, die das Konsortium bilden (Tknika, Miguel Altuna, DHBW, DVC und CNG). Wir haben auch mit dem sehr wertvollen Beitrag der drei baskischen Partner-Berufsbildungszentren (Bidasoia, IMH, Usurbil) gerechnet.

Als Ergebnis des Pilotprojekts haben wir die EXAM 4.0 Collaborative Learning Factory (CLF) eingerichtet und betrieben. Wie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben, waren wir in der Lage, einen mobilen Roboter auf kollaborative Weise zu produzieren und die Wertschöpfungskette der CLF zu etablieren. Wir haben verschiedene Grundlagentechnologien erprobt und untersucht, wie wir Schulungen zu diesen Technologien durchführen können. Die wichtigste Errungenschaft war jedoch nicht der Bau eines solchen Prototyps, sondern die Schaffung der Grundlagen für die Struktur und den Betrieb einer verteilten Lernfabrik.

Wir haben die Ergebnisse des Pilotprojekts in den folgenden Dokumenten strukturiert:

Labs for Advanced Manufacturing-CLF

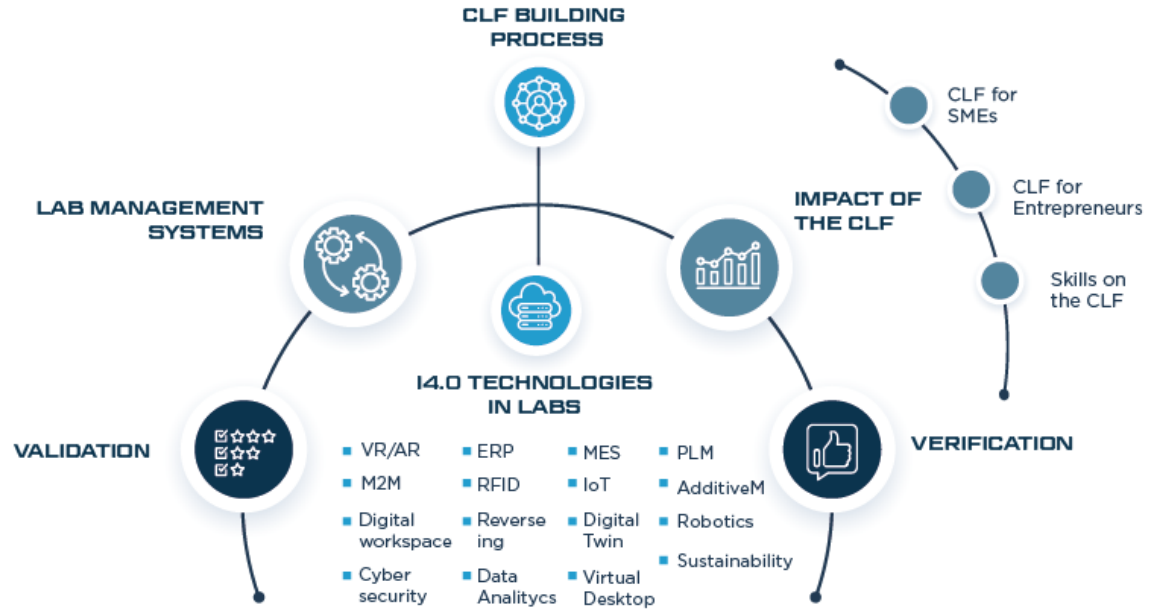


Abbildung 97: Ergebnis der Labs for Advanced Manufacturing - CLF. Quelle: Exam4.0

01	Validierungsbericht (öffentlich)	Validierung des AM-Laborkonzepts durch EXAM4.0-Stakeholder. (EXAM4.0, 2021)
02	Labors Management Systeme (öffentlich)	beschreiben wir die Managementlösung, die wir in den Labors der Partner und im EXAM4.0 CLF untersucht und getestet haben. In einem Industrie 4.0-Kontext sind ERP-Lösungen zusammen mit MES- und PLM-Integration ein zentrales Element geworden. (EXAM4.0, 2021)
03	AM-Labore laufen (Öffentlich)	Er beschreibt den konzeptionellen Aufbau des CLF. Er enthält auch Einzelheiten über den Pilotprozess von 16 Industrie 4.0-Technologien, die in unseren Labors implementiert wurden, und die Beziehungen zwischen ihnen. (EXAM4.0, 2021)
04	Nachweis über die Leistung: Aufgezeichnete Daten (öffentlich)	Es beschreibt den gesamten Prozess der Implementierung des CLF und der Herstellung des mobilen Roboters. (dieses Dokument)
05	Aktualisierte Ausrüstung (vertraulich)	Er beschreibt die Aktualisierung der Ausrüstung und der Methodik, die von den Partnerinstitutionen als Ergebnis (oder beeinflusst durch) ihre Teilnahme an dem Projekt durchgeführt wurde.
06	Protokoll über die Nutzung von CLF durch KMU (öffentlich)	Es wird beschrieben, wie der CLF KMU unterstützen könnte und welche Auswirkungen er haben könnte (EXAM4,0, 2021)

