Sachbericht Teil II - ProCom Automation

Vorhaben: WIR! – LASER.region.AACHEN – Kombinierte Laserverfahren in der industriellen Fertigung; TP6: Prozesserfassung und Datenaufbereitung

FKZ: 03WIR4604F **Berichtszeitraum:** 01.01.2023 – 31.12.2024

Ausgangssituation und Aufgabenstellung

Einzelne laserbasierte Produktionsprozesse, welche derzeitig in der Industrie Anwendung finden, haben durch vorangegangene Forschungsarbeiten und gemeinsame Entwicklungen von Forschungspartnern und Unternehmen Marktreife erlangt. Teilweise werden sie auch in verschiedenen Prozessketten sequenziell kombiniert. Eine ausführliche und systematische Betrachtung der Schnittstellen verschiedener laserbasierter Fertigungstechniken fehlt jedoch. Zwar gibt es erste Ansätze im Bereich der Prototypenentwicklung, diese sind aber eher als Konzept-Studien zu verstehen, und geben keinen Einblick in kritische Schnittstellenbereiche. Ziel ist es daher, die verschiedenen Laserverfahren, welche durch das vielseitige Partnerkonsortium abgebildet werden, zu kombinieren und mögliche technische Hindernisse an den Schnittstellen zu überwinden. Gerade die LASER.region.AACHEN (LrA) öffnet dafür große Chancen, da hier Hersteller und Partner aus verschiedenen Prozessschritten zusammentreffen. Damit wird die Fähigkeit zur Zusammenarbeit gestärkt und neue Verfahrenskombinationen können entstehen. So sollen Synergien geschaffen und besser genutzt werden, um die regionale Innovationsfähigkeit zu stärken.

Im Forschungsvorhaben soll ein Überblick über die Datenformate, sowie die relevanten Eingangs- und Ausgangsgrößen der verschiedenen Laserprozesse in der LrA gewonnen werden. Außerdem sollen vorhandene Limitationen und Hindernisse in der möglichen Zusammenarbeit erhoben werden. Forschungsbedarf besteht in der möglichst nahtlosen Integration, sowohl den Informationsfluss betreffend als auch technisch. Die Hersteller kennen ihre eigenen Lasermaterialprozesse am besten und können dabei unterstützen, die relevanten Analysekriterien zur Bewertung der Eingangs- und Ausgangsgrößen aufzustellen. Auf diese Weise können sinnvolle Verfahrenskombinationen ermittelt und hinsichtlich ihrer Durchführbarkeit bewertet werden. Ziel ist eine Sammlung aussichtsreicher neuer Verfahrenskombinationen in der LrA, welche einen Mehrwert in den anstehenden Forschungsprojekten sowie im bestehenden Marktumfeld der beteiligten Partner schaffen kann.

Der im Gesamtvorhaben verfolgte Lösungsweg lässt sich in zwei wesentliche Handlungsstränge unterteilen: „Informationsfluss und Datenformate“ und „Technische Schnittstellenproblematiken“. Der Fokus lag dabei auf dem ersten Handlungsstrang und

auf einer umfassenden Erhebung der Datenformate, die von den einzelnen Partnern der Lasermaterialbearbeitung verwendet und benötigt werden. Die jeweiligen Eingangs- und Ausgangsgrößen sollten bestimmt werden. Für die im zweiten Handlungsstrang adressierten Schnittstellenproblematiken waren neben den relevanten Prozessdaten weitere Daten (u. A. Datenformate, benötigte und erzeugte Daten) zu erheben.

Inhalt und Ergebnisse der durchgeführten Arbeiten

Erfassung der Prozesse und Verfahren in der Region

Spezifikation der Bewertungskriterien

Gemeinsam mit den beteiligten Partnern wurden Vergleichskriterien definiert, die sich für eine Charakterisierung der Einzelprozesse eignen. Die Hersteller kennen ihre eigenen Lasermaterialprozesse am besten und können daher genau bestätigen, welche Analysekriterien zur Bewertung der Eingangs- und Ausgangsgrößen besonders relevant sind. In Workshops wurden die notwendigen Informationen zur Bewertung der Schnittstellen für die Erfassung, Aufbereitung und Darstellung der Prozessinformationen gesammelt. Alle relevanten Kriterien wurden in einem Prototypen einer Prozesslandkarte zur Laser.region.AACHEN festgehalten.

Erfassung der Einzelprozesse

Unter Zuhilfenahme eines Fragebogens und von Workshops mit Projektpartnern wurde eine Liste der regionalen Lasermaterialverarbeitungsverfahren erstellt. Die Befragungen zielten darauf ab, die unterschiedlichsten Leistungen und Prozesse der LrA-Partner so gut wie möglich vergleichbar zu machen. Dabei wurden die zuvor in AP1.1 definierten Prozesseingangs- und Ausgangsgrößen erfasst sowie weitere Informationen zur jeweiligen Prozess-Maschine-Kombination erhoben. Dazu gehören, neben den Kontaktdaten des jeweiligen Unternehmens, Angaben zu vor dem Prozess benötigten Daten, das zugrunde liegende Dateiformat, die während des Prozesses erstellten Daten, etwaige Größenbeschränkungen der Datei sowie eine generelle Abfrage der Schnittstellen, die im Prozess zur Anwendung kommen.

In Einzelgesprächen wurden weitere Daten zu den von den Bündnispartnern der Laser.region.AACHEN angebotenen Lasermaterialverarbeitungsverfahren erhoben und gemeinsam mit den bereits erhobenen Daten in einen Datensatz überführt.

Als Vorbereitung auf die Darstellung und Aufbereitung der Daten wurde der Datensatz in eine Datenbank übertragen und die Erfassung der Prozessdaten erfolgte daraufhin leichter zugänglich über ein webbasiertes Formular. Die Datenerfassung ist somit robuster gegenüber Eingabefehlern seitens der Benutzer und kann bei Bedarf leicht angepasst werden.

