

## LifeLab – Lernumgebung für die zirkuläre Produktentstehung am Institut für Maschinenwesen

Breidoehr, M.; Inkermann, D.

*Mit dem „LifeLab Circular Product Creation“ entsteht am Institut für Maschinenwesen, unter dem Leitthema „Circular Economy“ eine innovative Lernumgebung, um Studierenden praxisorientiertes Wissen für die zirkuläre Produktentstehung zu vermitteln. Durch die Integration von Theorie und Praxis wird an verschiedenen Lernstationen der praktische Einsatz digitaler Technologien für verschiedene Aufgaben in der zirkulären Produktentstehung gefördert. Ziel ist es, Studierende auszubilden, indem kompetenzorientiert Wissen und Fähigkeiten in der zirkulären Produktgestaltung vermittelt werden.*



*With the “LifeLab Circular Product Creation”, an innovative learning environment is being created at the Institute of Mechanical Engineering under the guiding theme of “Circular Economy”. It provides students with practice-oriented knowledge for circular product creation. By integrating theory and practice, the practical use of digital technologies for various tasks in circular product creation is promoted at various learning stations. The aim is to train students by imparting competence-oriented knowledge and skills in circular product design.*

### LifeLab Circular Product Creation am Institut für Maschinenwesen

Inmitten der wachsenden globalen Herausforderungen im Umgang mit Ressourcen und Abfallvermeidung leistet auch das Institut für Maschinenwesen mit der Lernumgebung „LifeLab Circular Product Creation“ einen wichtigen Beitrag zur Ausbildung und Forschung im Kontext der Kreislaufwirtschaft. Das LifeLab fungiert als eine Plattform für Studierende und Forscher:innen, mit dem Ziel, Studierenden praxisorientiertes Wissen und entscheidende Fähigkeiten im Rahmen der zirkulären Produktgestaltung zu vermitteln. Die Lernumgebung greift das etablierte Konzept von Lernfabriken als pädagogisches Konzept /1/ auf, und stellt eine realitätsnahe Umgebung dar um Teilnehmern praxisnahes Wissen zu vermitteln, das direkt auf industrielle Anwendungen übertragbar ist. Durch die zukünftige Integration der Lernumgebung in Lehrveranstaltungen werden zukünftige Ingenieure auf die Herausforderungen der nachhaltigen Produktentstehung vorbereitet. In der Transformation hin zur zirkulären Produktentstehung sind Lernumgebungen von entscheidender Bedeutung, um praxisorientiertes Lernen und interorganisationalen Wissensaustausch zu fördern, was wesentlich zur Integration von Prinzipien der Kreislaufwirtschaft in bestehende Geschäftsstrategien beiträgt /2/.

### **Inhaltliche Ausrichtung des LifeLabs CPC**

Gängige Ansätze zur Berücksichtigung der Nachhaltigkeit im Produktdesign sind die Konzentration auf Ökodesign-Richtlinien sowie das Design zirkulärer Produkte. Das Gesamtkonzept zielt darauf ab, Produkte so zu gestalten, dass Komponenten mit geringem Aufwand ausgetauscht, wiederaufbereitet und wiederverwendet und Materialien leicht recycelt werden können. Das Konzept der zirkulären Produktentwicklung hingegen zielt darauf ab, gebrauchte Komponenten in die Entwicklung und Produktion neuer Produktgenerationen zu integrieren. Durch die Integration gebrauchter Komponenten in neue Produktgenerationen werden Material und Ressourcen eingespart. Gleichzeitig verändert sich die Entwicklung vom *Design für X* (vorausschauendes Design) zum *Design mit schlecht spezifizierten Komponenten* (reaktives Design). Die Unsicherheiten in den Spezifikationen resultieren aus einer hohen Variabilität der geometrischen Eigenschaften sowie der Leistungseigenschaften der verwendeten Komponenten. Dies erfordert eine hohe Flexibilität sowohl in der Produktgestaltung als auch in der Fertigung sowie einen geschlossenen Informations- und Datenaustausch zwischen den verschiedenen Prozessen der Produktentstehung. Ziel des LifeLab Circular Product Creation ist es, diese Wechselwirkungen zu verdeutlichen und Lösungen aufzuzeigen, wie eine zirkuläre Produktentstehung umgesetzt werden kann.