07	Protokoll über die Nutzung der CLF durch Unternehmer (öffentlich)	Er beschreibt, wie der CLF Unternehmer unterstützen könnte und welche Auswirkungen er haben könnte (PRÜFUNG4,0, 2021)
08	Von den am Pilotprojekt teilnehmenden Schülern erworbene Fähigkeiten (öffentlich)	Er beschreibt die Auswirkungen des Pilotprojekts auf die Studierenden und die möglichen Auswirkungen auf ihre Kompetenzen (EXAM4.0, 2021)
09	Überprüfungsbericht (öffentlich)	EXAM4.0 Stakeholder validieren und bewerten den gesamten Pilotierungsprozess und seine Auswirkungen

Was die Ergebnisse auf der technologischen Seite betrifft, so haben wir auch die Art und Weise beschrieben, wie wir mit den 16 in ebenso vielen Dokumenten gesammelten Grundlagentechnologien für Industrie 4.0 gearbeitet haben. (EXAM4.0, 2021)

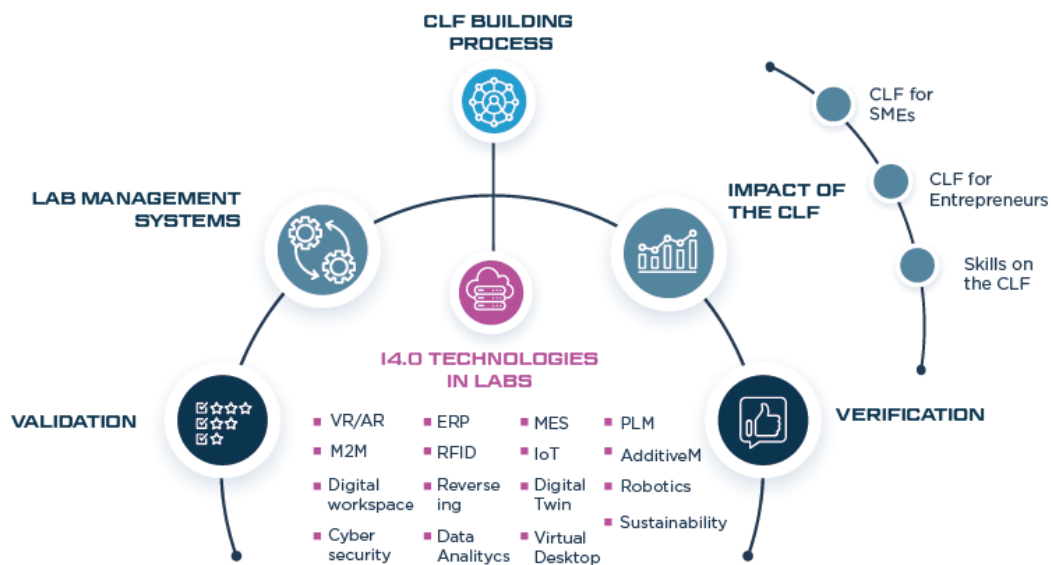


Abbildung 98: I4.0-Technologien in Labors. Quelle: Prüfung4.0

Für jede von ihnen haben wir ihre Umsetzung im CLF, die bearbeiteten Kompetenzen und die Möglichkeiten der Zusammenarbeit beschrieben.

Beteiligung von Studenten

Die Entwicklung von EXAM wurde stark von der Pandemie COVID 19 geprägt, die das Unternehmen schwer getroffen hat. Am stärksten hat sich die Pandemie auf die Teilnahme der Studierenden am CLF ausgewirkt. Viele Aufgaben mussten geändert werden, und in den meisten Fällen waren die Studierenden aus offensichtlichen Gründen die am stärksten betroffene Gruppe. Dennoch hatten wir trotz der geringen Beteiligung die Möglichkeit, den Kompetenzteil des CLF zu entwickeln.