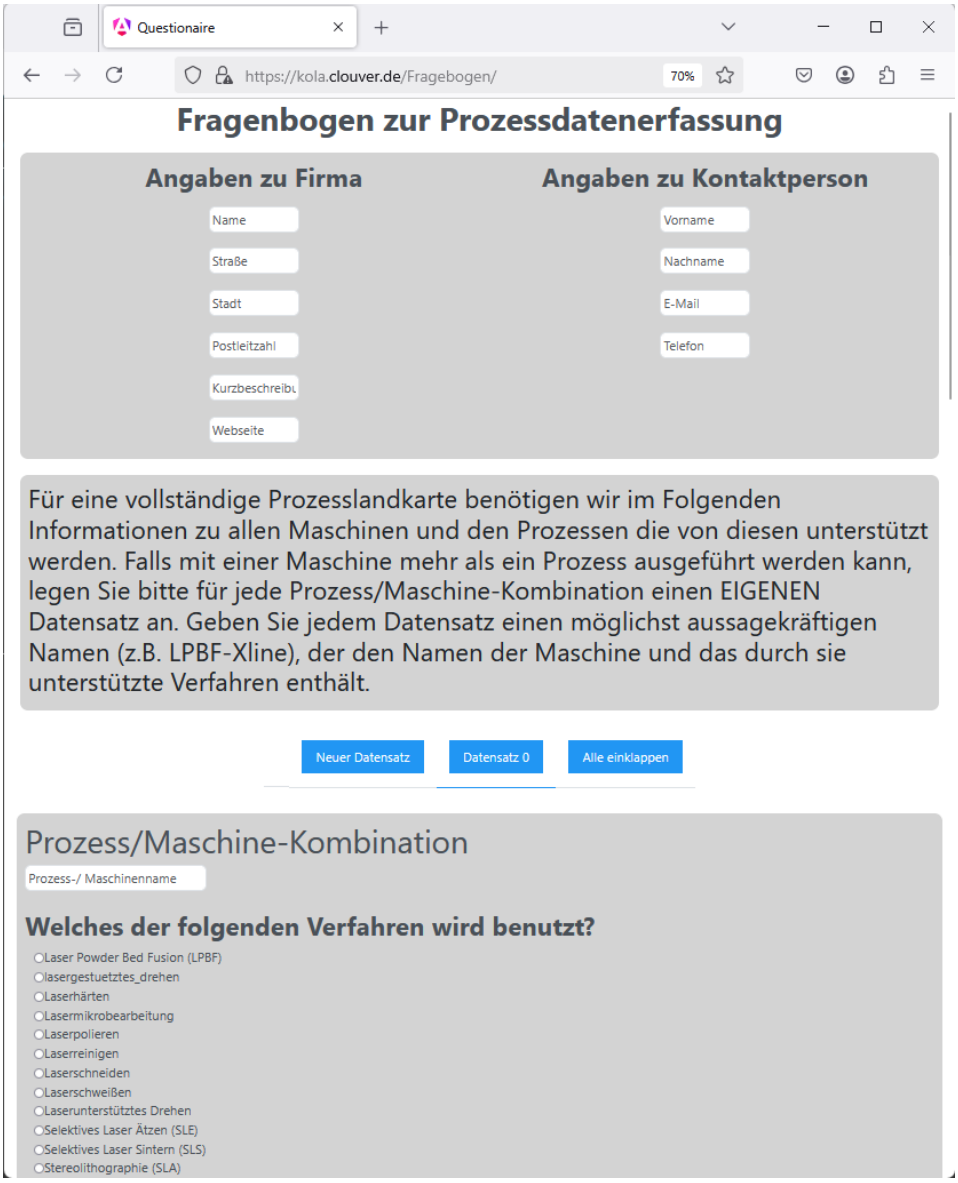

Abbildung 1: Ausschnitt der ersten Version des Abfrageformulars: Daten konnten hier jedoch nur einmal abgeschickt und nicht mehr nachträglich verändert werden, kein Zugriffsschutz durch Dritte

Zur Vermeidung eines unbeabsichtigten Zugriffs auf die Daten durch Dritte wurde das Formular mit einem Passwortschutz versehen. Dies trug auch zur Erhöhung der Akzeptanz durch die befragten/potenziell teilnehmenden Unternehmen bei. Die Datenbank enthält Informationen über die unterstützten Verarbeitungsprozesse, deren mögliche Kombinierbarkeit innerhalb einer Prozesskette von Lasermaterialverarbeitungsverfahren, sowie spezifische Eigenschaften der individuell angebotenen Prozesse. Eine vollständige Auflistung der Merkmale und ihrer Ausprägungen kann nachstehender Liste entnommen werden.

Verfahren/Prozesskategorie

- Laser Powder Bed Fusion
- Lasergestütztes Drehen
- Laserhärten
- Lasermikrobearbeitung
- Laserpolieren
- Laserreinigen
- Laserschneiden
- Laserschweißen
- Laserunterstütztes Drehen
- Selektives Laserätzen (SLE)
- Selektives Lasersintern (SLS)
- Stereolithographie (SLA)

Werkstoff

- Aluminiumlegierungen
- Edelmetalle
- Gesinterte Hartmetalle
- Glas-Werkstoffe
- Gusseisen
- Keramikwerkstoffe
- Kristalline Werkstoffe (u.a. Silizium)
- Kunststoffe
- Kupfer
- Naturwerkstein
- Ni-Basis Werkstoffe
- Nichtrostender Stahl
- PA-12
- Polypropylene
- Titanlegierungen
- Werkzeugstahl

Bauteilspezifikation und Anlagentechnik

- Unterstützte Bauteilmaße: Länge, Breite, Höhe, ggf. Durchmesser
- Erreichbare Fertigungspräzision
- Aufbau-, Flächen- und Abtragsrate
- Bauteilkomplexität: 2D, 2.5D, 3D, Bohrungen, innenliegende Strukturen

Verfahren und Verfahrensparameter

- Eingesetzte Schutzgase: Argon, CO_2, Druckluft, Helium, N_2, O_2, Vakuum

- Verwendete Optiken: Festoptik, Scanner, Scanner mit Fokussierlinse
- Angaben zur Strahlquelle:
    - Lasermodus: Gepulst, kontinuierlich
    - Lasertyp: CO_2-Laser, Diodenlaser, Faserlaser, Festkörperlaser, Scheibenlaser
    - Intensitätsverteilung: Gauß, Ring, Top-Hat

