

Abschlussbericht

des Forschungsprojekts

DPNB

Broker für dynamische Produktionssysteme



Karlsruhe, den 23.12.2021

GEFÖRDERT VOM



BETREUT VOM






Impressum

Abschlussbericht des Forschungsprojekts

"DPNB - Broker für dynamische Produktionssysteme"

Projektlaufzeit: 01.01.2019 - 31.12.2021
Fördermittelgeber: Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)
Förderprogramm: Innovationen für die Produktion,
Dienstleistung und Arbeit von morgen
Förderkennzeichen: 02P17D060 bis 02P17D066

Die Autoren in alphabetischer Reihenfolge:

Dr. Christian Bauer, Klaus Bauer, Sebastian Becker, Lena Bergmann, Manuel Beuttler, Dr. Hans-Peter Bock, Eike Broda , Christoph Bubeck, Johannes Dümmel , Larissa Eger, Tobias Estler, Christian Görg, Marcel Ely Gomes, Antonius Gress, Maren Häusele, Tobias Heller, Sara Hermeler, Jacqueline Höllig, Franziska Kleinmann, Andreas Kraus, Mikael Laensitalo, Thorsten Larsen-Vefring, Thilo Levy, Ming Luo, Hannah Öchsner, Dr. David Sayah , Daniel Vogt, Stefan Wiesner, Kailing Xu.

Kontakt

kontakt@dpnb.de

Veröffentlicht bei der KIT-Bibliothek, Karlsruhe.

DOI 10.5445/IR/1000141238

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm "Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen" gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	v
1 Aufgabenstellung	1
1.1 Problemlage	1
1.2 Verbundprojektziel	2
1.3 Vorgehensweise	2
1.4 Ergebnisverwertung	3
2 Projektpartner	5
2.1 Bedrunka+Hirth	6
2.2 BIBA - Bremer Institut für Produktion und Logistik	9
2.3 Bosch	11
2.4 FZI Forschungszentrum Informatik	13
2.5 IFL	17
2.6 Transport Betz	19
2.7 TRUMPF	20
3 Arbeitspakete	25
3.1 Organisatorisches zur Projektarbeit	25
3.2 Arbeitspaket 1: Gesamtkonzept	28
3.3 Arbeitspaket 2: Modell-Repräsentation und Tooling	37
3.4 Arbeitspaket 3: Network Builder Service	49
3.5 Arbeitspaket 4: Network Integrator Service	56
3.6 Arbeitspaket 5: Assembly Assistant	61
3.7 Arbeitspaket 6: Integrierte Plattform	67
3.8 Arbeitspaket 7: Geschäftsmodelle und Datensouveränität	79
3.9 Arbeitspaket MVP: Minimum Viable Product	88
3.10 Arbeitspaket 8: Iterative Pilotierung	100
3.11 Arbeitspaket 9: Ergebnisverbreitung und Übertragbarkeit	116

4 Zusammenfassung und Ausblick	125
Literaturverzeichnis	127
Abbildungsverzeichnis	139
Tabellenverzeichnis	141

Kurzfassung

Der Broker für dynamische Produktionsnetzwerke (DPNB) ist ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes und durch den Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreutes Forschungsprojekt zwischen sieben Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft mit einer Laufzeit von Januar 2019 bis einschließlich Dezember 2021. Über den Einsatz von Cloud Manufacturing sowie Hard- und Software-Komponenten bei den teilnehmenden Unternehmen, sollen Kapazitätsanbieter mit Kapazitätsnachfrager verbunden werden. Handelbare Kapazitäten sind in diesem Falle Maschinen-, sowie Transport- und Montagekapazitäten, um Supply Chains anhand des Anwendungsfalls der Blechindustrie möglichst umfassend abzubilden. Der vorliegende Abschlussbericht fasst den Stand der Technik sowie die Erkenntnisse aus dem Projekt zusammen. Außerdem wird ein Überblick über die Projektstruktur sowie die Projektpartner gegeben.

1

Aufgabenstellung

Zur Einführung in die Thematik des Forschungsprojekts wird im Folgenden auf die Problemlage, die Verbundprojektziele und die grundsätzliche Vorgehensweise eingegangen. Auch ein erster Abriss zur Ergebnisverwertung wird bereits zum Schluss dieses Kapitels gegeben.

1.1 Problemlage

Vollständig dynamische unternehmensübergreifende Produktionsnetzwerke, die sich je Auftrag anpassen, sind eine Kernvision im Bereich *Industrie 4.0* (siehe Plattform Industrie 4.0, Anwendungsszenarien 2016, Auftragsgesteuerte Produktion 2017), die sich jedoch in vielen Branchen erst mittelfristig realisieren lassen. Doch bereits heute auf dem Weg dorthin werden in weniger dynamischen Supply Chains Produktionskapazitäten im Bereich von Zeichnungs- und Sonderteilen¹ teilweise sehr kurzfristig benötigt: Gründe sind der Ausfall von eigenen Maschinen oder Maschinen eines Zulieferers, der Komplettausfall eines Zulieferers oder auch ein sprunghafter, andauernder Anstieg auf der Nachfrageseite. Einer schnellen Reaktion stehen in diesen Fällen folgende Herausforderungen gegenüber:

- Schnelles Auffinden eines oder mehrerer Zulieferer, die über passende, freie Maschinen- und Montageressourcen verfügen und für die ad-hoc Transportrelationen aufgebaut werden können.
- Hohe manuelle Aufwände bei den häufig knappen Produktionsexperten der Zulieferer zur Erstellung von Anweisungen und Konfigurationen für produzierende Maschinen oder das Anlernen von Werkern für die Montage.

¹Definition: Unter Zeichnungs- und Sonderteilen werden im Antrag Teile verstanden, die auf Basis von technischen Zeichnungen kundenindividuell produziert werden.

- Manuelle und fehleranfällige Einbindung der Zulieferer in Bestell- und Logistikprozesse.
- Fehlende Einbindung der Echtzeitdaten der Zulieferer zur Qualitätssicherung.

1.2 Verbundprojektziel

Der DPNB unterstützt die dynamische Bildung von Produktionsnetzwerken (1.) durch das „Matching“ von Angebot und Nachfrage nach kurzfristigen Produktionskapazitäten, falls nötig unter Bildung von Zuliefernetzwerken bei gleichzeitiger Sicherstellung der nötigen Transportkapazitäten, (2.) durch das „Onboarding der Zulieferer in einem Tag“, d.h. die schnelle Einbindung in den Bereichen Produktion, Logistik und Qualitätssicherung, (3.) und durch die Möglichkeit komplexe Montagetätigkeiten durch ein auf Augmented Reality (AR) Technologien basierendes Assistenzsystem „outsourcingfähig“ zu machen.

Dazu verfügt das erweiterbare System über folgende Kernkomponenten:

1. Network Builder Service: Bildung geeigneter Zuliefernetzwerke basierend auf den Anforderungen der Engpassteile an Maschinen-/Anlagen- bzw. Montagefähigkeiten/-verfügbarkeiten und nötiger (Individual-)Transporte sowie unter Berücksichtigung der Geschäftsmodelle der Anbieter und Nachfrager.
2. Network Integrator Service: Automatisierung der Erstellung von Anweisungen für produzierende Maschinen (z.B. CNC- oder SPS-gesteuerte Anlagen), Blaupausen und die adaptergestützte Einbindung von Zulieferern und Logistikdienstleistern aller Unternehmensgrößen in Bestell- und Logistikprozesse sowie die einfache Anbindung von Echtzeitdatenquellen von Zulieferern und Logistikdienstleistern zur Überwachung von Produkt- und Prozessqualität.
3. Assembly Assistant: Unterstützung komplexer manueller Montageprozesse durch einen Assistenten, der basierend auf AR Technologien Werker beim Montageprozess schrittweise anleitet sowie Fehler erkennt und vermeidet.

1.3 Vorgehensweise

Das auf 36 Monate angelegte Verbundprojekt besteht aus 9 Arbeitspaketen (AP), davon 4 technisch ausgerichtete forschungsnahe Aktivitäten und jeweils ein AP zur Konzeption, Integration, Geschäftsmodellentwicklung, Pilotierung und Ergebnisverwertung. Zur Sicherstellung der Übertragbarkeit werden drei unterschiedliche Anwendungsfälle definiert, die jeweils auf einem konkreten Problem eines beteiligten Unternehmens basieren. Zur schnellen Darstellung der Ergebnisse, auch gegenüber der Fachöffentlichkeit, werden einzelne

Bausteine des Vorhabens schnell und iterativ im Rahmen von „Minimum Viable Products“ entwickelt, sodass sich über die Projektlaufzeit ändernde externe Rahmenbedingungen im Sinne eines agilen Forschungs- und Entwicklungsprozesses berücksichtigt werden können. Das Gesamtvorhaben beruht auf einer Gesamtkonzeption, die auch die Bildung eines allgemeinen, unternehmensübergreifenden und fiktiven Anwendungsfalls als Vision für das gesamte Projektkonsortium unterstützen soll.

Die Dauer des Projekts betrug drei Jahre. Während dieser Zeit fanden insgesamt fünf Treffen des gesamten Projektkonsortiums statt. Den Rahmen des Projekts bildeten eine Kick-Off Veranstaltung am Anfang und eine Abschlussveranstaltung. Außerdem fanden drei Meilensteintreffen statt. Das Projektmanagement wurde von der Robert Bosch GmbH (Bosch) zusammen mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) übernommen. Dies beinhaltete die Planung der Abläufe im Gesamtprojekt sowie die Definition und Organisation der Projektstruktur. Im Rahmen der Organisation der Kick-Off Veranstaltung wurde außerdem die Kommunikationsstruktur definiert und eingerichtet. Diese beinhaltete zweiwöchentliche Regeltreffen auf Arbeitspaket- und vierwöchentliche Treffen auf Arbeitspaketleiter-Ebene. Durch die COVID-19-Pandemie herrschte zunächst Unklarheit über die aktuelle Situation bei persönlichen Treffen. Aus diesem Grund musste das zweite Meilensteintreffen nach der zunächst vorgenommenen Verschiebung virtuell stattfinden. Alle weiteren Treffen fanden ebenfalls virtuell statt. Dadurch wurden weniger Reisen notwendig. Allerdings stieg der Aufwand für die Planung und Durchführung der Veranstaltungen.

1.4 Ergebnisverwertung

Die Partner beabsichtigen, die Ergebnisverwertung im Rahmen von wirtschaftlicher Verwertung, primär getrieben durch die Anwender, wissenschaftlicher Verwertung, primär getrieben durch die teilnehmenden Forschungseinrichtungen sowie gesellschaftlicher Verwertung, von allen Partnern getrieben, durchzuführen.

Im Bereich der wirtschaftlichen Verwertung beabsichtigt TRUMPF, dass Maschinen des Herstellers in die Lage versetzt werden, an automatischen Marktplätzen teilzunehmen und erweitert so das eigene Dienstleistungsportfolio. Bosch wird innerhalb des Vorhabens ebenfalls eine Integration in die Supply Chain-Prozesse anstreben und ggf. auch eine eigene Plattformlösung entwickeln. Auch das KMU Bedrunka+Hirth plant den Vertrieb des Assembly Assistant im Anschluss an das Projekt nach einer Weiterentwicklung der prototypischen Ergebnisse zur Marktreife. Transport Betz beabsichtigt, für spezielle, an übergreifende Kundenanforderungen ausgerichtete Dienstleistungen gegebenenfalls eine spezielle Sonderfahrtenplattform zu entwickeln und diese an das genutzte Inhouse System anzudocken und damit das eigene Dienstleistungsfeld weiter zu spezialisieren. Ebenfalls streben die wissenschaftlichen Partner eine möglichst reife prototypische Umsetzung der entwickelten

Forschungsarbeiten an und planen ggf. die Ausgründung von Spin-Offs zu Teilbereichen des Projekts.

Die wissenschaftliche Verwertung der drei Forschungseinrichtungen, dem KIT, dem Forschungszentrum Informatik (FZI) und dem Bremer Institut für Produktion und Logistik (BIBA), stützt sich auf die Erarbeitung neuer Forschungserkenntnisse und die Vorstellung der resultierenden Ergebnisse auf internationalen Fachkonferenzen, Workshops sowie dem Transfer dieser Ergebnisse in die breite Öffentlichkeit. Im Rahmen von Lehre werden neueste Erkenntnisse in die Hochschullandschaft getragen und tragen damit zur Ausbildung neuer Fachkräfte bei. Schließlich werden die Forschungseinrichtungen FZI und BIBA mit ihrem Technologietransferfokus dazu beitragen, dass weitere Unternehmen, insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) im Rahmen von Transferprojekten im Nachgang des Projekts von den Ergebnissen profitieren.

2

Projektpartner

Das Konsortium besteht aus sieben Projektpartnern, die sowohl die Forschung als auch die Wirtschaft repräsentieren. Dabei bringen die Projektpartner KIT, BIBA und FZI ihre Kompetenzen im Bereich Forschung ein. Gemeinsam mit vier Partnern aus der Wirtschaft wird ein Praxisbezug geschaffen. Mit Bosch ist damit ein Konzern und international führendes Technologie- und Dienstleistungsunternehmen Teil des Projekts. Den Mittelstand vertritt TRUMPF, Markt- und Technologieführer für Werkzeugmaschinen und Laser. Außerdem ist mit Transport Betz ein international agierendes Unternehmen im Bereich Spedition und Logistik Teil des Konsortiums. Mit dem letzten Partner des Konsortiums arbeitet Bedrunka+Hirth als Hersteller für Einrichtungen in Industrie, Handwerk und dem Dienstleistungssektor am Projekt mit.



Abbildung 1: Logos der Projektpartner

2.1 Bedrunka+Hirth

Das KMU Bedrunka+Hirth Gerätebau GmbH produziert mit ca. 110 Mitarbeiter:innen Lager- und Betriebseinrichtungen und arbeitet als Zulieferer von Stahlteilen. Im Vorhaben beschäftigt sich Bedrunka+Hirth mit der technischen Umsetzung des Montageassistenten und tritt als Pilotanwender im Bereich Montage auf.

Im Rahmen des geplanten Verbundvorhabens erfolgte von der Firma Bedrunka+Hirth Gerätebau GmbH zunächst die Entwicklung eines kamera-basierten Montageassistenzsystems. Der Montageassistent kann als Anbieter von Montageressourcen im DPNB auftreten. Um die Auslagerung von komplexen Montagearbeiten künftig einfach zu ermöglichen, leitet der Montageassistent die Werker bei komplexen manuellen Montageprozessen schrittweise an. Konkret wurden Recherchen zum Thema Ergonomie am Arbeitsplatz durchgeführt, ein Mustertisch mit konstruktiven Spezialaufbauten konstruiert und dem Projektkonsortium bereitgestellt. Ebenso wurden Montageanleitungen systemspezifisch erzeugt und mit der Angabe einer Montagereihenfolge bereitgestellt. Im späteren Projektverlauf wurde auch ein Montageassistent, der auf Grundlage der AR-Technologie den Werker anleitet, untersucht. Die oben beschriebenen Arbeiten wurden von zwei Industriemeistern, drei Technikern und einem Maschinenbauingenieur bei Bedrunka+Hirth durchgeführt. Herr Vogt nahm zudem als Projektleiter regelmäßig an den Projektmeetings teil, welche im zweiwöchigen Rhythmus stattgefunden haben.

Als einer der führenden Hersteller im Bereich der Lager- und Betriebseinrichtungen hat die Firma Bedrunka+Hirth Gerätebau GmbH bereits in der Vergangenheit eine Vielzahl von Entwicklungsprojekten u.a. im Bereich Arbeitsplatzsysteme und Multi-Wände zur Vereinfachung unterschiedlicher Prozessschritte (z.B. Packen) umgesetzt. Mit dem Projekt DPNB wird ein weiterer Schritt in diese Richtung gegangen und die Unternehmensstrategie hin zu einem Anbieter von innovativen und den Werker unterstützenden Betriebseinrichtungen weiter vorangetrieben.

Die Firma Bedrunka+Hirth nutzte für das hier beantragte Forschungsvorhaben DPNB die Vorarbeiten aus dem bereits abgeschlossenen ZIM-Forschungsprojekt mit dem Titel: „Entwicklung eines videogestützten Packassistenzsystems zur 2D-/3D-Objekt- und Gestenerkennung bei Verpackungsprozessen“.

Das Projekt wurde gemeinsam mit dem KIT-IFL und der Firma Optimum datamanagement solutions GmbH aus Karlsruhe durchgeführt. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde ein Assistenzsystem entwickelt, welches den manuellen Packprozess mittels einer Gestensteuerung beschleunigt und mittels einer 2D-/3D-Objekterkennung überwacht. Somit kann z.B. der Packfortschritt oder eine Fehlbestückung jederzeit erkannt werden. Die Firma Bedrunka+Hirth Gerätebau GmbH hat für den „Arbeitsplatz 4.0“ den Innovationspreis-IT 2015 von der Initiative *Mittelstand* erhalten. Das mittelständische Unternehmen führte in seinem Teilprojekt die Entwicklung und Ausgestaltung des ergonomischen Packplatzes zur

videogestützten Objekt- und Gestenerkennung durch. Zudem erarbeitete Bedrunka+Hirth die Tisch-Mensch-Kommunikation.

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts sowie die Erfahrungen aus dem Projektgeschäft nutzte die Firma Bedrunka+Hirth Gerätebau GmbH für das Projekt DPNB und erarbeitete darauf aufbauend ein neuartiges Montageassistenzsystem zum Einsatz im DPNB.

2.1.1 Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Zeit- und Kostenplan konnte im Wesentlichen eingehalten werden. Es wurden zunächst Recherchen zur Ergonomie eines Arbeitsplatzes ausgearbeitet und die voraussichtlichen Kenngrößen des Arbeitsplatzes definiert. Anschließend wurde die Konstruktion eines ersten „Muster“-Tisches des Montageassistenten umgesetzt. Insbesondere wurde eine spezielle Kamerahalterung konstruiert, welche mit dem Aufbau individuell angepasst werden kann. Die X-, Y- und Z-Richtung ist variabel verstellbar. Auf Basis der Konstruktion wurden Zeichnungen und 3D-Modelle erstellt, um Tests zu ermöglichen. Die Zeichnungen und Modelle wurden teilweise auch für die Programmierung und Kostenermittlung von anderen Projektpartnern verwendet. Der Tisch mit entsprechendem Zubehör (z.B. Kamerahalterung) wurde anschließend gefertigt. Die Kamerahalterung ermöglicht ein beinahe stufenloses Positionieren der Kamera über dem Arbeitstisch. Damit kann die optimale Position der Kamera für unterschiedliche Arbeitsabläufe ermittelt und eingestellt werden. Nach dem Aufbau des Mustertisches wurde nochmals konkret eine Recherche zur ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung durchgeführt.

Von den Projektmitarbeitern der Bedrunka+Hirth Gerätebau GmbH wurden zudem 3D-Daten für eine Vorab-Integration in den Broker erzeugt und bereitgestellt. Außerdem wurden Preiskalkulationen sowie die dazugehörigen 3D-Daten mit Zeichnungen bereitgestellt, um eine automatische Preisfindung über die 3D-Daten zu generieren bzw. zu entwickeln.

Des Weiteren wurden innerhalb des Berichtszeitraums reale Baugruppen für Montageversuche definiert und die dazugehörigen Montageanleitungen erzeugt. Die definierten Abläufe wurden überprüft und Änderungswünsche bei Bedarf von Bedrunka+Hirth umgesetzt.

Zu Beginn des Projekts wurde, wie zuvor beschrieben, das Hauptaugenmerk auf die Entwicklung eines ergonomischen Arbeitstisches und die Interaktion mit einem Kamera-Beamer gelegt. Während der Durchführung des Forschungsvorhabens konnten auch mit einer AR-Brille die Montageschritte und deren Funktionen abgebildet werden.

In Bezug auf den Broker haben sich die Ziele nicht geändert. Die Funktion des Brokers war soweit klar. Das Konzept des Montageassistenten wird, wie oben beschrieben, nicht mehr über eine Kamera bzw. Beamer-Variante realisiert. Um die AR-Brille zu implementieren, wurde vom IFL eine GUI implementiert. Aktuell wird entschieden, welche Variante für Tests weiterverfolgt werden soll. Mittlerweile wurden zusätzliche Versuche mit der

AR-Brille durchgeführt, um weitere Ergebnisse in Bezug auf die Bedienerfreundlichkeit zu erhalten.

2.1.2 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Bei Bedrunka+Hirth fallen manuelle Montagetätigkeiten an, deren Auslagerung im Falle von Auslastungsspitzen bislang nicht möglich war. Durch den neuartigen Montageassistenten sollen Werker bei der Montage soweit unterstützt werden, dass eine kurzfristige Auslagerung möglich wird. Bedrunka+Hirth wird den Montageassistenten entsprechend selbst nutzen und den Projektpartnern den neuen Montageassistenten zuliefern. Zudem soll das Produkt künftig direkt am Markt angeboten werden. Bedrunka+Hirth erhofft sich durch die „global Player“ Bosch bzw. TRUMPF einen Zugang zu neuen, potentiellen Kunden.

Zusätzlich wurde das System um eine Echtzeit-Qualitätskontrolle der montierten Teile durch die Integration von neuronalen Netzen erweitert. Das Ergebnis der Validierung soll zum Nachweis der Machbarkeit sowie zur technischen und wirtschaftlichen Bewertung dienen. Aufbauend auf dem Demonstrator bzw. der Pilotanlage und den daraus abgeleiteten Produkten ist es geplant, den Montageassistenten an Anwender aus den unterschiedlichsten Industriebereichen zu vermarkten. Prinzipiell ist der Montageassistent überall dort einsetzbar, wo Teile montiert werden. Dabei nutzen die Partner ihre jeweiligen bestehenden Vertriebswege und Kompetenzen. Mögliche Anwendungsbereiche sowohl des DPNB als auch der durch Bedrunka+Hirth erzielten Projektergebnisse stellt der Elektronikbereich, die Automobilzulieferindustrie sowie die Automatisierungstechnik dar. Gerade eine erschwerte Suche nach Arbeitskräften und den damit einhergehenden Mangel an freien Kapazitäten macht ein „Matching“ von Angebot und Nachfrage von freien Kapazitäten unabdingbar.

Dadurch kann Bedrunka+Hirth mit seinem neuen Montageassistenten als Lösungsanbieter für eine kontrollierte und schnelle Montage von komplexen Baugruppen ohne lange Einarbeitungszeiten am Markt auftreten. Gerade im Elektronik- und Automobilzulieferbereich (z.B. Bosch oder Siemens) ist ein zunehmender Trend zur externen Vergabe von Baugruppen zu erkennen. Durch die Zunahme der Komplexität der Baugruppen wird hierfür immer besser geschultes Personal sowie umfangreichere Montageanleitungen benötigt. Durch den neuen Montageassistenten wird der Montageprozess erleichtert. Der Montageprozess erfordert kein speziell eingewiesenes Personal, was bei der Montage sich ständig ändernder Produkte jedoch erforderlich wäre.

Langfristig sollen die erzielten Projektergebnisse der Firma Bedrunka+Hirth in deren Produktprogramm einfließen und eine positive Wirkung auf deren Umsätze erzielen. Bedrunka+Hirth geht hierbei von einem sehr hohen Marktpotenzial aus. Die technologischen Ergebnisse könnten dazu beitragen, nach Projektende zusätzliche Umsätze in Projektgeschäften der Firma Bedrunka+Hirth zu erzielen.

Nach Abschluss des Vorhabens können zudem weitere aktuelle Forschungsthemen aufgegriffen werden, die zu weiteren innovativen Entwicklungsschritten bei den Produkten der Bedrunka+Hirth Gerätebau GmbH führen. Zunächst könnten die gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse auf den bereits am Markt platzierten Packassistenten von Bedrunka+Hirth übertragen werden. Der Packassistent könnte ebenfalls mit einem intelligenten Teach-In-System sowie eventuell mit der neuartigen AR-Technologie ausgestattet werden. In einem weiteren Entwicklungsschritt könnten der Montage- und der Packassistent steuerungstechnisch verknüpft werden, um künftig Produktionsabläufe noch besser abzustimmen und Warte- bzw. Stillstandzeiten zu vermeiden. Eine Vollautomatisierung des Montageassistenten durch die Integration einer Roboteranlage, welche den Werker ersetzen soll, ist eine weitere Möglichkeit, die vom Unternehmen Bedrunka+Hirth angedacht wird.

2.2 BIBA - Bremer Institut für Produktion und Logistik

Das BIBA - Bremer Institut für Produktion und Logistik ist ein ingenieurwissenschaftliches Forschungsinstitut an der Universität Bremen. Es engagiert sich in der Grundlagenforschung und in anwendungsorientierten Entwicklungsprojekten sowie für praxisgerechte Umsetzungen und basiert dabei auf nationen-, institutionen- und fachübergreifende Kooperationen wie auf Transfer. Bei seiner Arbeit hat das BIBA stets die gesamte Wertschöpfungskette im Blick: von der Idee, dem Entwurf und der Fertigung eines Produktes über die Nutzung bis hin zum Recycling.

Das BIBA verfügt dabei über langjährige Erfahrungen in der Koordination und Durchführung von Forschungsinitiativen im nationalen und internationalen Bereich. Neben der Kooperation mit verschiedensten Interessensgruppen in den Projekten kann sowohl die erfolgreiche Vermarktung von Projektergebnissen als auch der Wissenstransfer aus der Forschung in die Industrie nachgewiesen werden. Für die Themenstellung des Projekts existieren zahlreiche Vorarbeiten, u.a. aus den Projekten CyProS², MSEE und PSYMBIOSYS.

2.2.1 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das BIBA war federführend verantwortlich für das AP 2. Zusätzlich erfolgte eine Mitarbeit des BIBA in den Arbeitspaketen AP 1, AP 3, AP 4, AP 7 und AP 9. Im Zuge der Durchführung des Forschungsprojekts haben sich Abweichungen zu den Planungen sowie größere zusätzliche Arbeiten in AP 8 und dem Arbeitspaket Minimal Viable Product (MVP) ergeben. In AP 1 hat das BIBA in allen Unterarbeitspaketen unterstützt. Hervorzuheben ist hierbei besonders die Auf- und Überarbeitung der Modellierungen der Anwendungsfälle *Use Case 0*,

²<https://www.projekt-cypros.de/>

Use Case 1 und *Use Case 2*, welche im Weiteren in einem iterativen Prozess in den Regelterminen des APs gemeinsam verfeinert wurden.

Kernaufgabe von AP 2 war die Entwicklung der Datenmodellierung. Nach der Entwicklung einer grundsätzlichen Modellierung eines Datenmodells wurde die weitere Modellierung von Produktionsfähigkeiten und -anforderungen als Ontologie zugunsten der Implementierung des MVP zurückgestellt und zum Schluss erneut aufgegriffen. Nicht eingeplant war die Notwendigkeit der Analyse von Bauteilen um die benötigten Bearbeitungen und Maschinenanforderungen ableiten und zur weiteren Planung verwenden zu können. Diese Arbeiten wurden zusätzlich im Kontext von AP 2 umgesetzt.

Im AP 3 wurde in enger Zusammenarbeit mit dem verantwortlichen FZI an der Konzeptionierung und Implementierung des entsprechenden Services gearbeitet. Besonders hervorzuheben ist hier die Teillogik für die Routengenerierung, welche den Input für diesen Service generiert und in der ersten Iteration seitens des BIBA, u.a. in einer Abschlussarbeit, entwickelt wurde.

Im AP 4 erfolgte eine Unterstützung zur Integration in den MVP.

In AP 7 wurden, in enger Zusammenarbeit mit dem IFL, Geschäftsmodelle (GM) für Plattformen recherchiert und ein GM für die DPNB-Plattform entwickelt und evaluiert. Das BIBA war hier in der Verantwortung für die Erstellung des Vermittlungsleitfadens.

Im AP 9 wurde bei der Verbreitung der Ergebnisse unterstützt. Hier sind seitens des BIBA vor allem die Unterstützung bei der Projekt-Website, mehrere Veröffentlichungen sowie die Unterstützung bei der Planung der Verbreitung zu nennen.

Bei der Durchführung des Projekts haben sich die Zielsetzungen leicht verändert, wodurch die Arbeit vor allem im AP 4 deutlich niedriger ausfiel als geplant. Allerdings haben sich auch zusätzliche Aufwände ergeben, welche vorab nicht im Rahmenplan berücksichtigt waren. Diese Aufwände betreffen vornehmlich die Entwicklung zum Requirements Engineering im AP 2, des AP MVP sowie Arbeiten zu dessen Pilotierung im AP 8.

2.2.2 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Projekts werden durch das BIBA in wissenschaftlichen Veröffentlichungen auf Konferenzen (vgl. Wiesner et al. (2020)) und Fachzeitschriften (vgl. Broda et al. (2021), Behrens und Wiesner (2021) und Eger und Wiesner (2021)) verwertet. Zudem wird die Akquise neuer Forschungsprojekte angestrebt, bei welchen auf die Vorarbeiten und Ergebnisse aus dem DPNB-Projekt aufgebaut wird.

Die Verwertbarkeit der Projektergebnisse für Unternehmen wird durch die Darstellung in einem Leitfaden gewährleistet. Dieser Leitfaden trägt mittelfristig dazu bei, Produktionskapazitäten besser auszulasten und damit die Ressourceneffizienz und Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen. Die Berücksichtigung der Ergebnisse in Lehrveranstaltungen und Abschlussarbeiten stellt eine zukunftsorientierte Ausbildung von Fachkräften sicher.

2.3 Bosch

Die Bosch-Gruppe ist mit weltweit 390.000 Mitarbeiter:innen in den Bereichen Kraftfahrzeug- und Industrietechnik sowie Gebrauchsgüter und Gebäudetechnik tätig. Bosch tritt im Projekt als Konsortialführer auf. Das Projekt ist dabei in der Zentralabteilung für Logistikinnovationen angesiedelt. Daher liegt der Fokus von Bosch-Seite auf folgendem Thema: Bei der Produktion hoher Stückzahlen in komplexen Supply Chains bestehen große Risiken für Bosch, wenn Zulieferer ganz oder teilweise ausfallen. Plötzlich auftretende Lieferausfälle führen zum Stillstand der eigenen Produktion und ziehen unter Umständen hohe Konventionalstrafen nach sich. Bosch möchte über den DPNB proaktiv alternative Lieferanten identifizieren und in einem deutlich verkürzten Onboardingprozess ins Produktionsnetzwerk integrieren. So ergeben sich Einsparpotentiale im Bereich des präventiven Risikomanagements, da Reservekapazitäten bei Lieferanten reduziert und gegebenenfalls von teuren Multiple-Sourcing-Strategien abgesehen werden kann. Damit ein Multiple-Sourcing über eine solche Vermittlungsplattform funktionieren kann, liegt ein Fokus auf der schnellen Herstellung der Lieferfähigkeit eines ausgewählten Lieferanten. Dabei ist sowohl ein qualitätsbezogener Freigabeprozess, als auch das logistische Onboarding durchzuführen. So müssen vor dem Produktionsstart durch Bosch maschinenbezogene Freigaben erteilt werden. Die Prüfdaten (z.B. die Toleranzen und die Prozessfähigkeiten der Maschinen) werden initial über die Plattform übermittelt und von Bosch geprüft.

2.3.1 Planung und Ablauf des Vorhabens

Durch den übergreifenden Fokus hat sich Bosch neben der Projektmanagementtätigkeiten als Konsortialführer in verschiedenen Arbeitspaketen eingebracht.

In AP 1 brachte sich Bosch zunächst in die Entwicklung und stufenweise Feinabstimmung des Gesamtprozesses ein. Zusätzlich wurde ein Konzept für die Gesamtarchitektur der Plattform entworfen und mit den Partnern abgestimmt ebenso wie mögliche Bewertungsmodelle der Anbieter und Nachfrager auf dynamischen Produktionsplattformen konzeptioniert. Im Zuge des Onboardings wurde ein Web Crawler zur automatischen Erfassung von Unternehmensstammdaten über öffentlich verfügbare Informationen entwickelt und implementiert. Wichtige Vorarbeiten kommen hier aus einem unternehmensweit angelegten Projekt zur Verwendung von Natural Language Processing (NLP) Verfahren. Dieser Service wurde zunächst mit der Extraktion von Zertifikatsdaten implementiert und im dritten Jahr um zusätzliche Datenpunkte erweitert.

In AP 2 stand Bosch grundsätzlich für regelmäßige Inputs zum Gesamtdatenmodell zur Verfügung. Des Weiteren wurde ein auf den Anforderungen bei Bosch beruhendes Datenmodell für die Logistik entwickelt. Im Zuge des Requirements Engineering wurde zusammen mit dem KIT ein Ansatz zur Extraktion der notwendigen Prozessschritte aus technischen

Zeichnungen entwickelt, welcher auf Bilderkennung mittels künstlicher neuronaler Netze basiert.

Für die Zusammenarbeit mit dem FZI in AP 4 bildete das durch das BMWi geförderte Projekt ProveIT³ die Grundlage. Hier arbeiteten FZI, Bosch und das KIT-IFL bereits an leichtgewichtigen IT-Services und Konzepten zur Optimierung, Überwachung und Steuerung von Transporten. In einer direkt durch Bosch beauftragten Folgekooperation arbeitete das FZI an der Überführung von Teilen der Forschungsprototypen (Mobile App zum Tracking von LKW Transporten, Backend zur Echtzeitdatenverarbeitung, Dashboard für Transport- und Materialdisponenten) in den Produktivbetrieb. Mit diesen Komponenten sollte eine Vermittlungsplattform wie der DPNB integrierbar sein. Daher gab es hier vor allem im zweiten Projektjahr einige Abstimmungen bezüglich der Wiederverwendbarkeit und Integrierbarkeit bestimmter Komponenten und deren Übertragbarkeit auf den DPNB. Außerdem wurde auf den bereits gemachten Erfahrungen im Betrieb des App-Verbunds ein Konzept zur Sicherung der Datenqualität entwickelt, welches dem DPNB im Betrieb dienen kann. Zusätzlich wurde im Rahmen dieses Arbeitspakets eine Blaupause für die Qualitätsüberwachung der Produktion entwickelt. Dabei wurden vor allem die Herausforderungen durch die Vorgaben der Automobilindustrie offensichtlich.

Für AP 8 und AP 9 hat Bosch die Arbeitspaket-Verantwortung übernommen. Dabei ging es in AP 8 um die Pilotierung einzelner im DPNB-Projekt entwickelten Konzepte. Für Bosch brachte vor allem das Produktionswerk in Homburg seine Kenntnisse bezüglich der Planung internationaler Produktionsnetzwerke ein. Diese wurden zusätzlich mit den Matching-Erkenntnissen des DPNB in einem eigenständigen Piloten durch die Logistikabteilung umgesetzt. Der Bosch-Pilot wurde vor allem innerhalb der ersten zwei Jahre des Projekts umgesetzt. Dabei war eine der Herausforderungen die genaue Abbildung der tatsächlichen Prozesse, d.h. die Anpassung des theoretischen DPNB-Settings auf die realen Gegebenheiten. Eine weitere bestand in der Datenbeschaffung, da viele Daten der einzelnen Standorte nur lokal und in unterschiedlichsten Datenformaten verfügbar sind. Offen bleibt die Herausforderung, den entwickelten Prototypen an die ERP-Systeme anzubinden, um geplante Bestellungen direkt in das führende System einspeisen zu können. Zusätzlich wurde zusammen mit den Projektpartnern die Definition der einzelnen Piloten und MVPs durchgeführt sowie die Erstellung eines Demo-Datensatzes vorangetrieben.

Für die Arbeit in AP 9 wurden zu Beginn des Projekts das Corporate Design in Form des Projektlogos, eines einheitlichen Foliensatzes und einer Projekt-Website aufgesetzt. Im weiteren Verlauf des Projekts wurden die Arbeiten der Projektpartner bezüglich Verbreitung und Übertragbarkeit getrackt und ggf. unterstützt. Bosch selber hat dabei die folgenden Punkte bezüglich der Übertragbarkeit untersucht:

³<https://www.prove-it.org>

Die Übertragbarkeit von dynamischen Produktionsplattformen auf interne Marktplätze, die der besseren Nutzung von Bosch-Ressourcen dienen. Dafür erfolgte die Zusammenarbeit mit einem Bosch internen Projekt sowie deren Weiterentwicklung. Zusätzlich wurde ausgehend von dem Piloten in AP 8 versucht, das Konzept der kurzfristigen Verteilung von Produktionsressourcen auf die mittelfristige Planung internationaler Produktionsnetzwerke auszuweiten. Zum Abschluss des dritten Jahres wurde zusätzlich noch eine Analyse des Einsatzes einer Vermittlungsplattform als Risikomanagement-Tool erstellt. Dabei geht es auch um die möglichen Einsparpotenziale im Hinblick auf Sicherheitsbestände o.Ä.

Änderungen in der Planung haben sich vor allem in den Inhalten folgender APs ergeben: Im Rahmenplan waren ursprünglich Aufwände für das AP 6 vorgesehen, welche in Absprache mit TRUMPF bereits zu Beginn des Projekts in AP 8 verschoben wurden. Dort ging es vor allem um die Bereitstellung der Infrastruktur für den Bosch-Piloten. Zusätzliche Kapazität wurde in AP 2 gesteckt, welche im Rahmenplan nicht vorgesehen war.

2.3.2 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Pläne zur Verwertung der Projektergebnisse lassen sich vor allem an den Ergebnissen des in AP 1, AP 8 und den in AP 9 geschilderten Übertragungen festmachen. Dabei lag für Bosch der Fokus auf der Übertragbarkeit auf interne Netzwerke, sei es in Form der bereits bestehenden Produktionsnetzwerke oder neu, innerhalb Bosch entstehender Marktplätze. Des Weiteren wurden Entwicklungen im Rahmen des AP 4 weiterentwickelt und für aktuell bereits bestehende Bosch-Services nutzbar gemacht. Auch die Entwicklungen in AP 1 bezüglich des Onboardings werden bereits in bestehende Strukturen eines Knowledge Graphen integriert, welcher in Zukunft einen holistischen Überblick über Lieferanten und Partnerunternehmen ermöglichen soll. Hierbei kommen die Erkenntnisse aus der Entwicklung des Web Crawlers zum Einsatz.

2.4 FZI Forschungszentrum Informatik

Das FZI Forschungszentrum Informatik ist eine gemeinnützige Forschungseinrichtung mit dem Schwerpunkt Anwendungsforschung und Technologietransfer im Bereich Informationstechnologien. Insbesondere der am DPNB beteiligte Forschungsbereich *Information Process Engineering* greift auf viele Jahre Erfahrung in der Entwicklung von echtzeitfähigen IT-Systemen für die Logistik und Produktion zurück. Für das Verbundprojekt relevante Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen semantischer Modellierung (AP 2, AP 4) sowie Planung, Überwachung und Echtzeit-Steuerung von Logistikprozessen (AP 3, AP 4) und der Entwicklung von Optimierungsmodellen (AP 3).

Für die semantische Modellierung wurde auf Erkenntnisse aus den Projekten ReApp⁴ und SeRoNet⁵ zurückgegriffen, um auf diesen Vorarbeiten ein auf die Bedürfnisse der Produktion angepasste Domänenontologie zur flexiblen Beschreibung von Fähigkeiten auf Angebots- und Nachfrageseite zu konzeptionieren. Ergänzend dazu wurden im Rahmen des Projekts ProveIT⁶ und in dessen Folgeprojekten Vorarbeiten zu leichtgewichtigen IT-Services und Konzepten zur Optimierung, Überwachung und Steuerung von Transporten geleistet. Darauf basierend wurde ein Service zur schnellen Anbindung von neuen Logistikdienstleistern entwickelt. Des Weiteren verfügt das FZI über Vorarbeiten im Bereich der Planung, Überwachung und Echtzeit-Steuerung von Logistikprozessen aus einer Vielzahl an öffentlich geförderten Projekten (z.B. BigGIS⁷) und direkt beauftragten Forschungsprojekten (z.B. Kooperationen mit Bosch, PTV Group, AG der Dillinger Hüttenwerke, Lufthansa Cargo oder BASF). Es wurden langjährige Forschungserfahrungen bei der Entwicklung von Optimierungsmodellen und -verfahren, u.a. in den Bereichen Produktion und Logistik, eingebracht. Auf Basis dieser Vorarbeiten wurden neue, auf den komplexen Anwendungsfall angepasste Modelle zur effizienten Bildung von Zuliefernetzwerken entwickelt. Weitere informatonstechnische Ideen zur Kommunikation und Schnittstellen konnten aus dem am FZI entwickelten Open Source Framework „StreamPipes“⁸ abgeleitet werden. Das quelloffene Big Data Framework StreamPipes unterstützt mittels einer leichtgewichtigen semantischen Integrationsebene die Modellierung durch Fachanwender:innen sowie die Ausführung von Stream Processing Pipelines auf verteilten Systemen.

2.4.1 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Arbeiten im Projekt waren in 9 Arbeitspakete (AP 1 - AP 9) strukturiert, die gemäß Rahmenplan gemeinschaftlich von den Projektpartnern bearbeitet werden sollten. Wir führen im Folgenden die wesentlichen unter Beteiligung bzw. Federführung von FZI durchgeführten Aktivitäten pro Arbeitspaket auf.

In AP 1 (*Lead*: KIT-KSRI) hat das FZI durch seine Erfahrungen und Kompetenzen bei der Spezifikation des Gesamtprozesses unterstützt. Entlang des Gesamtprozesses wurden drei Anwendungsfälle *Use Case 0, 1 und 2* in regelmäßig stattfindenden Workshops gemeinsam erarbeitet. Auch an der Spezifikation und Validierung der einzelnen Use Cases war das FZI beteiligt. Aus dem *Use Case 1* wurde die Anforderung einer zentralen Steuerungskomponente für die im Broker angeschlossenen Produktions- und Transportressourcen („Anbieter/Lieferanten bzw. Transportdienstleister“) abgeleitet. Außerdem hat das FZI seine Vorarbeiten

⁴<https://www.reapp-projekt.de>

⁵<https://www.seronet-projekt.de>

⁶<https://www.prove-it.org>

⁷<http://biggis-project.eu>

⁸<https://streampipes.apache.org>

zu StreamPipes und dessen Anwendungsfähigkeit im Projektkontext zur Datenintegration und -verarbeitung bereitgestellt und für die DPNB-Anwendungsfälle evaluiert.

Im Rahmen von AP 2 (*Lead*: BIBA) unterstützte das FZI durch eine Evaluation bestehender Domänenontologien (z.B. SSN) und durch eine Analyse der Einsatzpotentiale von Upper-Level Ontologien (BFO). Daneben wurde das bestehende Transport-Dispatching-System von cargomando sowie dessen verwendetes Vokabular durch das FZI beschrieben. In verschiedenen Regelterminen hat das FZI sein Know-how eingebracht.