Wenn auch in geringerem Ausmaß als erwartet, waren die Schüler verschiedener Zentren Teil eines realen Produktionsprozesses, von der Idee bis zum Endprodukt. Die Schüler trugen zum Entwurf und zur Herstellung der Komponenten sowie zum Zusammenbau des Roboters bei. Der Prozess des Entwerfens und der Erstellung von Zeichnungen, die mit CAD angefertigt wurden, ist bei Komponenten, die für die reale Produktion bestimmt sind, anders als bei Bildungsprojekten. Die Beteiligung der Schüler hätte jedoch besser sein können, wenn es nicht Covid-19 gegeben hätte, was natürlich einige pädagogische Schwierigkeiten mit sich brachte. Ohne diese Einschränkungen wären die Lernergebnisse für die Schüler noch besser gewesen.

Schlussbemerkungen

Die CLF ist ein Ergebnis des Projekts. Das Konsortium verfügt nun über eine voll funktionsfähige Collaborative Learning Factory, die einen umfangreichen Daten- und Informationsaustausch ermöglicht.

Das CLF hat wiederum zu einem voll funktionsfähigen Roboter geführt. Er ist ein Ergebnis des CLF-Prozesses und wurde, wie bereits erwähnt, von Mitarbeitern des Konsortiums und Studenten der Einrichtungen entwickelt. Der Roboter wird mit einem Raspberry Pi4 gesteuert und es wurde eine Anwendung entwickelt, um den Roboter zu steuern. Ein weiteres Ergebnis des Projekts und des CLF ist die Implementierung von KETs. Sie wurden im Zusammenhang mit dem Projekt implementiert, um alle wesentlichen Aspekte des CLF abdecken und verbessern zu können. Die Einrichtungen des Konsortiums verfügen also dank des Projekts über modernste Technologien wie 3D-Drucker, Robotik, technologische Systeme und, wie bereits erwähnt, Simulationstechnologien wie AR. Diese neuen Technologien sind ein großer Gewinn für die EXAM-Plattform sowie für das CLF.

Das wichtigste Ergebnis ist daher, dass wir die Grundlagen für die Struktur und den Betrieb einer verteilten Lernfabrik gelegt haben, wahrscheinlich die erste kollaborative Lernfabrik in Europa.

6. Gelernte Lektionen und zukünftige Herausforderungen

Während des EXAM4.0-Projekts stellten wir fest, dass wir die potenziellen Risiken unterschätzt hatten, die beim Aufbau einer komplexen Initiative wie der CLF auftreten können. Um eventuelle Risiken frühzeitig zu vermeiden, haben wir eine Risikoermittlung durchgeführt. Diese Identifizierung fand einmal im Monat statt.