Ausgangsgrößen

- Erreichbare Materialzustände nach der Verarbeitung: schweißbar, wärmebehandelt, gehärtet, oxidiert, amorph, kristallin, hochreflektive Oberfläche, aktiviert, entschichtet, gereinigt, mikrostrukturiert, poliert
- Denkbare nachgelagerte Prozesse: Siehe „Verfahren/Prozesskategorie“

Zur Ermittlung der Anforderungen an eine digitale Schnittstelle wurden für jede Prozess-Maschine-Kombination zusätzliche Daten erhoben:

- Benötigte Daten vor dem Prozess
- Zugrunde liegendes Dateiformat
- Während des Prozesses erstellte Daten
- Etwaige Größenbeschränkungen von Dateien
- Beschreibung der Schnittstellen, die im Prozess zur Anwendung kommen

Prozesslandkarte

Als Grundlage für die zu realisierende Prozesslandkarte diente ein Datenmodell. Um dieses zu erstellen, wurden die Schnittstellen und benötigten Prozesseingangs- und -ausgangsgrößen hinsichtlich ihrer Relevanz und Vergleichbarkeit für eine Verarbeitung und Darstellung auf einer Web-Plattform eingeordnet.

Prozesseingangsgrößen

Verfahren/Prozesskategorie

Zur Umschreibung der durchzuführenden Fertigungsaufgabe kann eine passende Prozesskategorie aus den Verfahrensgruppen Urformen, Umformen und Trennen ausgewählt werden.

Werkstoff

Die Art des **zu bearbeitenden Materials** kann sehr entscheidend für die Durchführbarkeit eines Prozessschritts sein und stellt daher bei der Charakterisierung der Bearbeitungsaufgabe ein wesentliches Kriterium dar. Da theoretisch beliebig viele unterschiedliche Werkstoffe angefragt werden können, muss dieses Merkmal als erweiterbare Liste geführt werden. Um dennoch eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen

und z.B. redundante Dateneinträge, die sich nur in der Schreibweise unterscheiden zu vermeiden, stehen die bereits bekannten Materialen direkt zur Auswahl

Bauteilspezifikation und Anlagentechnik

Bauteilabmessungen lassen sich exakt und quantitativ angegeben. Die Werte Länge, Breite und Höhe bzw. Länge und Durchmesser eignen sich gut, um in einem ersten Schritt alle Maschinen herauszufiltern, die generell für eine Bearbeitung des Halbzeugs infrage kommen. Beim Abgleich der Eingangswerte mit den Maschinenspezifikationen gilt es zu beachten, dass in der Regel Maschinen mit einem kubischen Arbeitsbereich auch Halbzeuge/Produkte bearbeiten können deren Durchmesser kleiner gleich der größeren Seitenlänge der Maschine ist, während Maschinen mit zylindrischem Arbeitsbereich nur zylindrische Bauteile bearbeiten können oder solche, deren Seitenmaße gänzlich in den Zylinder passen. Auch die potenziell uneindeutige unterschiedliche Verwendung der Felder für Länge, Breite und Höhe muss beim Abgleich berücksichtigt werden, um nicht unbeabsichtigterweise eigentlich geeignete Maschinen aus der Auswahl möglicher Bearbeitungsstationen zu entfernen.

Die **Fertigungspräzision** kann ähnlich den maximal möglichen Bauteilabmessungen ein Ausschlusskriterium sein. Sie lässt sich quantitativ beschreiben und eignet sich daher gut als Auswahlkriterium für mögliche Prozesse. Anders als die Bauteilabmessungen ist die Angabe einer geforderten Präzision aber nicht zwingend erforderlich und sollte daher auf Seiten der Eingangsgröße nur optional sein.

Die Merkmale **Aufbaurate, Flächenrate, Abtragsrate** und ihre Relevanz hängen stark vom betrachteten Verfahren ab. Je nach Verfahren ist i. d. R. nur die Angabe eines dieser Merkmale sinnvoll. Daher werden sie nur für die Anzeige und Beschreibung möglicher Prozess-Maschine-Kombinationen verwendet und nicht als Filterkriterium zur Verfügung gestellt.

Die Einordnung als **2D-, 2.5D- oder 3D-Bauteil** ist mit den gängigen Definitionen hinreichend eindeutig für die Vergleichbarkeit zwischen Anforderung und Erfüllbarkeit. In der Regel lässt sich an der Achs-Kinematik der Maschine einfach ableiten, welche Bearbeitungsmodi möglich sind. Zwar gibt es theoretisch weitere Detaillierungsmöglichkeiten wie z.B. die Angabe der maximalen Schwenkwinkel von Achsen (und damit Limitationen bei der Bearbeitung von Fasen o. Ä.), allerdings würde dies zu einer überproportional hohen Verkomplizierung der Vergleichbarkeit führen, weswegen die Abfrage der Bauteilkomplexität bzw. die Filterfunktion sich auf die genannten Bearbeitungsmodi beschränkt.

Bezüglich des Merkmals **Bohrungen** können sowohl qualitative Aussagen (vorhanden/nicht vorhanden) als auch quantitative Aussagen (Bohrungsdurchmesser) getroffen werden. Aus Prozesssicht (und zum Ableiten der benötigten Werkzeuge/Verfahren) und unter der Prämisse der Vergleichbarkeit interessieren hier

aber nur der größte und der kleinste Bohrungsdurchmesser, sodass sich mit drei Attributen (Bohrung vorhanden?, Minimaler Bohrungs-Durchmesser, maximaler Bohrungs-Durchmesser) die Merkmalsausprägungen in erster Näherung hinreichend genau bestimmen lassen. Aus Gründen geringerer Relevanz der Bohrlochgröße wurde für die Erhebung der Daten für die Prozesslandkarte ausschließlich die binäre Aussage „Bohrungen ja/nein“ berücksichtigt.