### **Zweck des LifeLabs CPC**

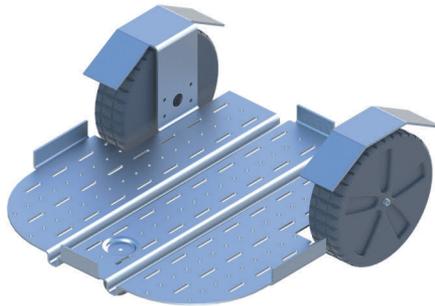
Die Integration gebrauchter Bauteile, wie bspw. Batterien oder Elektromotoren, in neue Produktgenerationen ist mit einer Reihe von Herausforderungen verbunden, wie bspw. einer Vielzahl von Geometrievarianten sowie unterschiedlichen funktionalen Eigenschaften der Bauteile. Im LifeLab CPC werden diese Herausforderungen durch die Bereitstellung einer Produktplattform, siehe Abbildung 1, und verschiedener Lernstationen adressiert, die die Aufgaben Reverse Engineering, Prozessplanung, CAD-CAM, additive Fertigung sowie Montageplanung und Montageunterstützung repräsentieren. Diese Lernstationen stellen wesentliche Aufgaben innerhalb des zirkulären Produktentstehungsprozesses dar. Der Zweck des LifeLabs besteht darin, die zentralen Herausforderungen der zirkulären Produktentstehung zu adressieren, wobei der Schwerpunkt auf den folgenden Zielen liegt:

- Aufzeigen von Lösungen zur Umsetzung der Circular Economy mit Fokus auf die Wiederverwendung von Komponenten in neuen Produktgenerationen
- Vermittlung der notwendigen Kenntnisse, Methoden und Werkzeuge zur Durchführung der einzelnen Prozessschritte zur Generierung neuer Produktgenerationen auf Basis wiederverwendeter Komponenten
- die Abhängigkeiten und den notwendigen Informationsaustausch zwischen den einzelnen Prozessschritten aufzuzeigen und greifbar zu machen, um die erforderliche Flexibilität zu gewährleisten

Diesen Zielen folgend, bietet das LifeLab CPC den Studierenden die Möglichkeit, theoretisches Wissen über die Prinzipien und Methoden und Werkzeuge zur Umsetzung einer zirkulären Produktentstehung zu erlangen. Um der inhärenten Komplexität der zirkulären Produktentstehung gerecht zu werden, verfolgt das Konzept einen schrittweisen Ansatz, der sich zunächst auf die einzelnen Lernschritte und in einem zweiten Schritt auf deren Zusammenspiel konzentriert.

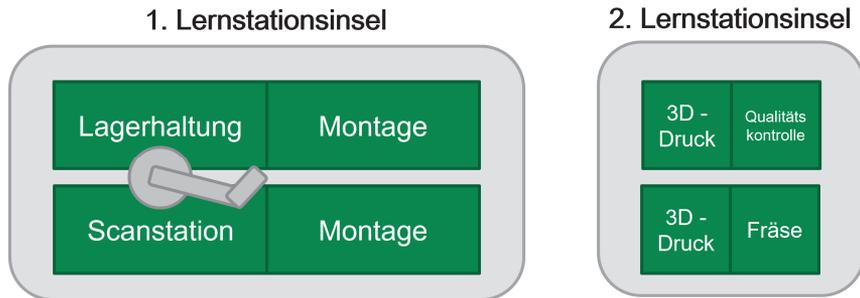
### Der Kern des LifeLab: Die Gestaltung der zirkulären Produktentstehung

Die Lernumgebung soll Rahmen der Veranstaltungen „Rechnerintegrierte Fertigung“ und „Rechnerintegrierte Produktentwicklung“ eingesetzt werden. Das Produkt, das zur Demonstration der verschiedenen Prozessschritte und ihrer Interaktionen verwendet wird, ist die in Abbildung 1 dargestellte Produktplattform eines Rovers.



**Abbildung 1:** Produktplattform des Rovers

Die Produktplattform des Rovers wird im Rahmen der Lernfabrik vervollständigt, sodass ein fahrtüchtiger Rover entsteht. Die Plattform bestehend aus einem ungeformten Lochblech und drei Rädern. Zur Vervollständigung werden Varianten von gebrauchten Motoren vorgegeben, welche durch die Anwender der Lernfabrik integriert werden sollen. Durch die Verwendung der Elektromotoren sollen die realitätsgetreuen Herausforderungen nachgebildet werden, die bei der Integration von gebrauchten Komponenten in neuen Produktgenerationen entstehen. Die Produktplattform durchläuft im Rahmen der Lernfabrik mehrere Lernstationen.