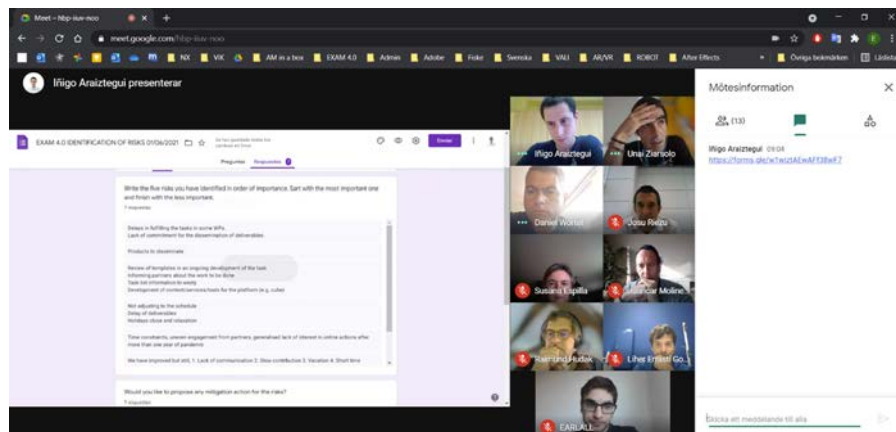


Abbildung 99: Identifizierung von Risiken durch das Konsortium. Quelle: Exam4.0

Lehren aus WP5

Das CLF half dem Konsortium, besser zusammenzuarbeiten und zu kommunizieren. Während der Entwicklung des EXAM-Roboters musste das Konsortium mehrere Sitzungen abhalten. Während des Prozesses gab es viele Aspekte zu berücksichtigen, wie z. B. die eigentliche Herstellung des Roboters, aber auch alle anderen zusätzlichen Aspekte, wie z. B. die Dokumentation. Eine Lektion, die wir während dieses Prozesses gelernt haben, war, dass der Kontext von den verschiedenen Partnern bei Besprechungen oder E-Mails oft unterschiedlich verstanden wird. Daher ist es wichtig, sicherzustellen, dass alle Beteiligten auf dem gleichen Stand sind, und sich bei Erklärungen und Entscheidungen klar auszudrücken. Die kommunikativen Missverständnisse innerhalb der Collaborative Learning Factory führten zu einigen Verzögerungen im Prozess der Erstellung des EXAM-Roboters. Diese Kommunikationsfehler wurden nun berücksichtigt und dieser Aspekt soll in zukünftigen Pilotprojekten verbessert werden. Die wichtigste Schlussfolgerung in Bezug auf Kommunikationsfehler ist, dass der beste Kanal ein digitales Meeting ist, bei dem sich die Teilnehmer gegenseitig sehen und der Moderator seinen Bildschirm teilt.

Das erste Pilotprojekt des CLF, die Erstellung des Roboters, war eine Untersuchung, um die möglichen Vorteile einer solchen Lernumgebung zu ermitteln. Die Studierenden waren an diesem Pilotprojekt beteiligt, indem sie Komponenten für das Produkt entwarfen und herstellten, sie werden jedoch bei künftigen Kooperationen umfassender einbezogen. Das Konsortium hat aus diesem Pilotprojekt gelernt und wird dieses Wissen nutzen,

um das CLF zu einer selbstfahrenden Lernmethode zu machen, die für die Ausbildung geeignet ist. Alle erforderlichen Daten für den EXAM-Roboter werden während des ersten Pilotprojekts erzeugt. Der Prozess der Erstellung weiterer EXAM-Roboter wird daher automatischer und damit einfacher sein, und es wird von Vorteil sein, die Schüler während des gesamten Prozesses einzubeziehen.

Von allen unvorhergesehenen Ereignissen, die während der Laufzeit des Projekts eingetreten sind, haben wir für diesen Bericht diejenigen hervorgehoben, die wir für relevant halten und die berücksichtigt werden sollten, um die Nachhaltigkeit des CLF zu gewährleisten.

Künftige Herausforderungen

In der folgenden Tabelle haben wir als Schlussfolgerung die Risiken und Herausforderungen aufgeführt, die wir für die künftigen Aktivitäten des CLF und sogar für künftige Projekte für relevant halten. Wir schlagen auch mögliche Lösungen oder Maßnahmen vor, um diesen Herausforderungen zu begegnen.

Lehren und Herausforderungen für das CLF	
Risiken/Herausforderungen	Lösungen/Maßnahmen/künftige Aktionen
Verzögerungen bei den Beiträgen. Nicht erledigte Aufgaben.	Einrichtung eines "Arbeitsüberwachungsinstruments" und eines "Track-and-Trace-Instruments". Sobald die IT-Infrastruktur für das angeschlossene CLF eingerichtet ist, muss ein Track-and-Trace-System implementiert werden. Dieses System ermöglicht die Überwachung der detaillierten Informationen über die Aufgaben, den Fertigungsstand der einzelnen Komponenten, den voraussichtlichen Liefertermin usw. Im Falle von Zwischenfällen muss das System neue Liefertermine angeben und die gesamte Produktionskette entsprechend umorganisieren. Wie in der Industrie üblich, könnten bestimmte Strafmaßnahmen für die Verantwortlichen von Aufgaben eingeführt werden.
Die technische Komplexität bestimmter I4.0-Implementierungen oder bestimmter Aktivitäten wird unterschätzt.	- Nutzung von Synergieeffekten zwischen Ausbildungszentren. - Schaffung eines "internen Unterstützungs- oder Beratungsdienstes" zur Beratung und Anleitung bei der Implementierung von Technologien durch die erfahrensten Zentren. Es ist vorgesehen, dass die EXAM4.0-Plattform jedem Berufsbildungszentrum, das dies wünscht, diese Art von Dienstleistung anbietet, so dass dieser interne Dienst der Ausgangspunkt für die Schaffung eines kontrastierenden Dienstes wäre.
Probleme bei der Integration von I4.0-Lösungen zwischen Partnern. Heterogenität der Anbieter, Software und Lösungen.	Standardisierung von Prozessen. - Die Herstellungsverfahren der einzelnen an der CLF beteiligten Partner müssen ein hohes Maß an Standardisierung aufweisen, um eine ordnungsgemäße Kommunikation zu gewährleisten. Außerdem sind die Prozesse mit gemeinsamen Schulungsprogrammen verknüpft, so dass die Standardisierung doppelt wichtig ist. - Die vorgesehenen Mindeststandards werden in Vorlagen festgelegt. Die Idee der Modularität ist wichtig, um flexible und skalierbare Prozesse zu schaffen. - Die durch die CLF implizierte verteilte LF erfordert einen Minimalkonsens über einige der gemeinsam genutzten Lösungen.