Das Merkmal „**Innenliegende Strukturen**“ ist im Vergleich zu den bereits genannten Bauteilspezifikationen am schwierigsten abzugrenzen und unterliegt einem gewissen Interpretationsspielraum, der nur durch eine Vielzahl von Kriterien und damit letztendlich nur durch aufwändige Algorithmen verkleinert werden kann. Auch wenn eine freitextliche Beschreibung der Geometrie (und damit eine bessere Einordnung der Maschinen/Prozess-Eignung denkbar ist), so werden hier als einzige mögliche Merkmalsausprägungen „vorhanden“ bzw. „nicht vorhanden“ gewählt. Selbst dieser qualitative und damit vergleichbare Wert kann aus den genannten Gründen nur als schwaches Kriterium herangezogen werden.

Eingesetzte Schutzgase und verwendete Optiken

Die Angabe der eingesetzten Schutzgase sowie der verwendeten Optiken unterliegt keinem Interpretationsspielraum und kann daher regulär als Liste erfolgen. Redundanzen sind aufgrund der Eindeutigkeit sehr unwahrscheinlich und die Angaben eignen sich gut als Filterkriterium innerhalb der Prozesslandkarte.

Angaben zur Strahlquelle

Die Strahlquelle wird über die Merkmale Lasermodus, Lasertyp und Intensitätsverteilung charakterisiert und ist damit hinreichend beschrieben.

Prozessausgangsgrößen

Erreichbare Materialzustände nach der Verarbeitung

Die Kenntnis der nach dem Bearbeitungsprozess vorliegenden Materialzustände ist wichtig, um diese bei der Abbildung einer möglichen Prozesskette mit den Vorbedingungen nachgelagerter Prozesse abgleichen zu können.

Nachgelagerte Prozesse

Für eine Darstellung mitunter firmenübergreifender Prozessketten muss die Angabe von Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen möglich sein. Aus diesem Grund können hier mögliche nachfolgende Verfahren angegeben werden. [1]

[1] Die Behandlung nachgelagerter Prozesse als 1:1-Beziehung zu einem Datensatz warf im Verlauf des Projekts Probleme auf, die bis zum Ende der Projektlaufzeit nicht vollständig gelöst werden konnten. Näheres dazu findet sich im Kapitel Hindernisse und Forschungsbedarf.

Einheitliche Aufbereitung und Bereitstellung der erhobenen Daten

Die Daten aus der Erfassung der Einzelprozesse wurden mit den Angaben zu den Leistungsangeboten der Bündnispartner sowie deren Kontaktdaten verknüpft und zunächst in einer ersten Version einer interaktiven Prozesslandkarte zur LASER.region.AACHEN visualisiert (vgl. Abbildung 2).

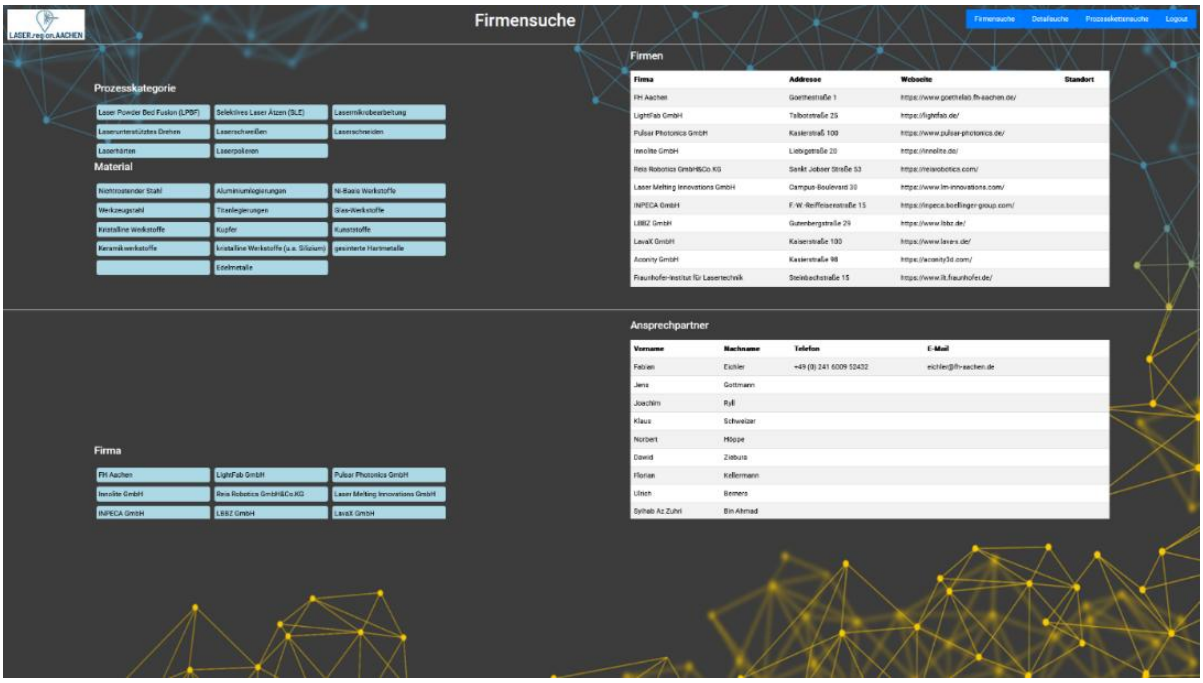

Abbildung 2: Erste Web-Version der interaktiven Prozesslandkarte inkl. eingeschränkter Filterfunktion

In dieser ersten Variante konnten bereits prototypisch einige Filter-Kriterien angewandt werden, jedoch war aufgrund einer noch engen Kopplung zwischen Frontend (d.h. der Benutzeroberfläche) und Backend (Anwendungslogik) die Erweiterungsmöglichkeiten der Prozesslandkarte um zusätzliche Funktionen bzw. während der Laufzeit immer wieder nötigen Änderungen der Datenstruktur eingeschränkt. Zudem waren Website und Datenbank auf einem lokalen Server der Firma gehostet und damit anfällig gegenüber Ausfällen und theoretisch auch Datenverlusten. Aus den genannten Gründen wurde für eine finale Version die Plattform neu entworfen.