**Abbildung 2:** Aufteilung der Lernstation durch zwei Lernstationsinseln

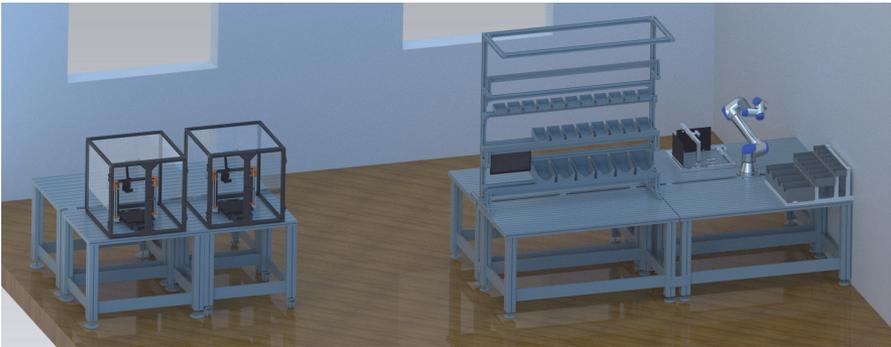
Die Lernfabrik besteht aus zwei Lernstationsinseln, siehe auch Abbildung 3. Die erste Lernstationsinsel ist mit einem kollaborativen Roboterarm ausgestattet der auf der Titelseite des Artikels dargestellt ist. Des Weiteren sind zwei Montageplätze, eine Scannerstation und eine Lagerstation vorgesehen. Die Montagestationen werden durch Monitore ergänzt, wodurch eine computergestützte assistierte Montage ermöglicht wird. Die Scanstation identifiziert mit drei Tiefenkameras gebrauchte Bauteile, welche anschließend vom Roboterarm in die Lagerstation befördert werden. Die zweite Lernstationsinsel umfasst zwei 3D-Drucken sowie eine Station für die Qualitätssicherung der gedruckten Bauteile. Die Station „Fräse“ umfasst eine Spannvorrichtung um Rohlinge, ähnlich wie in einer CNC-Fräse einzuspannen. Der Bearbeitungsprozess des Rohlings wird mithilfe einer Argument-Reality-Brille simuliert.

### Die Lernumgebung: Ein innovatives Lernkonzept

Die Grundlage jeder Lernstation bildet eine Lernprozesskarte. Diese dienen dem Anwender der Lernstationen als Hilfsmittel für die Nutzung der jeweiligen Lernstation. Die Lernprozesskarte enthält neben einer ausführlichen Beschreibung der Lernstation, Lernziele, Lernzielüberprüfungen, Arbeitsabläufe und weiterführende Literatur. Im LifeLab arbeiten die Studierenden in Gruppen an verschiedenen Stationen der Lernfabrik, die industrielle Aufgabenfelder wie Fertigung, Montage und Produktionsplanung widerspiegeln. An diesen Stationen werden sie mit realen Herausforderungen der Kreislaufwirtschaft konfrontiert und erlernen praxisnahe Lösungsansätze, um auch bei schwankenden Komponentenangeboten konstante Produktergebnisse zu erzielen. Das LifeLab stützt sich auf eine mehrschichtige Lernstrategie, um Studierenden sowohl theoretisches Wissen als auch praktische Erfahrungen zu bieten. Im Rahmen der Lernumgebung gibt es folgende Lernstationen, die sich an den Lernprozesskarten orientieren:

- **CAD-CAM-Prozessplanung:** Dieses Expertenteam fokussiert sich auf die Entwicklung und Implementierung von Computer-Aided Design und Computer-Aided Manufacturing Prozessen. Studierende lernen, wie sie CAD-Modelle erstellen und diese in CAM-Systemen zur Programmierung von Maschinenabläufen nutzen, um die Herstellung von Bauteilen effizient zu gestalten.
- **Digitale Produktionsplanung:** Hier wird die digitale Planung und Kontrolle von Produktionsabläufen im industriellen Kontext vermittelt. Die Studierenden sind gefordert, Produktionsressourcen zu organisieren und Prozesse zu optimieren, um eine ressourcenschonende und wirtschaftliche Fertigung sicherzustellen.
- **Montageplanung und assistierte Montage:** Diese Station bietet Einblicke in die strategische Planung von Montagevorgängen sowie in Techniken zur Unterstützung und Automatisierung der Montage von komplexen Baugruppen.
- **Additive Fertigung und Qualitätssicherung:** An dieser Station erlernen Studierende die Prinzipien der additiven Fertigungstechniken, insbesondere FDM, und deren Anwendung zur Herstellung von Komponenten. Ein gleichzeitiger Fokus liegt auf der Entwicklung und Implementierung von Qualitätssicherungsmaßnahmen, um die Einhaltung von Designanforderungen und Toleranzen sicherzustellen.