	Partner, die direkt an der CLF teilnehmen, indem sie ihre Prozesse mit der CLF verknüpfen, müssen sich auf die zu verwendenden gemeinsamen Anwendungen einigen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass sich in Zukunft auch Zentren mit Anwendungen von Drittanbietern dem CLF anschließen wollen. Daher ist es notwendig, mit unseren Lösungsanbietern zusammenzuarbeiten, um ein flexibles und kompatibles System zu haben.
Hohe Investitionen für die Einrichtung fortschrittlicher Fertigungslabors.	Wir werden die Virtualisierung von Prozessen fördern, um die Investitionen für die Teilnahme an CLFs zu reduzieren und Zugang zu den dort stattfindenden Schulungen zu erhalten. Eine Lösung wird darin bestehen, digitale Zwillinge der einzelnen LF's zu erstellen und Daten und Informationen auszutauschen, um Kurse durchzuführen, ohne über die physische Ausrüstung zu verfügen. Wir werden auch die Verwendung virtueller Desktops fördern, um den Zugang zu Lösungen zu erleichtern, für die keine leistungsstarken Computer erforderlich sind. Diese Maßnahmen werden uns zur Demokratisierung der AM-Ausbildung führen.
Unterschiede zwischen den Bildungssystemen	Wir werden weiterhin europäische Standards (EQR) verwenden, um die in der Praxis umgesetzten Ausbildungsstufen zu ermitteln. Ergänzend dazu werden wir als Gruppe auf einer generischen Ebene arbeiten, und es wird in der Verantwortung jeder Organisation liegen, die Inhalte an die Besonderheiten ihrer Bildungssysteme anzupassen. Alle Entwicklungen, die im Rahmen des CLF durchgeführt wurden, sollten für alle Bildungssysteme der EU von Nutzen sein,
Operative Missverständnisse und Terminologieprobleme. Multikulturelle/mehrsprachige Probleme: Es kann vorkommen, dass bestimmte Aufgaben in den einzelnen Partnerländern unterschiedlich ausgelegt werden. Selbst wenn dieselbe Terminologie verwendet wird, ist ihre Auslegung nicht in allen Ländern identisch. Diese Unterschiede können zu Fehlern, Verzögerungen und sogar Konflikten führen.	Eine der Stärken des CLF ist die internationale Zusammenarbeit. Multikulturalität und Mehrsprachigkeit werden als Chance zum Lernen und zur gegenseitigen Bereicherung verstanden und nicht als Hindernis. Natürlich ist es notwendig, Instrumente zu schaffen, die den Prozess erleichtern und Missverständnisse vermeiden. Die Ausarbeitung eines Diversity-Plans wird dazu beitragen, die Mitglieder der Arbeitsgruppen besser zu verstehen, wenn internationale Studierende im selben Projekt zusammenarbeiten. In einem Glossar werden einige Schlüsselbegriffe zusammengetragen, die unbedingt identisch interpretiert werden müssen, um Missverständnisse zu vermeiden. Die Definition der Begriffe wird von den Gruppenmitgliedern individuell besprochen und vereinbart.
Mangelnde Einbeziehung des Personals der Kooperationseinheiten	Ein wichtiger Aspekt ist die Schaffung einer hohen Digitalisierungskultur unter den Mitarbeitern bzw. den Teilnehmern. Ohne die Motivation und das Engagement der Menschen wird das CLF nie richtig funktionieren. Es ist also sehr wichtig, sich um diese Aspekte zu kümmern. Alle teilnehmenden Organisationen werden eine Liste von Maßnahmen haben, die sie in ihren Organisationen umsetzen können, um diese Kultur zu verbessern.