Konzeption einer langlebigen Web-Plattform mit integrierter Prozesslandkarte

Für den erfolgreichen Einsatz einer regionsübergreifenden Plattform, welche als Prozesslandkarte für in der Region Aachen verfügbare Laser-Prozesse – auch über die Projektlaufzeit hinaus – dienen kann, müssen mehrere Anforderungen erfüllt werden. Zum einen soll sie eine standort- und unternehmensunabhängige Vernetzung der einzelnen Laserverarbeitungsprozesse (Prozesslandkarte) ermöglichen, zum anderen müssen die der Prozesslandkarte zu Grunde liegenden Datensätze ohne zusätzliche

Anleitung oder Schulung durch die Unternehmen eigenständig angelegt und bei Bedarf erweitert werden können.

Für die Konzeption der finalen Web-Anwendung wurden daher konkret folgende Kriterien definiert:

- Zugänglichkeit: Eine ansprechende, intuitiv bedienbare Benutzeroberfläche die den Benutzer zugleich bestmöglich vor Fehleingaben schützt.
- Verfügbarkeit: Die Plattform sollte im Idealfall unterbrechungsfrei verfügbar und erreichbar sein.
- Skalierbarkeit: Die geschaffene Lösung sollte so konzipiert sein, dass auch eine größere Anzahl an Teilnehmern schnell aufgebaut und sicher verwaltet werden kann.
- Wandlungsfähigkeit: Geänderte Anforderungen (z.B. neue Technologien, neue Datenformate oder nachträglich als notwendig oder wünschenswert eruierte Verknüpfungsmöglichkeiten innerhalb der Prozesslandkarte) sollten mit vertretbarem Aufwand realisierbar sein.
- Absicherung gegen Datenverlust: Ein Datenverlust wäre abgesehen von der damit einhergehenden Einschränkung der Funktionalität der Plattform auch sehr abträglich für die Motivation der Teilnehmer, erneut Informationen einzugeben und ist daher bestmöglich zu vermeiden.
- Schutz persönlicher und firmeninterner Daten: Die erfassten Rohdaten sollten nicht frei zugänglich sein, sondern nur unter Zuhilfenahme der Benutzeroberfläche und entsprechend angelegter Filter und Ansichten. Eine Änderung bestehender Datensätze darf insbesondere nur durch die zugehörige Firma möglich sein.
- Portierbarkeit: Die im Projekt entwickelte Lösung sollte nach Abschluss des Projekts losgelöst vom Entwickler (ProCom Automation) fortbestehen können.

Für eine einheitliche Aufbereitung und Darstellung der Informationen wurde mit Hilfe der formulierten Anforderungen eine Web-Anwendung entwickelt, mit der die benötigten Daten auf einfache und zugängliche Art erhoben und bereitgestellt werden können (vgl. Abbildungen 4 und 5). Mit dem Tool lassen sich sehr einfach die relevanten Informationen filtern und übersichtlich darstellen, sodass der Nutzer mit wenig Aufwand für ein geplantes Produkt die benötigten Informationen über mögliche Produktionsstätten bzw. deren Einschränkungen erlangen kann. Um unerlaubten Zugriff durch nicht autorisierte Personen zu unterbinden ist die Web-Anwendung passwortgeschützt. Der Zugriff auf die Daten erfolgt über eigene Firmenprofile, für die bei Bedarf auch mehrere Nutzer angelegt werden können (vgl. Abbildung 3).

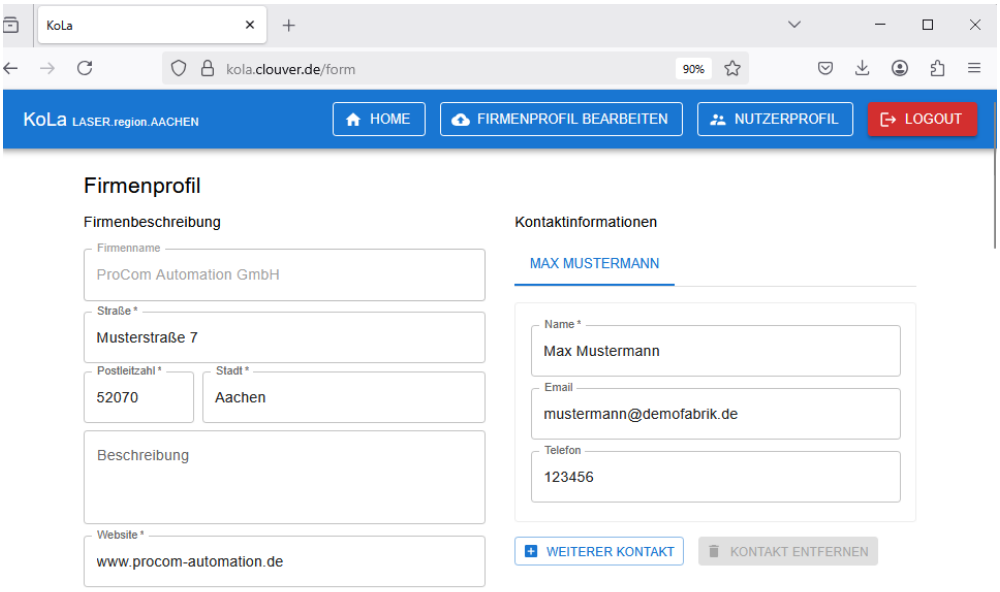

Abbildung 3: Ausschnitt der finalen Version des Abfrageformulars: Über das passwortgeschützte Firmenprofil können die firmeneigenen Datensätze direkt angelegt und jederzeit editiert werden