Der Tätigkeitsschwerpunkt in AP 3 (*Lead*: FZI) konzentrierte sich auf die Entwicklung von Optimierungsmodellen für den Einsatz im „Network Builder Service“ (NBS). Dies dient dem Zweck, regelmäßig wiederkehrende Planungsaufgaben weitgehend zu automatisieren. Der primäre Fokus lag darauf, ein „Matching“-Modul zur Angebotsplanung im Rahmen von *Use Case 1* zu implementieren (siehe Abschnitt 3.4.2.1). Innerhalb des NBS ist ein dem Matching vorgeschaltetes Modul zur Routengenerierung in enger Zusammenarbeit mit dem BIBA entstanden. Hierzu hat das FZI in mehreren Workshops sein Know-how zum Thema Kürzeste-Wege-Algorithmen eingebracht. Für die gemäß *Use Case 1* notwendige Kommunikation zwischen NBS und anderen Services sowie dem Broker wurde in gegenseitigem Austausch mit den Partnern, insbesondere BIBA und TRUMPF, eine Spezifikation der dazu erforderlichen Datenmodelle und Schnittstellen definiert. Das FZI entwickelte ein mathematisches Optimierungsmodell, das prototypisch in Java implementiert, auf Basis synthetischer Testinstanzen validiert und in den MVP integriert wurde.

Während der Projektdurchführung ergaben sich unvorhergesehene Aufwände in AP 3 durch Anpassungen des MVP – weg von einer horizontal integrierten hin zu einer virtuellen Supply-Chain-Architektur. Dieser Paradigmenwechsel zog ein Re-Engineering des Matchings (siehe Abschnitt 3.4.2.1) nach sich, da sich die Datenlage und wesentliche Grundannahmen für eine optimale Angebotsplanung in Supply Chains mit lose gekoppelten Lieferanten anders darstellt als in Supply Chains, in denen Lieferantenkapazitäten von einer zentralisierten Steuerungsinstanz allokiert werden.⁹

Die Zielsetzung innerhalb des Unterarbeitspakets 3.3 hat sich ohne eine Beeinträchtigung der Projektziele und -partner verschoben in Richtung einer detaillierteren Betrachtung der aus dem *Use Case 1* heraus resultierenden Transportprozesse. Dazu wurde ein Konzept entwickelt, wie die notwendigen Transporte effizient gebündelt werden können (siehe Abschnitt 3.4.2.3), um weitere Kosteneinsparungspotentiale transportseitig zu heben.

Im Rahmen von AP 4 (*Lead*: FZI) erfolgte eine Abstimmung mit Bosch zur Qualitätsüberwachung und ein Abgleich mit bestehenden Metriken (vgl. Abschnitt 3.5.2.2), die seitens Transport Betz über cargomando und bei Bosch über die InTrack-Plattform erfasst werden. Gemeinsam mit Bosch wurde die Qualitätssicherung von Logistikschnittstellen und die In-

⁹Eine präzisere Unterscheidung zwischen horizontal integrierten und virtuellen Produktionsnetzwerken erfolgt in Abschnitt 3.4.2.

Track Tracking-Integration abgestimmt. Das FZI hat das cargomando System angebunden und einen prototypisch SOAP-Adapter entwickelt, welcher die selbständige Anbindung von Logistikdienstleistern via Nutzerschnittstelle ermöglicht (vgl. Abschnitt 3.5.2.3).

In AP 7 (*Lead*: KIT-KSRI) beteiligte sich das FZI an Workshops zum Thema Pricing-Modelle für den DPNB und zu einer möglichen Einbindung dieser im AP MVP. Des Weiteren unterstützte das FZI bei der technischen Betrachtung von Transportplattformvarianten im Rahmen der Evaluierung von Geschäftsmodellen.

In AP 9 (*Lead*: Bosch) unterstützte das FZI bei der Verbreitung von Projektergebnissen durch einen Fachbeitrag in der *wt Werkstattstechnik online* (3/2021) mit dem Titel „Angebotsplanung in dynamischen Produktionsnetzwerken“, welcher in Ko-Autorenschaft mit dem BIBA entstanden ist (Broda et al., 2021). Außerdem stellte das FZI die Infrastruktur für die Projekt-Website bereit.

Während der Projektdurchführung ergaben sich auch unvorhergesehene Aufwände, die vornehmlich die Arbeiten innerhalb des AP MVP sowie Arbeiten zu dessen Pilotierung im Rahmen von AP 8 betrafen.

2.4.2 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Projekts werden durch das FZI in Form von Veröffentlichungen in Fachzeitschriften (vgl. Broda et al., 2021) wissenschaftlich verwertet.

Die Projektergebnisse im Hinblick auf maschinelle Lernverfahren, Datenintegration und mathematische Optimierung sowie deren Nutzung im konkreten Anwendungskontext dienen dem Kompetenzaufbau des FZI im Bereich der künstlichen Intelligenz, Data Mining und Operations Research. Der Ausweitung der entwickelten Grundlagen hinsichtlich des benutzerfreundlichen Managements von Plattformdatenintegration wird den weiteren Ausbau unterstützen, sodass zukünftiger Wissensaufbau vereinfacht und damit beschleunigt wird. Darüber hinaus wird das erworbene technologische Know-how in der Anbindung und Verarbeitung von Prozessdaten sowie in der software-technischen Integration von Optimierungsmodellen und -algorithmen im Zuge der Akquise neuer Projekte weiter verwendet und so in den Mittelstand transferiert.

Ein Wissenstransfer „über Köpfe“ innerhalb und außerhalb des FZI ist auch nach Projektende angestrebt in der Weise, dass die Projektergebnisse in die Lehre, z.B. durch regelmäßig angebotene Seminare („Real-Time Data Analytics“ und „Open Data“) oder Abschlussarbeiten, einfließen sollen.

2.5 IFL

Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ist mit über 9.000 Mitarbeiter:innen eine der weltweit größten Forschungs- und Lehrinrichtungen. Für eine optimale Umsetzung des Vorhabens waren das Karlsruhe Service Research Institute (KSRI) als interfakultative Einrichtung mit dem Schwerpunkt Service Science sowie das Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) mit dem Schwerpunkte Entwicklung von Logistik- und Materialflusssystemen mit jeweils einem wissenschaftlichen Mitarbeiter beteiligt. Zusätzlich sah die Planung die Unterstützung durch mehrere Hilfswissenschaftler vor. Für abgrenzbare Themenbereiche sowie für weiterführende Forschung, die an die Fragestellungen des Projekts angrenzt, wurde die Bearbeitung durch Abschluss- und Seminararbeiten geplant.

Als Forschungseinrichtung stellt das KIT vor allem Wissen zur Verfügung. Dabei kann neben der Infrastruktur auch auf die Erfahrungen und Erkenntnisse bereits erfolgreich umgesetzter Forschungsprojekte zurückgegriffen werden. Das KIT-KSRI entwickelte im Forschungsprojekt BigDieMo bereits einen Baukasten bestehend aus Methoden und Werkzeugen zum Entwurf datenbasierter Geschäftsmodelle. Darüber hinaus wurden neue dienstleistungsbasierte Geschäftsmodelle u.a. im Bereich Industrial Services entwickelt, z.B. im Rahmen der Forschungsprojekte DELFIN und SIAM. Im durch das BMWi geförderte Projekt ProveIT arbeiteten FZI, Bosch und das KIT-IFL bereits an leichtgewichtigen IT-Services und Konzepten zur Optimierung, Überwachung und Steuerung von Transporten.

Die Grundlagen für die Entwicklung des Assembly Assistant wurden von KIT-IFL und Be-drunka+Hirth im öffentlich geförderten Projekt PACKASSISTENT gelegt. Ziel war es, mittels einer 2D-/3D-Objekterkennung Prozessschritte und Artikel zu erkennen. Damit wird der Verpackungsprozess beschleunigt und überwacht, wodurch z.B. der Packfortschritt oder Fehlbestückungen erkannt werden. Dies ermöglicht die Dokumentation der Qualität und damit die Garantie korrekt bestückter Pakete gegenüber dem Kunden. Weitere Ansätze im Bereich Mensch-Maschine-Interaktion wurden bereits im ZIM Projekt FIFI erforscht. Dabei kamen 2D-/3D-Kamerasysteme zum Einsatz, um die Steuerung eines Roboters mit Gesten zu ermöglichen. Weitere Erfahrungen in den Bereichen Mensch-Maschine-Schnittstelle und Extended Reality wurden im Projekt QBIK gesammelt. Dabei wurde ein System entwickelt, mit dem ein Roboter per Teleoperation und Virtual Reality Technologie dann gesteuert werden kann, wenn die autonomen Systeme des Roboters eine Aufgabe nicht zufriedenstellend durchführen können.

2.5.1 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das KIT-KSRI beschäftigte sich im Rahmen von AP 1 mit dem Gesamtkonzept des zu entwickelnden Systems und in AP 7 mit möglichen Geschäftsmodellen für die Plattform inklusive der Preisbildung sowie dem Erlösmodell. Außerdem beleuchtete AP 7 die Sicherstellung der

Datensouveränität aller am DPNB beteiligten Parteien. Das KIT-IFL war für die Entwicklung des Assembly Assistant in AP 5 verantwortlich.

Neben den organisatorischen Tätigkeiten als Teil des Projektmanagements war das KIT auch an der Organisation weiterer Workshop Termine sowie der Koordinationstreffen beteiligt und nahm dafür die Funktion des Ansprechpartners für die Projektpartner ein. Verbindungen zu anderen Instituten und Projekten wurden für den fachlichen Austausch genutzt. Dies förderte im Projekt aber auch bei externen Unternehmen und Forschungseinrichtungen das Verständnis der neuesten Erkenntnisse in den Bereichen *Industrie 4.0*, Digitalisierung, Plattformökonomie und Montageassistenzsysteme.

Der fachliche Austausch wurde durch die COVID-19-Pandemie gehemmt, da neben den informellen Teilen der Projekttreffen auch Konferenzen und Messen ausfielen oder virtuell stattfanden. Dennoch suchte das KIT den fachlichen Austausch, was teilweise zeitintensiv war. Die Zusammenarbeit vor allem am Assembly Assistant auf der Versuchsfläche des KIT-IFL wurde erschwert, da teilweise die gemeinsame Arbeit am System nicht oder nicht im notwendigen Umfang durchgeführt werden konnte. Dadurch entstanden Verzögerungen beim Aufbau des Demonstrators auf der Versuchsfläche des KIT-IFL. Im Rahmen der Entwicklung des Montageassistenzsystems war die Evaluation des Assembly Assistant zunächst in der Produktion von Bedrunka+Hirth und anschließend bei deren Zulieferern geplant. Durch die COVID-19-Pandemie konnte die Evaluation bei Zulieferern von Bedrunka+Hirth nicht stattfinden. Bei Partnerunternehmen des Konsortiums führte die COVID-19-Pandemie zu Kurzarbeit. Dies beeinflusste auch das KIT-IFL durch die verminderte Erreichbarkeit der Ansprechpartner.

2.5.2 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Der Nutzen des Projekts für das KIT liegt in der Verwertung von Ergebnissen für weiterführende Forschung sowie in der Lehre. Dabei bilden die Erkenntnisse und das aufgebaute Wissen die Grundlage für weitere Forschungsanträge im Bereich Montageassistenzsysteme. Außerdem können damit Industriepartner im Bereich Struktur und Aufbau einer dynamischen Plattform unterstützt werden. Aus dem Projekt entstehende Veröffentlichungen dienen der Verbreitung der erarbeiteten Ergebnisse und tragen damit zur Reputation und Sichtbarkeit des KIT bei.

Darüber hinaus bilden die erarbeiteten Erkenntnisse des Forschungsprojekts die Grundlage für das Verständnis von dynamischen Plattformen. Aufbauend auf diesem Wissen ist eine Ausgründung aus dem KIT-IFL für das kommende Jahr geplant, bei welcher die gewonnenen Erkenntnisse mit einfließen. Im Kern befasst sich die Ausgründung mit einer digitalen, neutralen Vernetzungsplattform für den mittelständischen Spediteur.

2.6 Transport Betz

Transport Betz bietet als KMU mit ca. 90 Mitarbeiter:innen Transport- und Logistikdienstleistungen an und ist Experte für überregionale, zeitkritische Transportlösungen. Im Vorhaben nimmt Transport Betz die Rolle eines Anwenders im Projekt wahr und bringt seine Praxisexpertise ein, um Lösungen zur kurzfristigen Einbindung von Logistikdienstleistern zu gestalten.

2.6.1 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Firma Transport Betz brachte aus ihrer langjährigen Tätigkeit als Logistikdienstleister das notwendige Know-how und die Erfahrung mit, um die transportrelevanten Themen für das DPNB-Projekt zu bearbeiten. Dabei hat Transport Betz schon früh erkannt, dass das DPNB-Projekt als wichtiger Faktor bei dem Bestreben für mehr Digitalisierung und Automatisierung in der Logistikbranche dienen könnte. Aufgrund dessen Relevanz und Innovationscharakter wurde demnach das DPNB-Projekt innerhalb der Firma Transport Betz direkt bei der Geschäftsführung aufgehängt. Frau Martina Betz-Weber, zuweilen vertreten durch Herrn Thilo Levy, übernahm die Teil-Projektleitung und kümmerte sich u.A. wegen ihres starken Netzwerks innerhalb der Logistikbranche um die Öffentlichkeitsarbeit seitens Transport Betz. Des Weiteren wurden für das firmeninterne Projektteam erfahrene Mitarbeiter aus dem Bereich Prozessmanagement und Disposition zeitweise freigestellt, damit diese an den einzelnen Action Points arbeiten konnten. So konnten wichtige Erfahrungen aus dem Tagesgeschäft der vielseitigen Transportlogistik bei Transport Betz direkt in die Konzepte des DPNB mit einfließen.

Transport Betz nahm wie alle anderen Projektpartner am Projekt-Kick-off-Meeting teil, bei dem Zuständigkeiten verteilt und die jeweiligen Aufgaben eingeplant wurden, bevor es in die tatsächliche Projektdurchführung ging. Zur Sicherung des Projekterfolges gab es regelmäßige Checkpoints zur Überprüfung des Fortschrittes und der Abstimmung der Ergebnisse. Primär dienten dazu die regelmäßigen Meilensteintreffen mit allen Projektbeteiligten des DPNB. Dadurch, dass Transport Betz keine leitende Funktion in Hinblick auf Arbeitspakete innehatte, wurden zusätzlich mit den jeweiligen Arbeitspaket-Leads jede zweite Woche ein Abstimmungsmeeting abgehalten. Zudem war für Transport Betz die Abstimmung mit den anderen Projektpartnern genauso wichtig wie die regelmäßige Abstimmung mit externen Partnern. In erster Linie musste Transport Betz mit einem externen Softwareentwickler für die Schnittstellenentwicklung sowie mit dem Rechtsbeistand des VSL - Verband Spedition und Logistik Baden-Württemberg e. V. eng zusammenarbeiten, um die definierten Aufgaben innerhalb des Zeitplans zu erledigen. Eine zeitliche Planabweichung seitens Transport Betz entstand kurzweilig zu Beginn der COVID-19-Pandemie 2020, als eine 2-monatige Pause bei der Erarbeitung der Arbeitspakete von Transport Betz eingelegt werden musste. Rück-

blickend wurde durch diese Pause jedoch keines der zu bearbeitenden Themen beeinträchtigt und verzögert, sodass alle Aufgaben von Transport Betz zu den festgesetzten Terminen erfolgreich dem AP-Lead vorgestellt und übergeben wurden.

Die einzige Herausforderung gab es für Transport Betz in Hinblick auf die Öffentlichkeitsarbeit und Realisierung der geplanten Anzahl an Publikationen. Aufgrund der während des Projekts noch sehr theoretischen Arbeit des DPNB-Projekts wurde das Thema in den Fachpublikationen der Logistikbranche oftmals abgelehnt. Transport Betz erhofft sich allerdings nach Beendigung des Projekts und der erfolgreichen Anwendung in der Praxis mehr interessierte Fachzeitschriften finden zu können.

2.6.2 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Für Transport Betz als Logistikdienstleister leiten sich zwei direkte Nutzen aus den Ergebnissen des DPNB-Projekts ab. Der wichtigste Nutzen für das Unternehmen ist das Geschäftspotenzial, das mit der Anbindung als Transportdienstleister an das DPNB für Transport Betz erschlossen wird. Die Erweiterung der Auftragsvolumina, vor allem von schwer zu akquirierenden Neukunden, ist der größte Nutzen aus dem Projekt. Allerdings kann auch unabhängig vom DPNB Nutzen erzielt werden. Die Schnittstelle in das Cargomando System kann direkt wiederverwendet werden, um Großkunden an das Dispositionssystem anzuschließen und somit die manuelle Aufgabenanlage in Zukunft stark zu reduzieren. Das schafft Effizienz und eine signifikante Eindämmung von potentiellen Fehlerquellen im Dispositionsprozess.

2.7 TRUMPF

Die Produktionstechnik weiter zu entwickeln und digital zu vernetzen, sie noch wirtschaftlicher, präziser und zukunftssicherer zu machen – das ist unsere Aufgabe. Dabei wollen wir die Fertigung sowie deren vor- und nachgelagerte Prozesse effizienter gestalten. So bauen wir an der Industriewelt von morgen. TRUMPF ist Markt- und Technologieführer bei Werkzeugmaschinen und Lasern für die industrielle Fertigung und wirkt mit seinen Innovationen in nahezu jeder Branche. Unsere Softwarelösungen ebnen den Weg in die Smart Factory und in der Industrieelektronik ermöglichen wir Hochtechnologieprozesse.

Die sinkenden Losgrößen bei gleichzeitig zunehmendem Individualisierungsgrad der zu produzierenden Aufträge stellt die Kunden von TRUMPF vor immer größer werdende logistische Herausforderungen. Klassische Produktionsplanungsmethoden kommen hier an ihre Grenzen. Der Broker für dynamische Produktionsnetzwerke stellt einen vielversprechenden Lösungsansatz dar, für dessen Einsatz präzise und noch nicht vorhandene Fähigkeitsbeschreibungen der universellen Maschinen benötigt werden. Auch für die Verkettung der Produktionsprozesse sind derartige Beschreibungen ein essenzieller Bestandteil der Smart Factory.

TRUMPF kann auf einer langjährigen Erfahrung in Projekten im Umfeld von *Industrie 4.0* aufbauen. Hierzu gehört eine Reihe aus Forschungsprojekten, wie die durch das BMWi geförderten Projekte SePiA.pro¹⁰ und STEP¹¹, sowie die durch das BMBF geförderten Projekte CyProS und ProLoop¹². Besondere Relevanz für dieses Vorhaben hat das nationale Referenzprojekt für IT-Security in der *Industrie 4.0*: IUNO¹³. Ziel von IUNO war es, einen Technologiedatenmarktplatz aufzubauen, über den Technologiedaten vertrieben werden. Diese normalerweise mit hohem manuellem Aufwand durch einen Betreiber einer Werkzeugmaschine ermittelten Daten ermöglichen Kunden, dass sofort mit der Fertigung begonnen werden kann. Fokus dieses Projekts war es sicherzustellen, dass die Daten an keiner Stelle im Prozess und Lebenszyklus unberechtigt ausgelesen werden können. Das Forschungsprojekt STEP betrachtet die gesamte Wertschöpfungskette industrieller Service-Dienstleistungen, um Planung und Durchführung dieser Prozesse kosteneffizient und wirtschaftlich zu gestalten. In CyProS arbeiteten TRUMPF und das BIBA an einer Referenzarchitektur für Cyber-Physische Produktionssysteme (CPPS) mit einem semantischen Ansatz zur Datenintegration. Die Arbeiten aus den Projekten dienen in diesem Vorhaben als wichtige Vorarbeit für die Erstellung von unternehmens- und anbieterübergreifenden Modellen zur Übermittlung von produktionsrelevanten Daten für den Network Builder und den Network Integrator. Konzepte und Methoden zur Absicherung der Daten finden ebenfalls Eingang in die Modelle. Seit 2010 sind die Maschinen der Firma TRUMPF mit einem eigenen Cloud-basierten Telesenceportal verbunden, über das TRUMPF weltweit im Servicefall oder für Mehrwertdienste (Updates, Technologie-Daten) die Kunden unterstützen kann. Moderne mobile Informations- und Bediensysteme, wie TruTops Fab App oder Mobile-Control App ermöglichen zeitlich und räumlich unbegrenzten Einblick in aktuelle Maschinenzustände, den Status von Produktionsaufträgen sowie die Anpassung von Auftragsreihenfolgen oder Stückzahlen. TRUMPF hat die Cloud schon lange als ein weiteres Geschäftsmodell für sich erkannt. Diese einschlägigen Erfahrungen in der Vernetzung von Maschinen und Verwaltung von Produktionsaufträgen waren wichtige Grundlagen für die Vorhaben im Forschungsprojekt. TRUMPF sieht sich künftig noch mehr als Lösungsanbieter für die gesamte Fertigung. Neue Geschäftsmodelle ergänzen oder ersetzen den klassischen Maschinen- und Softwareverkauf. Diese neuen Geschäftsmodelle wie zum Beispiel Equipment as a Service bzw. Pay per Part benötigen entsprechende Enabler wie Daten- und Produktionsmarktplätze (Broker, KI-Anwendungen), Architektur-Komponenten (Smart Factory Host) sowie die zugehörigen Schnittstellen (UMATI, OMLOX) und Connectivity-Voraussetzungen (LAN, Wifi, 5G). Aus diesem Grund werden im Projekt die für die neuen Geschäftsmodelle benötigten Technolo-

¹⁰<http://www.projekt-sepiapro.de>

¹¹<https://www.projekt-step.de>

¹²<https://proloop-1.jimdosite.com>

¹³<https://www.iuno-projekt.de>

gien erforscht, die Zusammenhänge erarbeitet und technische Lösungen bis hin zu MVPs vorgeschlagen und anschließend in einen Verwertungsplan überführt.

2.7.1 Planung und Ablauf des Vorhabens

Aufgrund der Kontaktbeschränkungen während der Pandemie ergaben sich im zweiten und dritten Projektjahr verstärkt Schwierigkeiten bei der Effizienz der Zusammenarbeit, sowohl intern als auch mit den Projektpartnern. Die Teilnahme an physischen Workshops war nicht möglich und weitere geplante Aktivitäten, die vor Ort erfolgen mussten, konnten nicht wie geplant durchgeführt werden. Verstärkend wirkte sich die angespannte wirtschaftliche Lage und angeordnete Kurzarbeit negativ auf die zur Verfügung stehenden Kapazitäten aus. So konnten die Aufwände im zweiten und dritten Projektjahr nicht wie geplant erbracht werden. Durch den Einsatz digitaler Kommunikationswege und Fokussierung auf die dringlichsten Projektziele wurden wesentliche Projektergebnisse dennoch erzielt. Innerhalb des Unternehmens wurde ein Team mit allen notwendigen Kompetenzen zusammengestellt, welches auf Arbeitspaketebene zielgerichtet mit den Projektpartnern zusammengearbeitet hat. Die Anfangs physischen Arbeitstreffen wurden im Laufe des Projekts auf Grund der COVID-19 Situation durch eine virtuelle Zusammenarbeit ersetzt. Neben für die Projektorganisation notwendigen Regelterminen gab es spezielle Workshops zur Erarbeitung der Projektziele in den einzelnen Arbeitspaketen (z.B. Architekturworkshop mit allen Partnern zum Thema MVP, Workshop zu Geschäftsmodellen, Informativer Austausch mit externen Experten bzgl. möglicher Verwertungsstrategien).

In AP 1 brachte TRUMPF sich in die Erarbeitung eines Gesamtkonzepts ein, bei welchem in mehreren Use-Cases die ganzheitlichen Abhängigkeiten und Prozesse im DPNB übergreifend abgebildet wurden. In AP 2 konnte TRUMPF seine Expertise in Form von Fähigkeitsbeschreibungen zu Anlagen und Fabriken einbringen. Neben detaillierten Ontologien von Maschinenkomponenten und deren Fähigkeiten, wurden Qualitätsmetriken, sowie technische und allgemeine Kundenanforderungen formuliert. Im Projektverlauf wurden in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern die Themen der Arbeitspakete AP 3, AP 4 und AP 6 genauer abgegrenzt, weshalb sich die hier von TRUMPF geplanten Aktivitäten im Anschluss ausschließlich in AP 6 wieder fanden und es neben kleineren Abstimmungen keine direkte Mitwirkung in AP 3 und AP 4 gab. Das AP 6 wurde federführend durch TRUMPF geleitet, der Fokus der Arbeit lag hier auf der Erarbeitung einer Lösung zur Integration von Fabriken in dynamischen Produktionsnetzwerken. Für die Arbeiten in AP 7 nahm TRUMPF an mehreren Workshops zur Ausarbeitung von Geschäftsmodellen teil. In AP 8 erfolgte die Pilotierung der Arbeiten aus AP 6 in Form von Installationen in verschiedenen Testumgebungen bei TRUMPF und dessen Kunden. Durch einen Vortrag auf einer Fachtagung und der Arbeit in verschiedenen Gremien trug TRUMPF seinen Teil zur Ergebnisverbreitung in AP 9 bei.

Neben den Aktivitäten, die den einzelnen Arbeitspaketen zuzuordnen sind, war TRUMPF maßgeblich bei der Entwicklung des im Laufe des Projekts mit den Projektpartnern verabschiedeten MVPs beteiligt. Die zusätzlichen Aufwände führten zu einer Umpriorisierung der TRUMPF Kapazitäten. Dies in Kombination mit der Reduzierung der zur Verfügung stehenden Kapazitäten und anderen Auswirkungen der Pandemie führte dazu, dass nicht alle Inhalte der Arbeitspakete wie geplant bearbeitet wurden. Dies betraf vor allem die Mitarbeit in AP 2.4: Qualitätsmetriken und Anforderungen und AP 4.1: Prozessbezogener Anforderungskatalog.

Hinzu kam die Verzögerung in AP 8: Pilotierung, dessen Inhalte aufgrund der COVID-19 Situation erst zum Ende des dritten Projektjahres bearbeitet werden konnte.

In Konsequenz wurden die zugesagten Fördermittel nicht vollständig abgerufen und teilweise zurückgegeben.

2.7.2 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Der in AP 6 erarbeitete Smart Factory Host (SFH) hat eine zentrale Bedeutung für TRUMPF als Lösungsanbieter für die gesamte Fertigung in der Blechbearbeitung. Neue vernetzte Lösungen und darauf basierende Geschäftsmodelle erfordern eine immer größere Flexibilität in der Entwicklung: Maschinen unterschiedlicher Hersteller müssen angebunden, zusätzliche Daten von Maschinen bereitgestellt und mit zusätzlichen Informationen wie z.B. Fähigkeitsbeschreibungen ergänzt werden. Kritische Maschinen- und Produktionsdaten dürfen die Fabrik nicht verlassen. Software und neue Funktionen sollen in der Fabrik ergänzt werden, möglichst ohne Stillstände an Maschinen und mit minimalem Aufwand – und das bei stetig steigender Komplexität. Der SFH mit seinen im DPNB untersuchten Mechanismen bietet darauf eine Antwort. Die Ergebnisse zum SFH aus dem DPNB werden direkt im Forschungsprojekt FabOS weitergenutzt: Dort werden an eine Maschine zusätzliche Schwingungssensoren angebracht. Die hochfrequenten Signale der Sensoren werden über den SFH als Edge Device zusammen mit den Standard-Maschinendaten für KI-Anwendungen bereitgestellt – ohne aufwändige Anpassungen an der Maschine. Es ist geplant Teile der in FabOS¹⁴ entwickelten Architektur, z.B. ein KI-Dienst, der die bereitgestellten Daten nutzt, auf dem SFH zu implementieren. Somit zahlen die Ergebnisse aus DPNB unmittelbar in das Projekt FabOS ein. Außerhalb der Forschungsprojekte wird der SFH zu einem kundentauglichen, strategischen Architekturbaustein bei TRUMPF weiterentwickelt, um die Aufwände beim Aufbau und Betrieb einer Smart Factory zu reduzieren. Anwendungen der Smart Factory, die bisher auf individuell vom Kunden bereitgestellter Hardware laufen, sollen zukünftig auf dem SFH installiert und dort einfach gewartet und aktualisiert werden können. Ebenso sollen Maschinen anderer Hersteller – Wettbewerber und Nicht-Wettbewerber – viel einfacher

¹⁴<https://www.fab-os.org/>

über zusätzliche Software anbindbar sein. Des Weiteren soll der SFH skalierbare Rechenleistung für rechenintensive KI-Anwendungen mit kritischen Kundendaten bereitstellen. Zum Einsatz kommen wird der SFH unter Anderem in zukünftigen innovativen Geschäftsfeldern, wie dem Ergebnis basierten „Equipment as a Service“ Modell (EaaS). Bei diesem Modell kaufen und besitzen Fabrikbetreiber die Anlagen nicht mehr, sondern zahlen rein für die darauf produzierten Teile. TRUMPF stellt die Anlagen und alle zur effizienten Produktion notwendigen Systeme, Services und Komponenten zur Verfügung. Die aufgeführten Vorteile des SFH zahlen hier auf eine einfache Inbetriebnahme und einen störungsfreien Betrieb ein. Neben den in AP 6 erarbeiteten Konzepten zur integrierten Plattform fließen auch die Ergebnisse der anderen Arbeitspakete in dieses Geschäftsfeld ein. So dienen diese als Grundlage um Kunden nicht nur zur Produktion zu befähigen, sondern auch durch Aufträge aus dynamischen Produktionsnetzwerken auszulasten.

3

Arbeitspakete

Im Folgenden soll auf die Projektergebnisse eingegangen werden. Dieses Kapitel wird anhand der bereits im Rahmenplan definierten Arbeitspakete strukturiert, welche in Abbildung 2 schematisch dargestellt sind. Dabei wird jeweils auf den wissenschaftlichen Stand des Themas sowie die Projektergebnisse eingegangen. Zu Beginn wird eine Übersicht über die Projektorganisation gegeben.

Das AP 1 diene dabei als Grundlage zur Definition der verschiedenen Plattformprozesse, von welchen sich das in AP 2 entwickelte Datenmodell ableitet. AP 3 betrachtet den Part des Matchings wohingegen AP 4, AP 5 und AP 6 jeweils auf die Einzelkomponenten des Transport Hosts, des Montageassistenten und des Factory Hosts eingehen. AP 7 gibt einen Überblick über die im Modell entwickelten Geschäftsmodelle und im Rahmen des AP 8 wird eine Übersicht über die entstandenen Prototypen gegeben sowie ihre Pilotierung beschrieben. AP 9 schließlich fasst nochmals sämtliche Aktivitäten zusammen, die zu einem Austausch mit anderen Projekten und Stellen, einer Veröffentlichung der Projektergebnisse und einer Übertragbarkeit des Projekts durchgeführt wurden.

3.1 Organisatorisches zur Projektarbeit

Das Projekt wurde durch das Projektmanagement Office (PMO) durch die Projektpartner Bosch und IFL gesteuert. Das PMO war für die übergeordnete Organisation des Projekts verantwortlich.

Für das Projekt wurden Treffen auf fünf Ebenen etabliert: Meilensteintreffen, Steuerkreis, Arbeitspaket-Leiter, Workshops sowie Treffen der Arbeitspakete. Von diesen Treffen haben die Meilensteintreffen und Workshops, solange es möglich war, gemeinsam vor Ort stattgefunden. Alle anderen Termine wurden von Beginn an als Videokonferenzen durch-

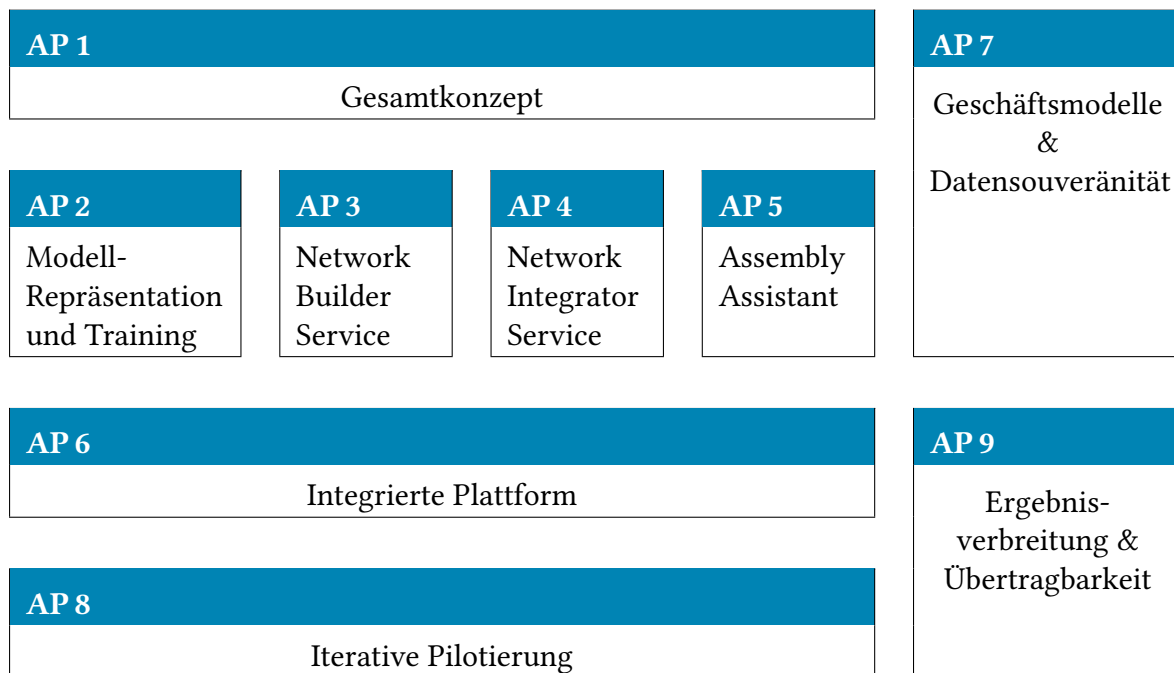


Abbildung 2: Übersicht der Arbeitspakete

geführt um den Reiseaufwand für die Projektpartner niedrig zu halten. Durch die COVID-19-Pandemie konnten ab März 2020 keine gemeinsamen Treffen mehr stattfinden; ab diesem Zeitpunkt wurden alle Treffen virtuell abgehalten.

Es wurden im Projekt fünf Meilensteintreffen durchgeführt, welche dem Austausch zwischen allen Projektbeteiligten und der Darstellung des Projektfortschritts gegenüber dem Projektträger diene. Die durchgeführten Treffen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Meilensteine im DPNB-Projekt

Datum	Veranstaltung	Partner	Ort
30. und 31. Januar 2019	Kick-Off Meeting	FZI	Karlsruhe
16. und 17. September 2019	1. Meilensteintreffen	Bosch	Stuttgart
16. und 17. Juli 2020	2. Meilensteintreffen	-	virtuell ¹⁵
03. und 04. März 2021	3. Meilensteintreffen	-	virtuell
24. November 2021	Abschlusstreffen	-	virtuell

Der Steuerkreis diene der Absprache zwischen den Verantwortlichen der Projektpartner. Die Treffen fassten den aktuellen Stand des Projekts zusammen und hätten einer Eskalation von Problemen im Projekt ermöglicht. Diese Treffen fanden etwa alle drei Monate statt.

¹⁵Das 2. Meilensteintreffen war für den 30. und 31. März 2020 vor Ort bei Bedrunka+Hirth geplant. Aufgrund der COVID-19-Pandemie musste das Treffen vor Ort jedoch Mitte März abgesagt werden und wurde später virtuell nachgeholt.

Im Rahmen des Kick-Off-Meetings wurde für Projektmeetings der Mittwoch als Projekttag ausgewählt. An diesem Tag wurde daraufhin für jedes Arbeitspaket ein Slot von 30 Minuten eingeplant und im Anschluss ein Slot von einer Stunde für ein Treffen aller Arbeitspaketleiter:innen (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Terminplanung im Kick-Off-Treffen

Vormittags		Nachmittags	
Zeitfenster	Arbeitspaket	Zeitfenster	Arbeitspaket
09:00 - 09:30	AP 1	13:00 - 13:30	AP 6
09:30 - 10:00	AP 2	13:30 - 14:00	AP 7
10:00 - 10:30	AP 3	14:00 - 14:30	AP 8
10:30 - 11:00	AP 4	14:30 - 15:00	AP 9
11:00 - 11:30	AP 5	15:00 - 15:30	AP MVP ¹⁶
		15:30 - 16:30	AP-Leiter:innen

Die halbstündigen Regeltermine der Arbeitspakete waren alle zwei Wochen angesetzt und dienten dem Austausch zwischen den Projektpartnern in Bezug auf die gemeinsame Arbeit im entsprechenden Arbeitspaket.

Alle vier Wochen war der Regeltermin der Arbeitspaketleiter:innen angesetzt, welcher dem Austausch zwischen den Arbeitspaketen auf Arbeitsebene diene.

Im Projekt fanden mehrere Workshops statt (vgl. Tabelle 3). Diese Workshops wurden mit den betroffenen Projektteilnehmer:innen durchgeführt und fanden jeweils bei einem der Projektpartner statt. Im Fokus standen die Entwicklung des Onboarding-Prozesses, der Geschäftsmodelle und des MVPs.

Tabelle 3: Übersicht der durchgeführten Workshops

Datum	Workshop	Partner	Ort
28. März 2019	MVP Workshop #1	TRUMPF	Ditzingen
07. Mai 2019	Use Case 0-Workshop	FZI	Karlsruhe
08. Mai 2019	Entwicklung von Geschäftsmodellen	IFL	Karlsruhe
28. Mai 2019	MVP Workshop #2	TRUMPF	Ditzingen
16. Juli 2019	MVP Workshop #3	TRUMPF	Ditzingen
24. und 25. Februar 2020	MVP Hackathon	FZI	Karlsruhe

¹⁶Der Termin MVP wurde später noch im Terminplan ergänzt.

3.2 Arbeitspaket 1: Gesamtkonzept

In diesem Abschnitt werden neben dem wissenschaftlichen und technischen Stand des Forschungsprojekts die Ergebnisse zum Arbeitspaket 1: Gesamtkonzept vorgestellt.

3.2.1 Stand der Wissenschaft und Technik

Zur Steigerung der industriellen Produktivität spielen Technologien seit 200 Jahren eine wichtige Rolle. Diese Zeit wurde in drei industrielle Revolutionen unterteilt, beginnend mit der Mechanisierung Anfang des 19. Jahrhunderts, der Massenproduktion Anfang des 20. Jahrhunderts und der Automatisierung Ende des 20. Jahrhunderts (Kagermann et al., 2013). Mit der aktuellen 4. industriellen Revolution tragen vor allem Informations- und Kommunikationstechnologien zur Steigerung der Produktivität bei. Dies führt zu einer Reihe neuartiger Technologien, wie zum Beispiel dem Internet der Dinge (IoT) oder dem Cloud Computing (Liu und Xu, 2017). Diesen Fortschritt kann die Fertigungsindustrie nutzen, um ihre Produktivität zu steigern. In diesem Kontext ist primär die Bestimmung zuverlässiger Geschäftspartner aufgrund folgender Voraussetzungen komplex: Es muss ein marktregelkonformes Handeln herrschen und man benötigt eine detaillierte Übersicht der Marktteilnehmer sowie die Angebote des Marktes. Besonders in B2C (Business-2-Consumer) Märkten wird deshalb verstärkt auf internetbasierte Plattformen zurückgegriffen, wodurch eine Verbindung zwischen Lieferanten und Kunden geschaffen werden konnte (Blaurock et al., 2018).

Die Nachfrage nach digitalen Plattformen ist im industriellen Kontext bereits heute vorhanden. Mehr als 40% der Unternehmen nutzen Plattformen zum Anbieten ihrer Produkte bzw. Dienstleistungen und ebenso mehr als 40% dieser bezieht Produkte bzw. Dienstleistungen über Plattformen. Weitere 9% der Unternehmen haben bereits erkannt, dass Plattformen in ihrem Markt relevant sind, nutzen diese jedoch bis dato nicht. Lediglich 30% der Unternehmen schätzen die Nutzung von Plattformen auf ihrem Markt aktuell als irrelevant ein (Statista, 04.07.2021).

3.2.1.1 Stand der Wissenschaft

Um das Plattformkonzept auf dem stark fragmentierten Markt der Produktionsunternehmen des verarbeitenden Gewerbes in Europa anzuwenden, müsste eine Plattform einem Kunden die Möglichkeit geben einen Lieferanten zu finden, welcher die Kundennachfrage mittels seiner entsprechenden Kapazitäten erfüllen kann. Durch die Möglichkeit, dass mehrere Lieferanten des gleichen Marktes Teil der Plattform sind, kann zusätzlich die Produkttransaktion effizienter werden, weil ein Wettbewerb in puncto Qualität, Kosten und Lieferzeiten entsteht (Täuscher und Laudien, 2018). Hinter einer solchen Plattform steckt das Prinzip des Cloud Manufacturing, welches aufbauend auf bekannten Anwendungen wie

Cloud Computing oder Big Data den Produktionsmarkt revolutioniert (Ren et al., 2017). Die Marktentwicklung in diesem Bereich wird äquivalent zur Plattformnutzung steigend prognostiziert. Während im Jahr 2020 nur 5% der Unternehmen die Möglichkeiten des Cloud Manufacturing nutzen, könnte dies bis zum Jahr 2045 auf über 70% steigen (Wang und Peng, 2016).

Das klassische Benutzermodell einer Cloud Manufacturing Plattform besteht aus drei Teilnehmern. Der Anbieter, welcher seine Ressourcen und Kapazitäten zur Verfügung stellt, dem Kunden, welcher mit Hilfe der Plattform seine Produkte bezieht oder vertreibt, und dem Cloud-Betreiber, welcher die Plattform für kundenspezifische Aufträge sowie die spezifischen Vorteile zur Verfügung stellt (Ren et al., 2017). Der typische Prozess hinter dem Cloud Manufacturing besteht aus 4 Schritten.