Mangelnde Sichtbarkeit der Ergebnisse und Fortschritte	Wir werden die agile Entwicklungsmethodik nutzen, um neue Kurse, neue technologische Implementierungen oder andere Aufgaben, die von den Mitgliedern zu entwickeln sind, einzurichten. Unter anderem werden wir Sprint-Aufgaben mit genauen Ergebnissen und Indikatoren verwenden.
--	--

7. Tabelle der Abbildungen

Abbildung 1: EXAM 4.0 Collaborative Learning Factory (CLF) Prozess und Technologien. Quelle: Eigene Kreation der Autoren	4
Abbildung 2: Eingeführte Technologien am Curt Nicolin Gymnasiet. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet.....	5
Abbildung 3: Anpassung des 3D-Druckers für I4.0. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet	6
Abbildung 4: Kommunikation bei Miguel Altuna. Quelle: Miguel Altuna	7
Abbildung 5: RFID-Karte, Werkzeuge mit RFID und RFID-Lesegeräte bei Miguel Altuna. Quelle: Miguel Altuna	7
Abbildung 6: Cobots bei Miguel Altuna. Quelle: Miguel Altuna.....	8
Abbildung 7: AGV-Roboter bei Miguel Altuna. Quelle: Miguel Altuna.....	8
Abbildung 8: 3D-Druckerkabine. Quelle: Da Vinci	9
Abbildung 9: Die Filabot-Maschine verwandelt Granulat in Filament für 3D-Drucker. Quelle: Da Vinci	9
Abbildung 10: Roboter an der DHBW. Quelle: DHBW	9
Abbildung 11: Kuka KR5-Six R650 und kuka Agilus KR 6 R700. Quelle: DHBW	10
Abbildung 12: Cobots. Quelle: DHBW	10
Abbildung 13: Dobot Magician beim Zusammenbau des EXAM-Roboters. Quelle: DHBW	10
Abbildung 14: Mobile Roboter auf der Grundlage von Makeblock Ranger. Quelle: DHBW	11
Abbildung 15: Modulares Produktionssystem von Festo mit UR3-Roboter und Mitsubishi Robot RV-2SD. Quelle: DHBW	11
Abbildung 16: Modulares Produktionssystem als Teil der CLF. Quelle: DHBW	11
Abbildung 17: Modulares Produktionssystem von Festo mit UR3 Roboter. Quelle: DHBW.....	12
Abbildung 18: Webverbindung mit OPC-Server und MES-Schicht für das MPS-System. Quelle: DHBW	12
Abbildung 19: 3D-Scanzelle für Reverse Engineering. Quelle: DHBW.....	13
Abbildung 20: : Rater-Elektronenmikroskop Zeiss, Brucker. DHBW	13
Abbildung 21:: Koordinatenmessgerät Zeiss UMC500. Quelle: DHBW	13
Abbildung 22: 3D-Drucker EOS P 396 Lasersinter. Quelle: DHBW	13
Abbildung 23: Didaktische Ausrüstung von SMC für Industrie 4.0 SIF-400. Quelle: Tknika	14
Abbildung 24: IoMBian und IoM2040. Quelle: Tknika.....	15
Abbildung 25: Dashboards für die Datenanalyse. Quelle: Tknika.....	15
Abbildung 26: Schüler beim Lernen in der virtuellen Realität. Quelle: Miguel Altuna.....	16
Abbildung 27: Schweißen VR in Tknika. Quelle: Tknika	16
Abbildung 28: Malerei VR in Tknika. Quelle: Tknika	17