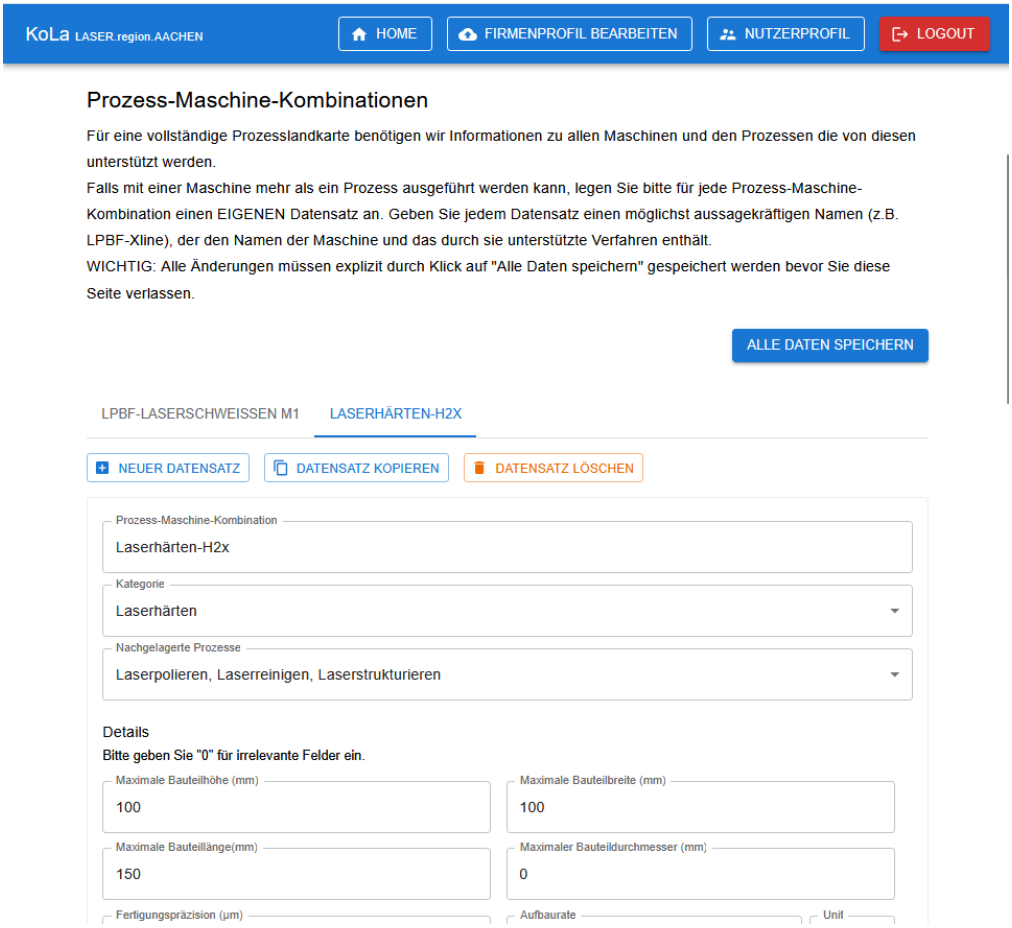

Abbildung 4: Ausschnitt aus Online-Formular zur Abfrage der relevanten Daten zu den jeweiligen Einzelprozessen

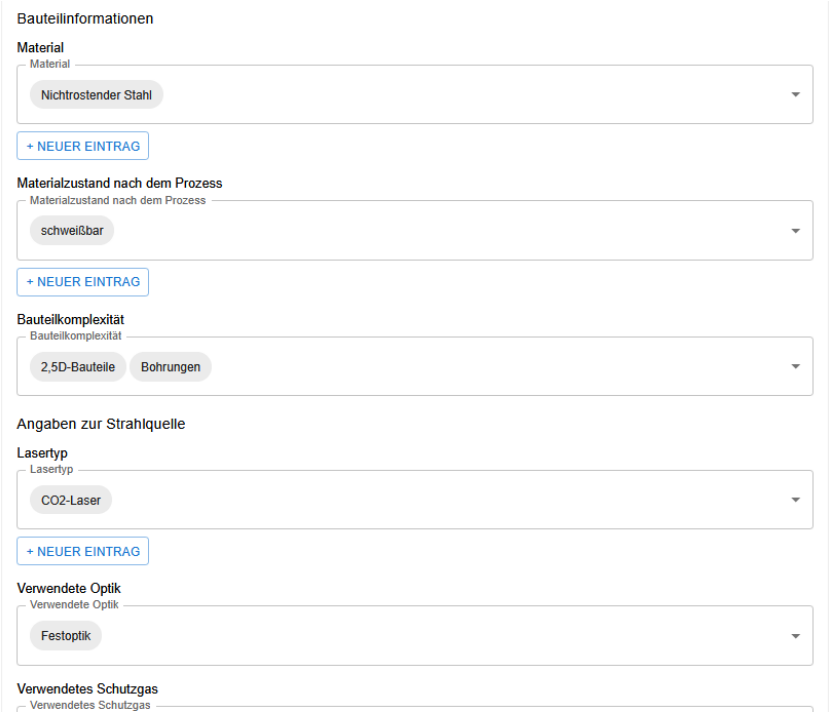

Abbildung 5: Ausschnitt aus Online-Formular zur systematischen Beschreibung eines Verfahrensschritts

Die Prozesslandkarte erlaubt sowohl die Suche nach Bündnispartnern aus der Laser.region.AACHEN anhand von unterstützten Prozessen und verarbeitbaren Materialien als auch eine erweiterte detailliertere Suche entsprechend den Eigenschaften der angebotenen Prozesse (vgl. Abbildung 6). Zudem lassen sich hier interaktiv die möglichen Prozesskombinationen der angebotenen Verfahren und Dienstleistungen in der Laser.region.AACHEN erfahren und man erhält einen prozessorientierten Überblick über das Angebot der Bündnispartner.