Im ersten Schritt muss der Anbieter seine Ressourcen und Kapazitäten und der Kunde seine personalisierten Notwendigkeiten auf einer Cloud Manufacturing Plattform veröffentlichen. Der zweite Schritt ist das Matching. In diesem Kontext bedeutet Matching, dass basierend auf der Nachfrage des Kunden mit Hilfe der Plattform eine Servicelösung generiert wird. Der Matching Prozess berücksichtigt normalerweise klassische Faktoren wie Auftragsbeschreibung, Ressourcen, Qualitätsmetriken, gewisse Vorteile, Bewertungen etc. Anschließend wird eine semantische Suche basierend auf diesen Informationen durchgeführt (Kim et al., 2006). Im dritten Schritt wird der Auftrag ausgeführt. Eine Cloud-Plattform kann die Überwachung und teilweise die Planung der Fertigungsressourcen übernehmen. Des Weiteren koordiniert und verwaltet die Plattform zwischen Anbieter und Kunde und bei Ausfall eines Anbieters sorgt die Plattform dafür, dass der Kunde einen Ersatzdienst mit gleichwertigen Fähigkeiten erhält (Ren et al., 2017). Das Ende des Prozesses ist der Erhalt der Ware sowie eine umfassende Bewertung der drei Benutzer:innen (Kund:in, Anbieter:in und Betreiber:in). Die Bewertung beinhaltet hierbei objektive und subjektive Kriterien (Ren et al., 2017).

3.2.1.2 Stand der Technik

Aktuell wird der Cloud Manufacturing Markt zu großen Teilen von Start-ups vorangetrieben. Besonders Business-2-Business Marktplätze (z.B. *creatize*, *3YOURMIND*) und eCommerce Bestellportale (z.B. *Laserteile4you*, *PartFactory* in Europa) für Produktionskapazitäten und -aufträge sind auf diesem Markt führend. Das Serviceportfolio der Unternehmen erstreckt sich dabei von 3D-Druck über Gießverfahren, verschiedenen Schneide- und Zerspanungsverfahren, dem Erstellen von Gewinden und Senkungen, Entgraten bis hin zu Biegen und Abkanten (*Xometry*; *Laserhub*; *KREATIZE*; *fictiv*; *3YOURMIND*).

Des Weiteren wird beim Onboarding der Lieferanten auf Qualitätsmerkmale geachtet. Eine der meistgenutzten Metriken zur Sicherung der Qualität ist die Norm ISO 9001. Neben einer Untersuchung zum Beginn der Geschäftsbeziehung finden bei einigen Unternehmen

regelmäßige Auditierungen der Lieferanten zur Qualitätskontrolle statt (*3YOURMIND; fictiv; Laserhub; Laserhub; V-Industry; Xometry*). Um den Kunden eine Sicherheit bei der Nutzung der Plattform zu verschaffen, nutzen die Unternehmen die Transportverschlüsselung TLS, einige Unternehmen deutsche Rechenzentren oder versichern ihre Sicherheit in Form eines Non-Disclosure Agreement.

Zusätzlich bleiben die Lieferanten bei einigen Unternehmen anonym, um die Integrität dieser zu schützen. Nachdem ein Kunde sich entschieden hat, über eines der Unternehmen ein Produkt in Auftrag zu geben, hat er bei einigen die Möglichkeit zwischen verschiedenen Ausführungsarten zu wählen. Diese variieren von Best Price, Standard bis hin zu Fast oder „Same day delivery“ (*3YOURMIND; fictiv; KREATIZE; Laserhub; V-Industry; Xometry*).

3.2.1.3 Vergleich DPNB

Im Vergleich zu dem theoretischen Konzept und den aktuellen Teilnehmern des Marktes hat der Anbieter bei Nutzung des DPNB die Möglichkeit sich einen „Production Host“ installieren zu lassen. Dadurch kann die Plattform den Prozess mit den Produktionsdaten des Anbieters verbessern. Die Daten verbleiben auf dem firmeneigenen Server, was das Vertrauen der Teilnehmer in die Datensicherheit der Plattform verstärkt. Des Weiteren bietet der DPNB einen End-to-End Service an. Das heißt, dass es neben dem Fertigungsservice die Möglichkeit gibt über die Plattform den Transport der Güter sowie die Montage ablaufen zu lassen. Zusätzlich bietet dieser die Wahl zwischen zwei Abrechnungspaketten. Ein „Full Package“, in dem alle Leistungen inkludiert sind und ein „Individual Package“, welches der Kunde nach seinen Bedürfnissen erstellen kann.

3.2.2 Projektergebnisse AP 1

In diesem Abschnitt werden die erzielten Ergebnisse aufbauend auf den Teilarbeitspaketen vorgestellt. Gegenstand des AP 1 ist die Gesamtkonzeption der innerhalb des Vorhabens angestrebten Arbeiten. Dazu werden zu Beginn Anwendungsfälle spezifiziert mit dem Ziel einen gemeinsamen, übergreifenden Anwendungsfall zu erarbeiten. Des Weiteren wurden in AP 1 existierende Arbeiten analysiert sowie eine technische Gesamtarchitektur entworfen. Die Ergebnisse aus AP 1 wurden über die komplette Projektlaufzeit auf ihre Gültigkeit überprüft und im Rahmen eines iterativen Verbesserungsprozess angepasst.

3.2.2.1 Spezifikation der Anwendungsfälle

Im Rahmen des Arbeitspakets 1.1 „Spezifikation der Anwendungsfälle“ wurden mit Hilfe von Workshops mit den Anwendungspartnern exemplarische Anwendungsfälle behandelt, um mögliche Probleme zu identifizieren und dokumentieren. Innerhalb des einführenden Kick-Off Workshops (Tag 1) wurden die Motivation und die Ziele des Projekts erarbeitet.

Neben dem Projektrahmen und dem Konsortium wurden die Zielsetzung des Projekts und eine erste Ideenskizze erstellt. Anschließend wurden innerhalb einer Break-Out Session die grundlegenden Prozesse der Use-Cases in Gruppen ausgearbeitet.

In der ersten Iteration der Break-Out Session entstanden drei Use Cases. Die Anwendungsfälle wurden vorläufig in *Use Case 1* „Auftragserstellung und -vermittlung“, *Use Case 2* „Auftragsausführung und -überwachung“ sowie *Use Case 3* „Montage der Aufträge“ aufgeteilt. Diese Prozesse wurden danach mit ereignisgesteuerten Prozessketten (EPK) näher beleuchtet und darauf aufbauend in die Arbeitspakete sowie den Verantwortlichkeiten unterteilt (Scheer, 2002). Innerhalb dieser Betrachtung wurde deutlich, dass ein vorangestellter *Use Case 0* zum „Onboarding“ auf die Plattform benötigt wird. An Tag zwei des Kick-Off Workshops wurde das folgende Ziel der Use Cases durch eine erneute Diskussion gemeinsam definiert:

Die Use Cases dienen als Basis für eine prototypische Anwendung und werden fortlaufend mit den Ergebnissen aus dem Arbeitspaket 1 verglichen. Die Pilotierung dieser findet an einem konkreten Fall statt.

In einem weiteren Projektworkshop wurden die Rahmenbedingungen sowie der *Use Case 0* definiert. Dabei wurden auch die Bedingungen für die nachfolgenden Themen geschaffen: Die Informationsbereitstellung, z.B. von Preisen, Kapazitäten der Lieferanten, erfolgt mittels eines hybriden Modells, wobei Information proaktiv bereitgestellt werden können oder bei einem Auftrag mit einer kurzfristigen Frist angefragt werden. Die Preisermittlung für Produktionsschritte wird durch die Plattform durchgeführt, unter Nutzung von Zeitslots für freie Kapazität und Zeitpunkte für Liefertermine und Wartezeiten.

3.2.2.2 Anforderungsanalyse und Ist-Vergleich

Innerhalb des Arbeitspakets „Anforderungsanalyse und Ist-Vergleich“ wurden aufbauend auf relevanten Vorarbeiten der Partner und Wissen aus Wissenschaft und Wirtschaft die Anforderungen an die Gesamtarchitektur abgeleitet. Der Fokus dieses Arbeitspakets lag darauf

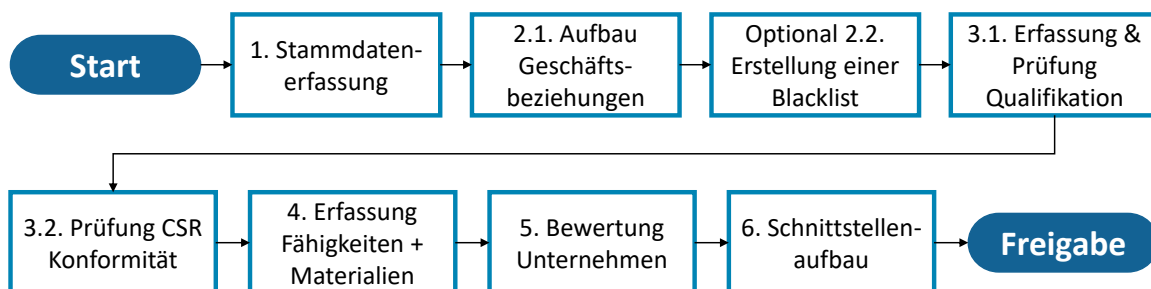


Abbildung 3: Onboardingprozess Literatur

Wissen aus der Literatur und dem industriellen Kontext zu vergleichen und dadurch eine theoretische Grundlage zu schaffen. Beispielhaft dafür wurde *Use Case 0* aufbauend auf dieser Methode untersucht und der folgende Prozess bestehend aus sechs Schritten konzipiert (s. Abbildung 3). Zu Beginn dieses Prozesses werden die Stammdaten des Unternehmens abgefragt und die rechtlichen Rahmenbedingungen geklärt. Anschließend werden Informationen über die wirtschaftliche und technische Leistungsfähigkeit des Teilnehmers erfasst und überprüft. Weiterhin wird überprüft, ob der Teilnehmer soziale und ökologische Standards einhält. Anhand der gesammelten Informationen wird bewertet, ob der Teilnehmer für die Plattform qualifiziert ist.

3.2.2.3 Beschreibung Anwendungsfälle

Im weiteren Verlauf des Projekts wurden *Use Case 2* und *Use Case 3* zusammengeführt, weshalb insgesamt drei Anwendungsfälle im Folgenden beschrieben werden. *Use Case 0* wird nun folgend basierend auf dem beschriebenen Ist-Vergleich exemplarisch für den DPNB beschrieben. Nachfrager und Lieferanten sind gleichermaßen befähigt, sich selbstständig auf der Plattform zu registrieren. Nachdem vom Kunden seine Stammdaten in eine Maske eingegeben wurden, wird die grundsätzliche Eignung bewertet, wobei unter anderem die Bonität geprüft wird. Der On-Boarding Prozess für den Nachfrager ist mit diesem Schritt abgeschlossen. Nachdem der Account freigegeben wurde, kann ein Lieferant seine Fertigungsqualifikationen (z.B. ISO-Zertifizierung) und Kompetenzen angeben. Diese werden anschließend von der Plattform validiert und bestätigt. Daraufhin beschreibt der Lieferant seine Anlagen und Maschinen, optional kann zur Qualitätsüberprüfung noch ein physisches Muster an den Plattformbetreiber gesendet werden. Aus den zur Verfügung stehenden Informationen wird anschließend ein Basis-Rating generiert, welches vom Kunden kontinuierlich aktualisiert werden kann. Zudem kann optional beim Lieferanten ein Factory Host-System installiert werden, welches eine direkte Schnittstelle zwischen Plattform und den Unternehmens-

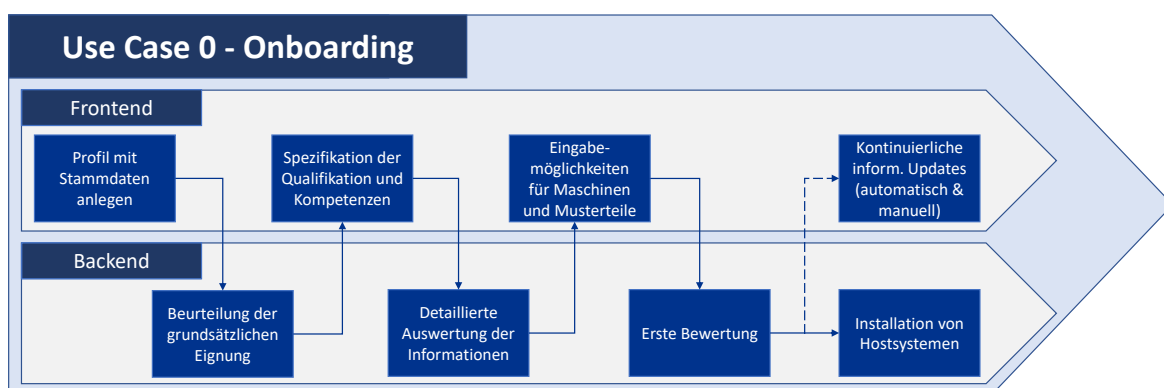


Abbildung 4: *Use Case 0*: Onboarding

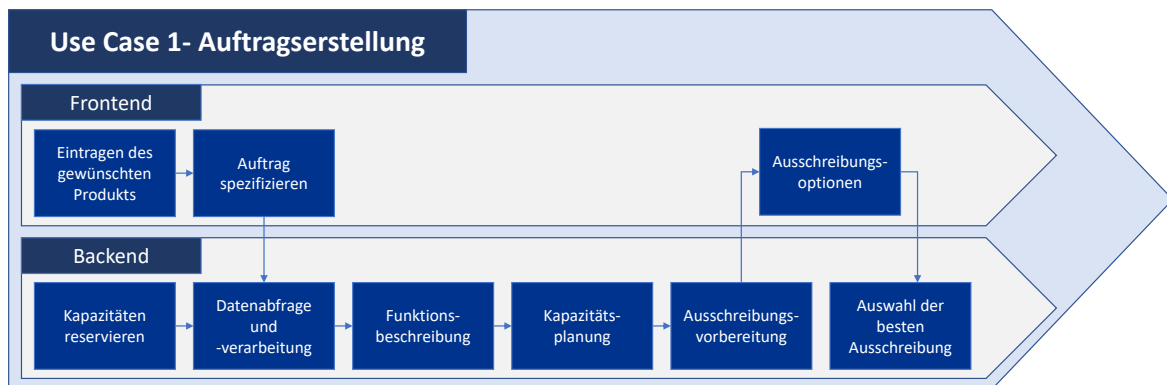


Abbildung 5: Use Case 1: Auftragserstellung

informationssystemen bietet (s. Abbildung 4). Neben Lieferanten und Nachfragern müssen sich Transportdienstleister auf der Plattform registrieren. Für die Registrierung wurden zwei notwendige Aspekte identifiziert: Die Angabe der Unternehmensinformationen (z.B. Unternehmensstandorte) und die Erfüllung von rechtlichen Anforderungen durch die Dienstleister (z.B. Zertifizierungen pro Standort). Zudem muss der Transportdienstleister gewisse Detailangaben in die Plattform einpflegen. Dazu müssen ihm zur Verfügung stehende Fahrzeugtypen (z.B. LKW 40 Tonnen) sowie die jeweiligen Fahrzeugeigenschaften (z.B. Hebebühne) angegeben werden. Zur Unterstützung des an dieser Stelle entwickelten Onboardingprozesses wurde zusätzlich der Prototyp eines Web Crawlers entwickelt, welcher ein vereinfachtes Onboarding ermöglichen soll, indem öffentlich zugängliche Informationen über die Unternehmen gecrawlt und vorausgefüllt werden. Darauf wird in Abschnitt 3.10 näher eingegangen.

Sobald ein Kunde sich auf der Plattform registriert hat, können Fertigungsaufträge aufgegeben werden. Der Nachfrager kann im Folgenden über die Eingabemaske sein gewünschtes Produkt eintragen und wie in Abbildung 5 zu sehen, anschließend seinen Auftrag spezifizie-

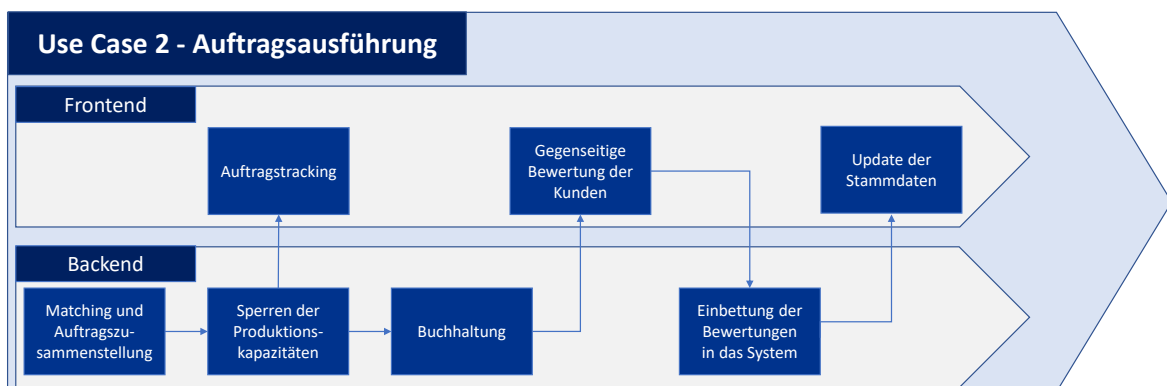


Abbildung 6: Use Case 2: Auftragsausführung

ren. Dieser Auftrag wird mit den von den Lieferanten angegebenen Produktionskapazitäten abgeglichen und daraufhin eine Prozesskette mit möglichen Fertigungsschritten von der Plattform erstellt. Geeignete Produktionskapazitäten werden vorläufig für die Planung gesperrt. Ein Matching-Algorithmus kombiniert passende Lieferanten- und Auftragsinformationen und erstellt verschiedene Angebote. Diese werden auf der Plattform angezeigt und müssen anschließend ausgewählt werden. Nachdem das gewünschte Angebot ausgewählt wurde, werden die benötigten Produktionskapazität endgültig gesperrt, gesperrte Kapazitäten aus nicht gewählten Angeboten wieder freigegeben und der Auftrag ausgeführt (s. Abbildung 5).

Zur Auftragsausführung werden passende Aufträge gebündelt, um eine optimale Kapazitätsauslastung durch die Plattform zu erreichen. Während der Auftrag ausgeführt wird, kann der Kunde auf der Plattform den aktuellen Fortschritt verfolgen, dies wird in Abbildung 6 mit dem Begriff Auftragstracking beschrieben. Die Buchhaltung kümmert sich um die Rechnungstellung an den Nachfrager und die Überprüfung der Bezahlung des Auftrags. Nachdem die gefertigten Teile beim Nachfrager eingetroffen sind, können sich Nachfrager und Lieferant gegenseitig auf der Plattform bewerten (s. Abbildung 6).

3.2.2.4 Sonderprozesse

Um den Ablauf des Gesamtprozesses an notwendigen Stellen zu unterstützen, entstanden die nachfolgenden Sonderprozesse. Einer dieser Sonderprozesse ist der Qualitätssicherungsprozess, welcher gleichermaßen die Kundenanforderungen und die Fähigkeiten der Lieferanten berücksichtigt. Darüber hinaus war eine weitere Intention die Gestaltung des Qua-

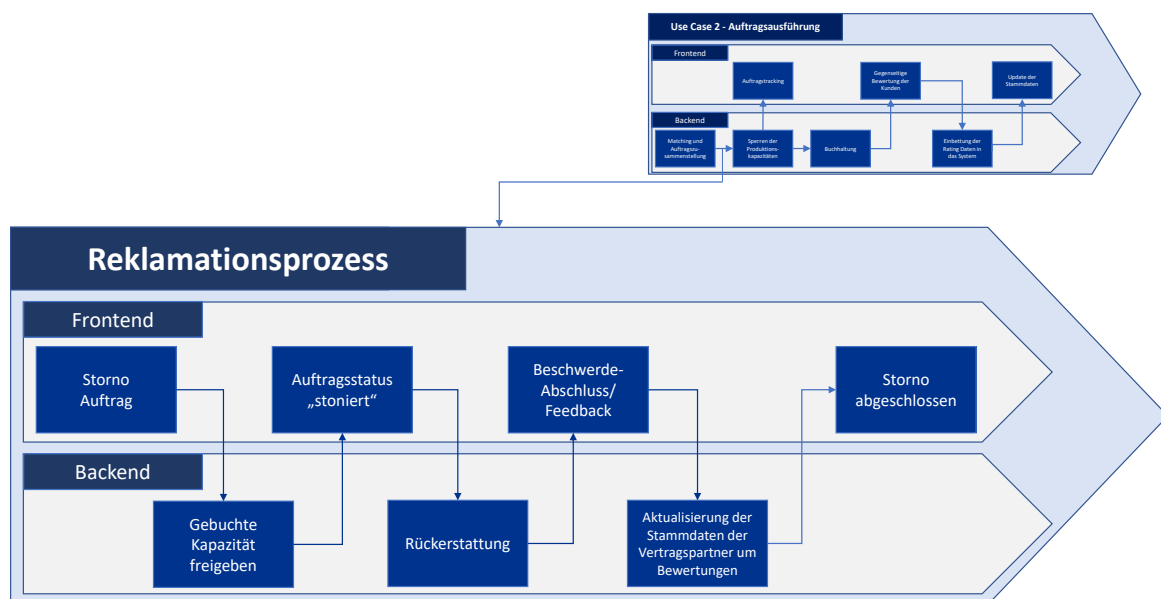


Abbildung 7: Sonderprozess: Reklamation

litätssicherungsprozesses entsprechend den Anforderungen in Bezug auf Flexibilität, Automatisierung, Kosten- und Zeiteffizienz. Ein weiterer Sonderprozess ist der Reklamationsprozess. Dieser wird zum einen benötigt falls in *Use Case 2* ein Auftrag storniert wird und zum anderen, wenn die Qualität der gelieferten Produkte nicht dem entspricht was in Auftrag gegeben wurde. So kann dieser Prozess entweder nach der Lieferung von Musterteilen oder erst nach der ordnungsgemäßen Anlieferung stattfinden (s. Abbildung 7).

3.2.2.5 Konzeption und Gesamtarchitektur

Im Arbeitspaket „Konzeption und Gesamtarchitektur“ wurden die Anforderungen und Anwendungsfälle in das Gesamtkonzept überführt. Basierend auf diesem Konzept wurde die technische Gesamtarchitektur des Systems festgelegt. Des Weiteren erfolgte innerhalb dieses Arbeitspakets der Grundstein des sogenannten „Minimum Viable Products“, kurz MVP. Die Gesamtarchitektur orientiert sich an den zuvor eingeführten Anwendungsfällen *Use Case 0* „Onboarding auf die Plattform“, *Use Case 1* „Auftragserstellung und -vermittlung“ und *Use Case 2* „Auftragsausführung und -überwachung“. Die Architektur ist wie folgt strukturiert: Die blauen Pfeile in der Gesamtarchitektur (s. Abbildung 8) stehen stellvertretend für den *Use Case 0*, welcher beim 1. Schritt mit der Registrierung von Unternehmen/Standort beginnt. *Use Case 1* wird mit orangenen Pfeilen symbolisiert und startet in Schritt 1 mit der Auftragseingabe. Der letzte Use Case wird durch grüne Pfeile dargestellt und durch das verbindliche Buchen der Ressourcen eingeleitet.

Die Architektur selbst ist dabei wie folgt aufgebaut: Die Kundenseite der Architektur besteht aus einer Single Page Applikation mit einer grafischen Benutzeroberfläche. Diese ermöglicht die Definition der Produktionsanfrage und informiert den Produzenten und Spediteur über die auszuführenden Prozesse. Die Serverseite des Systems wurde unter Verwendung einer Microservice-Architektur entwickelt, wobei die Anwendung aus einer Reihe kleinerer Services zusammengesetzt wird.

3.2.2.6 Minimum Viable Product

Das Minimum Viable Product war angedacht zur Minimierung des Risikos im Zuge der Entwicklung der Plattform. Der MVP stellt ein funktionsfähiges Produkt mit minimalen Eigenschaften dar. Das Ziel des MVP ist, aufbauend auf Feedback der Projektpartner, Input zu generieren, um das Konzept zu verbessern. Durch die Validierung der Konzepte und die zu Antragstellung nicht vorhersehbare Komplexität des MVP, erhält dieser im Laufe des Projekts sein eigenes Arbeitspaket und wird aufgrund dessen im Abschnitt 3.9 detailliert beschrieben.

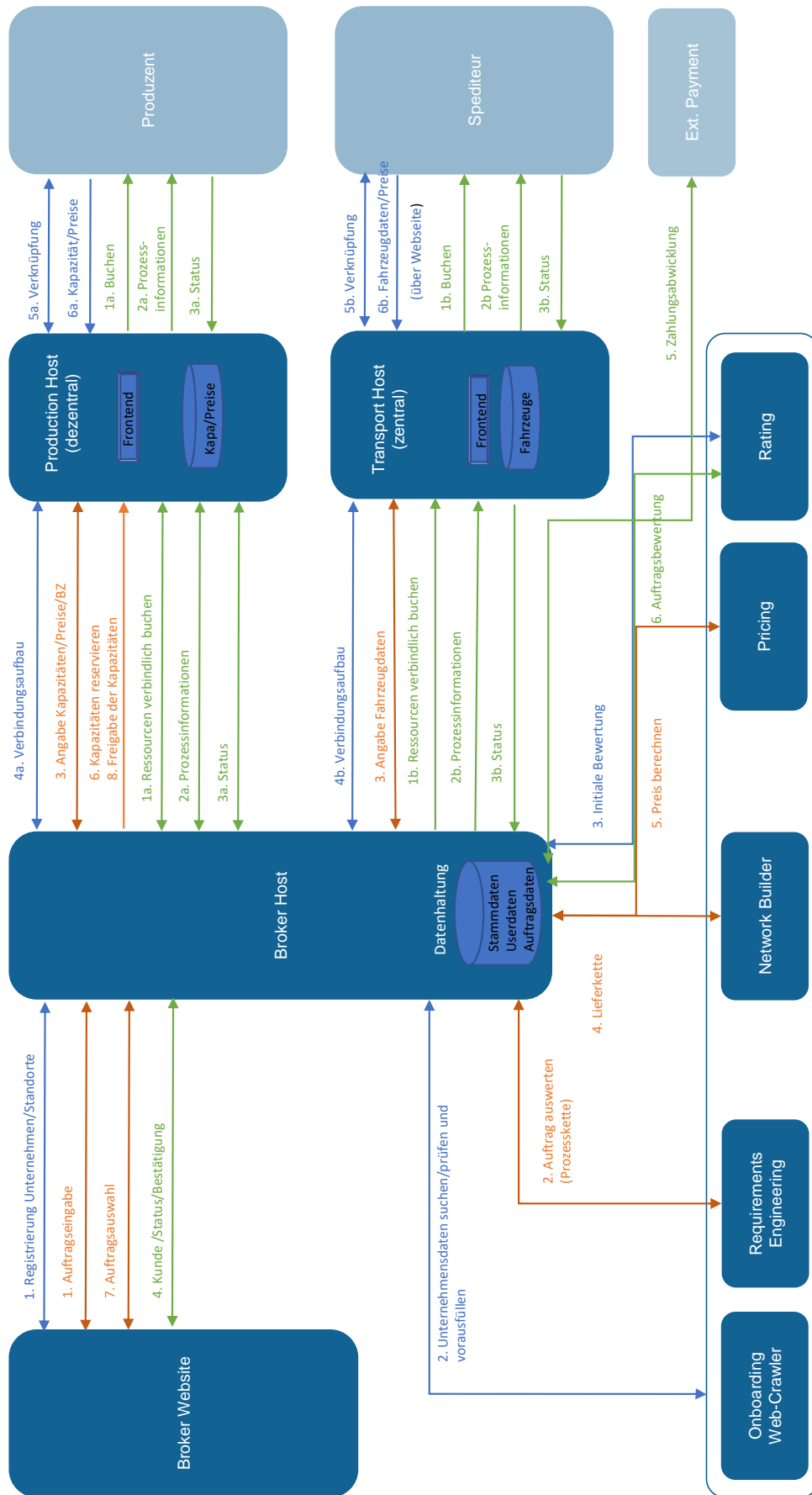


Abbildung 8: Gesamtarchitektur

3.2.2.7 Iterativer Verbesserungsprozess

Um kontinuierlich einen Ausgleich zwischen Gesamtkonzept und der Entwicklung zu schaffen, wurde innerhalb von Arbeitspaket 1.4 ein „iterativer Verbesserungsprozess“ auf Konzept- und Architekturebene etabliert, welcher Änderungen auffängt und in die Gesamtarchitektur integriert. Dieser wurde in Form eines zweiwöchentlichen Regeltermins umgesetzt, wobei pro Unternehmen ein:e Verantwortliche:r anwesend war. Dadurch konnten Meinungen und Interessen aller Seiten in den Verbesserungsprozess eingebunden und die folgenden Ergebnisse erzielt werden.

Ähnlich zum Inhalt dieses Berichtes wurde sich bei Themen des zweiwöchentlichen Meetings an den Arbeitspaketen orientiert. Unter anderem wurde regelmäßig der Status des in Abschnitt 3.2.2.2 angesprochenen Ist-Vergleichs besprochen, um die Anforderungsanalyse und den Ist-Vergleich voranzutreiben und mit dem Input aller Projektpartner zu bereichern. Des Weiteren wurde im Arbeitspaket „Spezifikation der Anwendungsfälle“ der Gesamtprozess und die Use Cases regelmäßig von allen Projektpartnern validiert und mögliches Feedback eingearbeitet. Unter anderem hat sich durch die Validierung der gesonderte Reklamationsprozess hervorgetan, welcher bereits im Abschnitt „Sonderprozesse“ eingeführt wurde. Neben den erwähnten Arbeitspaketen war das Thema „Konzeption und Gesamtarchitektur“ ein Teil des iterativen Verbesserungsprozesses. Die Gesamtarchitektur wurde ähnlich zum Gesamtprozess regelmäßig validiert, um ein Feedback zu generieren und anschließend einzuarbeiten. Unter anderem konnte man dadurch die Schnittstellen beschreiben und technische Komponenten sowie Datenflüsse definieren. Zusätzlich wurden der aktuelle Stand sowie die Inhalte des MVP mit denen des Gesamtprozesses im Rahmen dieses Arbeitstaktes abgeglichen. Der Beschluss, dass der MVP ein gesondertes Arbeitspaket bekommt, wurde ebenfalls innerhalb dieses Prozesses getroffen.

3.3 Arbeitspaket 2: Modell-Repräsentation und Tooling

Das Arbeitspaket 2 gliedert sich in die Themenschwerpunkte Datenmodellierung für die Plattform und Requirements Engineering (RE), welches einen Service für die Ableitung der benötigten Bearbeitungen für ein Bauteil bereitstellt. Letzterer Aspekt war im Projektantrag nicht vorgesehen, wurde aber im Rahmen der Anforderungsanalyse in AP 1 als essentiell betrachtet und als zusätzliche Komponente aufgenommen.

3.3.1 Stand der Wissenschaft und Technik

Im Rahmen der Recherche zu bestehenden Standards und Vorarbeiten wurde ein weiteres Forschungsprojekt identifiziert, welches einen ähnlichen Fokus aufweist. Das inzwischen abgeschlossene Projekt Add2Log beschäftigte sich mit der Vernetzung von dezentraler, ad-

ditiver Fertigung und agiler Logistik. Analog zum DPNB-Projekt steht hierbei eine Softwareplattform als zentraler Vermittler zwischen den verschiedenen Partnern im Mittelpunkt. Der große Unterschied zur DPNB-Plattform liegt im Projekt Add2Log in der Einschränkung auf additive Fertigung als Fertigungsverfahren, während die DPNB-Plattform unabhängig vom Fertigungsverfahren ist.

Der Schwerpunkt des RE, im Besonderen die automatische Ableitung von Produktionsplänen aus Konstruktionsdaten, z.B. in Form von CAD-Modellen, ist als "Computer Aided Process Planning" (CAPP) bereits seit Jahrzehnten ein Forschungsthema (vgl. u.a. Alting und Zhang, 1989; Ham und Lu, 1988). Es existieren auch einige kommerzielle Lösungen, welche diese Funktionalitäten umsetzen. Beispielhaft sei hier die Software classmate PLAN genannt, welche bereits während des Konstruktionsprozesses die Arbeitspläne mit den entsprechenden Zeiten und Kosten kalkulieren kann.

3.3.2 Datenmodell für die Broker-Plattform

Basierend auf den Prozessen aus AP 1 wurde ein entsprechendes Datenmodell entwickelt, welches im Folgenden kurz vorgestellt werden soll. Das Modell in Abbildung 9 gliedert sich in drei Bereiche, die im Folgenden jeweils einzeln kurz beleuchtet werden. Die erste Kategorie sind die Stammdaten, diese umfassen die registrierten Unternehmen auf der Plattform. Diese werden ergänzt durch die zweite Kategorie, Ressourcen der Anbieter. Durch diese Datenmodelle werden alle Maschinen- und Transportressourcen modelliert, die der Plattform zur Verfügung stehen. Die dritte Kategorie ist Anfrage/Angebot/Auftrag. Diese Datenmodelle bilden den Ablauf gemäß *Use Case 1* und *Use Case 2* ab.

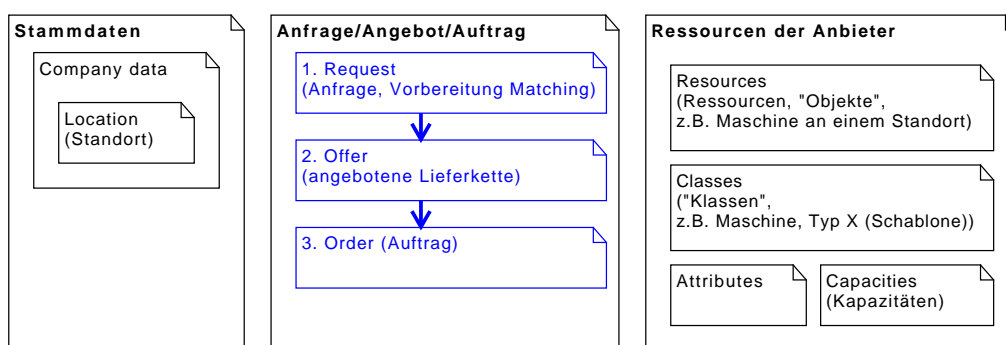


Abbildung 9: Überblick über das Datenmodell für die Broker-Plattform

Die Diagramme im Folgenden orientieren sich an der UML-Notation. Zusätzlich sind mittels gepunkteter Linien die Referenzen auf andere Objekte mit eingezeichnet, was nicht der üblichen UML-Notation entspricht.

3.3.2.1 Modellierung der Stammdaten

Die Modellierung der Stammdaten ist in Abbildung 10 gezeigt. Zentrales Element ist hier das Unternehmen, welches sich auf der Plattform registriert (Company). Dieses kann über mehrere Standorte verfügen, die jeweils über mehrere Kontakte, Ressourcen und Zertifizierungen verfügen. Ein Kontakt ist ein:e Benutzer:in auf der Broker-Plattform. Alle drei Objekte leiten hier von der abstrakten Klasse AddressableObject ab, welche die Modellierung einer Adresse bereitstellt.

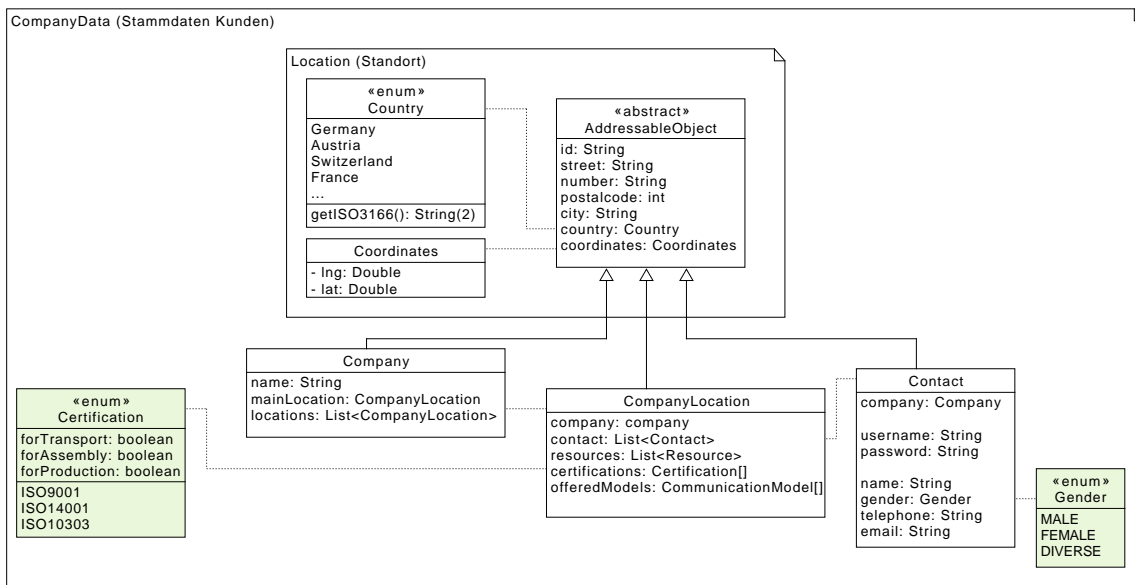


Abbildung 10: Stammdaten im Datenmodell für die Broker-Plattform

3.3.2.2 Modellierung der Ressourcen

Bei den Ressourcen wird zwischen Produktions- und Transportressourcen unterschieden. Dementsprechend gibt es in der Modellierung hier für beide jeweils individuelle Eigenschaften (s. Abbildung 11). Im unteren Teil sind die Klassen von Maschinen und Transportfahrzeugen definiert. Diese stellen die Beschreibung eines Maschinentyps dar. Jeder Maschinentyp wird dabei durch entsprechende Attribute beschrieben, die in den zugehörigen Attributes-Klassen noch genauer spezifiziert werden. Die Klassen bilden eine Maschinen- und Transportfahrzeugbibliothek. Basierend auf diesen Definitionen können nun konkrete Maschinen bei einem Teilnehmer der Plattform als Ressourcen modelliert werden. Abgeleitet von der Oberklasse Ressource gibt es hier sowohl eine ProductionResource wie auch eine TransportResource. Jeder Resource ist eindeutig ein Unternehmensstandort und darüber wiederum ein Unternehmen zugewiesen. Zudem verfügt jede Resource über Kapazitäten

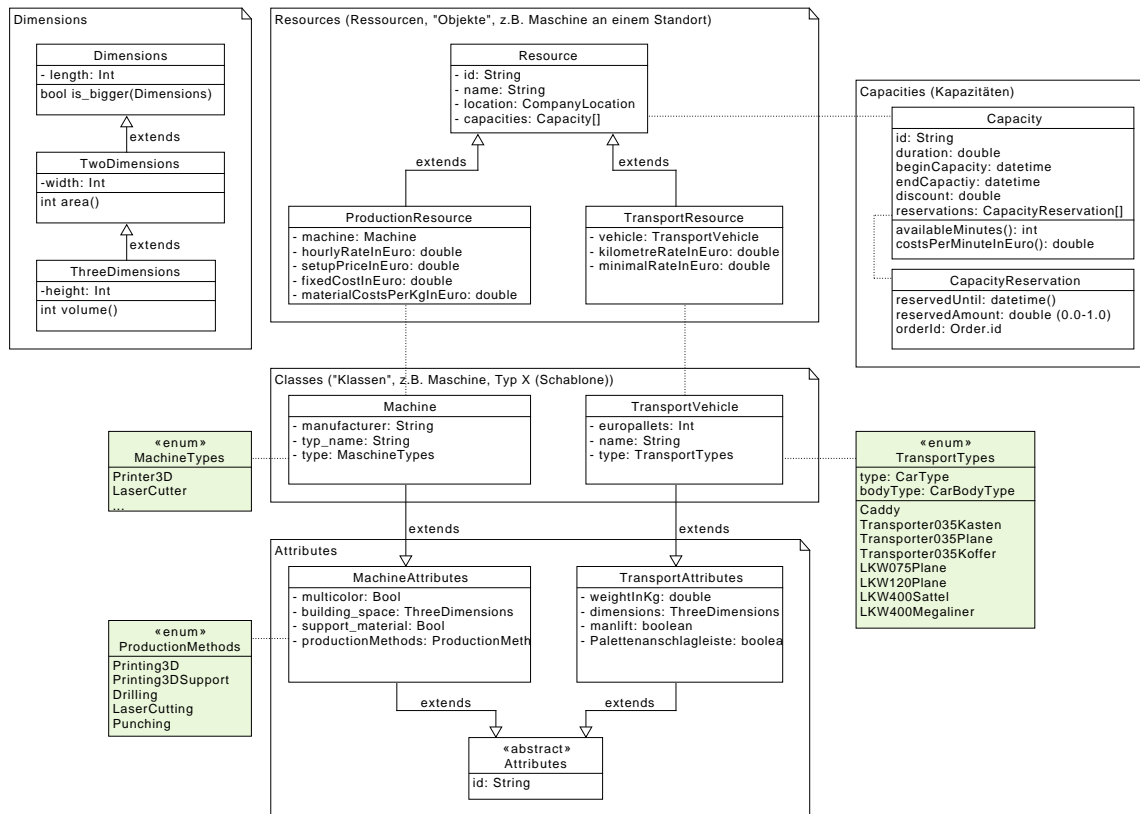


Abbildung 11: Ressourcen im Datenmodell für die Broker-Plattform

und entsprechende Kosteninformationen, um für einen konkreten Auftrag dann die Kosten die Nutzung dieser Ressource berechnen zu können.