Abbildung 29: VR-Ausrüstung. Quelle: Tknika	17
Abbildung 30: Microsoft HoloLens AR-Ausrüstung. Quelle: Tknika	17
Abbildung 31: In Unity entworfener Raum für VR. Quelle: Miguel Altuna	18
Abbildung 32: I4.0-Ecke in Tknika. Quelle: Tknika	18
Abbildung 33: Cybersecurity-Einrichtungen in Tknika. Quelle: Tknika	19
Abbildung 34: Gebiet der Omron PLC. Quelle: Tknika	20
Abbildung 35: Links die reale Maschine und rechts der digitale Zwilling der SMC SIF400-Maschine. Quelle: Tknika	20
Abbildung 36: Erstes Auftreten des Roboters. Quelle: Curt Nicolini Gymnasiet	22
Abbildung 37: Sitzung der technischen Planungsgruppe. Quelle: Exam4.0	22
Abbildung 38: Konzept eines modularen mobilen Roboters. Quelle: DHBW	22
Abbildung 39: EXAM-Roboter mit Steuerung und Batterie. Quelle: DHBW	23
Abbildung 40: Simulation des EXAM4.0-Roboters. Quelle: DHBW	23
Abbildung 41: EXAM-Roboter mit Dobot-Magier an der Spitze als Anwendung zum Aufnehmen von Objekten. Quelle: DHBW	23
Abbildung 42: Clip-Funktion. Quelle: DHBW	24
Abbildung 43: Das 2. endgültige Design der Roboter. Quelle: Curt Nicolini Gymnasiet	24
Abbildung 44: Eine Besprechung über Dimensionen. Quelle: Exam4.0	24
Abbildung 45: Aufbau des Roboters. Quelle: Curt Nicolini Gymnasiet	25
Abbildung 46: Regelmäßige und AR-Zeichnung eines Bauteils für den Roboter. Quelle: Curt Nicolini Gymnasiet	25
Abbildung 47: Technische Besprechung zur Steuerung. Quelle: Exam4.0	26
Abbildung 48: Omni-Räder. Quelle: Curt Nicolini Gymnasiet	26
Abbildung 49: Prototyp eines Omni-Rads. Quelle: Curt Nicolini Gymnasiet	27
Abbildung 50: : Hauptplatte. Quelle: Curt Nicolini Gymnasiet	27
Abbildung 51: Erstmals hergestellte Hauptplatte. Quelle: Miguel Altuna	27
Abbildung 52: Clipper. Quelle: Curt Nicolini Gymnasiet	28
Abbildung 53: Die Entwicklung der Nadel von links nach rechts. Quelle: Curt Nicolini Gymnasiet	28
Abbildung 54: Stift für Clipper. Quelle: Curt Nicolini Gymnasiet	28
Abbildung 55: Normales Rad. Quelle: Curt Nicolini Gymnasiet	29
Abbildung 56: Die ersten in Miguel Altuna gedruckten Reifen. Quelle: Miguel Altuna	29
Abbildung 57: Reifen mit Spuren. Quelle: Curt Nicolini Gymnasiet	29
Abbildung 58: Neue Reifen werden in Miguel Altuna gedruckt. Quelle: Miguel Altuna	30
Abbildung 59: Schrittmotor mit der Halterung und der Halterungsbaugruppe. Quelle: Curt Nicolini Gymnasiet	30
Abbildung 60: Entwickeltes Top. Quelle: Curt Nicolini Gymnasiet	30
Abbildung 61: Achsenhaus. Quelle: Curt Nicolini Gymnasiet	31
Abbildung 62: Gebogene und kleine Sensorbox. Quelle: Curt Nicolini Gymnasiet	31
Abbildung 63: Endgültiger Entwurf des Roboters. Quelle: Curt Nicolini Gymnasiet	31

Abbildung 64: Der Roboter ohne Abdeckplatten. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet	32
Abbildung 65: Validierung von Teilen des Roboters mit dem Konsortium. Quelle: Exam4.0	32
Abbildung 66: Fehlerbehebung durch das Konsortium. Quelle: Exam4.0	33
Abbildung 67: Struktur einer vernetzten Fabrik. Quelle: Ibermática	33
Abbildung 68: Mögliches Schema für den Betrieb des ERP-PLM-MES-Systems der CLF. Quelle: EXAM4.0	34
Abbildung 69: Mögliche Stückliste für EXAM4.0. Quelle: EXAM4.0	34
Abbildung 70: Beispiel für die Merkmale eines MES-Systems. Quelle: https://ibermaticaindustria.com/solucion-olanetennte/	36
Abbildung 71: Alle für den Roboter hergestellten Platten. Quelle: Miguel Altuna	37
Abbildung 72: Student bei der Herstellung der Hauptplatte in einer CNC-Fräsmaschine. Quelle: Miguel Altuna	37
Abbildung 73: Schüler bei der Herstellung der Buchsen auf einer CNC-Drehmaschine. Quelle: Miguel Altuna	38
Abbildung 74: Gedruckter Clipper und Stift für Clipper. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet	38
Abbildung 75: Verschiedene gedruckte Teile. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet	38
Abbildung 76: Abstandshalter. Quelle: Curt Nicoling Gymnasiet	39
Abbildung 77: Gedruckter Halter für Schrittmotor. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet	39
Abbildung 78: Gedruckte Teile für das Rundlauftrad. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet	39
Abbildung 79: Starten eines neuen Drucks mit Rad und Reifen . Quelle: Da Vinci Hochschule	40
Abbildung 80: Produzierte Sensorboxen. Quelle: DHBW	40
Abbildung 81: Montagezeichnungen des EXAM-Roboters sowie der Omnibusse. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet	41
Abbildung 82: Beginn der Montage. Quelle: DHBW	41
Abbildung 83: Zusammenbau mit Curt Nicolin Gymnasietteilen. Quelle: DHBW	41
Abbildung 84: Der elektronische Teil der Baugruppe. Quelle: DHBW	42
Abbildung 85: Montage mit provisorischen Rädern. Quelle: DHBW	42
Abbildung 86: Gewerkschaft mit Schere. Quelle: DHBW	42
Abbildung 87: Zusammenbau mit dem Roboter, während ein Schüler hilft. Quelle: DHBW	43
Abbildung 88: Neues Omni-Rad. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet	43
Abbildung 89: Das Drehkreuz. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet	43
Abbildung 90: Neue Spitze. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet	44
Abbildung 91: Neue Sensorboxen. Quelle: Curt Nicolin Gymnasiet	44
Abbildung 92: EXAM-Roboter mit Steuerung und Batterie	44
Abbildung 93: Simulation des EXAM4.0-Roboters. Quelle: DHBW	45
Abbildung 94: EXAM-Roboter mit Dobot-Magier an der Spitze als Anwendung zum Aufnehmen von Objekten. Quelle: DHBW	45
Abbildung 95: Prüfung der Codes. Quelle: DHBW	46
Abbildung 96: Visual Code Studio IDE und Arduino IDE. Quelle: DHBW	47
Abbildung 97: Ergebnis der Labs for Advanced Manufacturing - CLF. Quelle: Exam4.0	48
Abbildung 98: I4.0-Technologien in Labors. Quelle: Exam4.0	49