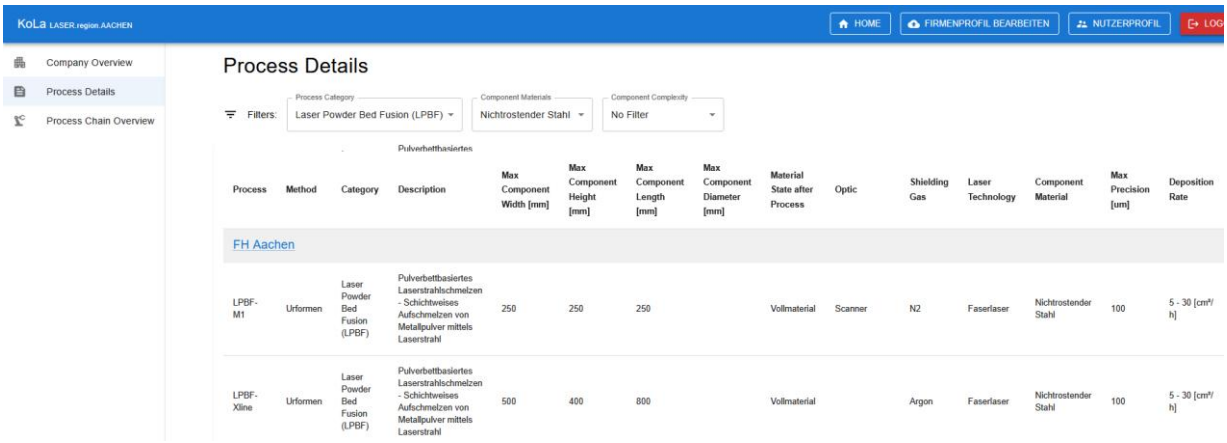

Abbildung 6: Ausschnitt aus Übersicht der Prozess-Details einer Firma inkl. erweiterter Filterfunktion

Sowohl die Webseite als auch die Datenbank sind in Microsoft Azure gehostet. Die Datenbank ist dadurch bestmöglich gegen Datenverlust geschützt und kann dadurch einfach verwaltet und portiert werden. Die Website weist die bestmögliche Verfügbarkeit auf und unterliegt nicht dem Risiko des Ausfalls eines lokalen Servers oder dessen Kompromittierung. Durch die Verortung von sowohl Website als auch der Datenbank in der Cloud ist zudem eine gute Portierbarkeit des Systems gegeben und eine Weiterführung bzw. potenzielle Übertragung der Verwaltungsrechte der Plattform z.B. auf eine unabhängige Bündnisinstanz ist somit einfach realisierbar. Die Ausweitung oder gar die Übertragung der Mechanismen der Prozesslandkarte auf andere Technologien ist prinzipiell möglich und trägt zu einer guten Skalierbarkeit des Systems bei.

Hindernisse und Forschungsbedarf hinsichtlich technischer und digitaler Schnittstellen

Großer Forschungsbedarf besteht weiterhin in der möglichst nahtlosen Integration prozessübergreifender Verfahrensschritte. Dabei sind nicht nur technische Hürden zu überwinden, die sich aus den unterschiedlichen Prozessanforderungen ergeben, es muss auch der Informationsfluss angeschaut und optimiert werden.

Ein Hindernis, welches im Rahmen des Projekts identifiziert wurde, stellen die je nach Prozessart unterschiedlichen verwendeten Dateiformate dar. Als Beispiel kann hier das Demonstrator-Bauteil, eine Hinterradschwinge eines Fahrrads, genannt werden. Das dreidimensionale Bauteil wurde von der LaVa-X GmbH herangezogen, um eine Automatisierung und Standardisierung des Laserschweißprozesses für additiv gefertigte LPBF-Bauteile zu prüfen. Ausgehend von der 3D-Darstellung in einem CAM-Programm wurde eine Schweißnahtkontur zunächst in eine Werkzeugbahn überführt und daraus G-Code, d.h. maschinenausführbare Anweisungen, erzeugt. Dieser wiederum musste an die Gegebenheiten der zum Einsatz kommenden Schweißmaschine angepasst werden. Das Beispiel zeigt das Zusammenwirken mehrerer unterschiedlicher Software-Anwendungen und Maschinen die über mehrere (manuelle) Schnittstellen zusammenspielen müssen.

Während die beschriebene Überführung von Geometrien in den eigentlichen Schweißprozess aufwändig sein können und sehr stark von den individuellen Gegebenheiten abhängen kann und damit schwer standardisierbar ist, bietet ein anderes Prozessmerkmal, die Bauteilabmaße, größeres Potenzial für eine durchgehende Automatisierung des Informationsflusses. Zukünftiger Forschungsbedarf entsteht diesbezüglich darin, einen Standard für Meta-Daten zu definieren, mit dem Bauteile unabhängig vom zugrundeliegenden Dateiformat hinreichend genau hinsichtlich ihrer Bauteilgröße charakterisiert werden können. In Zusammenhang mit der in der Prozesslandkarte zur Verfügung stehenden Daten über den unterstützten Arbeitsbereich wäre ein automatisierter Abgleich zwischen Bauteil und zur Verfügung stehenden

Maschinen vorstellbar. Denkbar wäre in diesem Kontext, einen Konverter zu entwickeln, der auf Grundlage von CAD-Dateien automatisch die relevanten Informationen extrahiert. So könnte beispielsweise der Nutzer die Datei des zu fertigenden Produkts hochladen und es würden automatisch die maximalen Bauteil-Abmaße ermittelt und in die Abfrage-Maske der Prozesslandkarte übernommen.

Ein bis zum Ende der Projektlaufzeit nicht vollständig gelöstes Problem stellt die Abbildung der nachgelagerten Prozesse in der Prozesslandkarte dar, da die Abfolge der Prozessschritte nicht zwingend linear ist und es auch Rückbezüge auf vorgelagerte Prozesse geben kann, z.B. mehrfach das Verfahren „Laserreingen“. Zudem können die einem Prozess nachgelagerten Prozesse nur global angelegt werden und nicht individuell durch die einzelnen Firmen ergänzt oder verändert werden. Welche nachgelagerten Prozesse in Frage kommen, ist zudem eigentlich nicht nur vom zugeordneten Verfahren abhängig, sondern vielmehr auch darin bedingt, welche konkrete Prozess-Maschine-Kombination zum Einsatz kommt. Wird aber jeder Datensatz (d.h. Prozess-Maschine-Kombination) mit einer eigenen Liste möglicher nachgelagerter Prozesse angelegt, wächst die Anzahl möglicher Prozesskombinationen überproportional zur Anzahl der Verfahren und eine übersichtliche Darstellung der Prozessketten ist nicht mehr möglich. Im Sinne der Optimierung und damit Erhöhung der Attraktivität der Prozesslandkarte für Bündnispartner sollte dieser Aspekt in zukünftigen Arbeiten eingehend untersucht werden.