3.3.2.3 Modellierung von Anfrage, Angebot und Auftrag

Diese Modellierung folgt den drei Schritten, welche für die Durchführung eines Auftrags durch die Plattform notwendig sind (s. Abbildung 12). Der Prozess beginnt hier bei der Anfrage durch die Nutzer:innen der Plattform. Eine Anfrage kann dabei aus mehreren Produkten bestehen, wobei für jedes Produkt wiederum verschiedene Produktionsvarianten in Form von Prozessketten hinterlegt werden, welche sich auch mehreren Prozessschritten zusammensetzen. Jeder Prozessschritt hat dabei entsprechende Anforderungen, die von Maschinentypen erfüllt werden müssen. Basierend auf diesen Anforderungen können dann durch das RE die Ressourcen identifiziert und zugewiesen werden, welche das gewünschte Bauteil fertigen könnten. Das so vervollständigte Modell ist dann anschließend die Grundlage für Erstellung eines Angebots durch die Matching-Komponente. Diese Komponente gibt für jedes Teil eine Supply Chain zurück, in welcher für jeden Prozessschritt eine Ressource aus den im Broker verfügbaren ausgewählt wurde. Für die Auswahl der Ressourcen stehen

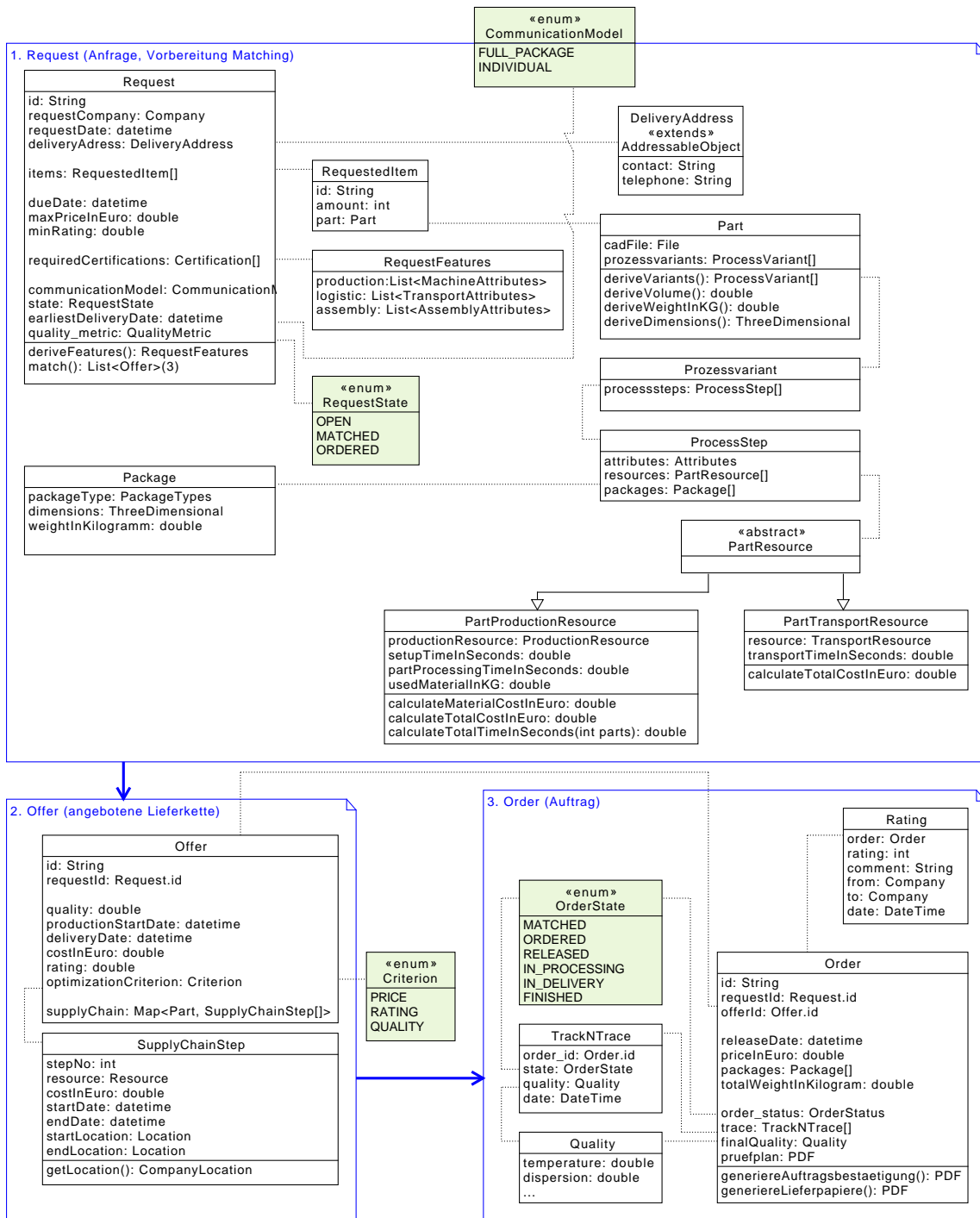


Abbildung 12: Anfrage, Angebot und Auftrag im Datenmodell für die Broker-Plattform

drei Kriterien zur Verfügung: günstigster Preis, höchste Qualität nach den Kundenbewertungen sowie schnellstmögliche Lieferung. Der Prozess wird fortgesetzt durch die Bestellung eines Angebots durch den Kunden. Hierbei bestellt ein:e Nutzer:in ein Angebot, dass für die Anfrage erstellt wurde. Für den Auftrag werden dann während der Produktion und des Transports Daten zur Nachverfolgung bereitgestellt.

3.3.2.4 Anpassung der Modellierung für den MVP

Die Implementierung des MVP erfolgte auf Basis des vorherig beschriebenen Datenmodells. Allerdings wurden einige Namen und Aspekte überarbeitet (s. Abbildung 13). Zentrales Datenelement ist hier nun der CustomerRequest, welcher der Gruppe Anfrage, Angebot und Auftrag entspricht und alle diese Aspekte abbildet. Im Bereich der Process Chain sind die Prozessketten modelliert und das Matching Result ist ein konkretes Angebot für ein Optimierungskriterium eines Auftrags. Der Tracking-Bereich ermöglicht dann die Speicherung und Bereitstellung von Informationen zum Fortschritt des Produktions- und Transportprozesses.

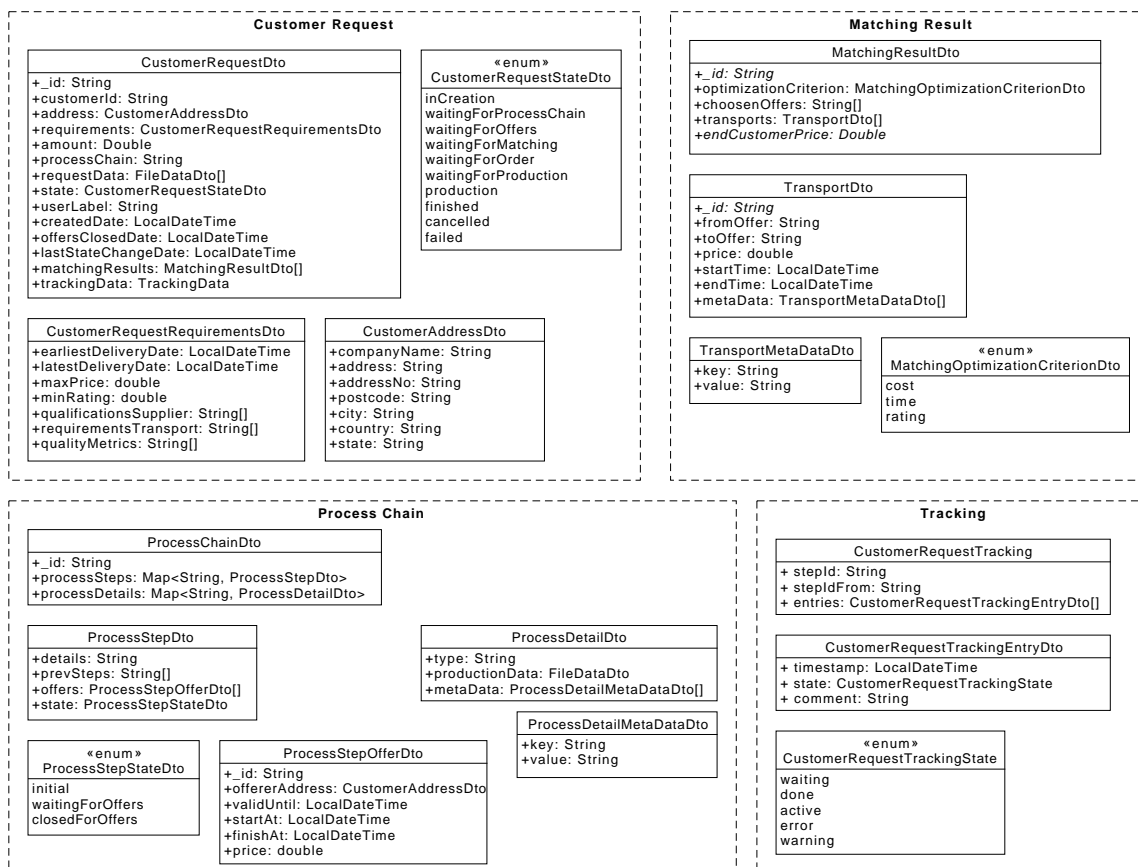


Abbildung 13: Datenmodell des MVP

Größere Abweichungen sind, dass jeder Anfrage nur noch ein Produkt und eine Prozesskette zugewiesen werden kann. Die Prozesskette ist zudem nun als Baum implementiert, sodass auch parallele Prozesse möglich sind. Der größte Unterschied ist, dass hier nicht von einem zentralen Ansatz ausgegangen wird, bei dem der Broker alle Daten und Ressourcen kennt. Die Stammdaten beispielsweise werden nicht modelliert, sondern von den Nutzer:innen pro Auftrag eingegeben. Statt der Modellierung der Ressourcen gibt es ein Angebotsprinzip. Bei diesem Erstellen die individuellen Anbieter nun selbst Angebote für einzelne Produktionsschritte in der Prozesskette.

3.3.3 Domänenontologie: Entwicklung einer Ontologie im Logistikbereich

Der nachfolgende Abschnitt beschreibt die Entwicklung einer Ontologie, die speziell auf den Transportprozess innerhalb des DPNB-Projekts, aber auch generell auf Transporte anwendbar ist. Dieser Abschnitt basiert auf der Masterarbeit von Häusele (2020).

Für die Entwicklung der Ontologie wurden zwei bereits bestehende Prozesse der Robert Bosch GmbH modelliert und analysiert: Der Onboarding Prozess und der Logistics Execution Process. Aus den Prozessen und den Anforderungen an die Plattform wurden Soll-Prozesse für den Transport erstellt, welche Lösungsmöglichkeiten für die herausgearbeiteten Probleme und Herausforderungen enthalten. Der Onboarding-Prozess dient hierbei zur Gewährleistung für das Auffinden geeigneter Logistikdienstleister. Unterstützt wird dieser Prozess durch ein Bewertungsschema. Durch den Anreiz der Bewertungskriterien und die geforderten Daten für das Onboarding werden qualifizierte Teilnehmer der Plattform ausgewählt und somit die Erzielung bestmöglicher Matches sichergestellt. Auf diese Weise können Anbieter und Nachfrager zusammengebracht werden. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf den im Rahmen der DPNB-Plattform durchgeführten Transporte. Zusätzlich werden die Möglichkeiten zur Sendungsverfolgung über eine App aufgezeigt. Diese App hilft beim Tracking und Tracing der Transporte.

Im Anschluss an die Analyse wurde die Ontologie für die Anwendung im DPNB-Projekt entwickelt. Die Darstellung erfolgt durch UML-Klassendiagramme. Aufgrund ihrer Allgemeingültigkeit und leichten Anpassbarkeit kann die Ontologie in verschiedenen Anwendungsfällen innerhalb des Transportbereichs eingesetzt werden.

In der Ontologie sind die Klassen und Attribute aufgenommen, die während des Transportprozesses relevant sind. Nachdem das Matching auf der DPNB-Plattform stattgefunden hat und die Auswahl sowie Bestätigung eines Anbieters durch den Nachfrager erfolgt ist, werden alle Informationen im Transportplan zugänglich gemacht. Der Transportplan enthält alle Informationen über die Transporte eines Auftrags. In Abbildung 14 ist ein Ausschnitt des UML-Klassendiagramms dargestellt, sodass die Hauptklasse *TransportOrder* der Ontologie verstanden werden kann. In der Abbildung sind die *Transport Order* und der *Transport*

Plan aufgeführt. Der *Transport Plan* enthält die Attribute *ID* und *List of Transport Orders*. Dabei wird der *ID* der Typ *string* zugeordnet. Die *List of Transport Orders* umfasst alle Transporte, die innerhalb des einen Auftrags vorhanden sind, wobei jeder einzelne Transport in einer eigenen *Transport Order* abgebildet wird. Somit können, abhängig davon, wie viele Transport- und Produktionsschritte in einem Auftrag enthalten sind, eine oder mehrere *Transport Orders* in einem *Transport Plan* enthalten sein.

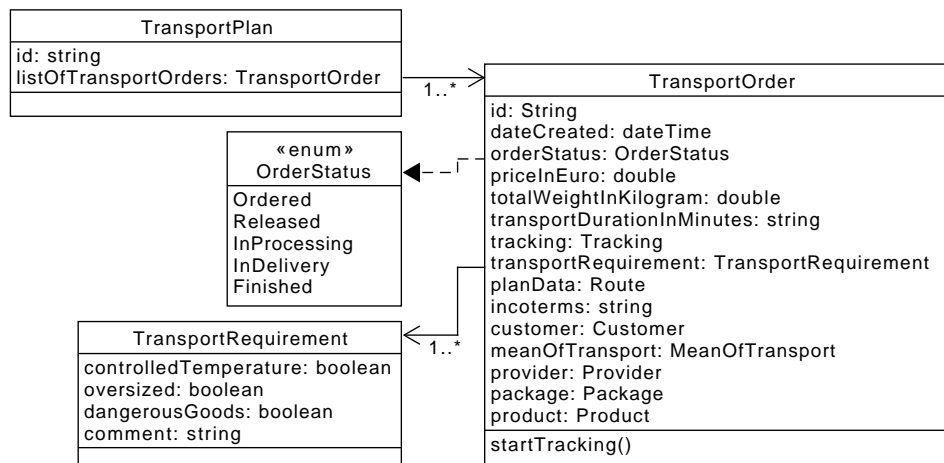


Abbildung 14: Ausschnitt 1 des Klassendiagramms

Die Klasse *Transport Order*, als Mittelpunkt und Hauptaspekt der Ontologie, enthält zahlreiche Attribute. Genauso wie der *Transport Plan* besitzt die *Transport Order* eine *ID*. Zusätzlich sind weitere Attribute aufgenommen (s. Abbildung 14). Beispielsweise verweist das Attribut *Order Status* auf die Aufzählung der verschiedenen Status. Sie werden in einer speziellen, der Aufzählung dienenden Klasse aufgelistet. Zusätzlich ist es möglich, dass ein Auftrag besondere Anforderungen an den Transport stellt, die beispielsweise mit dem Transport von Gefahrgütern oder übergroßen Gütern einhergehen. Dies wird durch die Verbindung zur Klasse *Transport Requirement* dargestellt.

Ein weiteres Attribut des Transportauftrags, welches hier genauer betrachtet werden soll, ist das *Tracking*, das als eigene Klasse definiert wird (s. Abbildung 15). Neben der *ID* sind

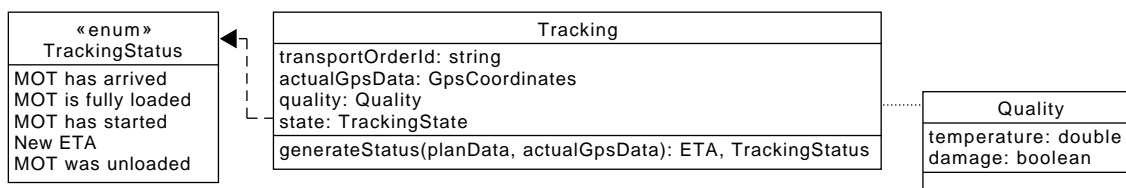


Abbildung 15: Ausschnitt 2 des Klassendiagramms

in dieser Klasse die Attribute *Actual Gps Data*, *Quality* und *State* relevant. Die Darstellung der aktuellen GPS-Daten erfolgt anhand der *Gps Coordinates*. Die Qualität kann im Idealfall während des Transportes bestimmt werden. Attribute dieser Klasse sind *Temperature* sowie *Damage* während des Transports, also die Anforderung an die Temperatur und ob ein Produkt beschädigt wurde. Der durch die Klasse *Tracking Status* definierte *State*, ist eine wichtige Eigenschaft für den Nachfrager und den gesamten Ablauf der Lieferkette. Durch die Bereitstellung der Status kann nach Erkennen von Verzögerungen eine geeignete Reaktion darauf erfolgen. Die Methode *Generate Status* generiert aus den geplanten Daten (*Plan Data*), die im Transportauftrag verfügbar sind und aus den aktuellen Daten (*Actual Gps Data*) eine *ETA* und den *Tracking Status*.

Auf die weiteren Klassen wird hier nicht genauer eingegangen. Alle Klassen sind jedoch in Abbildung 16 zu sehen, welche die gesamte Ontologie abbildet.

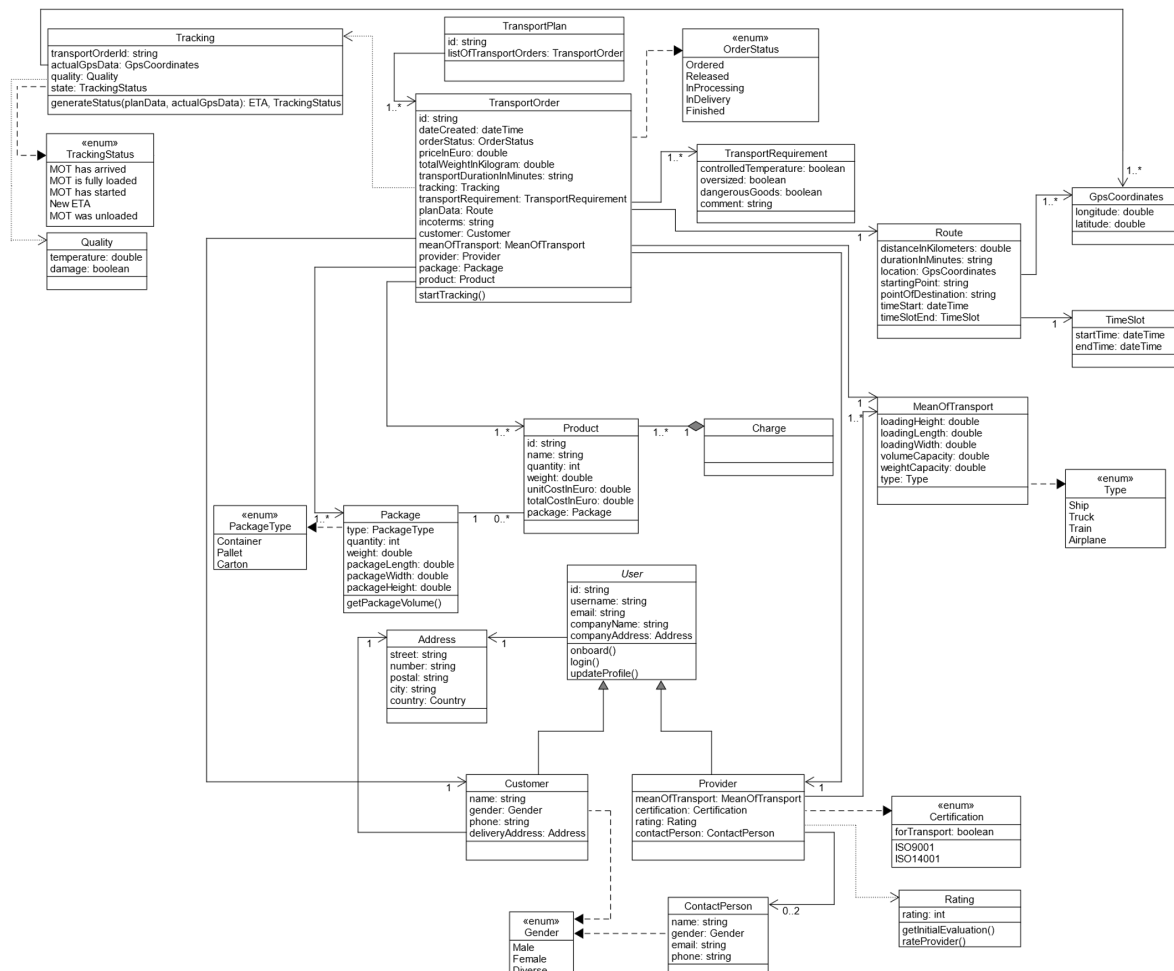


Abbildung 16: Ontologie für den Transportprozess

3.3.4 Technische Ontologien: Fertigungsverfahren

Eine für den nachfolgende Requirements Engineering notwendige Größe sind die verfügbaren Fertigungsverfahren. In der DIN 8580 (DIN, 2003) sind entsprechende Verfahren definiert, aus denen wir in Zusammenarbeit mit den Industriepartnern die Fertigungsverfahren in Tabelle 4 identifiziert haben.

Tabelle 4: Ausgewählte Fertigungsverfahren im Broker

Kategorie	Bearbeitungen
Material	Material, Filament, Blech
Urformen	3D-Druck
Umformen	Biegen, Prägen
Trennen	Stanzen, Sägen, Zuschneiden, Entgraten, Schleifen, Laserschneiden, Bohren, Gewinde
Fügen	Schweißen
Beschichten	Beschichten
Montage	Montage

3.3.5 Qualitätsmetriken

Um die Qualität von gefertigten Bauteilen für alle beteiligten Partner nachvollziehbar zu machen, sollten entsprechende Qualitätsmetriken gemeinschaftlich definiert werden. Die Motivation hierfür sind unterschiedliche Anforderungen, die sich für Bauteile bei verschiedenen Prozessen ergeben. Im Zuge des Trackings der Fertigung können zusätzlich Informationen über den Zustand des Bauteils hinterlegt und so den Nutzer:innen bereitgestellt werden.

3.3.6 Requirements Engineering (Modelleditor)

Im Zuge der ersten Workshops zur Erstellung des Gesamtprozesses kam die Problematik auf, dass für das Matching die Anforderungen des angefragten Bauteils bestimmt werden müssen. Diese sind notwendig um im nachfolgenden Schritt diese Anforderungen mit den Maschinenfähigkeiten der Anbieter auf der Plattform abgleichen zu können. Diese Komponente war im Antrag nicht vorgesehen und wurde daher als zusätzliches Unterarbeitspaket Requirements Engineering (RE) ins AP 2 aufgenommen und in Form eines Editors umgesetzt.

Der erste Beispielprozess im Projekt war ein 3D-Druck-Teil, welches aus ein oder zwei Einzelteilen in unterschiedlichen Farben bestand. Mögliche Prozessketten hierfür sind entweder der komplette Druck mit Stützmaterial oder der Druck in zwei Einzelteilen mit anschließender Montage der beiden Teile. Hierfür wurden die Attribute *Bauraum*, *Mehrfarbigkeit*

und *Stützmaterial* definiert. Ersteres gibt die maximalen Abmessungen des Druckers an, also bis zu welcher Größe dort Bauteile gedruckt werden können. Die beiden letzteren Attribute beschreiben die konkreten Fähigkeiten des Druckers, also zum einen ob der Drucker in der Lage ist mehr als eine Farbe zu drucken, ohne einen manuellen Eingriff und ob der Drucker Stützmaterial drucken kann, was sich anschließend leicht entfernen lässt. Für die Demo-Teile wurden entsprechende Prozessketten definiert und anschließend diese Daten mit den verfügbaren Druckern abgeglichen. Dieses Konzept wurde im Weiteren dann etwas verallgemeinert und ins Datenmodell aufgenommen.

Im Zuge der Entwicklung des MVP kam es zu einem Wechsel von einem zentralen Ansatz (die Plattform kennt alle Anbieter und deren Fähigkeiten) zu einem dezentralen Ansatz (die Plattform fragt die Anbieter an und diese machen Angebote). Im Zuge dessen haben sich auch die Anforderungen an das RE verändert. In diesem kann der Prozess etwas größer beschrieben werden, auch wenn detaillierte Angaben den Anbietern für passendere Angebote helfen. Entscheidend ist hier aber vor allem die richtige Bestimmung der notwendigen Bearbeitungen für das Bauteil und die Zusammenstellung der Bearbeitungen zu einer Prozesskette. Um diesen Prozess zu unterstützen wurde ein graphischer Editor entwickelt, der es Anwendender:innen ermöglicht, die eigene Prozesskette mittels Drag & Drop aus einer Bibliothek von Bearbeitungen zu kombinieren (s. Abbildung 17). Die Bearbeitungen orientieren sich dabei an Tabelle 4. Zusätzlich sind für jede Bearbeitungen erforderliche Attribute

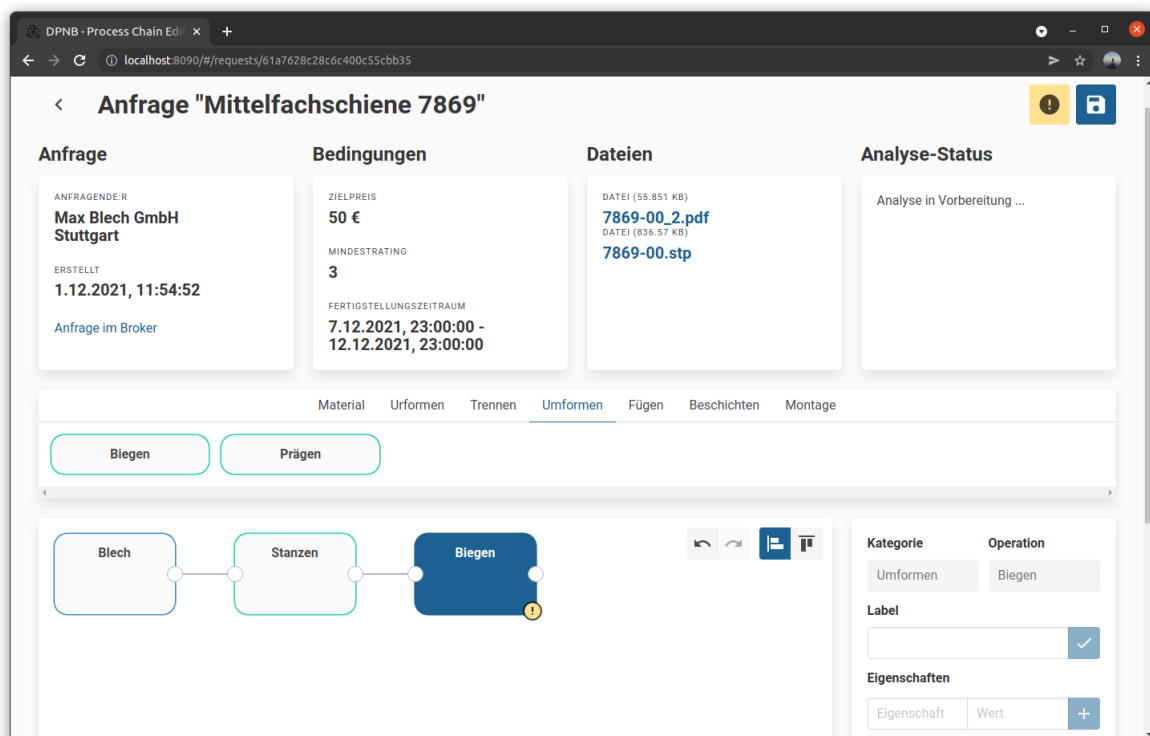


Abbildung 17: Drag & Drop-Editor zum Erstellen der Prozesskette für die Anfrage

definiert, z.B. Abmessungen und Gewicht. Diese müssen von den Anwender:innen ergänzt werden. Zusätzlich können noch weitere Attribute angegeben werden. Auch hier gibt es einige Vorgaben für die üblichen Attribute, sodass diese möglichst einheitlich eingegeben werden. Die Anzahl an Attributen ist hierbei nicht begrenzt.

Das zugehörige Datenmodell ist in Abbildung 18 dargestellt. Im oberen Teil ist die Definition der verfügbaren Bearbeitungen zu sehen. Diese Daten sind statisch und bleiben somit im Editor konstant. Hervorzuheben ist hier die Definition der Anzahl an zu verwendenden Ein- und Ausgängen, welche durch den Editor auch validiert werden. Bei einer Montage sind beispielsweise immer mindestens zwei Teile als Eingang ($2 \dots n$) notwendig, während das Ergebnis ein einzelnes Teil ($1 \dots 1$) ist. Die Arrays `required_properties` und `suggested_properties` geben die Attribute vor, die der Editor für die Bearbeitung erfordert bzw. vorschlägt. Im unteren Teil der Abbildung ist das Datenmodell für die Rückgabe aus dem Editor dargestellt. Dieses orientiert sich stark an der Definition der Prozesskette im MVP.

Ein Vorverarbeitungsschritt ist die Analyse der technischen Zeichnung, sofern vorhanden, mittels eines neuronalen Netzes. Dieses wurde mit einer Menge an technischen Zeichnungen mit bekannten Bearbeitungen trainiert und kann für eine unbekannte Zeichnung eine Schätzung abgeben, welche Bearbeitung wahrscheinlich für diese Zeichnung notwendig sind (Bergmann et al., 2021). Das Ergebnis dieses Prozesses wird im Prozessketten-Editor angezeigt und die Bearbeitungen können von der Anwender:in übernommen werden. Der Prozessketteneditor sollte noch mit weiteren Informationen angereichert werden, welche automatisch aus dem Bauteil abgeleitet werden. Einer der einfacheren Aspekte wäre hier die Abmessungen des Bauteils. Diese Aspekte werden aktuell noch in einer Masterarbeit untersucht, konnten im Projekt jedoch nicht mehr berücksichtigt werden.

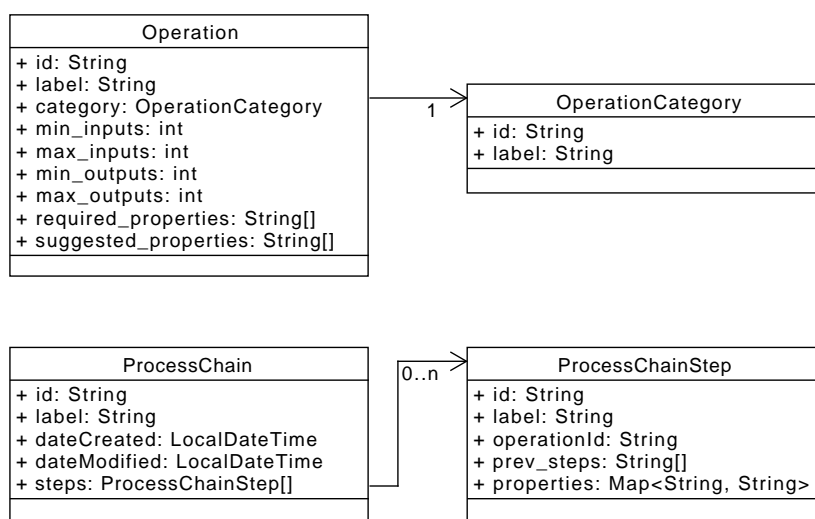


Abbildung 18: Datenmodell des Editors für das Requirements Engineering

3.4 Arbeitspaket 3: Network Builder Service

Das *Industrie-4.0*-Anwendungsszenario „auftragsgesteuerte Produktion“ (Plattform Industrie 4.0, 2016) stellt eine Grundlage des DPNB-Projekts dar, in dessen Zentrum die Aufgabe steht, für einen spezifischen Produktionsauftrag die Ressourcen mit den erforderlichen Fähigkeiten und Kapazitäten auf Anfrage dynamisch bereitzustellen. Ein automatisches Ressourcenmanagement für dieses Anwendungsszenario zu entwickeln ist das Ziel des AP 3.

Die Entwicklungsarbeiten in AP 3 (*Lead*: FZI) waren zweigeteilt. Das FZI hat zum einen Planungsprobleme mathematisch modelliert, die für das Management der am Broker angeschlossenen Produktions- und Transportressourcen notwendig sind. Zum anderen wurden die entwickelten Optimierungsmodelle prototypisch implementiert. Die Implementierungen sind zentraler Baustein des Network Builder Service (NBS), für den im Rahmen des AP MVP in enger Zusammenarbeit zwischen FZI und BIBA ein Microservice konzeptioniert und prototypisch implementiert wurde.

3.4.1 Stand der Wissenschaft und Technik

Neben den im Antrag bereits genannten am Markt befindlichen Vermittlungsplattformen sind nach Beginn des Vorhabens weitere Plattformanbieter, z.B. *Laserhub* und *Bosch Industry* (Bosch-eigene geschlossene Plattform) bekannt geworden. Letztere verfolgen mit der Vermittlung zwischen Anbietern und Nachfragern von Zeichnungsteilen grundsätzlich eine ähnliche Zielsetzung wie der DPNB, unterscheiden sich jedoch in einigen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen.

Ein hervorzuhebendes Unterscheidungsmerkmal ist die implizite oder explizite Abbildung mehrstufiger Produktionsprozesse in der Angebotsplanung. Bei einem Erfahrungsaustausch mit Vertretern der unternehmensinternen Plattform *Bosch Industry* wurde berichtet, dass die dortige Arbeitsweise derzeit nur einstufige Prozesse erlaubt, d.h. mehrstufige Bearbeitungen werden dort lediglich als so genannte „Komplettbearbeitungen“ ausgeschrieben. Dieser Ansatz setzt somit bei der Suche nach geeigneten Zulieferern voraus, dass Unternehmen über die nötigen Fähigkeiten und Kapazitäten entlang des gesamten Fertigungsprozesses – anstatt nur für einzelne Stufen – verfügen müssen, um als potentielle Lieferanten in Frage zu kommen.

Im Unterschied dazu wird die Mehrstufigkeit im DPNB explizit in der Weise abgebildet, dass die Anforderungen an den Produktionsprozess zunächst Broker-seitig via Requirements Engineering aufgelöst und produktionsstufenbezogen ausgeschrieben wird. Dies soll einerseits erlauben den effizientesten Zulieferer für jede einzelne Produktionsstufe zu finden und damit eine Lieferkette aufzubauen, die die Gesamteffizienz (z.B. mit Blick auf Herstellungskosten oder Lieferzeiten) gegenüber der eines Komplettanbieters potentiell steigern kann. Auf

der anderen Seite stellt dies neue Herausforderungen an das Matching von Anbietern und Nachfragen im Rahmen der Angebotsplanung.

3.4.2 Projektergebnisse AP 3

Der in AP 1 erarbeitete Anwendungsfall *Use Case 1* beschäftigt sich mit der Anfragebearbeitung vom Eingang einer Produktionsanfrage bis zur Vorlage eines Angebots beim Kunden. Der Ablauf dieses Bearbeitungsprozesses ist in Abbildung 19 dargestellt. Darin übernimmt der NBS die Planungsaufgabe, nachfolgend als *Matching* bezeichnet, für jede Produktionsanfrage eine spezifische Lieferkette zusammenzustellen. Eine Lieferkette beschreibt welche Anbieter von Produktionsressourcen welche Bearbeitung(en) wann und zu welchen Kosten unter Berücksichtigung potentieller Transporte durchführen kann. Das Matching liefert im Ergebnis einen konkreten Vorschlag, wie die Produktionsanfrage mit den vorhandenen Ressourcen logistisch realisiert werden kann. Lieferketten bilden daher die Informationsgrundlage für Angebote an Kunden.

In den folgenden Unterabschnitten werden die in AP 3 entwickelten mathematischen Modellierungsansätze für das Matching skizziert. Die Modelle unterscheiden zwei Formen der Kollaboration in unternehmensübergreifenden Netzwerken, *horizontal integrierte* und *virtuelle Produktionsnetzwerke*.

In Abschnitt 3.4.2.1 wird der Fall eines horizontal integrierten Produktionsnetzwerks betrachtet. Dies spiegelt die Ausgangssituation des *Use Case 1* wider, in der die Anbieter der Plattform ein Nutzungsrecht für ein bestimmtes Kapazitätskontingent auf ihren Produktionsressourcen zu einem gegebenen Preis je Kapazitätseinheit zusichern. In diesem Szenario bildet der NBS für eine spezifische Kundenanfrage eine geeignete Ressourcenkombination aus dem vorhandenen Ressourcenpool (siehe Parente et al., 2020, zu weiteren Chancen und auch Risiken horizontaler Integration für die Produktionsplanung).

Diese Form des Zusammenschlusses zeichnet sich dadurch aus, dass unabhängige Produzenten in einem Wertschöpfungsverbund kooperieren wollen, d.h. sie stellen die globale Gewinnmaximierung im Verbund über die eigene (lokale) Gewinnabsicht (vgl. Sandholm, 2000).

In Abschnitt 3.4.2.2 wird dagegen der Fall eines virtuellen Produktionsnetzwerks betrachtet. Dies entspricht der Ausgangssituation, wie sie sich im AP MVP darstellt. Hier schließen die Anbieter zunächst Abonnements auf einzelne Bearbeitungen ab. Nach Eintreffen einer Kundenanfrage und Ableitung der angeforderten Prozesskette durch das Requirements En-

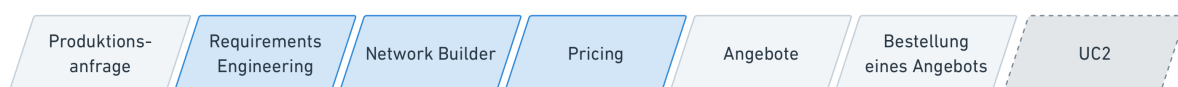


Abbildung 19: Ablauf im Anwendungsfall *Use Case 1* (Broda et al., 2021)

gineering können spezifische und verbindliche *Bearbeitungsangebote* auf einzelne Schritte der Prozesskette abgegeben werden. In diesem Szenario bildet der NBS somit eine geeignete Kombination aus Bearbeitungsangeboten für eine spezifische Kundenanfrage zusammen. Virtuelle Produktionsnetzwerke (kurz *VPN*), oder auch “virtuelles Unternehmen” (Tuma, 1998), zeichnen sich durch einen temporären, lose gekoppelten Zusammenschluss unabhängig und eigennützig agierender Produzenten aus (vgl. Sandholm, 2000). D.h. die Teilnahme eines einzelnen Produzenten bei der Bildung eines VPN erfolgt primär dann, wenn es der Erreichung lokaler Unternehmensziele nützt, wie etwa der Konzentration auf die eigenen Kernkompetenzen (vgl. Tuma, 1998).

3.4.2.1 Matching im horizontal integrierten Produktionsnetzwerk

Das Matching im horizontal integrierten Produktionsnetzwerk beruht auf der Idee einer *rou-tenbasierten* Lieferkettenbildung und erfolgt in zwei Planungsstufen, der Routen- und Lieferkettenbildung. Eine detaillierte Konzeptbeschreibung wurde in dem Fachartikel von Broda et al. (2021) veröffentlicht, welcher auch die inhaltliche Grundlage für Teile dieses Abschnitts ist.

Unter einer Route ist eine Abfolge konkreter (Maschinen-/Transport-)Ressourcen der registrierten Anbieter zu verstehen. Die hier ermittelte Menge zulässiger Routen ist ein wesentlicher Inputparameter für die sich anschließende Lieferkettenbildung. Mit Blick auf die Bildung zulässiger, d.h. logistisch realisierbarer, Routen soll auf Broda et al. (2021) verwiesen werden. Zur Vereinfachung wurde als Grundannahme in Bezug auf die Prozessstruktur festgelegt, dass die von Kunden angefragten Teile einen sequentiellen Bearbeitungsprozess (ohne parallele Bearbeitungen) voraussetzen. Beispielhaft stelle man sich dazu einen Winkelverbinder wie in Abbildung 20 vor. Für diesen sind zwei sequentielle Arbeitsprozesse, eine zwei- und eine dreistufige Prozesskette, wie folgt denkbar:

1. Laserschneiden → Biegen
2. Schneiden → Bohren → Biegen

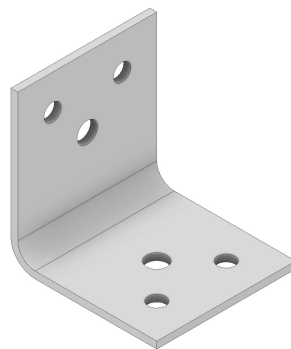


Abbildung 20: Beispielprodukt im Anwendungsfall *Use Case 1* (Broda et al., 2021)

Aufgabe der Lieferkettenbildung ist gemäß einem vorgegebenen Bewertungskriterium zu entscheiden, welche Route für das Angebot ausgewählt und wie die einzelnen Bearbeitungen zeitlich eingeplant werden sollen. Die Zielkriterien für Lieferketten sind in der Kundenanfrage definiert. Sollte der Kunde z.B. eine schnellstmögliche Lieferung wünschen, wird nach einer Lieferkette mit frühestmöglichem Lieferdatum gesucht. Ist der Lieferzeitpunkt hingegen weniger kritisch, dafür aber der Angebotspreis, so wird nach einer möglichst kosteneffizienten Lieferkette gesucht.

Im Rahmen der Lieferkettenbildung stellt sich folgendes Entscheidungsproblem für eine gegebene Produktionsanfrage: welche Route sollte aus einer gegebenen Menge zulässiger Routen ausgewählt werden und wann sollte die Produktion starten, so dass ein definiertes Zielkriterium (z.B. frühestmögliche Lieferung) bestmöglich erfüllt ist. Dabei sind die Kapazitätsrestriktionen der Anbieter und Lieferterminrestriktionen des Kunden einzuhalten.

Das Entscheidungsproblem wird als gemischt-ganzzahliges nicht-lineares Optimierungsproblem formuliert, welches einen diskreten Planungszeitraum unterstellt. Dazu muss der Planungszeitraum unterteilt werden in eine Menge von endlich vielen Zeitintervallen gleicher Länge (z.B. Tage oder Stunden). Es wird zwischen zwei Klassen von binären Entscheidungsvariablen unterschieden. Die erste Klasse bildet die Auswahlentscheidung ab (*Welche Route wird gewählt?*), die andere bildet die Entscheidung über den zeitlichen Ablauf der einzelnen Bearbeitungsschritte (*Wann startet eine Bearbeitung?*) einer gewählten Route ab. Der Gesamtkapazitätsbedarf einer Ressource in einem bestimmten Zeitpunkt ist eine Funktion beider Entscheidungen. Zur Lösung derartiger Optimierungsprobleme kommt die Standardsoftware IBM ILOG®CPLEX®¹⁷ zum Einsatz.

3.4.2.2 Matching im virtuellen Produktionsnetzwerk

Das Matching im virtuellen Produktionsnetzwerk lässt sich als eine spezielle Variante des multi-modalen ressourcenbeschränkten Projekt-Schedulingproblems (MRCPSP)¹⁸ beschreiben. Abbildung 21 stellt dar, welche Inputdaten aus einer gegebenen Kundenanfrage und den anfragespezifischen Bearbeitungsangeboten abgeleitet werden können: eine Menge von Projektaufgaben $A = \{s_1, \dots, s_6\}$, Präzedenzbeziehungen zwischen Aufgaben (z.B. $s_1 \rightarrow s_2, s_4 \rightarrow s_5, s_3 \rightarrow s_6$ etc.) sowie je Aufgabe eine Menge von Ausführungsmodi (z.B. $M_{s_1} = \{a_1\}$, $M_{s_5} = \{a_9, a_{10}, a_{11}\}$ etc.). Aus den Präzedenzen ergeben sich somit Abhängigkeiten wie beispielsweise, dass vor dem Start von Aufgabe s_2 die Aufgabe s_1 abgeschlossen sein muss. Im Gegensatz dazu können etwa die Aufgaben s_1 und s_4 potentiell parallel bearbeitet werden. Hierbei entsprechen die Aufgaben den Bearbeitungsschritten der Prozesskette und Bearbeitungsangebote der Produzenten sind durch die Ausführungsmodi repräsentiert.

¹⁷<https://www.ibm.com/products/ilog-cplex-optimization-studio>

¹⁸vgl. Hartmann und Briskorn (2022) für eine aktuelle Übersicht über diese und andere Varianten von Projekt-Schedulingproblemen.