Abbildung 99: Identifizierung von Risiken durch das Konsortium. Quelle: Exam4.0.....50

8. Referenzen

- AutomationWorld. (2021.eko Dicemberk 12).
<https://www.automationworld.com/products/software/article/13314943/plm-mes-erp-closedloop-product-lifecycle> helbidetik eskuratua
- Enisa. (2021.eko Dicemberk 10). <https://www.enisa.europa.eu/topics/iot-and-smart-infrastructures> helbidetik eskuratua
- EXAM4.0. (2021). *6 Protokoll über die Nutzung von CLF durch KMU*. Abrufbar unter <https://examhub.eu/proposals-for-advanced-manufacturing-4-0-labs/>
- EXAM4.0. (2021). *7 Protokoll über die Verwertung von CLF durch Unternehmer*. Abgerufen von <https://examhub.eu/proposals-for-advanced-manufacturing-4-0-labs/>
- EXAM4.0. (2020). *EXAM4.0. Der Technologierahmen Advanced Manufacturing 4.0*. Abgerufen von k: https://examhub.eu/wp-content/uploads/2021/04/WP_4_2.pdf
- EXAM4.0. (2020). *EXAM4.0 COMPETENCE Framework. "Methoden zur Analyse und Antizipierung des Qualifikationsbedarfs im Sektor der fortgeschrittenen Fertigung"*. https://examhub.eu/wp-content/uploads/2021/04/WP_2_3.pdf helbidetik eskuratua
- EXAM4.0. (2021). *03 Advance Manufacturing Labs läuft*. https://examhub.eu/wp-content/uploads/2021/12/3AdvancedManufacturingLabs_running.pdf helbidetik eskuratua
- EXAM4.0. (2021). *1 Labs for Advanced Manufactuirng. Validierungsbericht*. Abrufbar unter <https://examhub.eu/validation-report/>
- EXAM4.0. (2021). *2 Das ERP, Enterprise Resource Planning, angepasst an die Projektbedürfnisse*. Abgerufen von <https://examhub.eu/the-erp-enterprise-resource-planning-adapted-to-the-project-needs/>
- EXAM4.0. (2021). *8 Bericht über die von den an der Pilotierung teilnehmenden Studenten erworbenen Fähigkeiten*. Abrufbar unter <https://examhub.eu/proposals-for-advanced-manufacturing-4-0-labs/>
- Forcam GmbH. (2021). *Modulare IIoT-Lösung FORCAM FORCE IIOT*. <https://forcam.com/en/> helbidetik eskuratua
- Rudeck, E. (2021.eko Dicemberk 13). <https://www.concurrent-engineering.co.uk/blog/bid/99442/why-companies-need-a-plm-system> helbidetik eskuratua
- ThingsBoard, Inc. (2021). *Thingborad IoT-Plattform*. <https://thingsboard.io/> helbidetik eskuratua
- Zemsania. (2021.eko Novemberk 25). <https://zemsaniaglobalgroup.com/3-claves-para-la-convergencia-it-ot-big-data-iot-y-cloud/> helbidetik eskuratua