Verwendungsnachweis

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit, Ergebnisverwertung nach Projektende

Im Forschungsprojekt wurden eine Datenbank sowie ein webbasiertes Frontend erstellt, die es ermöglichen, die marktüblichen, laserbezogenen Verarbeitungsverfahren in der Region zu erfassen und für eine schnelle Abfrage potenzieller Firmen für Fertigungsvorhaben zu nutzen. Das final realisierte Frontend nutzt React JS, eine moderne JavaScript-Programmbibliothek, die zur Erstellung webbasierter Benutzeroberflächen genutzt werden kann. Die dahinterstehende Architektur weist eine nur sehr geringe Abhängigkeit von den zugrunde liegenden Datenstrukturen auf. Somit sind Komponenten nicht nur flexibel erweiterbar, sondern bei Bedarf auch einfach austauschbar. Dies führt zu einer hohen Wandlungsfähigkeit der Plattform, das heißt, sie kann bei Bedarf mit geringem Aufwand an sich ändernde Prozesse angepasst werden.

Die final realisierte webbasierte Plattform konnte erst kurz vor Projektende fertiggestellt werden, weswegen nur die Bündnispartner einen entsprechenden firmenindividuellen Zugang erhielten. Dennoch lieferte das Feedback der Projektpartner insbesondere Clean-

Lasersysteme und FH Aachen einen wertvollen Beitrag zur Verbesserung der Nutzerfreundlichkeit der Web-Plattform und hat diese zu einem hohen Reifegrad geführt. Die großflächige Verteilung weiterer Zugänge an weitere Bündnispartner aus der Region bedingte dennoch noch einige Anpassungen, um sicherzustellen, dass die Eingabe der Unternehmensdaten und das Anlegen von Datensätzen durch die Unternehmen komplikationsfrei verlaufen können und der Nutzen der Plattform ein Level erreicht, welches den Aufwand für das Anlegen der Datensätze rechtfertigt.

Durch die Verortung von sowohl Website als auch der Datenbank in der Cloud ist eine gute Portierbarkeit des Systems gegeben und eine Weiterführung bzw. potenzielle Übertragung der Verwaltungsrechte der Plattform z.B. auf eine unabhängige Bündnisinstanz ist einfach realisierbar. Die Ausweitung oder gar die Übertragung der Mechanismen der Prozesslandkarte auf andere Technologien sind prinzipiell möglich und tragen zu einer guten Skalierbarkeit des Systems bei.

Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die Entwicklung der IIoT/I4.0 basierten Schnittstellen zur Prozessinteraktion erforderte die Zusammenarbeit mehrerer Partner. Es mussten viele technische Hürden überwunden werden und über das Kerngeschäft hinaus Aufwendungen in Forschung und Entwicklung getätigt werden. Das gegebene Forschungsformat bot hier einen geeigneten Rahmen, um auch technologie- und branchenübergreifend Partner zusammenzuführen. Gerade die LrA öffnete hier große Chancen, da hier Hersteller und Partner aus verschiedensten Prozessschritten zusammentreffen. Der Aufbau eines Netzwerks im Format der LrA und die Realisierung eines solchen Vorhabens hätten jedoch mit Eigenmitteln nicht umgesetzt werden können.

Der Projektverlauf hat gezeigt, dass die Entwicklung der finalen Prozesslandkarte nur in mehreren Schritten und unter Zuhilfenahme der Fördermittel erfolgen konnte. Trotz eingehender Untersuchung der Rahmenbedingungen wurde in einem ersten Schritt eine Excel-Tabelle mit integriertem Datenmodell als hinreichend eingestuft, um die Anforderungen der Abbildung einer komplexen Prozesslandschaft erfüllen zu können. Während die reine Auflistung und Beschreibung der Prozesse und Attribute durch die Partner in der ersten Projektphase (Spezifikation der Bewertungskriterien und Erfassung der Einzelprozesse) noch sinnvoll in Tabellenform möglich war, kam diese Architektur schnell an ihre Grenzen, als es um die einheitliche Aufbereitung und Bereitstellung der Daten ging. Zunächst wurde dies prototypisch ebenfalls in Excel mit Hilfe interaktiver Abfragen und dynamischer Elemente realisiert, jedoch erforderten nachträgliche Änderungen und Erweiterungen im Datenmodell eine Vielzahl manueller Arbeitsschritte. Zudem war die Bereitstellung der Daten mit Hilfe von Excel-Tabellen für die Projektpartner umständlich und ist insbesondere nicht skalierbar, sodass frühzeitig auf eine Alternative gewechselt werden musste. Diese bestand in Form der Überführung der bis dato

erhobenen Informationen in eine Datenbank sowie den Einsatz von Microsoft PowerBI. Damit war zumindest das Problem gelöst, die Daten-Repräsentation für Projektpartner zugänglich und nutzbar zu machen. Für den erfolgreichen Einsatz einer regionsübergreifenden Plattform, welche als Prozesslandkarte für in der Region Aachen verfügbare Laser-Prozesse dienen kann, wurden darüber hinaus die Kriterien definiert: Zugänglichkeit, Verfügbarkeit, Skalierbarkeit, Wandelbarkeit, Datensicherheit, Datenschutz, Portierbarkeit. Deren Berücksichtigung resultierte final in einer ausgereiften web-basierten Plattform mit Datenbank, die sowohl den Anforderungen des Projektes genügt als auch die technischen Voraussetzungen mitbringt, nach Projektende als Prozesslandkarte weiterentwickelt und von neutraler Instanz fortgeführt zu werden.

Während der Projektlaufzeit bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Durchführung des Vorhabens sind dem Zuwendungsempfänger keine thematisch vergleichbaren Projekte bekannt geworden.

Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NKBF/NABF

Die Prozesslandkarte wurde in der nicht finalen Version beim Bündnistreffen der LASER.region.AACHEN, welches im November 2024 stattgefunden hat, den Bündnispartnern vorgestellt. Die finale Version wird auf den einschlägigen sozialen Kanälen (Instagram) sowie der Unternehmens-Website vorgestellt werden.