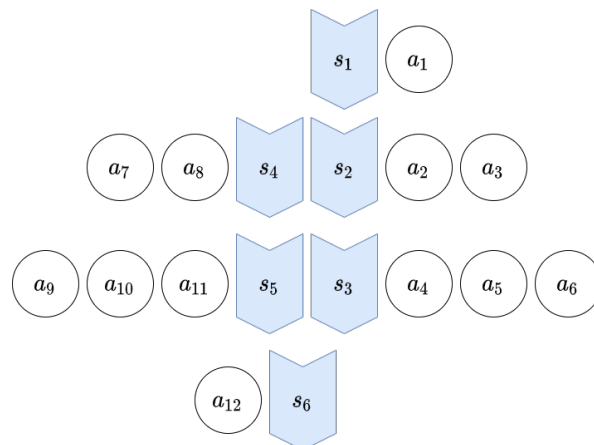


Abbildung 21: Beispiel: Prozesskette und Bearbeitungsangebote im VPN

Weitere zu berücksichtigende Eingabeparameter sind kundenseitig gewünschter Maximalpreis und Lieferzeitfenster sowie anbieterseitig gegebene Angebotspreise, Produktionszeitfenster und -dauern.

Das hier vorliegende Optimierungsproblem ist zum einen ein spezielles MRCPSP mit genau einer *nicht-erneuerbaren* Ressource. Diese Ressource stellt die Anforderung sicher, dass die Gesamtkosten eines zulässigen Projektplans den Maximalpreis nicht überschreiten darf. Zum anderen erweitert es die Standarddefinition des MRCPSP dahingehend, dass Transportkosten für notwendige Transporte beim Übergang von einem zum nächsten Modus in den Projektkosten zu berücksichtigen. Diese Praxisanforderung kann durch zusätzliche Binärvariablen implementiert werden, die anzeigen, welche in einem zulässigen Projektplan gewählten Modi direkt aufeinanderfolgen.

Für die Implementierung wurde das Java-Framework *jDecOR* (Fath und Sayah, 2021) zur Modellierung von linearen gemischt-ganzzahligen Optimierungsproblemen (MIPs) eingesetzt. Das Framework implementiert eine deklarative Schnittstelle zu den *Google OR Tools*¹⁹, über die verschiedene MIP-Solver angesteuert werden können. Im Rahmen des Forschungsprojekts DPNB wird der nicht-kommerzielle MIP-Solver *SCIP*²⁰ eingesetzt.

3.4.2.3 Transportbündelungsservice

Aus Prozesssicht ist die Transportbündelung zwischen *Use Case 1* (Anfragebearbeitung) und *Use Case 2* (Auftragsausführung und -überwachung) angesiedelt. Im Rahmen der Lieferkettenplanung werden Transportkosten auf Basis von Direktfahrten abgeschätzt. Das bedeutet, wenn zwei aufeinanderfolgende Bearbeitungen an verschiedenen Standorten durchgeführt

¹⁹<https://developers.google.com/optimization>

²⁰<https://scipopt.org>

werden, wird zunächst davon ausgegangen, dass ein beim Broker registrierter Transportdienstleister (z.B. Transport Betz) den potentiellen Transportbedarf durch eine Sonderfahrt zu einem bestimmten Preis in Abhängigkeit von Distanz, Fahrzeuggröße etc. prinzipiell abdecken könnte.

Durch eine Kundenbestellung werden die auftragsspezifischen Transportbedarfe konkretisiert. Ziel der Transportbündelung ist es, durch die Betrachtung aller Kundenbestellungen eine möglichst kosteneffiziente Auswahl von Sonderfahrten zu treffen. Das Konzept für eine Softwarekomponente, fortan Transport-Service (TS) genannt, die diese Bündelungsfunktion übernimmt, ist der Gegenstand dieses Abschnitts und soll als Grundlage für Weiterentwicklungen der Broker-Plattform dienen.²¹

Der grundsätzliche Ablauf des TS ist in Abbildung 22 dargestellt. Aus der Menge aller bekannten, offenen²² Kundenbestellungen wird zunächst ein Transportnetzwerk (“Transport network”) abgeleitet. Die Knoten dieses Transportnetzwerks sind die Produktionsstandorte der Lieferketten. Die Transportrelationen zwischen Produktionsstandorten stellen Verbindungen zwischen Knoten in dem Netzwerk dar. Die nachgefragten Sonderfahrten (“Demand”) ergeben sich unmittelbar aus den zu fertigenden Zwischen-/Endprodukten. Der grundlegende Optimierungsansatz besteht darin, die Optimierungsaufgabe in kleinere, lokale Optimierungsprobleme für einzelne Transportrelationen herunterzubrechen (“Problem transformation”).²³ Somit bleibt das Problem für jede Transportrelation zu lösen, möglichst viele Einzelfahrten zu zulässigen kombinierten Sonderfahrten (“consolidated direct shipments”) zusammenzufassen. Diese kombinierten Fahrten sind der Output des TS. Der Output wird an den Broker zurückgegeben und anschließend beginnt der *Use Case 2*.

Das relationsbezogene Problem der Transportbündelung lässt sich graphentheoretisch modellieren, indem man zunächst einen *Konfliktgraphen* (Abbildung 23) konstruiert. Die Knoten des Konfliktgraphen entsprechen den einzelnen Fahrten, während eine Verbindung zwi-

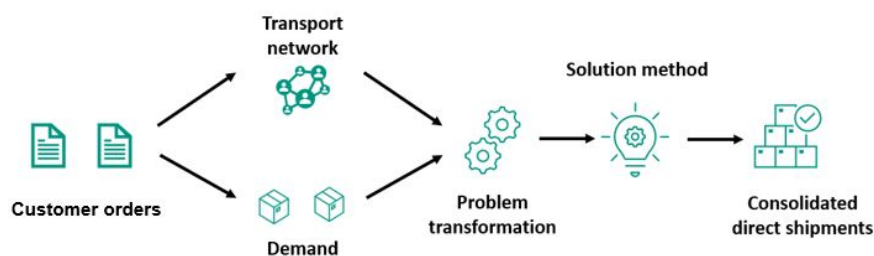


Abbildung 22: Ablauf Transport-Service (Hennes, 2021)

²¹Teile dieses Abschnitts entstanden im Rahmen einer durch das FZI betreuten Masterarbeit (vgl. Hennes, 2021).

²²Kundenbestellungen mit Status *waiting for production*.

²³Unter der gegebenen Voraussetzung, dass Transportdienstleister auf der Broker-Plattform nur als Betreiber von Direktfahrtnetzen (Punkt-zu-Punkt-Verkehre) agieren, bedeutet die Problemzerlegung keine Einschränkung der Optimalität.

Fahrt	Früheste Ladezeit	Späteste Zustellzeit
A	Mo, 07:00	Mi, 12:00
B	Di, 14:00	Do, 18:00
C	Mo, 16:00	Di, 20:00
D	Do, 08:00	Do, 18:00

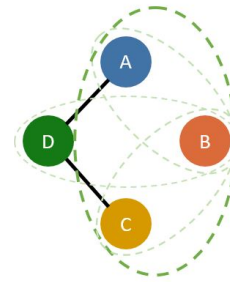


Abbildung 23: Beispiel mit 4 Fahrten und korrespondierendem Konfliktgraphen

schen zwei Knoten einen zeitlichen Konflikt zwischen den entsprechenden Fahrten anzeigt. So können beispielsweise die Fahrten C und D nicht gemeinsam durchgeführt werden, da der späteste Zustellzeitpunkt von Fahrt C vor dem frühesten Ladezeitpunkt von Fahrt D liegt. Somit lautet die Fragestellung, eine möglichst große Teilmenge von unverbundenen Knoten zu identifizieren (in Abbildung 23: die Knotenmenge $\{A, B, C\}$).

Dieses graphenorientierte Optimierungsproblem ist in der Literatur als Problem der maximalen stabilen/unabhängigen Menge (engl.: maximum stable/independent set problem, MIS) bekannt²⁴. Für hinreichend kleine Problemgrößen können Standardlösungsverfahren der gemischt-ganzzahligen Optimierung Sayah und Irnich (2017) herangezogen werden. Da es sich beim MIS jedoch um ein NP-vollständiges Optimierungsproblem handelt, wird bei größeren Instanzen meist auf effiziente Heuristiken zurückgegriffen, wie etwa auf einfache Greedy-Heuristiken (Chaudhry et al., 1986). Das MIS lässt sich auch um weitere relevante entscheidungsrelevante Kriterien wie etwa (Gesamt-)Ladungsgewicht/-größe, maximale Fahrzeugkapazität, (Nicht-)Kompatibilität verschiedener Ladungen erweitern.

²⁴Eine allgemeinere Form des MIS beschreibt das *maximum weighted independent set problem* (MWIS).

3.5 Arbeitspaket 4: Network Integrator Service

Das Ziel des Network Integrator Service ist die Erstellung von Anweisungen und Blaupausen, die adaptergestützte Einbindung von Zulieferern, sowie die Anbindung von Echtzeitdatenquellen zur Überwachung von Produkt- und Prozessqualität. Hierbei wurde der Fokus auf adaptergestützte Einbindung von Logistikdienstleister gelegt, da diese in einer sehr heterogenen und stark segmentierten Systemlandschaft mit weiteren Akteuren entlang der Supply Chain interagieren müssen. Durch die stark heterogenen Systemlandschaften wächst die Bedeutung der Kooperationsfähigkeit zweier oder mehr Softwarekomponenten mit unterschiedlichen Sprachen, Schnittstellen und Plattformen (Wegner (1996)).

3.5.1 Stand der Wissenschaft und Technik

Die stetig größer werdende Menge, Geschwindigkeit und Detaillierungsgrad bei der Datengenerierung und Datenaustausch stehen im Mittelpunkt einer fortschreitenden Digitalisierung und Globalisierung. Vor allem im Kontext der *Industrie 4.0* gewinnt die direkte Kommunikation zwischen Partnern unterschiedlicher Industrien stetig an Bedeutung. Die Fluktuation der Marktnachfrage, die Verteilung von Produktionsstandorten, sowie Umweltaspekte zwingen vor allem Logistikanbieter so dynamisch wie möglich zu sein und in Echtzeit auf Anfragen zuverlässig, effizient und genau zu antworten. Trotz einer Vielzahl an Logistikstandards (GS 1, OASIS UBL, OAGIS, EPCIS), nutzen die meisten Akteure ihre eigenen Informationssysteme oder folgen unterschiedlichen Implementierungsrichtlinien für die entwickelten Standards, die nur durch zusätzliche Kosten und Anstrengungen interoperabel werden (Hofman, 2019). Daher ist es immer noch notwendig, sich auf eine gemeinsame Sprache für den Nachrichtenaustausch zu einigen. Um diesen Austausch zu ermöglichen, wurden verschiedene allgemeine sowie logistikspezifische Frameworks entwickelt. Im Zuge von acht EU-Projekten (FREIGHTWISE, e-Freight, INTEGRITY, Smart-CM, SMART-FREIGHT, EURIDIC, RISING, DiSCwise) entstand bis 2010 das „Common Framework for Information and Communication Systems in Transport Logistic“ (Pedersen, 2012).

Dieses beinhaltet ein gemeinsames Format, um Nachrichten zu tauschen, allerdings nicht was diese beinhalten oder wie sie verschickt werden. Darauf aufbauend entstanden mehrere Erweiterungen, z.B. eine gemeinsame Sprache für den Austausch basierend auf einer Ontologie (Gonzalez-Rodriguez et al., 2015) sowie eine Plattform für intelligente Güter, die auf einem offenen Standard implementiert wurde (Schumacher et al., 2011). Diese Ansätze setzen jedoch ein gemeinsames Verständnis der Transportanbieter voraus, ermöglichen somit nicht, den Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Frameworks, Standards, Implementierungen oder Bestandssystemen. Verschiedene Ansätze zur Dateninteroperabilität können allerdings aus den IoT und *Industrie 4.0* Ansätzen bezogen werden. Zur Integration von Maschinen und Sensordaten bietet beispielsweise StreamPipes eine verteilte Verar-

beitungsinfrastruktur mit semantischen Adaptern zur Integration verschiedener Protokolle und Formate (Riemer et al., 2015). In einem vereinfachten Prozess können mit Hilfe der Adapter über eine graphische Oberfläche neue Ressourcen integriert werden. Applikationen wie Talend²⁵ oder streamsets²⁶ erlauben bereits die Verknüpfung heterogener Quellen zu einer Datenbank via GUI mit Hilfe von Extract, Learn und Transform (ETL) Prozessen. Diese Ansätze benötigen jedoch technisches Know-how. Lehmborg et al. (2017) nutzen semantische Technologien und Standardstrategien zum Zusammenführen, Harmonisieren und Detektieren von Schemata, sie fokussieren sich jedoch auf komplette Datensätze. Ein weiteres Tool ist die low-code Lösung Node-RED²⁷. Die Big IoT API (Broring et al., 2018) ermöglicht Interoperabilität zwischen IoT-Plattformen. Verteilte Architekturen, wie beispielsweise in Kirmse et al. (2018), können mit der verteilten Natur von IoT Datenquellen umgehen. Alle Daten werden hierbei verteilt gespeichert, jedoch werden diese weder harmonisiert noch transformiert. Bei der Integration unterschiedlicher Datenquellen zur Schaffung von Interoperabilität ist besonders die Einhaltung von Mindeststandards für die integrierten Daten von Bedeutung. Daten von niedriger Qualität können zu technischen Ausfällen und Ausfallzeiten von Geschäftsprozessen führen (Tian et al., 2015).

Sadeghi et al. (2020) entwickelt im Rahmen des Projekts SPRINT (Semantics for Performant and scalable INteroperability of multimodal Transport) ein konzeptionelles Interoperability Framework (IF) für die Servitization der Mobilitätsdomäne. Mohammadi et al. (2020) entwickeln einen Ontologie Alignment Approach für verschiedene Standards. Allerdings beschränken sie sich auf das Alignment der Implementierungen zweier offener Standards, ohne zusätzliche Transformationen. Des Weiteren wurden im Rahmen von StreamPipes Connect (Zehnder et al., 2020) semantische Adapter inklusive Datenvorverarbeitung und -transformation entwickelt, die dem Domain Expert ermöglichen sollen, Daten zu injizieren und zu harmonisieren.

3.5.2 Projektergebnisse AP 4

Ziel des AP 4 ist die Entwicklung des Network Integrator Service zur Erstellung von Anweisungen, Blaupausen und adaptergestützte Einbindung von Zulieferern, sowie Anbindung von Echtzeitdatenquellen von Zulieferern und Logistikdienstleistern zur Überwachung von Produkt- und Prozessqualität. In diesem Abschnitt werden die erzielten Ergebnisse aufbauend auf den Teilarbeitspaketen vorgestellt.

²⁵<https://www.talend.com/>

²⁶<https://streamsets.com/>

²⁷<https://nodered.org/>

3.5.2.1 Prozessbezogener Anforderungskatalog

Im ersten Schritt wurden die funktionalen und nicht funktionalen Anforderungen an die Datenintegration und -anbindung untersucht. In Zusammenarbeit mit Bosch wurde der Anwendungsfall „Anbindung von Logistikanbieter“ definiert. Herausforderungen stellten hierbei vor allem die wachsende Zahl an Standards, die fehlende Digitalisierung, sowie fehlende technische Expertise der Logistikanbieter dar. Um trotzdem eine schnelle und einfache Anbindung ihrer IT-Systeme zu schaffen, ist es somit notwendig ein interoperables System zu entwickeln, das mit geringem technischen Wissen bedienbar ist.

3.5.2.2 Blaupausen zur Qualitätsüberwachung und das logistische Onboarding

Zur Sicherung der Mindestqualität der integrierten Daten sowie Schnittstellen ist es notwendig die Datenqualität zu überprüfen. Zum einen sollen damit Ausfälle verhindert werden, zum anderen eine möglichst reibungslose Kommunikation mit den Anbietern gewährleistet werden. Aufgrund der selbständigen Anbindung von nicht-technischen Nutzern und dem darauf basierenden Nachrichtenaustausch ist es wichtig, die angebotenen Schnittstellen auf Konsistenz der Angaben und Aktualität von Daten zu überprüfen, um eine funktionsfähige Verbindung zu den externen Anbietern zu gewährleisten. Hierfür wurde im Bosch Kontext ein Konzept zur Messung von Datenqualität entwickelt. Der schematische Ablauf der Qualitätsüberwachung ist in Abbildung 24 dargestellt. Die Nachrichten und zugehörigen Daten werden gesammelt, visualisiert und analysiert. Basierend darauf werden, nach Anbieter gesplittet, unterschiedliche Metriken für die Dimensionen Genauigkeit, Aktualität, Vollständigkeit und Konsistenz, basierend auf verschiedenen statistischen KPIs berechnet. Die Genauigkeit und Konsistenz der Daten setzt sich beispielsweise aus KPIs mit Bezug auf die Fehlerquote pro Nachrichtenart, Fehlerschwere und Art des Fehlers zusammen. Das Vollständigkeits-Measure misst die prozentual erreichte Anzahl an erwarteten Nachrichten (z.B. Statusinformationen oder Informationen zum Transportmodus). Basierend auf diesen Werten kann auf Anbieter zugegangen werden, die Daten nicht in der gewünschten Qualität oder fehlerhaft liefern.

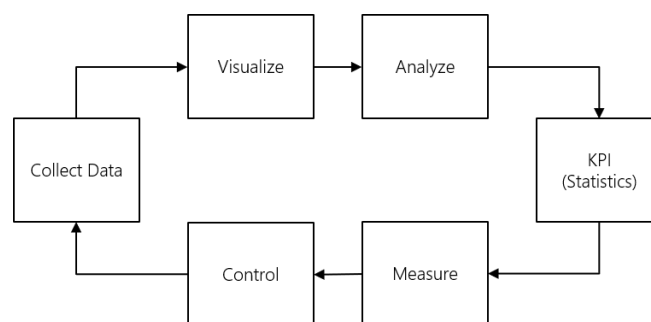


Abbildung 24: Datenqualität Kontrollzyklus.

3.5.2.3 Adapter-Bibliothek und Datenintegration

Durch den stark fragmentierten EU-Markt für Logistikdienstleister (s. Jentzsch et al., 2018), sowie die dadurch große Varietät an IT-Systemen und die fehlende Digitalisierung wurde in AP 4.1 (Abschnitt 3.5.2.1) die Notwendigkeit der Interoperabilität identifiziert. Hierfür wurde ein Konzept zur vereinfachten und KI-unterstützten Anbindung von Logistikdienstleistern erarbeitet und im Rahmen des Transport Host prototypisch implementiert.

Das Ziel ist, nicht-technische Anbieter bei der Anbindung und Datenintegration von Schnittstellen über ein KI-gestütztes System mit graphischer Oberfläche zu unterstützen und das Echtzeit-Parsen von Daten zu erlauben. In Abbildung 25 befindet sich der abstrahierte Workflow. Der User kann mit Hilfe der UI in mehreren Schritten 1) Kapazitäten anlegen, 2) seine Schnittstellen angeben, 3) eine Beispielnachricht und 4) das zugehörige Mapping zwischen Beispielnachricht und internem Datenmodell festlegen. Die Informationen von 1), 2) und 3) werden in Datenbanken zur weiteren Verwendung abgelegt. Die Mappinginformationen (4) werden in das als Ontologie dargestellte Datenmodell (erarbeitet in AP 2) durch RDF-Uplifting eingefügt. Basierend auf diesen Informationen werden durch die Schritte Transform und Connect die Kommunikation zwischen Broker und Logistikdienstleister hergestellt. Im Bereich Connections befinden sich die Adapter. Hierbei wurde prototypisch ein SOAP und ein REST-Adapter erstellt, der mit Hilfe der in den Datenbanken abgelegten Endpunkten und der transformierten Nachrichten eine Verbindung zu dem gewünschten Logistikanbieter herstellt. Die Transform-Komponente übernimmt das Übersetzen zwischen internen und externen Nachrichtenformaten durch Zugriff auf die Ontologie und die Beispielnachrichten. Die Adapter wurden mit Hilfe von IFCSUM Mockdaten, sowie der von Transport Betz zur Verfügung gestellten Schnittstelle getestet.

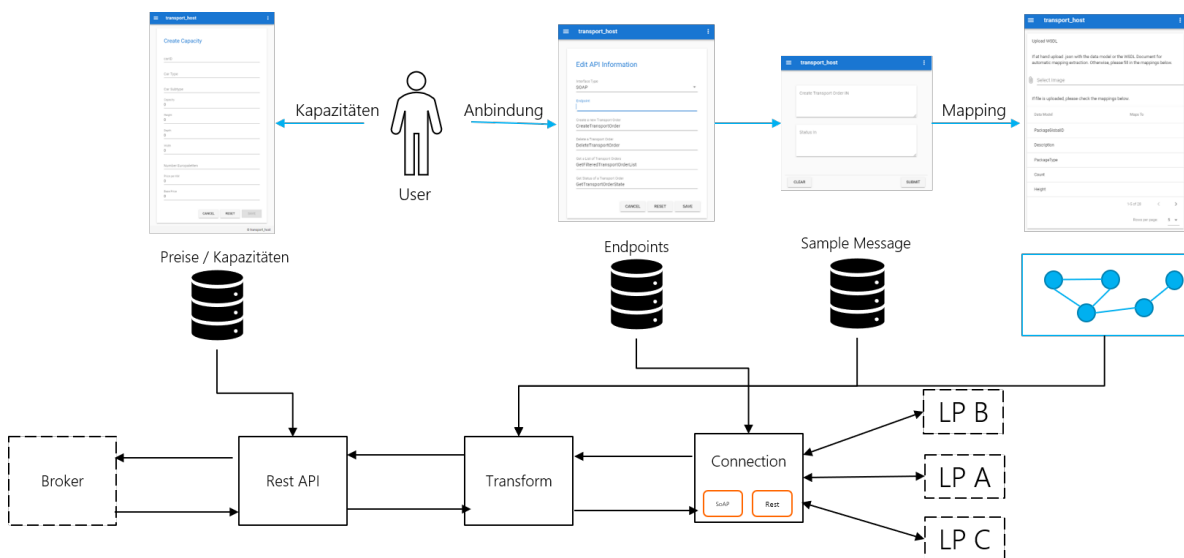


Abbildung 25: Datenfluss im Transport Host.

Zur Erweiterung des manuellen Mappingprozesses wurde eine KI-basierte Vorgehensweise zum Nachrichtenmapping anhand der Vorgehensweise von (Euzenat und Shvaiko, 2013, S. 55-69) entwickelt. Hierbei werden Mappingvorschläge basierend auf der internen Ontologie und den Beispielnachrichten des Logistikproviders mittels Natural Language Processing und graphbasierten Methoden generiert. Im Zuge dessen wurden passende Klassen der schema.org Ontologie identifiziert und als Top-Level Ontologie in die in AP 2 entwickelte Ontologie eingeführt. Für die KI-Komponente wurden Kombinationen verschiedener Algorithmen gegenübergestellt: Count Vecotrizer, Word2Vec (Mikolov et al., 2013), RDF2Vec (Ristoski und Paulheim, 2016) und KGvec2go (Portisch et al., 2020). Das beste Ergebnis konnte mit der Kombination RDF2Vec und CountVectorizer erzielt werden²⁸. Das auf diesen Methoden basierende Konzept zum Matching-Ablauf kann in Abbildung 26 nachvollzogen werden. Die Ergebnisse zeigen, dass Machine Learning den Matchingprozess durch inhaltliches Gruppieren der Begriffe leiten kann, jedoch ist für ein genaues Mapping einzelner Begriffe immer noch menschliches Feedback notwendig, um die Korrektheit und Vollständigkeit zu gewährleisten.

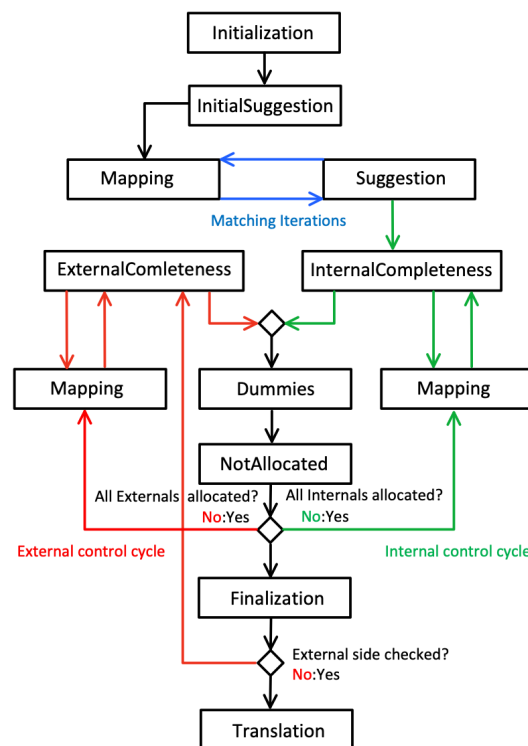


Abbildung 26: Mapping Process nach Richebächer (2021).

²⁸Die Ergebnisse sind im Rahmen einer Masterarbeit entstanden und können im Detail in Richebächer (2021) nachvollzogen werden.

3.5.2.4 Verteilte Verarbeitungsinfrastruktur

Der implementierte Prototyp fungiert als Middleware zwischen Broker und Logistikanbietern. Der Prototyp speichert hierbei keine Nachrichteninhalte und arbeitet somit stateless. Basierend auf den Echtzeitinformationen der Endpunkte werden die Nachrichten nach Bedarf direkt an die entsprechende Systeme übersetzt. Dabei werden die Nachrichten vom Broker- zum Logistikanbieterformat sowie umgekehrt übersetzt und weitergeleitet. In Abbildung 27 ist die Infrastruktur zu sehen. Beim Broker handelt es sich um die zentrale Komponente des DPNB (siehe Abschnitt 3.9). Die Transport Management Systeme für die Beauftragung der Logistikanbieter laufen lokal bei ebendiesem. Der Transport Host ist im Rahmen des DPNB die zentrale Schnittstelle zwischen Broker und den Transport Management Systemen der Anbieter.

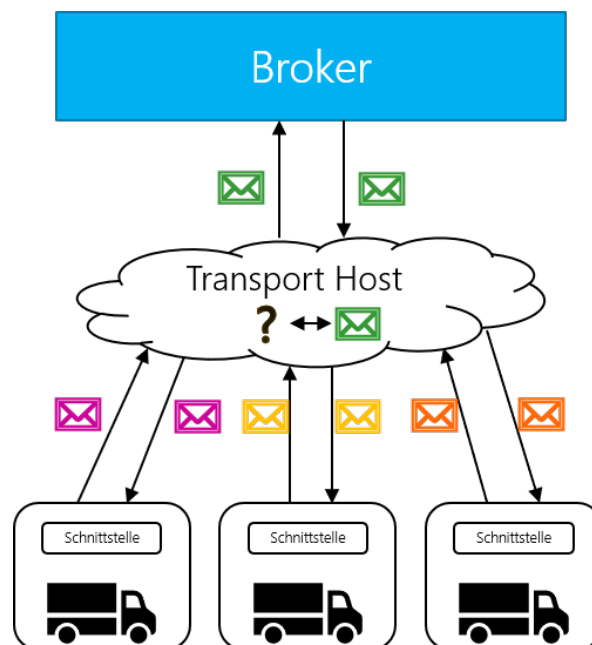


Abbildung 27: Verteilte Infrastruktur.

3.6 Arbeitspaket 5: Assembly Assistant

Ziel dieses Arbeitspakets war die Entwicklung des Assembly Assistant. Dieser ermöglicht die Auslagerung von Montagekapazitäten über die DPNB-Plattform durch die Befähigung von unerfahrenem Personal unbekannte Montageprozesse durchzuführen. Das System führt durch den Montageprozess, kontrolliert die Qualität und erkennt und verbessert kontinuierlich Fehler während der Durchführung der Montage. Damit wird die Qualität der durch

einen Nachfrager bestellten Baugruppe sichergestellt, unabhängig davon, ob die Baugruppe den Mitarbeiter:innen des Anbieters bekannt ist oder nicht.

Zunächst wird das Konzept des Assembly Assistant erläutert. Daraufhin folgt die Entwicklung eines intuitiven Teach-In-Systems, um neue Montageanleitungen automatisiert anzulegen. Dieser Prozess ist für die Nutzung des Assembly Assistant im Rahmen des DPNB relevant, da kurzfristige Auslagerungen von Montagekapazitäten nur möglich sind, wenn Montageanleitungen ohne manuellen Aufwand erstellt werden können. Die automatisch erstellten Montageanleitungen dienen als Grundlage für die Erstellung der AR unterstützten Interaktion im folgenden Abschnitt. In diesem werden unterschiedliche Visualisierungsformen miteinander verglichen, um die für das industrielle Umfeld geeignete auszuwählen. Die Durchführung von Versuchen und deren Ergebnisse werden in Abschnitt 3.10 bei der Iterativen Pilotierung beschrieben. Dabei werden die gewählte Visualisierungsform sowie Aspekte der Ergonomie und die intuitive Bedienbarkeit untersucht.

3.6.1 Stand der Wissenschaft und Technik

Aktuelle Ansätze von Montageassistenzsystemen (Assembly Assistance Systems, AAS) fokussieren sich auf die Steigerung der Qualität der Montage sowie auf die Verkürzung der Einarbeitungszeiten. Ein Ansatz besteht darin AR-Technologien anzuwenden, um Arbeiter:innen während der manuellen Montage zu führen (Alves et al., 2019). Pham und Xiao (2018) entwickelten ein auf Objekterkennung basierendes Workflow-Erkennungssystem, um Workflows aus der manuellen Montage automatisch zu extrahieren. Dieses System kann mit AR-basierten AAS kombiniert werden, um adaptive Reaktionen auf den aktuellen Montagezustand zu ermöglichen und so die Genauigkeit und Skalierbarkeit von AR-Lösungen zu erhöhen. Das Tracking von Handgesten ermöglicht dabei die Kontextsensitivität, also die Anpassung des Systemverhaltens an den aktuellen Stand der Montage. Durch das Erkennen der Handpositionen und den Aktionen des Werkenden kann das System die Anwender:innen auf falsche Kommissionsinteraktionen oder Fehler im Montageprozess aufmerksam machen und die Projektion an die aktuelle Arbeitssituation anpassen. Es existieren mehrere kommerzialisierte Lösungen (Schlauer Klaus (Optimum GmbH, 2020), Assembly Pro (LAP-Laser, 2020) und Active Assist (Bosch Rexroth AG, 2020)) sowie funktionierende Prototypen aus Forschungsprojekten (MonSiKo (Fraunhofer, 2020) und SmartWorkbench (Niedersteiner et al., 2015)). Diese Lösungen sind in ihrer Reife bereits weit fortgeschritten. Jede von ihnen basiert auf einem manuellen Montageplatz, welcher mit verschiedenen Technologien ausgestattet wurde, um Werker:innen bei der Montage zu unterstützen. Dabei wird mit Tiefenbildkameras gearbeitet um Objekte zu erkennen sowie die Montageschritte zu dokumentieren. Das Markieren der im aktuellen Schritt benötigten Teile sowie der Arbeitsschritte wird mit Hilfe der Projektion eines Beamers realisiert. Die Integration eines

AAS in eine dynamische Produktionsplattform und die damit verbundenen Herausforderungen wurde in keinem der genannten Systeme betrachtet.

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit dem Stand der Forschung zu Teach-in Systemen für AAS. Diese Systeme ermöglichen es Benutzer:innen dem AAS die Montage einer unbekanntes Baugruppe beizubringen. Für die Einbindung eines AAS in eine dynamische Produktionsplattform ist das schnelle und automatisierte Teach-In einer unbekanntes Baugruppe ein wichtiger Enabler, da die kurzfristige Auslagerung von Montagekapazitäten nur damit ermöglicht wird. In den Metastudien von Bertram et al. (2018) und Thamm et al. (2021) wird deutlich, dass sowohl vor Beginn des Projekts als auch während der Laufzeit des Projekts nur wenige Ansätze in bestehenden Montageassistenzsystemen existieren, die ein automatisiertes Teach-In ermöglichen. Ein Ansatz ist das System Plant@Hand, bei dem die Montageanleitung durch Aktivitäts- und Situationserkennung erstellt wird. Dafür ist jedoch weiterhin manueller Aufwand notwendig, da eine Person die Baugruppe vorab montieren muss (Alm et al., 2015). Während der Laufzeit des Projekts wurde ein System veröffentlicht, welches die teilautomatische Extraktion der Montagereihenfolge aus CAD-Modellen ermöglicht, inklusive Visualisierung und Animation (Gors et al., 2021). Allerdings kommt dieser bestehende Ansatz nicht ohne zusätzlichen manuellen Aufwand aus. Außerdem stimmen die Ergebnisse des Algorithmus nicht vollständig mit der manuell definierten Reihenfolge überein.

Für die Objekterkennung des Assembly Assistant werden künstliche neuronale Netze (KNN), wie YOLO (Bochkovskiy et al., 2020) und CenterNet (Zhou et al., 2019), verwendet. Für deren Training benötigen die KNN eine große Menge an Trainingsdaten in Form von annotierten Bildern der zu erkennenden Objekte. Da auch hier das schnelle Einlernen der KNN relevant für die effiziente Anwendung des Assembly Assistant in einer dynamischen Produktionsplattform ist, muss die Generierung der Lernbilder automatisiert erfolgen. Bereits zu Beginn des Projekts existierten Ansätze, die Generierung von annotierten Lernbildern teilautomatisch durchzuführen (Dümmel et al., 2019). Dabei werden Objekte in der Hand gedreht, von einer Tiefenbildkamera erkannt und die zugehörigen Annotationen automatisch erzeugt. Dennoch ist bei diesem System manueller Aufwand zur Erstellung von Trainingsdaten notwendig. Ergänzend existieren bereits einige Ansätze um synthetische Trainingsdaten aus 3D-Modellen zu generieren und damit reale Trainingsdaten ganz oder teilweise zu ersetzen (Rajpura et al., 2017; Nowruzi et al., 2019). Die vorliegenden Systeme generieren jedoch nur Trainingsdaten einzelner Objekte. Die automatisierte Generierung von Trainingsdaten für eine gesamte Baugruppe existiert bisher in der Forschung nicht.

AAS greifen auf unterschiedliche Methoden für die Anwendung von AR zurück. Dabei kann unterschieden werden zwischen Optischer Transparenz (optical see-through), Videoprojektion (video see-through) und Bildprojektion (image projection). Optische Transparenz beschreibt die Projektion von virtuellen Objekten in einem transparenten Display, wobei der Nutzer zusätzlich die Realität sieht. Bei der Videoprojektion wird die Realität mit einer Ka-

mera aufgenommen und am Computer durch virtuelle Objekte ergänzt. Der Nutzer sieht dann das erweiterte Video auf seinem Endgerät. Bildprojektion beschreibt die Projektion von virtuellen Objekten in die reale Welt, beispielsweise mit einem Beamer (Dalle Mura und Dini, 2021). Die bisher genannten AAS nutzen vorwiegend Bildprojektion durch einen Beamer. Einzelne Systeme nutzen Optische Transparenz in Form von AR-Brillen wie beispielsweise König et al. (2019). In den meisten Systemen wird als AR-Brille die HoloLens von Microsoft eingesetzt (Blattgerste et al., 2018). Die Vielzahl an Sensorik der HoloLens ermöglicht die Steuerung von Software durch unterschiedliche Methoden wie Gesten, Sprache oder direkte Interaktion mit den Hologrammen.

3.6.2 Projektergebnisse AP 5

Der folgende Abschnitt erläutert die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse. Zunächst wird das Konzept des Assembly Assistant vorgestellt. Daraufhin wird das entwickelte Teach-In System erläutert. Die Möglichkeiten der AR-basierte Interaktion mit dem System werden im folgenden Abschnitt aufgezeigt.

3.6.2.1 Konzeption Assembly Assistant

Der Assembly Assistant wurde zunächst so konzipiert, dass die Mensch-Maschine-Schnittstelle auf unterschiedliche Art und Weise umgesetzt werden kann. Hier wurden verschiedene AR-Ansätze ausprobiert, siehe Abschnitt 3.6.2.3. Abbildung 28 zeigt den Gesamtprozess des Assembly Assistant.

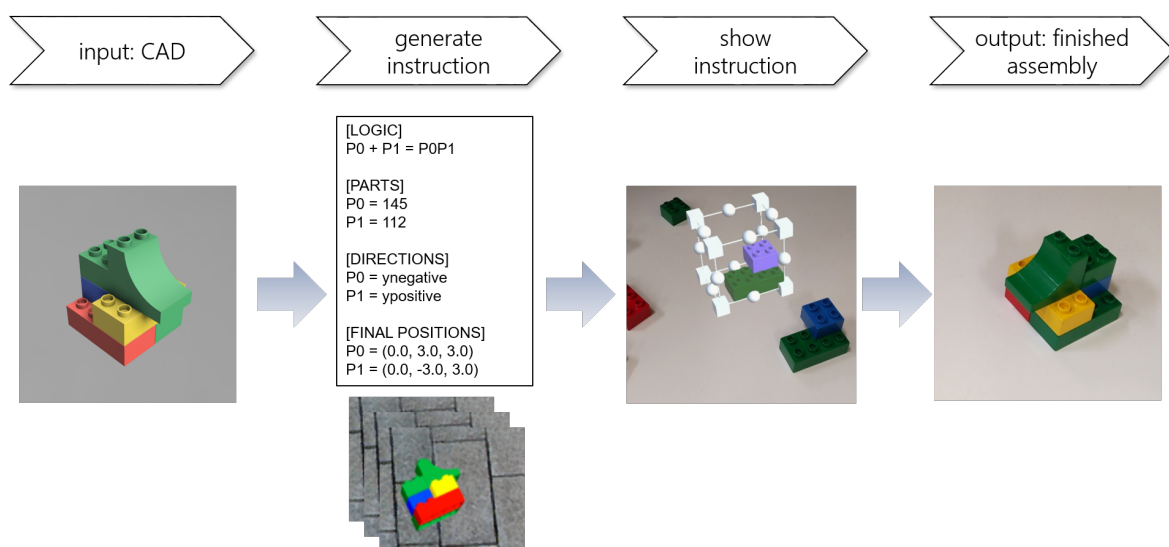


Abbildung 28: Gesamtprozess des Assembly Assistant

Im Teach-In wird dem System eine bisher unbekannte Baugruppe beigebracht. Dabei wird die Reihenfolge der Montageschritte festgelegt, die Kontaktpunkte der Einzelteile definiert, die Montagerichtungen bestimmt und Daten für die Objekterkennung generiert. Während dem Montageprozess werden die Montageanweisungen visualisiert, Einzelteile erkannt und markiert und die korrekte Ausführung der Montageschritte überwacht und kontrolliert. Dieser Prozess ist als Ziel zu betrachten. Teile davon wurden in Form von Demonstratoren umgesetzt.

3.6.2.2 Teach-In-System

Bei der Integration des Assembly Assistant in eine dynamische Plattform ist relevant, die Montageaufträge möglichst schnell auszulagern. Dafür muss der Prozess des Teach-In mit möglichst wenig manuellem Aufwand erfolgen. Teach-In beschreibt dabei alle Prozesse die notwendig sind, um dem Montageassistenzsystem die Montage einer unbekanntes Baugruppe beizubringen. Der Assembly Assistant benötigt neben der Reihenfolge der Bauteile sowie deren zu montierender Position auch Trainingsdaten für die Objekterkennung. Im Folgenden werden die im Rahmen des Projekts entwickelten Systeme vorgestellt.

Für die Definition der Montagereihenfolge wurde der Assembly Sequencer entwickelt (siehe Abbildung 29). Dieser benötigt als Input die CAD Datei einer Baugruppe im OBJ-Format, welche dann in einer Simulation demontiert wird. Dabei werden Bauteile mit räumlicher Nähe nacheinander demontiert, so dass beispielsweise nach der Demontage einer Mutter auch die darunter liegende Unterlegscheibe demontiert wird. Der Output des Assembly Sequencer besteht aus einer INI-Datei, welche die Bauteile, deren Namen aus der CAD-Datei, die Demontagerichtung sowie die Endpositionen der Bauteile nach Demontage enthält.

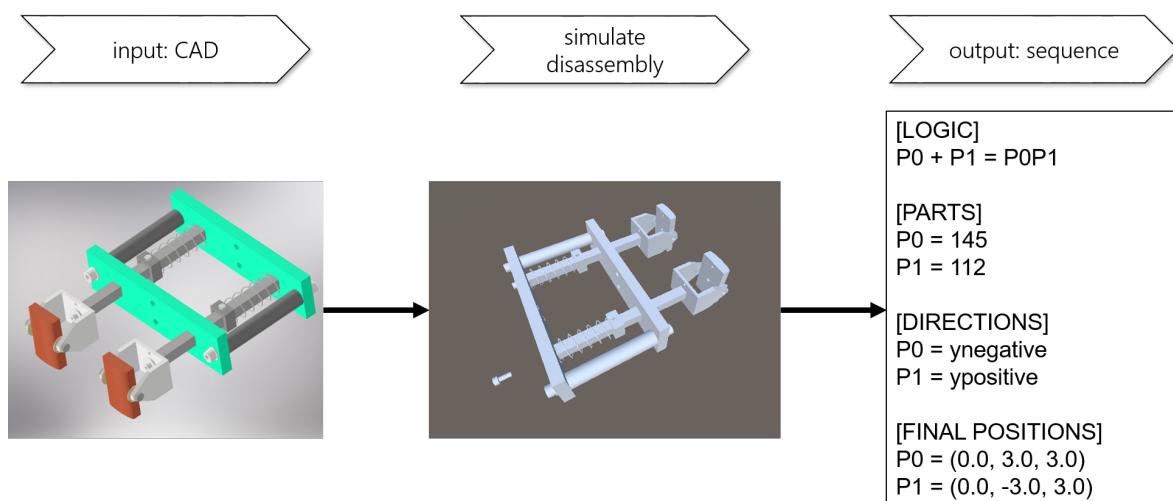


Abbildung 29: Prozess des Assembly Sequencer

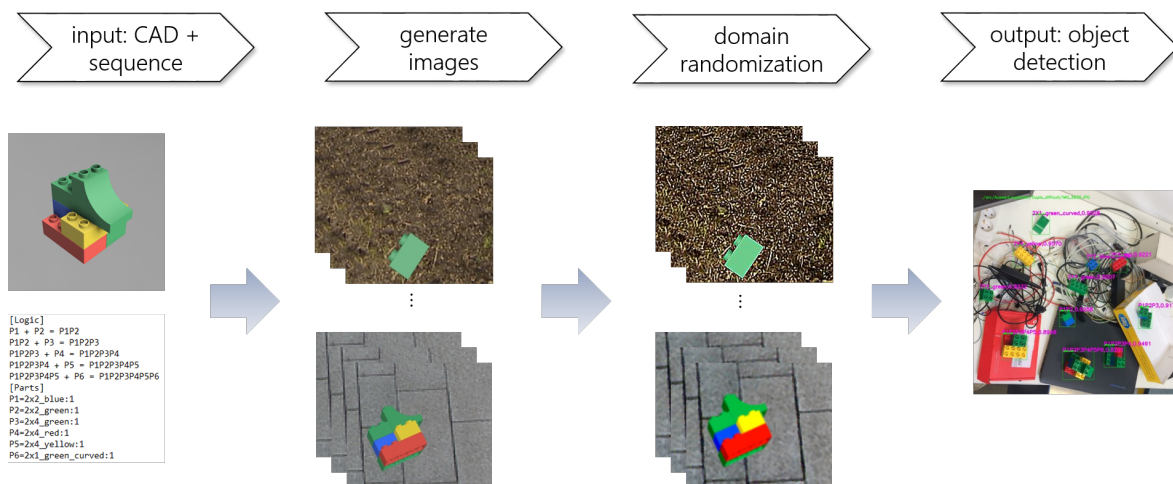


Abbildung 30: Prozess des Labeltool (Kostik, 2019)

Der Output des Assembly Sequencer dient zusammen mit der STEP-Datei der Baugruppe als Input des Labeltools (siehe Abbildung 30). Dieses ermöglicht die automatische Generierung von synthetischen Trainingsdaten für die Objekterkennung. Dabei werden aus der Reihenfolge die Montageschritte abgeleitet. Dies ermöglicht die Generierung von Trainingsdaten für die einzelnen Bauteile und für alle Montageschritte. Der Output des Labeltool dient als Input für das Training des künstlichen neuronalen Netzes zur Objekterkennung.