Die Lernumgebung, die die Integration gebrauchter Komponenten in neue Produktgenerationen praxisnah darstellt, wird mit vier Teilnehmergruppen betrieben. Diese Gruppen bekommen jeweils eine Lernprozesskarte und arbeiten an einer der genannten Lernstationen. Für den Betrieb der Lernumgebung ist die Teilnahme von mindestens zwölf Studierenden erforderlich, die sich nach dem Studium der theoretischen Grundlagen in Expertenteams aufteilen. Diese Teams spezialisieren sich auf unterschiedliche Themen, damit ein umfassendes Verständnis der jeweiligen Prozesse erlangt wird. Der Betrieb der Lernumgebung wird durch den Einsatz von Lernprozesskarten organisiert, die den Studierenden helfen, spezifische Lernziele zu erreichen und praktische Fähigkeiten zu erwerben. Ein Beispiel für die praktische Anwendung ist das Kennenlernen der additiven Fertigung durch die Nutzung von 3D-Druckern. Ziel ist es, den Studierenden die Kompetenzen zu vermitteln, die benötigt werden, um die Herausforderungen nachhaltiger Produktionsprozesse zu bewältigen und innovative, ökologisch verträgliche Lösungen zu entwickeln. Die Tische der Lernstationen sind mit Nuten versehen, sodass ein flexibler Aufbau der Lernstationen gewährleistet wird. Das LifeLab wird ein vollständiges, detailliertes CAD-Modell erstellt. Diese CAD-Modelle bilden die Grundlage für weiterführende Forschungsaktivitäten. Das Fernziel ist dabei die Lernumgebung als Digitalen Zwilling abzubilden. In Abbildung 3 sind die zwei Lernstationsinsel der Lernfabrik als CAD-Modell dargestellt.



**Abbildung 3:** CAD-Modell der Tische der Lernstationen

Diese digitale Abbildung ermöglicht es in weiteren Forschungsarbeiten, reale Produktionsprozesse und Produktentwicklungen virtuell zu simulieren, wodurch Studierende und Forschende in Echtzeit auf verschiedene Szenarien und Variablen reagieren können. Der digitale Zwilling dient nicht nur als didaktisches Instrument, sondern auch als Plattform für die Erprobung neuer Technologien und Methoden im Kontext der Kreislaufwirtschaft. Darüber hinaus bietet er die Möglichkeit, Daten in einem kontrollierten Umfeld zu sammeln und zu analysieren, welche die Entwicklung innovativer Lösungen zur Integration gebrauchter Komponenten in neue Produktgenerationen fördert. Dieses flexible und erweiterbare Modell des LifeLabs steht für kollaborative Projekte offen und lädt zur kontinuierlichen Erforschung und Optimierung von Produktions- und Planungsprozessen ein.

## Zusammenfassung

Das Projekt LifeLab steht am Anfang seiner Umsetzung und ist darauf ausgelegt, zu Beginn des Sommersemester 2025 seinen Betrieb aufzunehmen. Die nächsten Schritte umfassen die detaillierte Ausarbeitung der physischen Infrastruktur der einzelnen Lernstationen sowie die Durchführung erster Testszenarien mit Studierenden. Das Ziel ist die optimale Lehrbetriebskonzeption für die Lernumgebung, um die zukünftigen Ingenieure auf eine innovative und nachhaltige Weise auszubilden.

## Literatur

- /1/ Tisch, M.; Ranz, F.; Abele E.; Metternich J.; Hummel, V.: „Learning Factory Morphology – Study Of Form And Structure Of An Innovative Learning Approach In The Manufacturing Domain“, *Turkish Online Journal of Educational Technology*, Bd. Special Issue, S. 356–363, Aug. 2015
- /2/ Mogos, M.; Vildåsen, S.; Sørumsbren-Den, J.; Powell, D.: „Rethinking Circular Business Models: The Role of the Learning Factory“, Sep. 2021