3.6.2.3 AR-basierte Interaktion

Im Verlauf des Projekts wurde Bildprojektion sowie Optische Transparenz für den Einsatz von AR im Assembly Assistant getestet. Bildprojektion wurde durch den Einsatz eines Beamer getestet, der über dem Montagetisch fest montiert ist. Optische Transparenz wurde sowohl mit der Epson Moverio BT-35E als auch mit der Microsoft HoloLens 2 getestet. Die HoloLens 2 besitzt im Gegensatz zur Moverio räumliches Orientierungsvermögen (spatial awareness) durch eine Tiefenbildkamera. Dies ermöglicht, virtuelle Objekte abhängig von der Umgebung zu platzieren bzw. zu verbergen, beispielsweise wenn virtuelle Objekte durch reale Objekte verdeckt werden. Die Moverio ist lediglich mit einer RGB-Kamera ausgestattet und ermöglicht deshalb weniger Interaktion mit der Umgebung. Dafür ist sie aber deutlich leichter als die HoloLens 2. Die unterschiedlichen Systeme sind in Abbildung 31 dargestellt. Die Verwendung des Beamer ermöglicht ein ergonomisch positives Arbeiten, da kein zusätzliches Gewicht die Kopfbewegung einschränkt. Allerdings ist das System mit Beamer nicht portabel, da Beamer und Kamerasystem fest über dem Tisch verschraubt sind. Die Moverio ist sehr leicht und portabel, hat allerdings ein sehr kleines Sichtfeld, was bei der Montage einer Baugruppe auf einem Tisch zu einer sehr unergonomischen Haltung führt, da der Kopf stark geneigt werden muss. Die HoloLens 2 hat ein ausreichend großes Sichtfeld und ist ebenso portabel. Zusätzlich ermöglicht sie die Steuerung mit Sprache, was die



Abbildung 31: Bildprojektion durch Beamer (links), Optische Transparenz durch Epson Moverio BT-35E (mittig) (Fraider, 2019) sowie durch Microsoft HoloLens 2 (rechts)

Hände für die Montage frei hält. Sie ist allerdings schwerer als die Moverio, wobei das Gewicht nicht auf der Nase, sondern wie bei einem Helm auf dem Kopf sitzt und dadurch besser verteilt wird. Aus diesen Gründen wurde die HoloLens 2 als die beste Alternative ausgewählt. Die Anzeige der Montageanleitung wurde auf der HoloLens 2 umgesetzt und getestet. Versuchsaufbau und Ergebnisse werden in Abschnitt 3.10.4 beschrieben.

3.7 Arbeitspaket 6: Integrierte Plattform

Für die Umsetzung eines dynamischen Produktionsnetzwerks ist die Integration von Fabriken ein elementarer Bestandteil. Das Arbeitspaket 6: „Integrierte Plattform“ beschäftigt sich damit, wie eine solche Integration stattfinden kann, welche Hardware- und Softwarelösungen dafür notwendig sind und welche Architekturentscheidungen für eine solche integrierte Plattform getroffen werden müssen. Anhand von Beispielen wird gezeigt, welche Anwendungsszenarien die Integration der Plattform ermöglicht und welche Infrastrukturlösungen denkbar sind. Abschließen betrachtet das Arbeitspaket die notwendigen skalierbaren Servicekonzepte für die Bereitstellung und Betrieb der Integrationslösung, wertet erste Kundenerfahrungen aus und zeigt wie die Ergebnisse bei TRUMPF weiterverwendet werden.

3.7.1 Stand der Wissenschaft und Technik

Um eine Verbindung zwischen Kunden und dem in Europa stark fragmentierten Angebot von Produktionsunternehmen mit Werkzeugmaschinen (häufig KMUs) herzustellen, entstehen aktuell - überwiegend durch Start-ups getrieben - Business-2-Business Marktplätze (z.B. *fabrikado*, *creatize*, *3YOURMIND* in Europa) und eCommerce Bestellportale (z.B. *Laserteile4you*, *PartFactory* in Europa) für Produktionskapazitäten und -aufträge.

Dabei wird bisher nur unzureichend bzw. noch gar nicht die Integrierbarkeit von Maschinen und Fabriken betrachtet, welche notwendig ist, um die Auftragsabwicklung und Kapazitätsbereitstellung der gesamten Wertschöpfungskette einer Smart Factory abzubilden und in den Marktplätzen zu integrieren.

Für die Integration von Maschinen und Fabriken in dynamische Produktionsnetzwerke kann auf TRUMPF interne Vorarbeiten zu den Themen Schnittstellen, Konnektivität und Fernwartung zurückgreifen.

Neben den anfänglichen, nur dateibasierten Schnittstellen stehen TRUMPF Kunden inzwischen Schnittstellen auf Basis von OPC UA zur Verfügung. OPC UA ist der Standard bei Betriebsdaten für die Kommunikation der Rahmenarchitektur für *Industrie 4.0* (RAMI4.0) und erlaubt eine semantische Selbstbeschreibung der Daten. In dieser werden die Informationsmodelle nicht nur strukturiert, sondern auch mit einer Bedeutung versehen. Die internen Arbeiten zu OPC UA reichen bei TRUMPF bis in das Jahr 2008 zurück; in verschiedenen Produktgruppen entstanden OPC-UA-Schnittstellen, im Bereich Werkzeugmaschinen ab dem Jahr 2015.

Für die herstellerübergreifende Vernetzung der Smart Factory kann auf Vorarbeiten im Rahmen der firmenübergreifenden, internationalen Standardisierung von OPC-UA-Informationsmodellen zurückgegriffen werden. Hier sind besonders die Companion Specificationen OPC UA for Machine Tools und OPC UA for Machinery zu nennen. Den Rahmen für einen Großteil der für den Maschinen- und Anlagenbau relevanten Standardisierungsvorhaben bildet dabei umati („universal machine technology interface“). Dabei handelt es sich um eine Community zur Vernetzung von Maschinenherstellern, Softwareprodukten und Kunden. Als Mitglied der Kerngruppe und der Modellierungsgruppe der Joint Working Group von OPC UA for Machine Tools sowie der Core Working Group von OPC UA for Machinery, ist TRUMPF seit 2017 maßgeblich an Aufbau und Weiterentwicklung von umati beteiligt. Nach dem Release der V1.0 von OPC UA for Machine Tools im September 2020 wird derzeit innerhalb des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) und des Vereins Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken (VDW) verstärkt an weiteren Inhalten gearbeitet. Seit 2010 sind die Maschinen der Firma TRUMPF mit einem eigenen Cloud-basierten Telepräsenzportal verbunden, über das TRUMPF weltweit im Servicefall oder für Mehrwertdienste (Updates, Technologie-Daten) die Kunden remote direkt an den Maschinen unterstützen kann. Moderne mobile Informations- und Bediensysteme, wie TruTops Fab App oder Mobile-Control App ermöglichen zeitlich und räumlich unbegrenzten Einblick in aktuelle Maschinenzustände über Smart Devices. So ist es TRUMPF-Kunden möglich den Status von Produktionsaufträgen sowie die Anpassung von Auftragsreihenfolgen oder Stückzahlen jederzeit und überall abzufragen.

Im Laufe des Projekts sind dem Konsortium keine Ergebnisse anderer Forschungsprojekte bekannt geworden, die sich im Wesentlichen mit den Forschungszielen von AP 6 überschneiden.

3.7.2 Projektergebnisse AP 6

Die zentrale Herausforderung der Fabrik im Kontext eines dynamischen Produktionsnetzwerks ist die Verwaltung von Aufträgen und Maschinenverfügbarkeiten. Diese Ressourcen müssen den Aufträgen entsprechend zugeordnet und verplant werden. Gerade bei dynamisch schwankenden Auftragsvolumen ist eine transparente Sicht auf den aktuellen Ressourcenbedarf und das aktuelle Auslastungsvolumen der Maschinen zwingend notwendig. Um hier immer die aktuellen Daten zur Verfügung zu haben, werden Softwarekomponenten benötigt, welche in das Fabriknetzwerk integriert werden können.

Hierbei stellt sich die Frage, wo genau diese Softwarekomponenten installiert werden, deren Verfügbarkeit sicherstellt und wie diese mit Software-Updates versorgt werden. Bisher werden solche Softwarekomponenten entweder auf den Werkzeugmaschinen in der Fabrikhalle oder im Rechenzentrum der Kunden installiert. Beide Fälle stellen keine Lösung für die Integration eines dynamischen Produktionsnetzwerks dar. Werkzeugmaschinen haben eine lange Lebensdauer von meist über 10 Jahren, sodass die Hardware nicht als längerfristige Heimat für hoch aktuelle Software mit sich ständig ändernden Hardwareanforderungen und regelmäßigen Updates geeignet ist. Dazu kommen die erhöhten Sicherheitsanforderungen, welche die Aktualisierung von Software und Serienständen erschweren. Eine Fabrik besteht zudem aus vielen Maschinen, meist unterschiedlicher Hersteller, sodass Softwarekomponenten zur Integration des gesamten Maschinenparks auf zu viele unterschiedliche Voraussetzungen treffen würden.

Hier ist ein zentraler Ort zur Installation notwendig. Das Rechenzentrum der Fabrik wäre ein solch zentraler Ort, jedoch trifft man auch hier je nach Kundengröße auf sehr unterschiedliche Ausprägungen. Der Großteil der Werkzeugmaschinen Kunden sind kleine und mittlere Unternehmen mit keinem eigenen Verantwortungsbereich für den Betrieb eines Rechenzentrums. Oft wird diese Aufgabe von einem Mitarbeiter oder Familienangehörigen nebenher übernommen. So sind Hardware und/oder Software nicht aktuell oder werden schlecht gepflegt. Die IT-Infrastruktur folgt hier keinem einheitlichen Prinzip, sodass Softwarekomponenten bei der Inbetriebnahme auf unterschiedlichste Voraussetzungen treffen. Dies führt verstärkt zu Installationsproblemen oder in schlimmeren Fällen zu unvorhergesehenen Fehlern im Betrieb.

Das Testen von neuen Softwarekomponenten mit solch unterschiedlichen Umgebungsvariablen ist teuer und aufwändig und kann nie zu einer optimalen Lösung ohne Kompromisse führen.

3.7.2.1 Smart Factory Host

Hieraus ergibt sich der Wunsch, einen neuen Ort in der Fabrik zu etablieren, welcher die notwendigen Anforderungen erfüllt, um dynamische Softwarekomponenten zu beheimaten. Dieser Ort wird im Weiteren Smart Factory Host (SFH) genannt. Beim SFH handelt es

sich um eine Hardwarekomponente, welchen Fabriken als Servicelösung zur Verfügung gestellt wird. Die Betreiber des SFH Ökosystems verantworten dabei den kompletten Service und Betrieb. Regelmäßige Updates und der Austausch von veralteter oder defekter Hardware wird ebenfalls durch den Betreiber übernommen, sodass Fabrikbetreiber einzig die Netzwerkkonnektivität und Stromversorgung zu gewährleisten haben.

Neben der Heimat für diverse Softwarekomponenten bietet dieser dezentrale Ansatz einer Fabrikintegration weitere Vorteile.

Datensouveränität

Damit Aufträge in dynamischen Produktionsnetzwerken effizient und passend verteilt werden können, braucht das Netzwerk weitreichende Informationen über die in einer Fabrik zur Verfügung stehenden Fähigkeiten und Kapazitäten. Für viele Fabrikbetreiber gehört dieses Wissen zu ihren meistgehüteten Geheimnissen, welche sie nur ungern Dritten zur Verfügung stellen. Über den Einsatz eines dezentralen SFH kann dieser Interessenskonflikt zwischen Plattform und Fabrik aufgelöst werden. Die für den Fabrikbetreiber kritischen Daten werden rein auf dem SFH bearbeitet und stellen so die Datensouveränität sicher. Ebenfalls können wichtige Parameter wie etwa für die Preiskalkulation, Gewinnmargen oder Betriebskosten, hier sicher gespeichert und verarbeitet werden. Über offene Transportprotokolle können kritische Fabrikbetreiber Datenflüsse kontrollieren und sicherstellen, dass ihre Geheimnisse ihre Fabrik nie verlassen.

Auftragsverarbeitung

Innerhalb einer Fabrik können verschiedene Methoden und Lösungen zur Auftragsverarbeitung Verwendung finden. Unterschiedliche Hersteller bieten unterschiedliche Produktionsplanungssysteme an, deren Anbindung mehr oder weniger aufwändig sein kann. Hier bietet der SFH eine zentrale Schnittstelle, über welche die weitere Auftragsverarbeitung abstrahiert wird. Alle zur Steuerung der Produktion relevanten Bestandteile werden dabei auf dem SFH vor Ort installiert oder angebunden. Dadurch wird das in der Produktion meist notwendige Verlangen nach einer Echtzeitanbindung gestillt. Des Weiteren wird das Risiko eines Verbindungsausfalls zwischen den einzelnen Teilnehmern des DPNB Produktionsverbands minimiert und der dadurch resultierende Stillstand der Fabrik verhindert.

Konnektivität

Die Möglichkeit Fabriken und Anlagen mit Plattformen im Internet zu verbinden, stellt im Kontext von dynamischen Produktionsnetzwerken eine zentrale Herausforderung dar. Um Teil solcher Marktplätze zu werden und Aufträge effizient abrufen und einplanen zu können, muss die Konnektivität nicht nur sichergestellt sein, neue Anlagen müssen zudem einfach in bestehende Netzwerke integriert werden können.

Nur so kann der Fabrikbetreiber die Integrationsaufwände in dem Maße reduzieren, dass sich für ihn die Teilnahme an Plattformen im Internet lohnt. Diese Anforderung kann durch den SFH ideal gelöst werden. Nach der Inbetriebnahme des SFH in der Fabrik können bestehende und neue Anlagen einfach über definierte Schnittstellen angebunden und für die Auftragsbearbeitung genutzt werden.

Fabriksimulation

Durch die einfache und dynamische Anbindung von neuen Maschinen am Produktionsnetzwerk, werden Fabrikanbieter durch den SFH zudem befähigt, ihre Fähigkeitsbeschreibung stets auf dem aktuellen Stand zu halten. Das zentrale Management von Anlagen, Materialien und Prozessen erlaubt es, potentielle Aufträge in einer voll umfänglichen Fabriksimulation zu kalkulieren und so die anfallenden Aufwände und Risiken möglichst exakt zu ermitteln. Der Fabrikbetreiber kann hierdurch die Auslastung seiner Anlagen ideal planen und steuern. Dieser Optimierungsschritt und die Steigerung der Effizienz in der Auftragsverarbeitung erlauben ihm den maximalen Nutzen aus einem dynamischen Produktionsnetzwerk zu ziehen.

Der Factory Hosts im Kontext des DPNB

Wenn man nun all die einzeln betrachteten Fähigkeiten eines SFHs kombiniert, kann dessen Einsatz im DPNB wie folgt gesehen werden: Stark vereinfacht formuliert, ist es die Aufgabe des DPNB, eine Prozesskette aus dem Produktionsauftrag heraus abzuleiten und für jedes Element einen passenden Lieferanten zu finden. Nach der Berechnung dieser komplexen Ketten aus Lieferanten und Extralogistik, müssen die einzelnen Lieferanten der Kette auf die Teilmenge der Aufträge Angebote abgeben. Um dies automatisiert und in annehmbarer Zeit zu ermöglichen, sind die Fabriken der Lieferanten über den SFH mit dem DPNB verbunden. Durch die dort hinterlegten Fabrikfähigkeiten, Betriebskosten, Gewinnmargen und verbundenen Anlagen, kann der SFH dezentral die Abwicklung dieser Teilaufträge simulieren und in kurzer Zeit ein automatisiertes Angebot an den DPNB zurückspielen. Nach Auswahl des endgültigen Angebots und der daraus resultierenden Produktionskette übergibt der DPNB alle produktionsrelevanten Auftragsinformationen an die SFHs der ausführenden Fabriken. Gleichzeitig werden gegebenenfalls geblockte Maschinenverfügbarkeiten im Produktionsnetzwerk über den SFH wieder freigegeben.

3.7.2.2 Anwendungsszenarien

Durch die Möglichkeit, Anwendungen leicht auf verteilte SFHs in verschiedenen Produktionswerken zu verteilen, sind viele Anwendungsszenarien möglich. Im Folgenden wird ein Auszug dieser Anwendungsszenarien angerissen.

Automatisierte Angebotserstellung

Dieses Szenario besteht aus einer Anwendung, die auf Basis von Daten aus, in jedem Werk vorhandenen, Produktionsplanungs-, MES und ERP-Systemen automatisiert Angebote erstellen kann. Dazu verbindet sich die Anwendung mit einem Marktplatz, auf dem Fertigungsaufträge angefragt werden.

Für diese Fertigungsanfragen prüft die Anwendung anhand verfügbarer Informationen aus den lokalen Systemen die Möglichkeit der Angebotsabgabe. Relevant für die Beurteilung sind vor allem verfügbare Fertigungsmöglichkeiten, aktuelle Ressourcenauslastung, vorhandene Rohstoffe, Betriebs- sowie Produktionsmittel.

Zur Abgabe eines Angebots berechnet die Anwendung den Zeitraum der Fertigung und den Preis.

Im Rahmen des Forschungsprojekts DPNB ist ein Prototyp für diese Anwendung entstanden. Dieser Anwendung kann beim Installieren auf einen Smart Factory Host eine individuelle Konfiguration mitgegeben werden, über die verfügbare Werkzeugmaschinen und Rohstoffe sowie die Fertigungskosten einstellbar sind und die mit dem im MVP entwickelten Broker genutzt werden kann.

Verteiltes Lernen

In diesem Szenario wird der eigentliche Ansatz von Big Data nicht nur proklamiert, sondern wirklich umgesetzt. Hierbei gilt es, große Mengen an hochauflösenden Bildern von gefertigten Werkstücken auszuwerten. Da es auch mit 5G nicht möglich sein wird, die dabei anfallenden Datenmengen in ein Cloudsystem zu übertragen, wird hier der Algorithmus zur Bildauswertung als Applikation auf den lokal vorhandenen SFH zur Verfügung gestellt. Dort ist die Übertragung der Bilddaten durch vorhandenes, kabelgebundenes Gigabit-Ethernet keinerlei Herausforderung.

Werkzeugverwaltung

Diese Anwendung ermöglicht dem Maschinenbetreiber, seine lokalen Werkzeuge auch auf einem lokalen, zentral verwalteten Computersystem wie dem SFH zu verwalten. Dies ist insbesondere bei Stanzwerkzeugen interessant, da diese je nach zu bearbeitendem Material aus verschiedenen Komponenten in unterschiedlichen Kombinationen individuell zusammengesetzt werden müssen. Darüber hinaus unterliegen einzelne Teile dem Verschleiß und müssen von Zeit zu Zeit nachgeschliffen werden. Die Länge, der dabei immer kürzer werdenden Teile muss entsprechend auch bei der Nutzung dieser Werkzeuge auf einer Stanzmaschine berücksichtigt werden.

Mit der Werkzeugverwaltung können Werkzeugmaschinen die korrekten Werkzeugparameter direkt und digital abrufen. Der Maschinenbediener braucht damit nicht mehr händisch beim Rüsten die Daten eines Werkzeugs in die Maschine einzugeben.

Durch die Verfügbarkeit der Werkzeugverwaltung auf den lokal vorhandenen SFH bleibt die Funktionalität dieser Anwendung auch bei Ausfall der Internetverbindung erhalten. Der Maschinenbediener ist damit auch in so einer Situation in der Lage, weiterhin Werkzeuge zu warten bzw. instand zu setzen und damit die Produktion aufrecht zu erhalten.

3.7.2.3 Das Smart Factory Host Ökosystem

Der SFH ist ein Ökosystem, das aus diversen Komponenten besteht. Die Basis des SFHs bildet der SFH-Server, der Vor-Ort beim Maschinenbetreiber läuft. Der SFH-Server wurde für den Einsatz in der Smart Factory konzipiert. Er ermöglicht den Betrieb von Anwendungen auf Basis von Docker-Containern, indem er ein Linux Betriebssystem verwendet und erlaubt dass Anwendungen bei Bedarf Daten persistieren. Eine Kommunikation von Anwendung zu Anwendung ist ebenfalls möglich. Da der Server ein sicherheitsrelevanter Baustein des Systems darstellt, ist dieser „gehärtet“. Dies bedeutet, dass das System einem Prozess zur Sicherstellung der Minimierung der Angriffsflächen unterzogen worden ist. Für die Verwaltung und Orchestrierung der Anwendungen sowie deren Verteilung wird Kubernetes verwendet. Kubernetes ist ein Open Source System zur Orchestrierung von containerisierten Anwendungen über diverse Hosts. Kubernetes basiert auf einer sogenannten Control Plane und diversen Nodes. Es verwaltet die Anwendungen und definiert auf welche Nodes welche Container verteilt werden, auch mit dem Zweck, Anwendungen ausfallsicher zu machen. Im

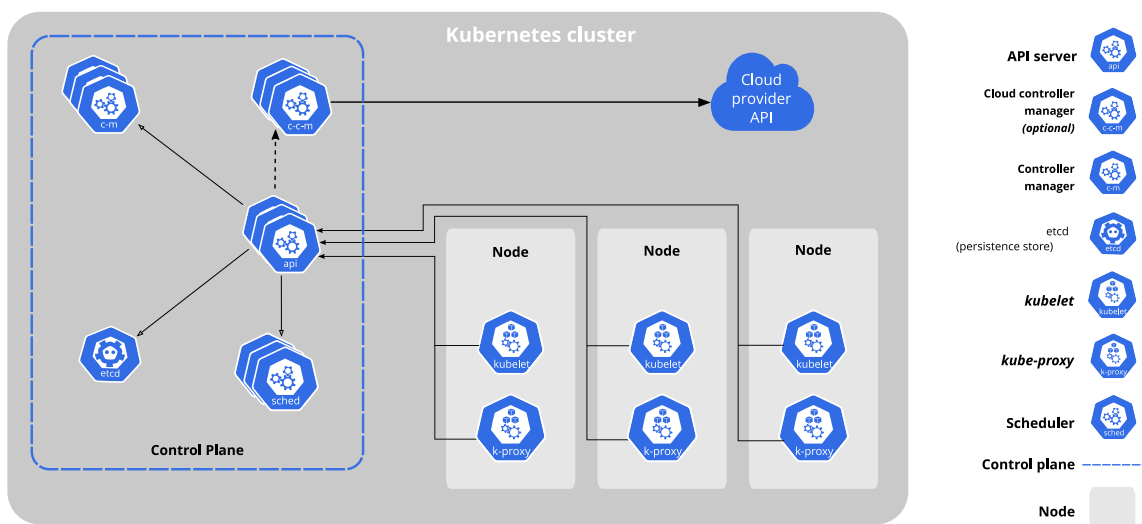


Abbildung 32: Kubernetes Architektur (Quelle: kubernetes.io²⁹, CC-BY-4.0)

²⁹<https://kubernetes.io/docs/concepts/overview/components/>, abgerufen am 14.12.2021

Kontext des SFH Ökosystems repräsentieren die Vor-Ort SFH-Server bei den Kunden die Kubernetes Nodes. Dementsprechend sind die Nodes in der SFH Umgebung nicht als klassische Kubernetes Nodes zu betrachten, sondern jede Node ist eine Single Runtime Engine, so dass Anwendungen nur beim vorgesehenen SFH-Server laufen. Dieser Aspekt ist insbesondere wichtig, da die Anwendungen nur auf den dedizierten Kunden SFH-Server laufen dürfen und ein falsches Verteilen verhindert werden soll. Abbildung 32 stellt die Architektur eines Kubernetes Clusters dar.

Im Fall des SFH Ökosystems bildet die sogenannte Container Orchestrator Komponente das Control Plane von Kubernetes und die SFH- Server sind entsprechend die Kubernetes Nodes, wie in Abbildung 33 zu sehen ist.

Aufgrund des Einsatzes von standardisierter Hardware und Schnittstellen ist das SFH Ökosystem Anbieter unabhängig, so dass bei Bedarf andere SFH-Server Hersteller und ITC Anbieter Komponenten für das SFH Ökosystem bereitstellen können.

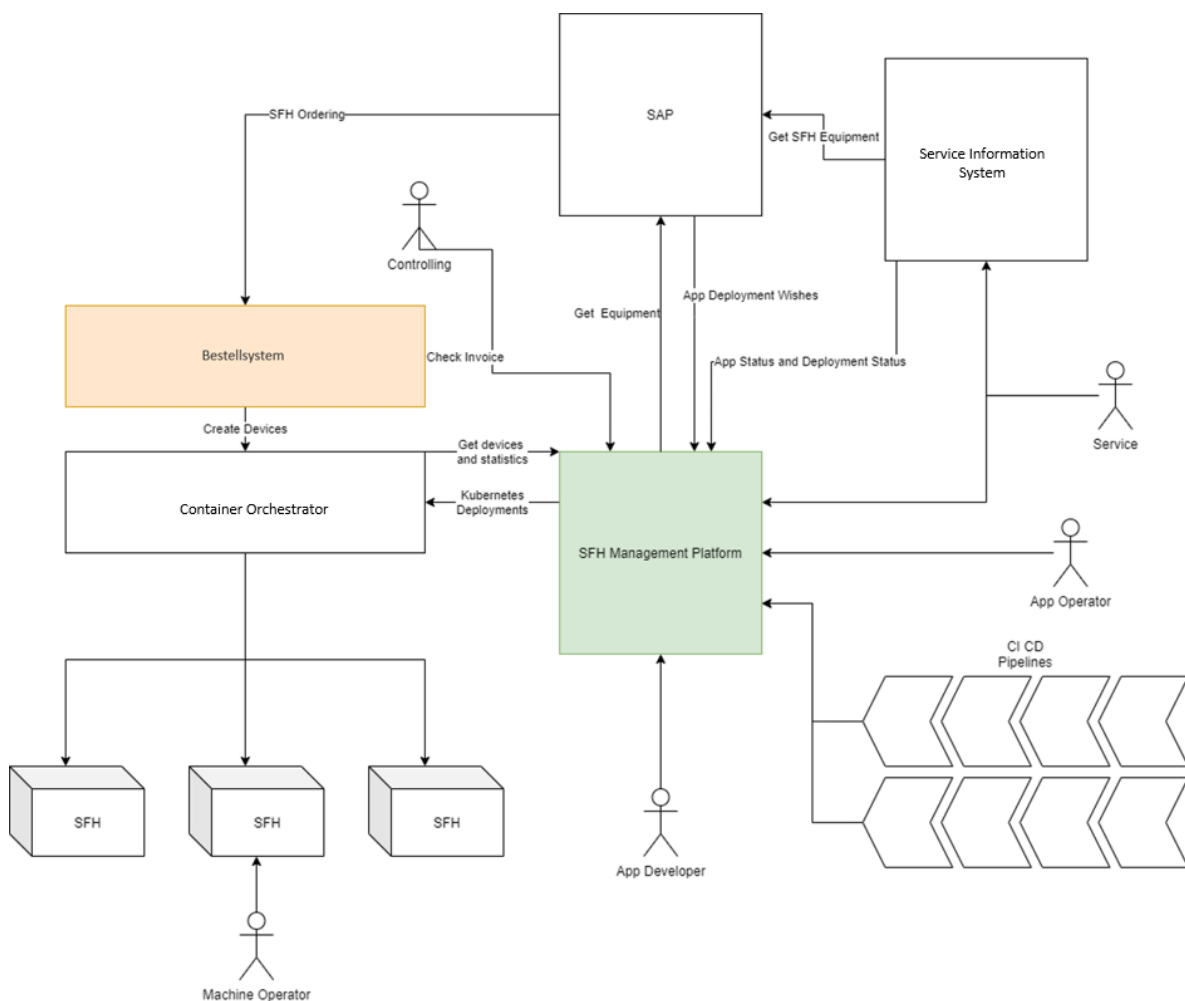


Abbildung 33: SFH Ökosystem Architektur (Quelle: Eigene Darstellung)

Neben dem Container Orchestrator steht zusätzlich ein Bestellsystem bereit, sodass die Bestellungen von Kunden in das System integriert werden können und entsprechend der Bereitstellungsprozess eines SFH-Servers verwaltet werden kann. Dieser Bestellvorgang wird vom TRUMPF Bestellsystem getriggert, das innerhalb des SAP-Systems abgebildet wird. Eine zentrale Komponente des SHF Ökosystems ist die SFH Management Plattform (SFH MP). Die SFH MP ermöglicht Benutzern, Anwendungen für das SFH Ökosystems bereitzustellen. Aufgaben der SFH MP sind die Registrierung, Verwaltung und das Monitoring von Anwendungen. Um Service-Einsätze zu verwalten, wird ein Service Information System verwendet. Dort werden alle Service Fälle und nötige Wartungen dokumentiert.

3.7.2.4 Auswahl der Technologie- und Partnerlandschaft

Der Betrieb und die Bereitstellung des SFH in der Fabrik ist aus Sicht des Maschinenbauers nicht dessen Kernkompetenz. Um einen sehr guten und preisoptimierten Betrieb sicherstellen zu können, wird dieser Teil daher an einen Partner vergeben, der diese Aufgaben übernimmt.

Die Auswahl des richtigen Partners wurde anhand eines Request for Quotation in zwei Auswahlrunden durchgeführt. Folgende Anforderungen und Aspekte wurden dabei ausgeschrieben:

- Die Bereitstellung eines SFH als zukaufbares Produkt des Lieferanten
- Die Installation, Netzwerkimtegration und Betrieb beim Endkunden
- Monitoring von Hardware und Software
- Updates des Host-Betriebssystems und Sicherheitsupdates
- Ein System zur Installation, Update und Betrieb von Workloads

Technisch detailliert wurden dabei noch folgende Aspekte:

- Hardware: CPU-Leistungsklasse, RAM, HDD
- Anforderungen an Schnittstellen und Workloads
- Dienstleistungen und Leistungsversprechen

Im Laufe der ersten Ausschreibungsrunde wurde der RFQ an eine große Anzahl potentieller Anbieter versendet. Diese hatten dann im Rahmen der gesetzten Frist die Möglichkeit Rückfragen zu stellen. Diese wurden dann für alle Anbieter kurz vor Ende der Abgabefrist gesammelt beantwortet, um Chancengleichheit zu bieten.

Nach der Abgabefrist wurden die aussichtsreichsten Anbieter zu Vorstellungsgesprächen eingeladen. Mit diesen Eindrücken und auf Basis der abgegebenen Angebote, wurde dann

eine zweite Runde mit einer kleinen Auswahl der Anbieter durchgeführt. Diese beinhaltete zuerst eine Proof-of-Concept-Phase. Dabei wurde ein Praxisnaher Anwendungsfall mit der Technik des Anbieters erprobt und damit technische Details weiter verfeinert. Die letzte Phase war daraufhin die Ausgestaltung von praxisnahen Angeboten inklusive einer Leistungsbeschreibung, die für alle Anbieter möglichst ähnlich ist. Auf dieser Basis wurde dann die Entscheidung getroffen, mit welchem der Anbieter es zum Vertragsabschluss kam.

3.7.2.5 Bereitstellung, Betrieb und Servicekonzepte

Beim Smart Factory Host handelt es sich um ein für den Endkunden betriebenen Edge-Server. Er wird durch eine Partnerfirma im Auftrag beim Endkunden betrieben. Er kommt immer dann zum Einsatz, wenn der Endkunde mindestens einen Dienst, der den SFH voraussetzt, bezieht.

Die Partnerfirma und Lieferant des SFH ist für die Verfügbarkeit des Edge Servers verantwortlich. Er liefert den SFH aus, überwacht ihn und sorgt im Fehlerfall für die Wiederherstellung der Verfügbarkeit.

Auf dem SFH können Anwendungen und Dienste unterschiedlicher Unternehmen oder Fachbereiche ausgerollt werden. Anwendungen können dabei nach unterschiedlichen Maßgaben unabhängig von anderen Anwendungen betrieben und aktualisiert werden. Einheitliche Serienstände, die bestimmte Kombinationen von App-Versionen vorschreiben, soll es nicht geben. Die Anwendungsentwickler bzw. deren Organisationen, sind für die Entwicklung, die Bereitstellung und den Betrieb der Anwendungen selbst verantwortlich. Sie müssen zur Verwaltung der Anwendungen und der Instanzen auf den SFHs die zentrale Management Plattform verwenden. Dazu stellt die Management Plattform geeignete Mittel für den Lebenszyklus der Anwendungen, der Zuweisung zu SFHs, der Überwachung und zur Diagnose zur Verfügung.

Die Bereitstellung von Diensten auf einem SFH erfolgt automatisiert und kann vom Kunden nur begrenzt kontrolliert werden. Im Prinzip soll, wie bei Cloud-Diensten, jeder Kunde die gleiche aktuelle Version von Anwendungen auf den SFHs installiert haben. Es sind Prozesse für Staging und Testing vorgesehen, die es ermöglichen neuere Versionen und Funktionen schrittweise ins Feld zu bringen.

3.7.2.6 Anwendungsentwicklung

Anwendungen werden auf Basis von Linux-Containern von Anwendungsanbietern entwickelt. SFH-Anwendungen können aus mehreren Containern bestehen und es wird u.a. definiert, wie diese zusammenarbeiten, welche Netzwerkschnittstellen genutzt und wie diese persistiert werden. Da es sich bei allen Bestandteilen der Apps um gebräuchliche Komponenten und Software handelt, können SFH-Anwendungen außerhalb des Systems entwickelt und sogar benutzt werden. Der Lebenszyklus von SFH-Apps und ihren Versionen

wird dann innerhalb der Management Plattform durch den Anwendungsanbieter gepflegt. Anwendungsentwickler pflegen Anwendungen, Versionen, deren Inhalte und den Freigabestatus innerhalb der Plattform.

3.7.2.7 Ergebnisse der Kundenumfragen zu Factory Hosts

Der SFH wird gegenüber dem Endkunden des Maschinenbauers kein alleinstehend erwerbbares Produkt. Vielmehr wird er Bestandteil von Services und Software. Sobald der Kunde den ersten Service oder Software bezieht, wird automatisch ein SFH mit ausgeliefert. So ist aus SFH-Sicht nicht nur der „Endkunde“ Kunde, sondern auch der App-Entwickler, der SFH Apps auf dem SFH betreiben möchte. Für die Kundenumfrage ist die Akzeptanz des SFH trotzdem von Interesse.

Der SFH ist in der ersten Stufe für Kunden kleiner bis mittlere Größe ausgelegt. Größere Kunden betreiben meist professionell ihre eigenen Rechenzentren, weshalb die Anforderung zur Installation weiterer Komponenten zu einem Ausschluss führen kann.

Die Kundenumfragen wurden daher mit Kunden, beginnend mit 2 Maschinen und 10 Mitarbeitern bis ca. 20 Maschinen und 300 Mitarbeitern, geführt.

Eine Erkenntnis bei sehr kleinen Kunden ist, dass es keine dedizierte IT gibt. Oft wird die Einbindung eines IT-Partners auch vermieden, um flexibel zu bleiben. Damit arbeiten sich oft die Firmeneigentümer in die Thematik ein und betreiben die Infrastruktur nebenbei. Die Professionalität ist dabei grundsätzlich nicht niedrig. So werden auch Infrastruktur wie virtualisierte und redundante Systeme betrieben. Jedoch wird auch in diesen Betrieben, wenn möglich auf vollständig betriebene Dienste zurückgegriffen, wenn verfügbar. Diese sehr kleinen Kunden profitieren vom SFH enorm.

Bei mittelgroßen Betrieben gibt es oft eine dedizierte IT-Abteilung. Diese sind jedoch auf Rückfrage nicht grundsätzlich von der Nutzung eines SFH abgeneigt. Sie wären in der Lage Dienste auf ähnlichem Niveau zu betreiben, haben jedoch keine starren Vorgaben, die dies vorschreiben. Da der Kauf von Software und Services zur Unterstützung der Produktion meist eher von produktionsnahen Abteilungen durchgeführt wird, kann die Bündelung von Service und Infrastruktur als Dienst vorteilhaft sein. So sind für den späteren Betrieb nur sehr geringe Bedingungen von der Kunden-IT zu erfüllen und der Verkaufs- und Inbetriebnahmeprozess verschlankt.

3.7.2.8 Pilotierung

Im Rahmen der ersten Betriebstests wurde der Smart Factory Host an verschiedenen Einsatzorten erprobt. Neben der problemlosen Aufstellung erfolgte auch eine Testaufstellung in herausfordernden Umgebungen wie bei einem echten Werkzeugmaschinenkunden oder Umgebungen mit schwierigen Randbedingungen wie im Rechenzentrum der eigenen Firma

in einer eigens dafür eingerichteten Demilitarisierten Zone (DMZ) oder bei einer Tochterfirma in China.

Generell lässt sich nach diesen Betriebstests sagen, dass die Einfachheit des Betriebs eines Smart Factory Hosts mit der Barrierefreiheit steigt, die Normen wie die IEC62443 oder IT-Richtlinien einschränken. Natürlich ist der SFH auf einen Betrieb unter Einhaltung dieser Normen und Richtlinien ausgelegt, insbesondere kann die Verbindung zur SFH Management Cloud über ein VPN gebündelt werden, was das Freischalten auf Firmenfirewalls erheblich vereinfacht.

Herausfordernd sind eher die zu treibenden Aufwände zur Unterstützung von Entwicklern, die bisher fast ausschließlich die Entwicklung für nur lokal kommunizierende Software kennen. Hier kommt es kontinuierlich zu Erweiterungen der Whitelist der Firewall von Shopfloor in Richtung Smart Factory Host aufgrund inflationärer Nutzung von TCP Ports einzelner Anwendungen.

Ein weiterer Aspekt, der nicht stark genug betont werden kann, ist die Robustheit der Hardware, Firmware und der Firmwareaktualisierungs- und Serviceprozesse. Bootet ein Smart Factory Host nach einem Firmwareupdate nicht mehr und benötigt einen manuellen Eingriff in die Reset-Taste, so ist dies im Büro der Entwicklung noch einfach zu erledigen. Steht der SFH jedoch in einem Rechenzentrum mit strikten Zugangsbeschränkungen, so wird die Wiederherstellung herausfordernder. Der Erkenntnisgewinn bezüglich des zugrunde liegenden Problems ist hierbei entsprechend gering durch die fehlende, eigentlich notwendige Diagnose.

Sollten von Applikationen Anwendungsdaten, wie im Szenario Werkzeugverwaltung, auf einem SFH lokal in einem Volume gespeichert werden, ist die Verfügbarkeit dieses Speichersystems essentiell. Bei einem Ausfall dieses Speichersystems wären alle mühsam eingegebenen Daten verloren. Das Einspielen einer Sicherung wäre wenig hilfreich, da diese Sicherung nicht den aktuellen Stand der Realität widerspiegelt.

Es ist daher überaus wichtig, dass solche Daten nicht durch einfache Fehler gefährdet, sondern sie vielmehr mit Redundanz gespeichert werden. Hierzu ist mindestens eine RAID1 Spiegelung vorzusehen, die den Ausfall eines Speichersystems toleriert und die Daten bis zum Austausch des defekten Speichersystems und dem Wiederherstellen der Redundanz verfügbar hält.

3.8 Arbeitspaket 7: Geschäftsmodelle und Datensouveränität

3.8.1 Stand der Wissenschaft und Technik

Die COVID-19-Pandemie hat die Prämisse bestätigt, dass flexible und unabhängige Produktionsnetzwerke unerlässlich sind, um Produktionskapazitäten über die eigenen Möglichkeiten hinaus aufrechtzuerhalten. Für die digitale Transformation dieser Unternehmen ist die strukturierte Analyse von entsprechenden Plattformkonzepten daher von essenzieller Bedeutung. Das Potenzial von Produktionsplattformen im B2B-Bereich ist in den letzten Jahren durch den zunehmenden Einsatz neuer Technologien deutlich gewachsen. Die Beteiligung als Anbieter oder Nachfrager an Plattformmärkten stellt produzierende Unternehmen vor neue Möglichkeiten und Herausforderungen. Daher ist eine strukturierte Analyse der jeweiligen Plattformkonzepte entscheidend für die digitale Transformation dieser Unternehmen. Eine Plattform für dynamische unternehmensübergreifende Produktionsnetzwerke basiert auf neuen Geschäftsmodellen, die für ihren Erfolg oder Misserfolg entscheidend sind. Gegenüber den herkömmlichen Geschäftsmodellen produzierender Unternehmen bietet ein Plattformgeschäftsmodell den Vorteil, dass es möglich ist eine große Menge an Daten über die Kunden und Anbieter zu sammeln. Eine wichtige Aufgabe für die Plattform ist es, einen Weg zu finden die gesammelten Daten auszuwerten und diese für die optimale Vermittlung der Aufträge einzusetzen. Das derzeitige Geschäftsmodell der Auftragsfertigung impliziert, dass alle Kosten aus dem Cashflow des Kunden gedeckt werden (Wiesner et al., 2020). In

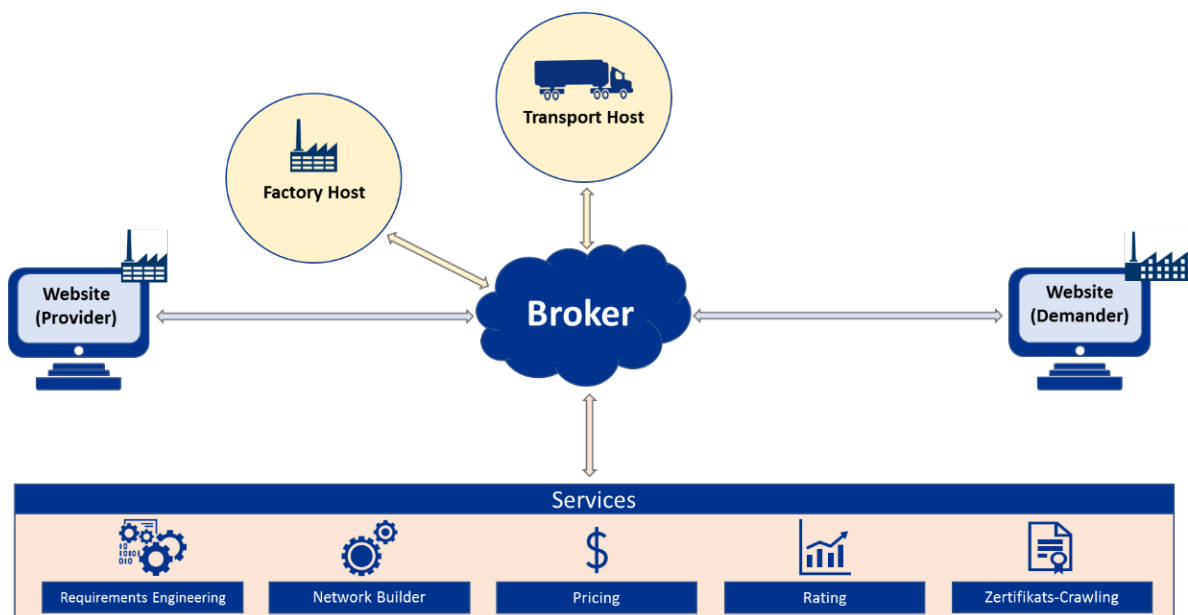


Abbildung 34: Architektur, einschließlich des Dienstes der DPNB-Plattform

einem solchen Geschäftsmodell können Maschinen nicht ausgelastet werden und die Standzeiten der Maschinen müssen in den Produktionspreis eingerechnet werden. Daher wurden große Anstrengungen unternommen, um Konzepte und Werkzeuge zu entwickeln, die eine Verteilung von Ressourcen gemäß Angebot und Nachfrage ermöglichen. Erhöhte Maschinenauslastung durch Datenanalyse zur Identifizierung maßgeschneiderter Fertigungsanforderungen führt zu Kostenvorteilen für Hersteller und Kunden. Daher ist es notwendig, passende Geschäftsmodelle zu entwickeln, den Plattformmarkt und die Kundensegmente zu analysieren, das richtige Vergütungsmodell zu identifizieren und den Teilnehmern das richtige Leistungsversprechen anzubieten. Dieses Konzept für ein servicebasiertes Geschäftsmodell einer Produktionsplattform wird in AP 7 für den Use Case „Dynamic Production Network Broker“ durchgeführt (s. Abbildung 34).

3.8.2 Projektergebnisse AP 7

Die Zielsetzung des AP 7 ist die Entwicklung von servicebasierten Geschäftsmodellen im Umfeld der Plattformökonomie für eine dynamische Produktionsplattform. Hierfür wurden existierende Vorarbeiten aus den Themengebieten Datensouveränität und Plattformgeschäftsmodelle analysiert und mit der technischen Gesamtarchitektur in AP 1 abgeglichen. Weitere Erkenntnisse wurden über eine empirische Studie gewonnen. Die Ergebnisse aus AP 7 über die komplette Projektlaufzeit wurden in Theorie und Praxis evaluiert und im Rahmen eines iterativen Verbesserungsprozesses mit dem AP 1 validiert. Abschließend wurden die gewonnenen Erkenntnisse konsolidiert und praxisgerecht aufbereitet in verschiedene Leitfäden überführt. In diesem Abschnitt werden die erzielten Ergebnisse aufbauend auf den Teilarbeitspaketen vorgestellt.

3.8.2.1 Servicebasierte Geschäftsmodelle: Datensouveränität

In diesem Arbeitspaket wurde ermittelt, wie die Datensouveränität der beteiligten Parteien in den Daten- und Informationsflüssen des DPNB sichergestellt werden kann. Hierbei wurde insbesondere untersucht, zu welchem Zeitpunkt und für welche Daten, welche Anonymitätsgrade und welche Zugriffskriterien einzuhalten sind. Ergebnis sind definierte Informations- und Datenflüsse, die einen sensiblen Umgang mit den Unternehmensdaten ermöglichen. Des Weiteren wurde untersucht werden (unter der Berücksichtigung von weiteren Faktoren wie Preis, Kundenbindung etc.), wie Anreize geschaffen werden können, um eine möglichst umfangreiche Informationsfreigabe zu erreichen. Im Cloud-Manufacturing-Markt müssen Produktionsnetzwerke sensible Produktionsinformationen austauschen, um einen Wettbewerbsvorteil zu schaffen, der nur durch eine hohe Datenqualität erreicht werden kann. Die Überprüfung datengetriebener Komponenten erhöht die Transparenz des Produktionssystems und führt zu neuen Handlungsfeldern. Die Modellierung des daten-

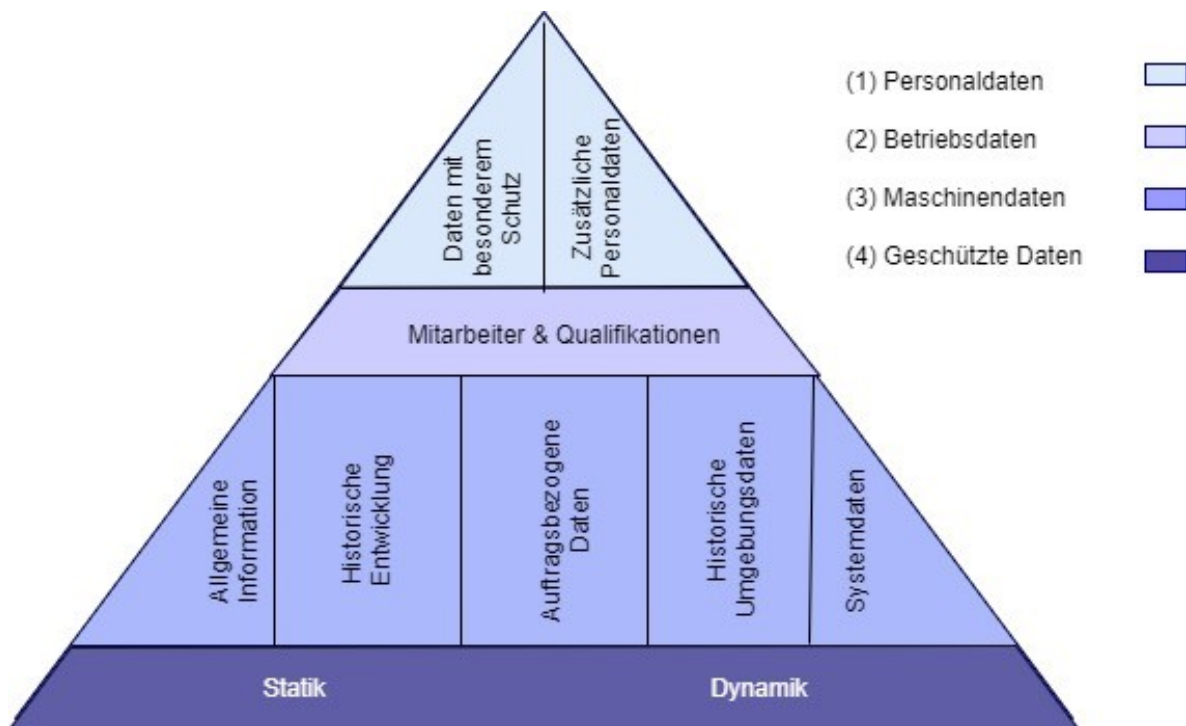


Abbildung 35: Datenhierarchie

gesteuerten Geschäftsmodellansatzes basiert auf der Integration aller kritischen Daten in Ihrem Produktionsnetzwerk in einer Datenhierarchie. Daher können die fünf Datencluster in Bezug auf Datentyp, Datenattribute, Datennutzung, Datenquelle und Datenherausforderungen unterschieden werden. Darüber hinaus lassen sich Datencluster in dynamische und statische Daten, frei verfügbare Daten und personenbezogene Daten wie personenbezogene und nicht personenbezogene Daten unterteilen. Durch die Kombination von fünf Datenclustern mit Datenkategorien kann eine Datenhierarchie entwickelt werden, wie in Abbildung 35 gezeigt. Darüber hinaus ermöglichen die gewonnenen Informationen eine genauere Entwicklung datengetriebener Geschäftsmodelle. Ein wesentlicher Aspekt einer erfolgreichen Umsetzung eines datengetriebenen Geschäftsmodells ist die Sicherung der digitalen Souveränität in einem digitalen Umfeld. Dateneigentümer müssen in der Lage sein, die Verwendung von Daten zu definieren, zu lenken und zu kontrollieren. Für das Wertangebot sind allgemeine Angaben zu den Teilnehmern erforderlich, um Markttransparenz für die Plattform zu ermöglichen. Das Abgleichen von Angebot und Nachfrage erfordert ferner betriebs- und auftragsbezogene Daten, um den Abgleich durchzuführen. Die Qualitätsverfolgung basiert auf historischen Daten, während identifizierende Daten zu Anonymisierungszwecken geschützt werden müssen. Diese Daten sind gleichzeitig Schlüsselressourcen für die Plattform, die als Schlüsselaktivitäten analysiert werden müssen. Die vorgestellte Datenhierarchie ist ein wichtiger Bestandteil eines sicheren datengetriebenen Geschäftsmodells, da sie aus Sicherheitsgründen den sicheren Austausch von Daten im Datenraum unterstützt.

Neben der Integration neuer Technologien in betriebliche Produktionsnetzwerke sind auch digitale Transformationskonzepte und strategische Ansätze gefragt. Dadurch können digitale Anforderungen durch die Schaffung neuer digitaler Geschäftsmodelle effektiver erfüllt werden als traditionelle Produktionsnetzwerk-Geschäftsmodelle. Zudem können die Grundelemente des Geschäftsmodells den Leistungsumfang, die Wertschöpfung und die Erlösstruktur des Vermittlers verändern. Dies kann den Unternehmensfokus des Produktionsnetzwerks eines Unternehmens verändern. Der Fokus liegt auf die digitalen Technologien, wie die die neuartigen datenbasierten Dienste und begünstigen damit Servitization-Trends ermöglichen. Die Digitalisierung von Geschäftsprozessen ermöglicht den ad-hoc Aufbau von Wertschöpfungsnetzwerken für individuelle Kundenbedürfnisse. Beispiele sind Online-Plattformen, die eine Vielzahl von Anbietern und Kunden in einem auf Cloud-Technologie basierenden Ökosystem zusammenführen. Auch produktzentrierte Branchen wie die Fertigung verlagern sich zunehmend auf diese Online-Marktplätze. Diese Möglichkeiten nutzen produzierende Unternehmen, um mit Partnern zusammenzuarbeiten und ihre Produkte mit wertschöpfenden Services über innovative Product-Service-Systeme (PSS) bis hin zu cloud-basierten Manufacturing as a Service (MaaS)-Angeboten zu bündeln. Die Realisierung solcher Angebote erfordert jedoch die Verwaltung der Daten für das Produkt-Dienstleistungs-Ökosystem in der Cloud-Manufacturing-Plattform sowie für die vielfältigen und verteilten Daten bei der MaaS-Bereitstellung. Die Analyse der vorhandenen Literatur zu verschiedenen Aspekten von Datenmarktplätzen zeigt, dass es einen Unterschied zwischen nutzerakzeptierten Marktplätzen im B2C- und B2B-Bereich gibt, und dass dies unter anderem auf mangelnden einfachen Zugang, Vertrauen und Dateneigentum. Um diese Herausforderungen zu meistern, haben wir einen zweifachen Ansatz verfolgt: eine Plattform zu entwickeln, die die im LR identifizierten Bedürfnisse erfüllt und eine hohe Benutzerakzeptanz sicherstellt, während wir potentielle Benutzer sowohl in die Gestaltung der Plattform einbeziehen (Vertrauenssteigerung im Datenschutz) und bei der Entwicklung von Geschäftsmodellen, die den unterschiedlichen Nutzeranforderungen gerecht werden und für dynamische Marktplätze geeignet sind. Dazu wurden relevante Stakeholder identifiziert und zum Projekt eingeladen. Diese Partner bilden die Fallstudienumgebung. Für die Definition der Anforderungen an die Plattform haben wir einen partizipativen Designansatz verwendet, während wir für die Entwicklung entsprechender Geschäftsmodelle einen co-kreativen Ansatz in einer Reihe von Workshops zur Umsetzung des auf dem St. Galler Business Model und auf dem Business Model Canvas. Teilnehmer aus produzierendem Gewerbe, Verkehrsdienstleistungsindustrie und Forschungsinstituten wurden eingebunden, um unterschiedliche Anforderungen und Perspektiven zu vereinen. Das Hauptziel dieses Ansatzes war es, eine ganzheitliche Analyse aller relevanten Aspekte des Plattform-Geschäftsmodells zu gewährleisten. Diese Prozesse wurden parallel und agil kombiniert, um schnelle Feedbackschleifen und eine hohe Transparenz im Entwicklungsprozess zu gewährleisten. Während die Teilnehmer am Design der dynamischen Produktionsnetzwerkplattform in regelmäßi-

gen Meetings Input und validierendes Feedback zum Design gaben, wurde eine Reihe von Workshops zur co-kreativen Entwicklung geeigneter Potenziale initiiert Geschäftsmodelle auf Basis des Business Canvas. In beiden Gruppen waren Vertreter der Partnerorganisationen sowohl an der Erstellung der Anforderungen als auch an der Validierung des Prozesses beteiligt. Eine Reihe von Forschungsfragen sind daher noch genauer zu analysieren, wie etwa der Wert unterschiedlicher Datentypen oder geeigneter Preismodelle, die vom Markt akzeptiert werden. Darüber hinaus werden die Servicebausteine im Geschäftsmodell weiter ausgebaut.

3.8.2.2 Servicebasierte Geschäftsmodelle: Plattformmodell

Innerhalb des Arbeitspakets 1.2 „Servicebasierte Geschäftsmodelle: Plattformmodell“ wurden aufbauend auf den Anwendungsfällen sowie relevanten Vorarbeiten der Partner und Wissen aus Wissenschaft und Wirtschaft die Anforderungen an die Gesamtarchitektur abgeleitet. Im Rahmen des DPNB-Projekts wurde ein Framework entwickelt (s. Abbildung 36). Dieses Framework analysiert die Rahmenbedingungen für die Implementierung einer dynamischen Produktionsplattform, die sich aus einem adaptiven Wirtschaftsmodell ableitet

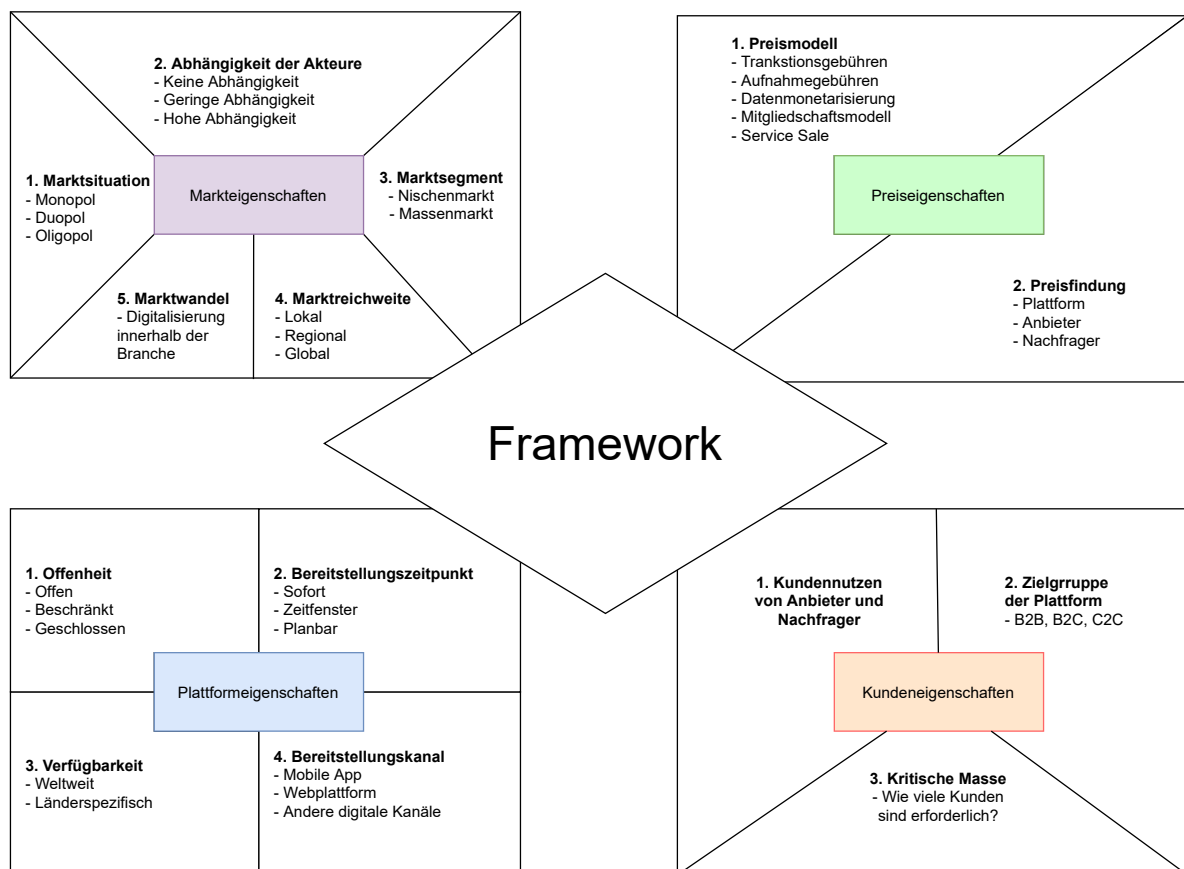


Abbildung 36: Framework für die Entwicklung einer dynamischen Plattform

und die notwendige Modellierung unterstützt. Bestehende Frameworks zur Umsetzung von Cloud-Produktionsansätzen konzentrieren sich auf die IT-Architektur der Plattform und die darauf bereitgestellten Dienste. Die Entwicklung und Bewertung eines guten Geschäftsmodells wurden als Problem beschrieben, aber nicht systematisch angegangen. Für die Entwicklung des Frameworks wurden vier Bereiche identifiziert, die im Erstellungsprozess zu berücksichtigen sind. Die vier Bereiche umfassen die Plattform-, die Markt-, die Kunden- und die Preiseigenschaft. Dieses Framework kann als Grundlage für verschiedene Workshops verwendet werden, um einen praktischen theoretischen Ansatz zu validieren. Basierend auf den Ergebnissen können Sie Ihr Geschäftsmodell gezielter weiterentwickeln.

Ein Geschäftsmodell zur gemeinsamen Nutzung von Produktionskapazitäten in dynamischen Umgebungen zu entwerfen, wurde durch die Entwicklung eines Business Model Canvas für die DPNB-Plattform erreicht. Dabei wurde unter anderem ein Augenmerk auf das Ausarbeiten von kooperativen Veröffentlichungen gelegt, um sowohl den Stand der Wissenschaft als auch Partnerinternes Wissen zu generieren. Beispielhaft dafür wurde zum zuvor beschriebenen Geschäftsmodell eine Veröffentlichung zum Thema „Business Model Development for a Dynamic Production Network Platform“ verfasst (Wiesner et al., 2020). Dabei wurde unter anderem basierend auf einer Literaturanalyse die Frage beantwortet, inwiefern das Mehrwertangebot die Dienstleistungen umfasst, die die identifizierte Lücke in den bestehenden Produktionsplattformen schließen, d.h. das Ad-hoc-Onboarding und die Implementierung von Produktionsnetzwerken mit produzierenden KMU, Logistik- und Montageanbietern. Es wurden geeignete Vergütungsmodelle identifiziert, die sowohl ausreichende Einnahmen für die Betreiber generieren als auch ein gutes Leistungsversprechen für die Teilnehmer versprechen. Dabei werden von den Teilnehmern der Plattform vor allem Transaktion basierte Gebühren gegenüber fixen Mitgliedergebühren bevorzugt. Für die Plattform ist ein auf Transaktionen basiertes Vergütungsmodell skalierbar und bietet somit ein Potential für das Wachstum von Einnahmeströmen. DPNB als Produktionsplattform ist als zweiseitiger Markt etabliert, in dem die Plattform automatisch die Nachfrage der Kunden an die Kapazität der Lieferanten anpasst. Durch eine zentralisierte Architektur zielt die Plattform auf eine größere potentielle Nutzergruppe als etablierte Systeme ab, da die Eintrittsbarrieren sowohl für Anbieter als auch für Kunden gering sind. Es ermöglicht Anbietern von Produktionsmitteln, ohne eigenes Revenue-Management-System am Markt teilzunehmen. Kunden können direkt auf die Ressourcen der Anbieter zugreifen, ohne auf Dienste Dritter angewiesen zu sein. Unterhalb des Gesamtkonzepts der DPNB-Plattform wurden drei Anwendungsfälle definiert: Das Onboarding der Teilnehmer, die Auftragsplanung und die Ausführung von Produktionsaufträgen. Eine Erweiterung der bestehenden Marktlösung ist die vollständige Integration von Herstellern in dynamische Produktionsplattformen. Dies berücksichtigten die Transport- und Montagekapazitäten. Die Kombination verschiedener Fähigkeiten schafft eine unternehmensübergreifende Lieferkette. Die Komplexität der Plattformgestaltung wird mit der Integration der Montagedienstleistung steigen, da die Kunden-

bedürfnisse individuell und spezifisch gestaltet wird. Die nachgefragten Produkte werden somit vollständig über die Plattform abgewickelt. Dafür kann ein Auftrag durch Multi Sourcing auf verschiedene Kapazitätsanbieter aufgeteilt werden, indem ein Anbieter die Produktion der Bauteile, ein weiterer den Transport und ein dritter die Montagedienstleistungen übernimmt. Die Plattform kann Assembly Assistent System (AAS) verwenden, um die Geschwindigkeits- und Qualitätsanforderungen der Kapazitätsanforderungen zu erfüllen. AAS stellen damit Enabler für die Integration von Montageprozessen in eine dynamische Produktionsplattform dar.

3.8.2.3 Empirische Studie

In diesem Arbeitspakete wurde eine Empirische Studie mit Expertenmeinungen zur Untersuchung der Geschäftsmodellvarianten unter der Berücksichtigung der erarbeiteten Daten- und Informationsflussvarianten sowie der entwickelten Erlös- und Preisbildungsmechanismen durchgeführt, um ein in sich stimmiges Gesamtmodell mit dem größten Nutzen für alle Beteiligten (Betreiber, Anbieter, Nachfrager) zu ermitteln. Diese Untersuchung wurde Ende Mai 2020 im Rahmen des DPNB-Projekts mit dem Ziel durchgeführt, das Potenzial dynamischer Produktionsplattformen während der COVID-19-Pandemie zu untersuchen. Um eine hohe Datenqualität zu gewährleisten, validierten die DPNB-Projektpartner zunächst die Fragen. Anschließend wurde die Umfrage über den Projektträger Karlsruhe, dem Netzwerk der Partnerunternehmen, Industriepartner der beteiligten Institute sowie in sozialen Median wie LinkedIn verteilt. Zielgruppe der empirischen Forschung sind produzierende Unternehmen, die sich für den Beitritt oder den Aufbau dynamischer Plattformen interessieren. Die grundlegenden Fragestellungen der Studie untersuchen, welche Aussagen zu den Auswirkungen der Pandemie auf die Auftragslage der einzelnen Unternehmen getroffen werden können, ob die befragten Unternehmen als Anbieter oder Nachfrager von Produktionskapazitäten an der Plattform teilnehmen würden und welche Eigenschaften eine dynamische Produktionsplattform erfüllen sollte. Um die Teilnehmer zu motivieren, der Plattform beizutreten und die erforderlichen Daten zu teilen, muss der gegenseitige Nutzen für die Beteiligten gegeben sein. Aspekte wie Verfügbarkeiten und Liefertreue sind beispielsweise besonders wichtig. Ein zentrales Ergebnis der Studie war, dass sich der Intermediär auf die Akquisition der Käufermarktseite konzentrieren sollte, da insbesondere mehr Unternehmen daran interessiert sind, als Kapazitätslieferanten als Kapazitätskäufer an der Plattform teilzunehmen. Eine zentrale Anforderung an die Käufermarktseite ist daher, dass sie aus einer Vielzahl von Produktangeboten wählen kann, um das für ihre Bedürfnisse am besten geeignete zu finden. Neben den Anforderungen der Anbieter und Nachfrager ist es für eine dynamische Plattform von entscheidender Bedeutung selbst wirtschaftlich zu agieren. Die Plattform kann Mitgliedsbeiträge oder Provisionen für einzelne Transaktionen festlegen. Eine Umfrage unter Unternehmen ergab, dass die meisten Verkäufer und Käufer Provisionen

für die Nutzung der Plattform akzeptieren würden. Für den Wettbewerb sind die Auswirkungen der Plattform aus zwei Perspektiven zu betrachten. Im Vergleich zu Unternehmen außerhalb der Plattform ist sicherlich ein Wettbewerbsvorteil durch einen größeren und besseren Marktzugang über die Plattform gegeben. Aufträge können schneller und sicherer abgewickelt werden, Kosten und Preise werden durch bessere Auslastung der Produktionskapazitäten gesenkt und gleichzeitig die Datensicherheit der Produktionsaufträge verbessert. Unter den Teilnehmern der Plattform geht es vielmehr darum, eine Form der Kooperation zu etablieren. Aufgrund der höheren Markttransparenz sind Anbieter weniger in der Lage, überhöhte Preise zu verlangen. Letztlich ist es möglich, an Multi-Sourcing-Aufträgen teilzunehmen.

3.8.2.4 Leitfaden zum Aufbau, Betrieb und zur Teilnahme an digitalen Produktionsplattformen

Zum erfolgreichen Aufbau und Betrieb einer Produktionsplattform sowie der Teilnahme an dieser müssen bei den Beteiligten Organisationen bestimmte Voraussetzungen geschaffen werden. So muss z.B. den Teilnehmern der Plattform ein Werteangebot unterbreitet werden und es muss definiert werden, wie der Zugang der Teilnehmer zur Plattform gewährleistet wird (Jaekel, 2017). Ein Leitfaden für den Plattformbetreiber kann den Fokus auf die wesentlichen Herausforderungen setzen. In diesem werden die wichtigsten Handlungsfelder einfach und verständlich beschrieben. Ein weiterer Leitfaden für die Nutzer der Plattform kann diesen einen Einblick in die Teilnahme an einer Plattform bieten. Den Nutzern können die Vor- und Nachteile geschildert und die notwendigen Schritte erläutert werden. Die Voraussetzungen der Teilnahme und mögliche Unsicherheiten für den Einstieg können damit auch Unternehmen ohne spezifisches Fachwissen erklärt werden. Daher wurden im Rahmen des DPNB-Projekts Leitfäden für Plattformbetreiber und Plattformnutzer erstellt. Der Leitfaden für den Plattformbetreiber dient als Anleitung für den Aufbau und Betrieb einer Produktionsplattform. In diesem werden Möglichkeiten für das Überwinden von Herausforderungen aufgezeigt. Diese beschreiben z.B. verschiedene Methoden zur Fokussierung von Kundengruppen oder der Definition des Werteangebots an die Plattformteilnehmer. Des Weiteren werden Ansätze zur Optimierung gängiger Einnahmequellen und Kostenpositionen beschrieben. Der Leitfaden für die Plattformnutzer bietet eine Hilfestellung vom Einrichten eines eigenen Accounts auf der Plattform bis zur Erstellung oder Annahme des ersten Angebots auf der Plattform. Grundlegend wird für den jeweiligen Teilnehmer die Voraussetzung für die Teilnahme an der Plattform beschrieben werden. Danach werden die Vorteile und Risiken für die Teilnahme an einer Produktionsplattform beschrieben. Zur Erstellung der Leitfäden wurde analysiert, welche Informationsbedarfe für die einzelnen Zielgruppen und Aufgabenbereiche im Rahmen einer Produktionsplattform existieren. Im Folgenden sind diese Bedarfe exemplarisch aufgeführt:

Aufbau einer Produktionsplattform

- Beschreibung der Erfolgsfaktoren für den Aufbau einer Produktionsplattform
- Aufzeigen verschiedener Herangehensweisen zur Kundengewinnung
- Beschreiben der notwendigen Informationstechnik und Partner für den Aufbau und späteren Betrieb der Plattform
- ...

Betrieb einer Produktionsplattform

- Beschreiben des Matchingprozesses um das Grundverständnis für den Ablauf und die benötigten Informationen zu festigen
- Beschreiben der möglichen Methoden zur Kommunikation über die Plattform, sowohl zwischen den Teilnehmern untereinander als auch mit dem Plattformbetreiber
- Aufzeigen von Punkten zur Kostenreduzierung und Schaffung zusätzlicher Einnahmequellen über die Plattform
- ...

Nutzung einer Produktionsplattform

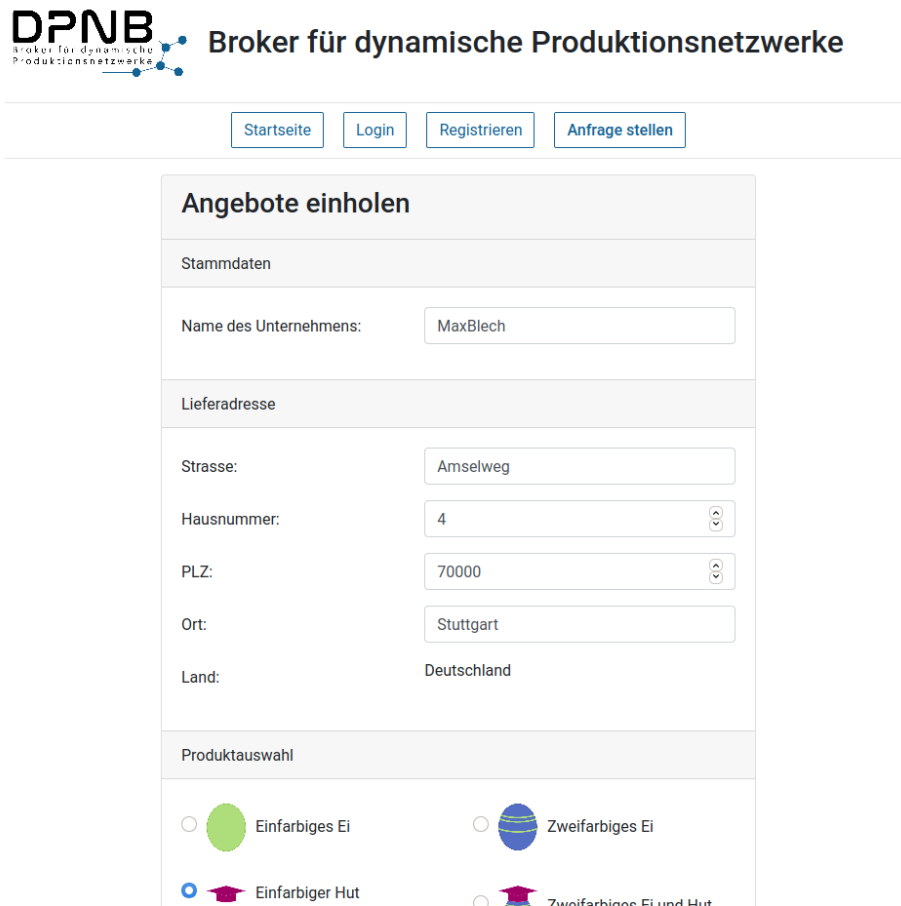
- Beschreiben der Vor- und Nachteile sowie aufzeigen von Risiken die mit der Teilnahme an der Plattform verbunden sind
- Überblick an nötigen Voraussetzungen und technischen Anforderungen für die Teilnahme an der Plattform
- Exemplarische Beschreibung eines Anmeldevorgangs und Anlegen eines Benutzerkontos für die Plattform
- ...

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für Plattformen ist die Gewinnung der sogenannten kritischen Masse. Das große Problem ist die ersten User auf die Plattform zu ziehen, ohne einen definierten Nutzen anbieten zu können. Das sogenannte „Henne Ei Problem“. An diesem Phänomen scheitern viele Plattformen. Nach dem Überschreiten der kritischen Masse haben sich genügend Nutzer auf der digitalen Plattform vernetzt, integriert und erzeugen einen Mehrwert für jeden Teilnehmer. (Jaekel, 2017) Hierfür werden in den Leitfäden verschiedene Strategien, wie Marquee, Huckepack oder Nischenmarkt erläutert (Worch et al., 2020). Für

die Nutzer der Produktionsplattform werden mögliche Vorteile wie die Optimierung von Produktionsprozessen, höhere Flexibilität, individualisierte Produktion (Losgröße 1) oder die Erschließung neuer Geschäftsfelder und Märkte beschrieben. Aber auch Risiken, wie der Verlust der Kundenschnittstelle, die wachsende Datenmacht der Plattform oder durch hohe organisatorische Aufwände den erwarteten Nutzen übersteigende Kosten werden adressiert (Icks et al., 2017).

3.9 Arbeitspaket MVP: Minimum Viable Product

Die Zielstellung des Arbeitspakets MVP, zu deutsch minimal funktionsfähiges Produkt, ist die Entwicklung einer Basisversion der konzeptionierten Plattform, um den Ablauf und das Zusammenwirken der unterschiedlichen Komponenten zu testen und zu evaluieren. Dazu wurden im Zuge der Entwicklung drei Prototypen entwickelt, welche unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt haben.



DPNB Broker für dynamische Produktionsnetzwerke

Startseite Login Registrieren Anfrage stellen

Angebote einholen

Stammdaten

Name des Unternehmens:

Lieferadresse

Strasse:



Hausnummer:

PLZ:

Ort:

Land:

Produktauswahl

 Einfarbiges Ei
  Zweifarbiges Ei



 Einfarbiger Hut
  Zweifarbiges Ei und Hut

Abbildung 37: Erster Prototyp des Frontends des MVP

Der erste Prototyp war eine Implementierung des Frontends, in Form einer Website (vgl. Abbildung 37). Bei diesem Prototypen waren bereits Eingaben möglich. Es konnte beispielsweise eine neue Produktionsanfrage gestellt werden. Als Vereinfachung wurden hier ursprünglich verschiedene Arten von 3D-gedruckten Ostereiern als fest-definierte Produkte betrachtet. Dieser Prototyp diente der Verdeutlichung des Ablaufs des Anfrageprozesses, verfügte jedoch nicht über eine solide Grundlage und war nur als Klick-Prototyp konzipiert. Entwickelt wurde dieser Prototyp in Angular.JS.

Die nächste Entwicklungsstufe war ein gemeinsamer Prototyp der Services aus AP 2 und AP 3. Diese Services sind im *Use Case 1* für die Angebotserstellung zuständig. Die Services Requirements Engineering, der Network Builder und ein Pricing Service interagieren hier mit einem vereinfachten Broker, welcher zentral die Datenhaltung übernimmt. Dieser Mock-Broker verfügt über fest definierte Aufträge und hält die Informationen nur zur Laufzeit. Bei der Entwicklung dieses Prototyps stand vor allem das Zusammenspiel der Services und die Definition gemeinsamer Datenmodelle und Interfaces im Mittelpunkt. Das Konzept dieses Prototyps ist in Broda et al. (2021) beschrieben. Entwickelt wurde dieser Prototyp in Java. Alle Komponenten nutzen hier dieselben Datenmodelle aus dem Paket `java-datamodels`. Die Services und der Mock-Broker nutzen zusätzlich das Framework Spring, um ihre Interfaces bereitzustellen. Für die Kommunikation zwischen dem Broker und den Services wurde ein eigenes Paket, `java-broker-interface`, definiert, welches entsprechende Methoden für alle Schnittstellen des Brokers bietet.

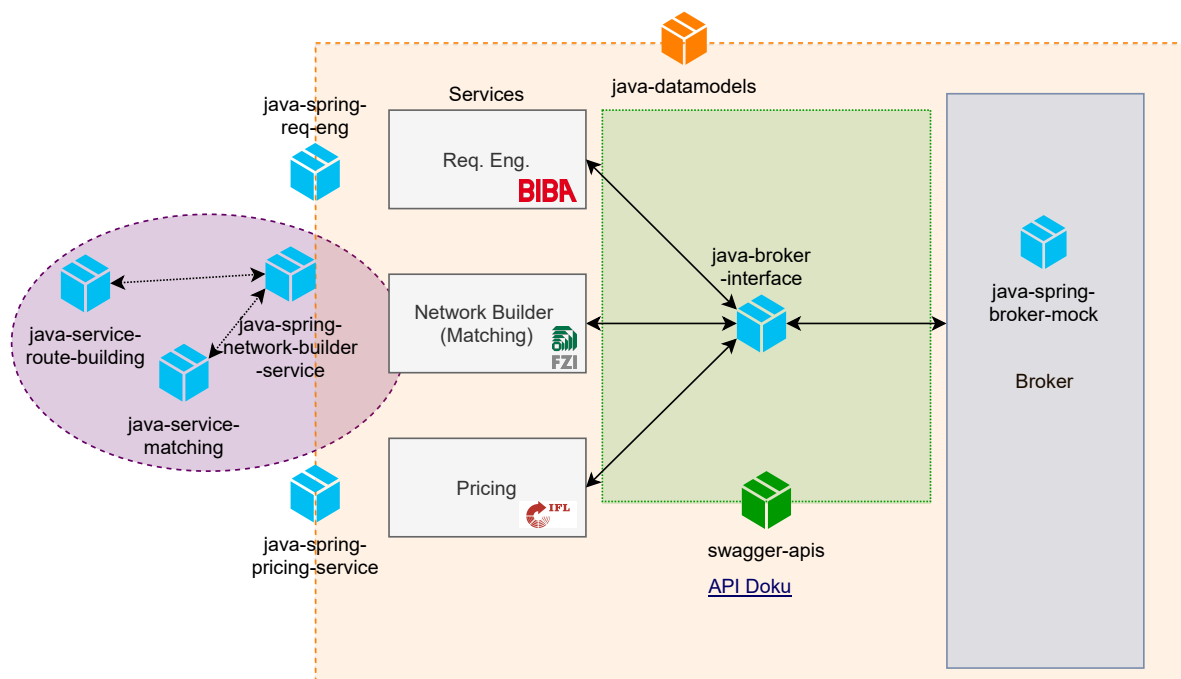
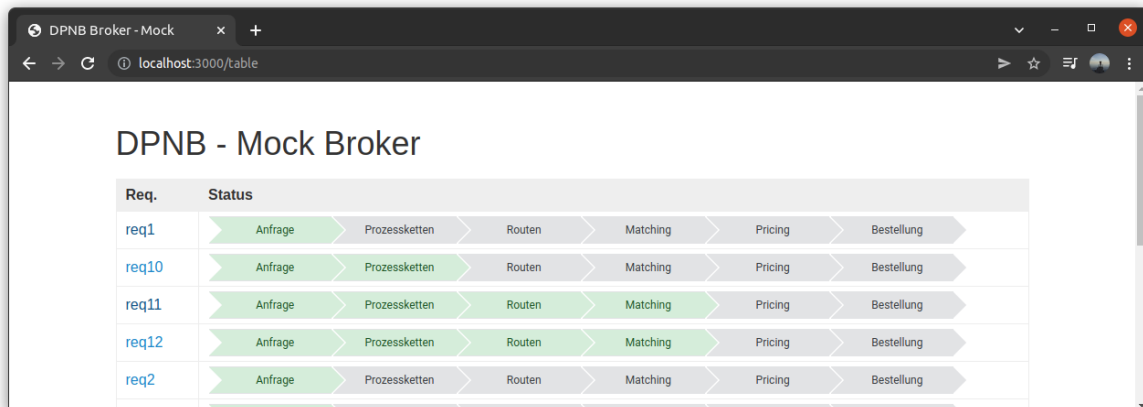


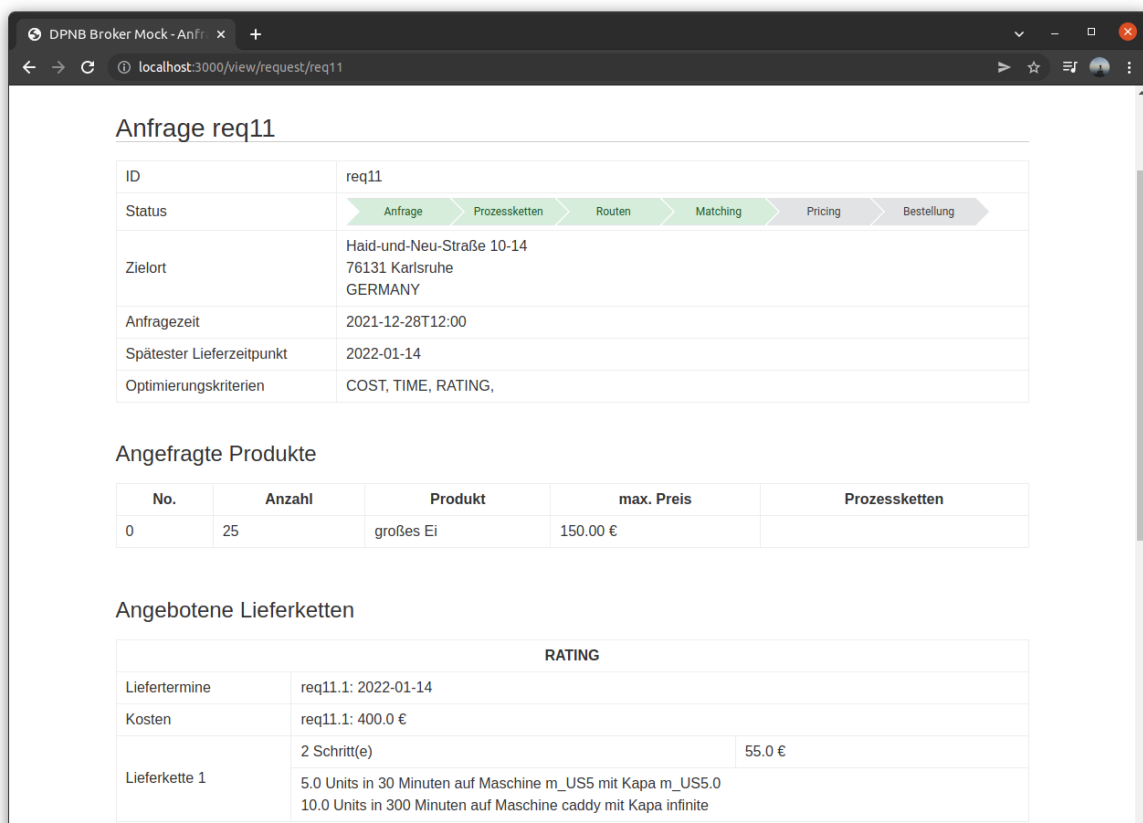
Abbildung 38: Systemlandschaft des zweiten Prototypen



DPNB - Mock Broker

Req.	Status
req1	Anfrage → Prozessketten → Routen → Matching → Pricing → Bestellung
req10	Anfrage → Prozessketten → Routen → Matching → Pricing → Bestellung
req11	Anfrage → Prozessketten → Routen → Matching → Pricing → Bestellung
req12	Anfrage → Prozessketten → Routen → Matching → Pricing → Bestellung
req2	Anfrage → Prozessketten → Routen → Matching → Pricing → Bestellung

Abbildung 39: Zweite Version des Brokers mit Aufträgen



DPNB Broker Mock - Anfr.

localhost:3000/view/request/req11

Anfrage req11

ID	req11
Status	Anfrage → Prozessketten → Routen → Matching → Pricing → Bestellung
Zielort	Haid-und-Neu-Straße 10-14 76131 Karlsruhe GERMANY
Anfragezeit	2021-12-28T12:00
Spätester Lieferzeitpunkt	2022-01-14
Optimierungskriterien	COST, TIME, RATING,

Angefragte Produkte

No.	Anzahl	Produkt	max. Preis	Prozessketten
0	25	großes Ei	150.00 €	

Angebotene Lieferketten

RATING	
Liefertermine	req11.1: 2022-01-14
Kosten	req11.1: 400.0 €
Lieferkette 1	2 Schritt(e) 55.0 €
	5.0 Units in 30 Minuten auf Maschine m_US5 mit Kapa m_US5.0 10.0 Units in 300 Minuten auf Maschine caddy mit Kapa infinite

Abbildung 40: Details eines Auftrags in der zweiten Version des Brokers

Die Weiterentwicklung und Kombination der Ideen aus den zwei vorherigen Prototypen stellt der dritte Prototyp da. Dieser wird im Folgenden als "der MVP" bezeichnet. Dieser Prototyp ist der umfassendste Prototyp, für welchen gemeinsam von allen Projektpartnern ein Zielbild entwickelt wurde, welches in Abbildung 41 zu sehen ist. Er integriert die Ergebnisse aus den Arbeitspaketen AP 2, AP 3, AP 4 und AP 7. Zentrales Element ist hierbei der Broker, welcher als Datendrehscheibe die Daten zwischen den verschiedenen Akteuren, Services und Teilnehmer:innen verteilt. Dieser Prototyp wurde in Node.JS unter Nutzung des Frameworks Nest.JS entwickelt. Oberhalb des Brokers befindet sich die Website, welche als Benutzerschnittstelle zu den Anwender:innen der Plattform fungiert. Über diese Website ist die Eingabe eines Auftrags, die Auswahl des Angebots sowie die Verfolgung des Auftrags möglich.

Im rechten Bereich von Abbildung 41 sind die Verbindungen zu den Akteuren dargestellt, welche über die Plattform die Aufträge realisieren. Dabei handelt es sich zum einen um die Fertigungsunternehmen. Die Verbindung in die Fabrik wird hier über den Factory Host angedeutet. Zum anderen sind die Logistikdienstleister beteiligt. Diese kümmern sich darum, dass die gefertigten Teile zum nächsten Produktionsschritt oder zum Endkunden geliefert werden. Für die Anbindung ist hier die Komponente Transportation Host zuständig, welche im Zuge von AP 4 entwickelt wurde.

Im linken Bereich von Abbildung 41 sind die Services der Plattform dargestellt, die für die Angebotserstellung notwendig sind. Beginnend beim Requirements Engineering, welches das bereitgestellte Bauteil analysiert und die notwendigen Bearbeitungen bestimmt (vgl. Abschnitt 3.3.6), werden durch die Network Builder-Komponente im Folgenden dann die Angebote für den Kunden berechnet (vgl. Abschnitt 3.4.2.2). Hierbei erfolgt bereits die Auswahl der beteiligten Produzenten sowie der notwendigen Transporte. Der Pricing-Service schließt den Angebotsprozess ab, in dem er den Preis errechnet, der seitens der Plattform vom Kunden verlangt wird. Die Pricing-Komponente ist im Rahmen des MVP nicht als eige-



Abbildung 41: Zielbild des MVP

ne Komponente ausgeführt worden, sondern ist direkt in den Broker integriert worden. Als vereinfachtes Geschäftsmodell wird hier angenommen, dass eine konstante Marge auf die Einkaufspreise des Brokers aufgeschlagen werden. Zusätzlich angedeutet ist hier ein Rating-Services, mittels dessen die Bewertung von Nachfragern und Anbietern auf der Plattform erfolgen soll. Das Zertifikats-Scraping unterstützt bei der Anmeldung (*Use Case 0*) und stellt dort Unternehmensinformationen bereit.

3.9.1 Darstellung des Prozesses im Broker

Im Folgenden wird der Ablauf des MVP-Prozesses dargestellt. Hierbei wird vom Idealprozess ohne auftretende Fehler ausgegangen, für die spezielle Fehlerbehandlungen existieren. Der Prozess beginnt auf der Website. Hier ist der Benutzer bereits registriert und eingeloggt (Abbildung 42). Es kann nun eine neue Anfrage für die Fertigung eines Bauteils gestellt, vorliegende Anfragen und Aufträge betrachtet sowie das Profil angepasst werden. Um dem Ablauf der Use Cases zu folgen, soll nun zuerst das Profil angepasst werden. Hier ist der Web Crawler-Service aus AP 8 integriert, welcher für einen Firmennamen entsprechende Firmeninformationen und Zertifikate bereitstellt. Exemplarisch ist dies in Abbildung 43 für den Projektpartner Bosch dargestellt. Für diesen sind mehrere Gesellschaften bekannt. Im Beispiel wird nun die Bosch Engineering GmbH ausgewählt und daraufhin das Profil entsprechend mit der Adresse und den Zertifikat befüllt (vgl. Abbildung 44).

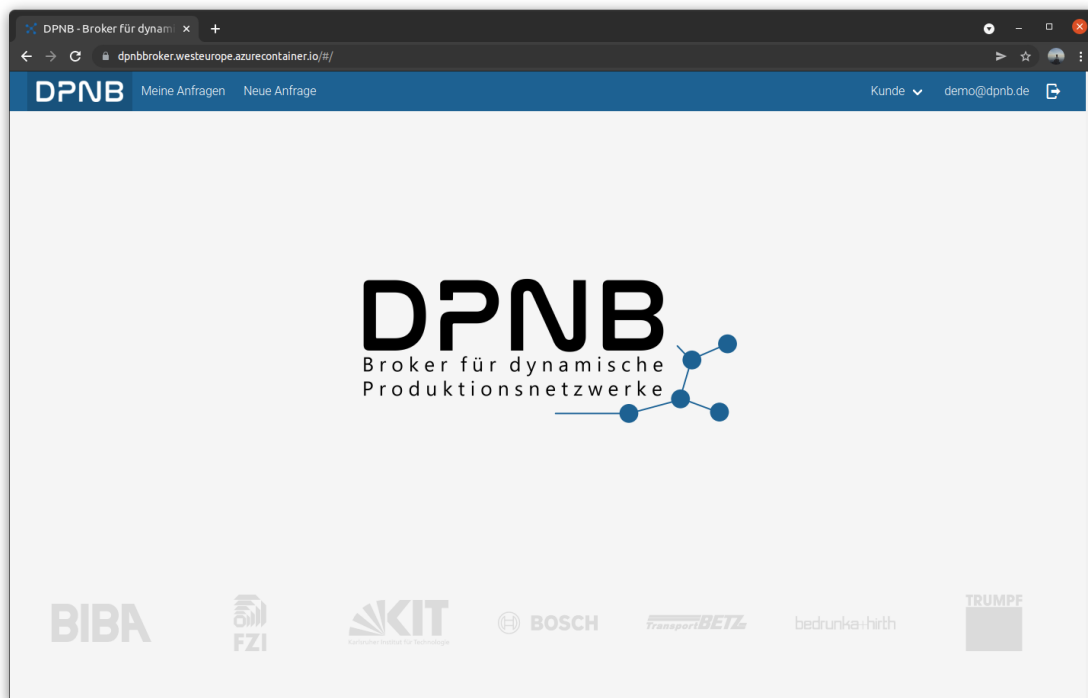


Abbildung 42: Die Startseite für einen eingeloggtten Benutzer

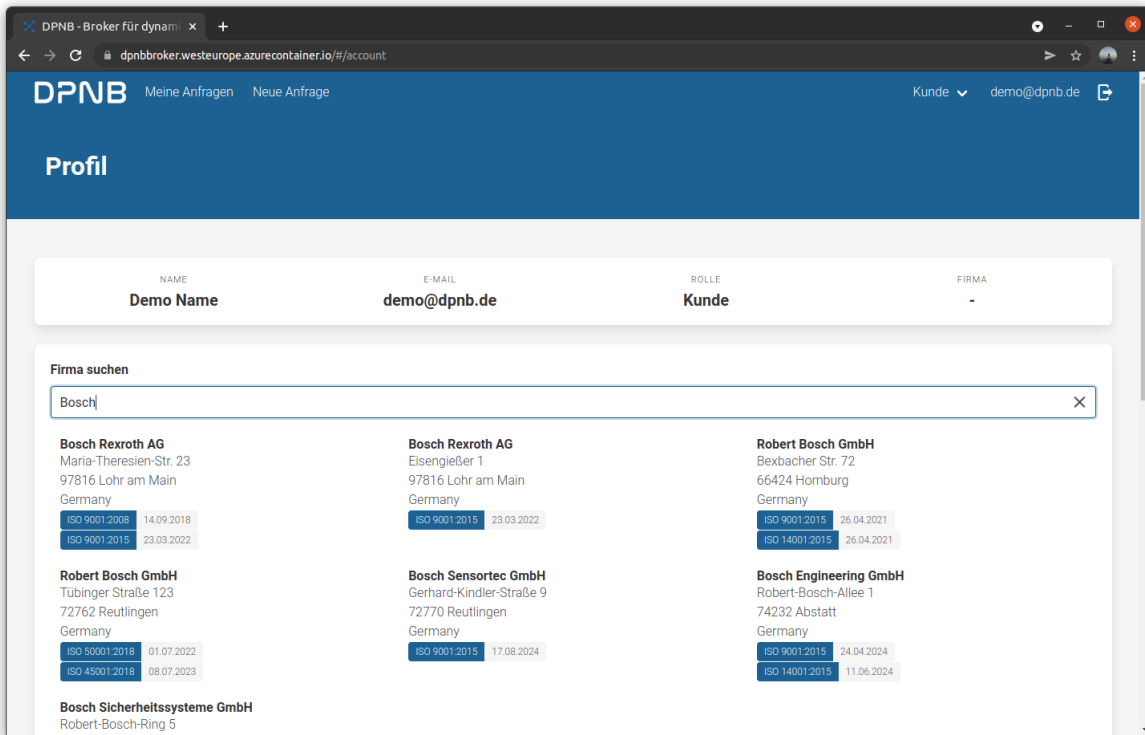


Abbildung 43: Ergebnisse des Web Crawler-Services für den Firmennamen "Bosch"

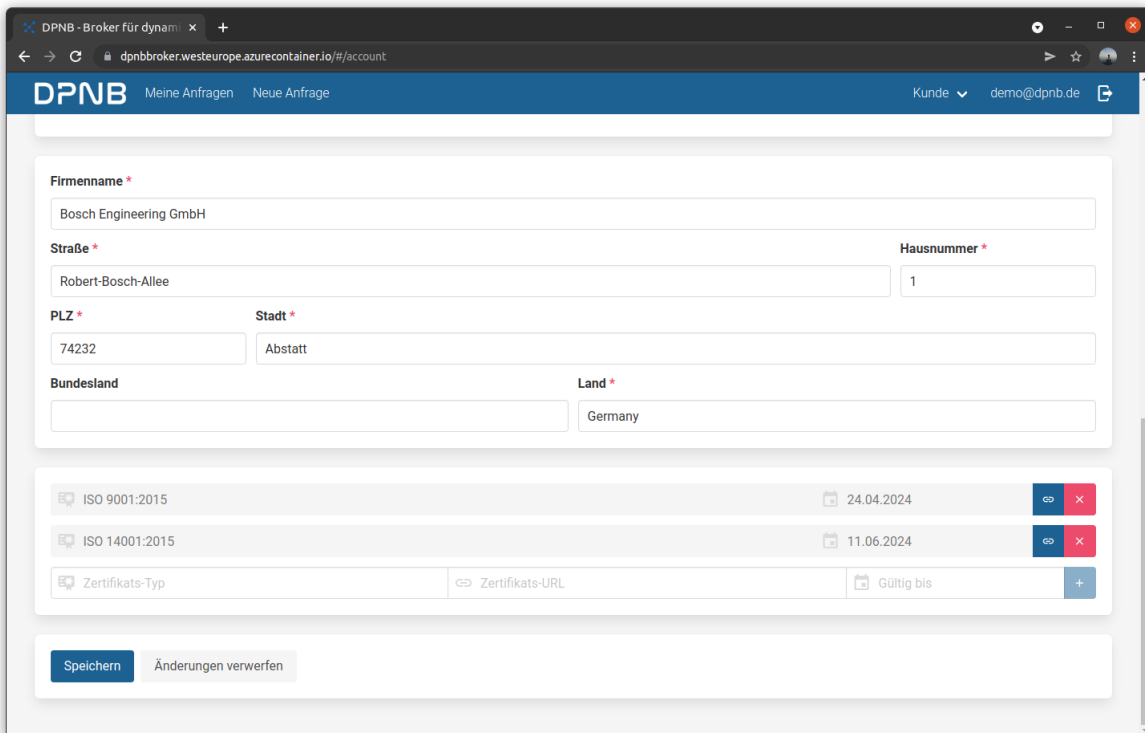


Abbildung 44: Eintragung der gewählten Firma in das Benutzerprofil

Als nächster Prozess soll nun der *Use Case 1*, die Angeboterstellung, betrachtet werden. Hierfür wird zunächst eine neue Anfrage angelegt. Für diese Anfrage wird die Mittelfachschiene aus der Pilotierung verwendet (vgl. Abbildung 62 auf S. 108). Für die Anfrage muss eine entsprechende Zeichnung oder STEP-Datei hochgeladen werden. Zusätzlich wird die gewünschte Stückzahl abgefragt und ein Label kann für den Auftrag vergeben werden (vgl. Abbildung 45). Anschließend werden weitere Auftragsdetails erfasst. Diese umfassen das Lieferzeitfenster und den maximalen Stückpreis. Die Anfrage wird abgeschlossen mit den Anforderungen an die Lieferaten, beginnend bei einer Mindestbewertung für die Anbieter über notwendige Zertifizierungen der Anbieter und die Anforderungen für den Transport bis hin zu gewünschten Qualitätsmetriken (Abbildung 46). Alle diese Informationen sind anschließend in der Anfrageübersicht zu sehen (Abbildung 47).

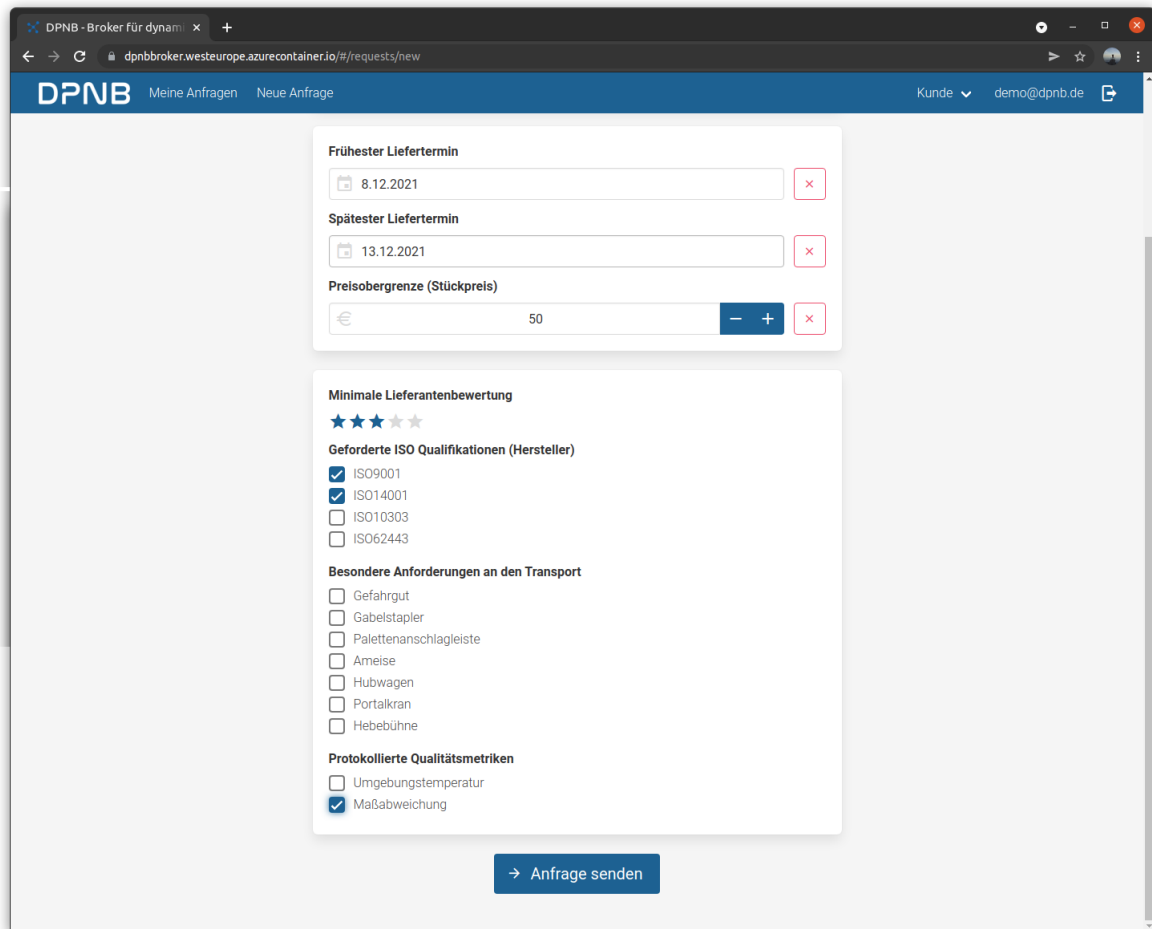
The screenshot shows a web browser window with the URL `dpnbroker.westeurope.azurecontainer.io/#/requests/new`. The page title is 'DPNB' and the navigation bar includes 'Meine Anfragen' and 'Neue Anfrage'. The main heading is 'Neue Anfrage'. The form contains the following fields and elements:

- Ihr Label (Eigene Referenz, Interne Auftragsnummer):** A text input field containing 'Mittelfachschiene 7869'.
- Stückzahl *:** A numeric input field with '10' and minus/plus buttons.
- Dateianhänge *:** A file upload area with an upload icon and the text 'Datei(en) hier hinziehen oder klicken zum Auswählen'.
- File List:** A table showing two uploaded files:

	7869-00.stp	816.96 kB	
	7869-00_2.pdf	54.54 kB	
- Erläuterter Liefertermin:** A partially visible field at the bottom.

Abbildung 45: Neue Anfrage für 10 Mittelfachschiene ...

Der nächste Schritt ist nun die Definition der Prozesskette, welche die notwendigen Bearbeitungen für die Erstellung des angefragten Bauteils enthält. Hierzu ein kurzer Perspektivwechsel. Dieser Schritt erfolgt nicht durch die anfragende Person, sondern durch einen Prozessexperten. Dieser muss nun das Bauteil analysieren und die entsprechende Prozesskette zusammenstellen. Dafür steht ein graphischer Editor zur Verfügung, der mittels Drag & Drop ein Zusammenstellen der Prozesskette ermöglicht (Abbildung 17 auf Seite 47). Mehr zum Editor in Abschnitt 3.3.6. Für die Beispielanfrage ist ein Blech notwendig, welches im ersten Schritt gestanzt und anschließend gebogen wird. Diese drei Elemente sind im Editor



The screenshot shows a web browser window with the URL `dpnbroker.westeurope.azurecontainer.io/#/requests/new`. The page title is "DPNB" and the navigation bar includes "Meine Anfragen" and "Neue Anfrage". The user is logged in as "Kunde" with email "demo@dpnb.de".

The form contains the following sections:

- Frühester Liefertermin:** 8.12.2021
- Spätester Liefertermin:** 13.12.2021
- Preisobergrenze (Stückpreis):** € 50
- Minimale Lieferantenbewertung:** 4 stars (out of 5)
- Geforderte ISO Qualifikationen (Hersteller):**
 - ISO9001
 - ISO14001
 - ISO10303
 - ISO62443
- Besondere Anforderungen an den Transport:**
 - Gefahrgut
 - Gabelstapler
 - Palettenanschlagleiste
 - Ameise
 - Hubwagen
 - Portalkran
 - Hebebühne
- Protokollierte Qualitätsmetriken:**
 - Umgebungstemperatur
 - Maßabweichung

A button labeled "→ Anfrage senden" is located at the bottom of the form.

Abbildung 46: ... und die weiteren Anforderungen für den Auftrag.

entsprechend eingefügt und verbunden worden. Beim Speichern wird diese Prozesskette dem Auftrag zugewiesen und der Angebotsprozess kann weitergehen (Abbildung 48).

Im nächsten Schritt folgt nun die Angebotsphase. Hier stellen die Anbieter für die einzelnen Prozessschritte ihre Angebote bereit. Ein Beispiel für solche Angebote ist in Abbildung 49 zu sehen, hier für den Prozessschritt Biegen. Jedes Angebot hat eine Gültigkeit, einen Preis und einen konkreten Zeitraum, in dem das anbietende Unternehmen dann den Prozessschritt ausführen kann.

Nach Abschluss der Angebotsphase werden die Lieferkettenangebote für den Anfragenden berechnet. Grundlage hierfür sind die Angebote der Anbieter, zusätzlich werden in diesem Schritt die potentiellen Transporte zwischen verschiedenen Anbietern berechnet, und auf Basis dieser Informationen nun drei Lieferkettenangebote für den Anfragenden bereitgestellt. Es wird jeweils eine Lieferkette optimiert für den günstigsten Preis, die höchste Qualität, basierend auf den Nutzerbewertungen für die Anbieter, sowie für die schnellstmögliche Fertigstellung und Lieferung der Anfrage. Die Details zu diesem Schritt finden

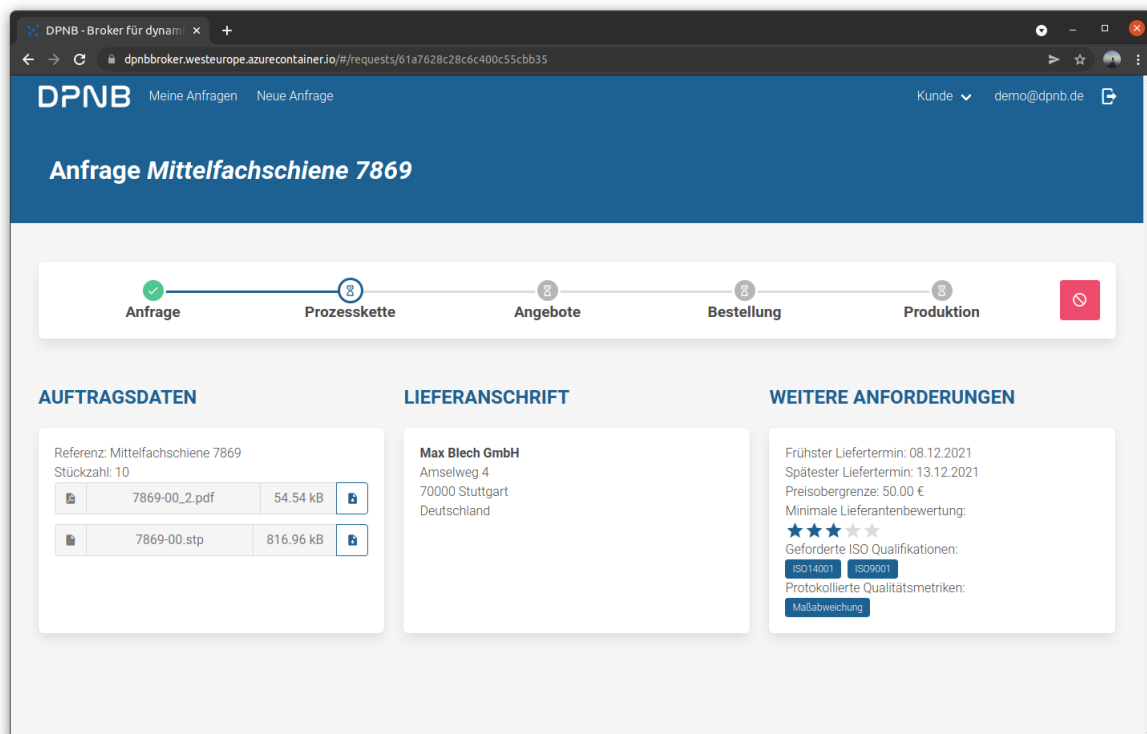


Abbildung 47: Übersicht der Anfrage

sich Abschnitt 3.4. Nach der Berechnung der Lieferketten erfolgt noch eine Anpassung des Preises, um die Risiken und Marge der Plattform zu decken. Das Ergebnis der Berechnungen wird nun dem Anfragenden auf der Website dargestellt (Abbildung 50) und kann nun gebucht werden (Abbildung 51). Damit endet der *Use Case 1*.

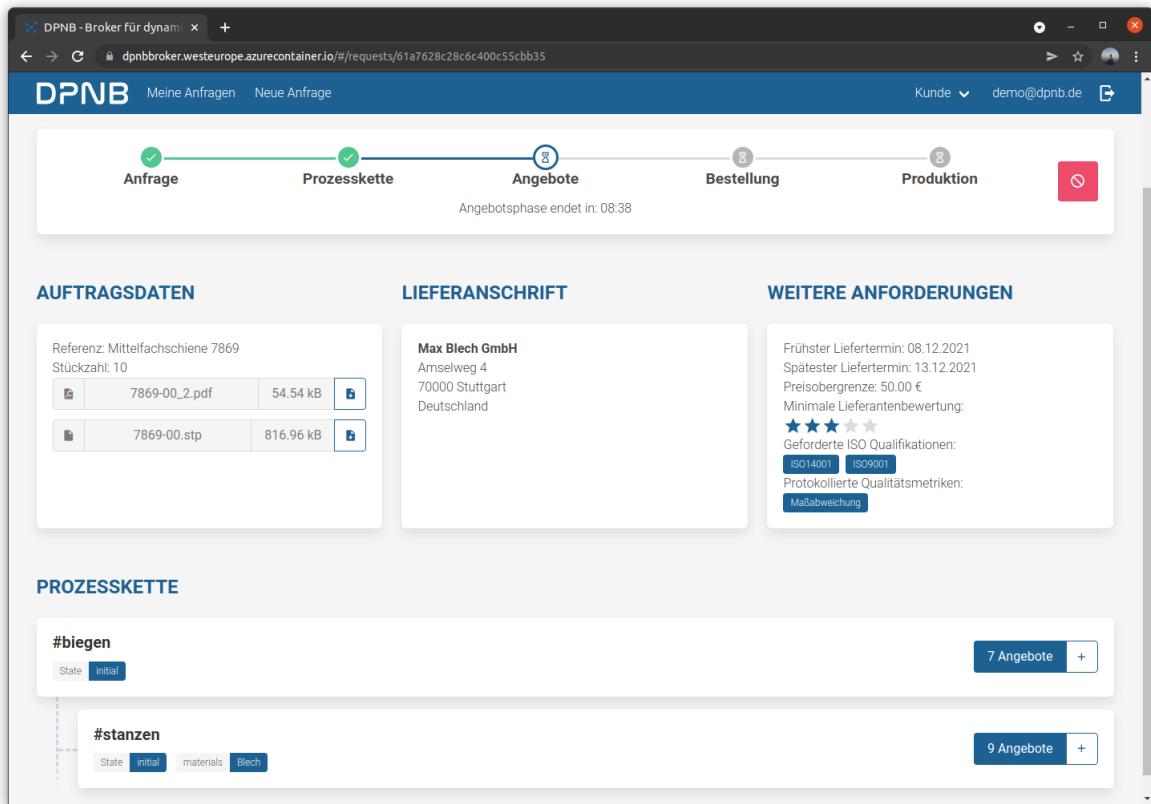


Abbildung 48: Der Auftrag im Broker, ergänzt um die modellierte Prozesskette, nun in der Angebotsphase, bereits mit erhaltenen Angeboten.

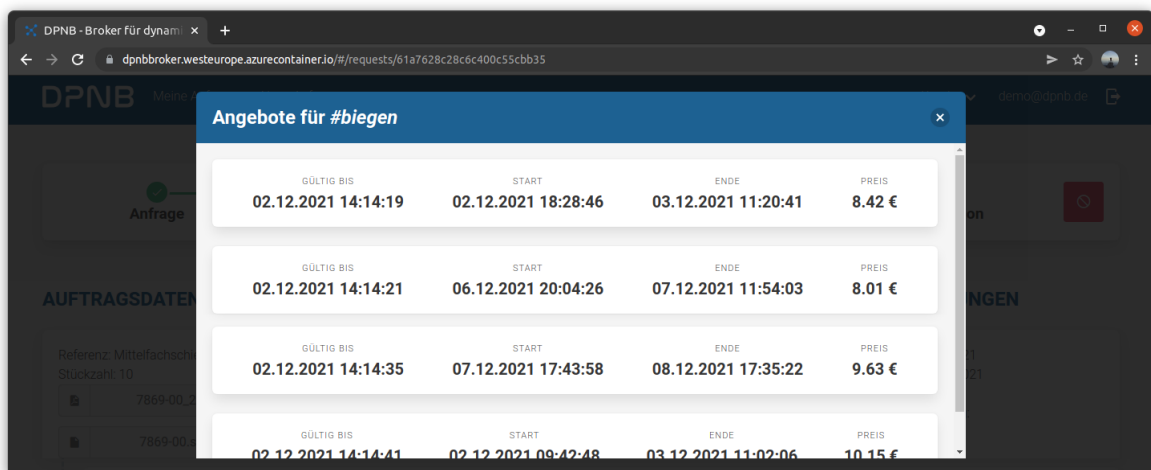
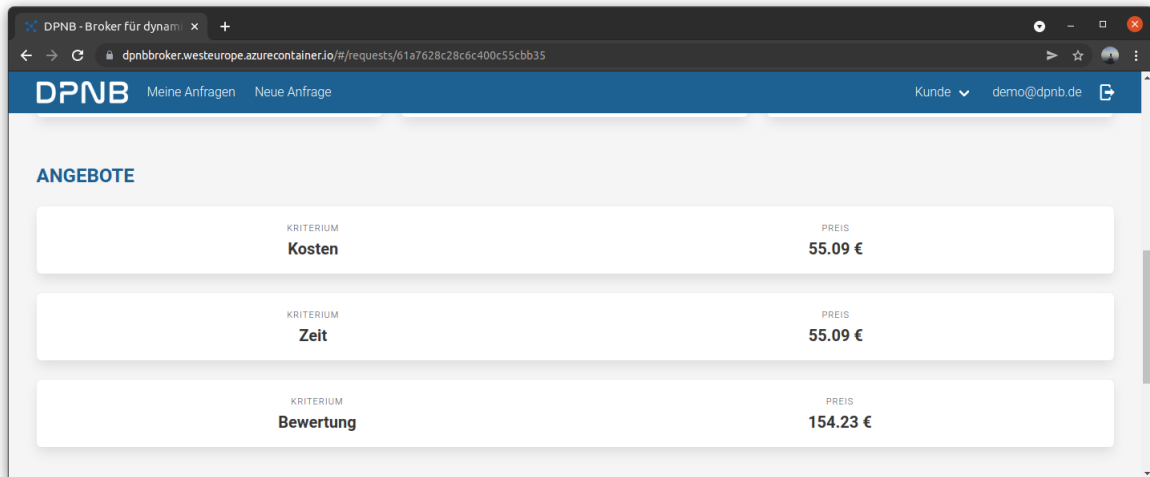


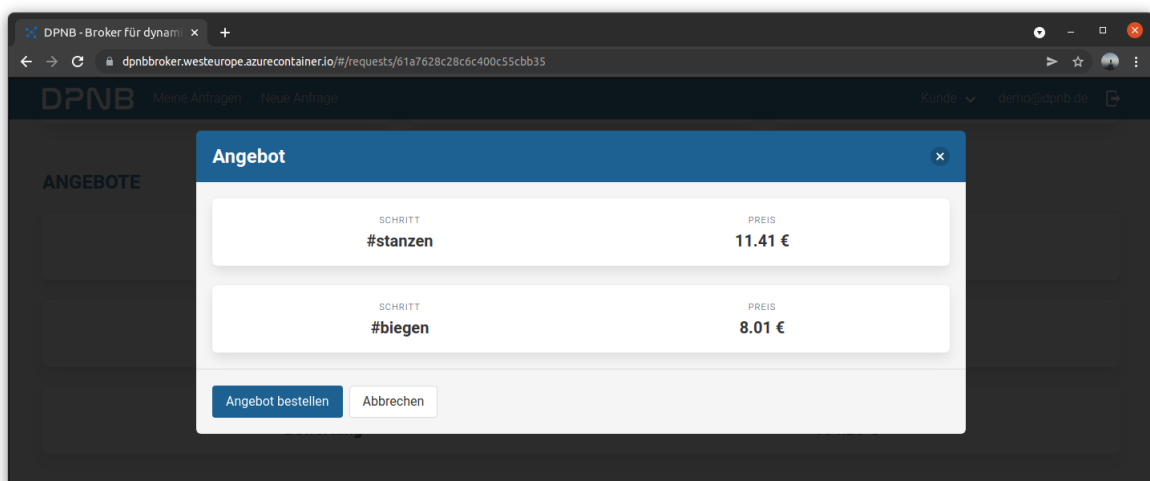
Abbildung 49: Angebote für den Prozessschritt Biegen.



The screenshot shows a web browser window with the URL `dpnbroker.westeurope.azurecontainer.io/#/requests/61a7628c28c6c400c55cbb35`. The page title is "DPNB" and the navigation bar includes "Meine Anfragen" and "Neue Anfrage". The user is logged in as "Kunde" with the email "demo@dpnb.de". The main content area is titled "ANGEBOTE" and displays a list of three offers:

KRITERIUM	PREIS
Kosten	55.09 €
Zeit	55.09 €
Bewertung	154.23 €

Abbildung 50: Angebote für die Anfrage.



The screenshot shows the same web browser window as in Figure 50, but with a modal dialog titled "Angebot" open. The dialog displays a list of two steps for the offer:

SCHRITT	PREIS
#stanzen	11.41 €
#biegen	8.01 €

At the bottom of the dialog, there are two buttons: "Angebot bestellen" and "Abbrechen".

Abbildung 51: Buchung eines berechneten Angebots für die Anfrage.

Anschließend beginnt der *Use Case 2*, welcher die Auftragsausführung umfasst. Im Zuge dieses Use Cases werden nun die Angebote und Transporte bei den jeweiligen Anbietern gebucht. Anschließend startet die Produktion des Auftrags bei den Anbietern. Der Nachfrager kann dies auf der Website durch eine Trackingübersicht nachvollziehen (Abbildung 52). In diesem Beispiel ist die erste Bearbeitung (Stanzen) bereits erfolgt und das Bauteil momentan auf dem Transport zum nächsten Schritt. Für jeden Schritt können mehrere Tracking-Events hinterlegt werden, z.B. Beginn und Ende von Bearbeitung oder Transport. Auch Qualitätsmetriken können hier ergänzt werden. Ein Beispiel, in diesem Fall für einen Transport, findet sich in Abbildung 53. Ist das Bauteil fertiggestellt erfolgt der finale Transport zum Kunden. Anschließend ist der Auftrag dann auch im System als Abgeschlossen markiert (Abbildung 54).

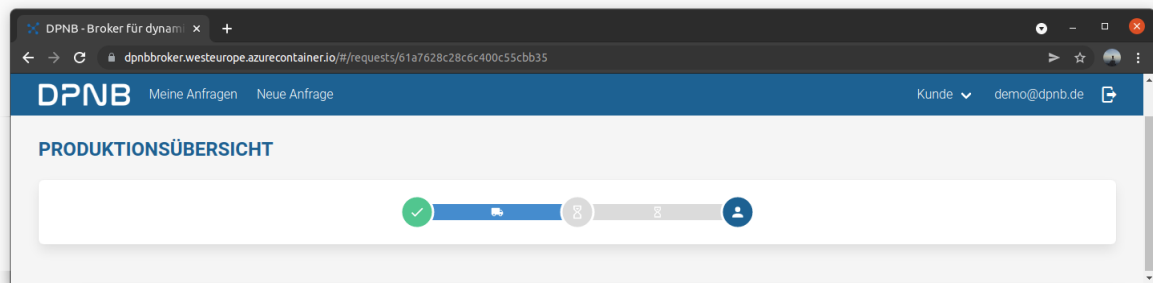


Abbildung 52: Tracking für einen Auftrag

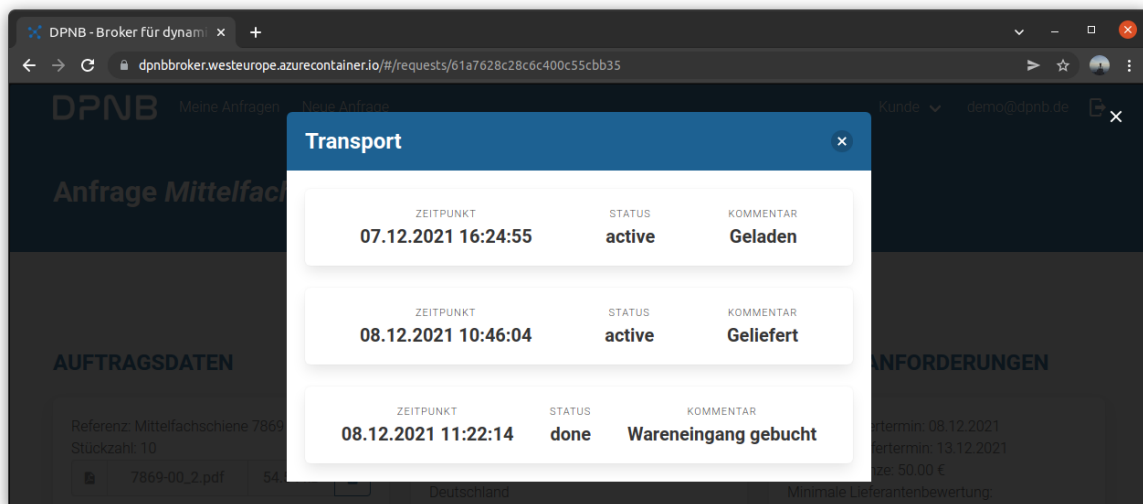


Abbildung 53: Trackingdetails für den Transport zwischen Stanzen und Biegen.

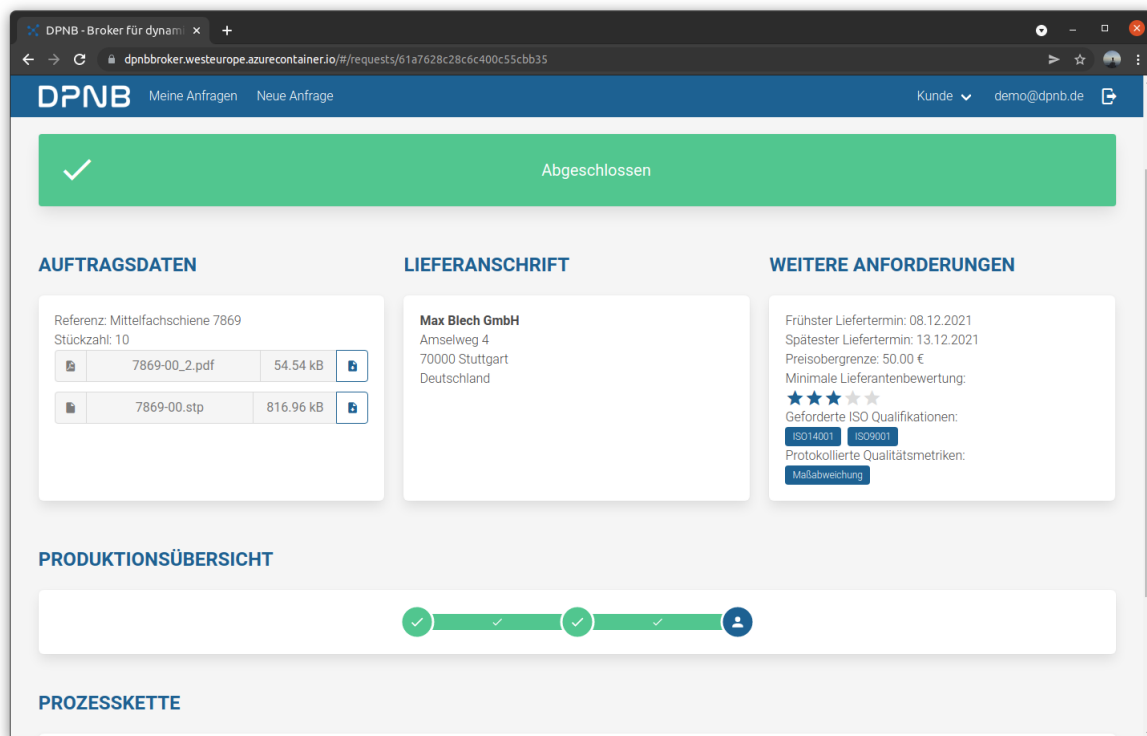


Abbildung 54: Der Auftrag ist ausgeliefert und abgeschlossen.

3.10 Arbeitspaket 8: Iterative Pilotierung

Im Rahmen von AP 8 wurden die im DPNB-Projekt ausgearbeiteten und entwickelten Konzepte im Unternehmenskontext getestet und evaluiert. Dazu wurde zunächst festgelegt, welche der in den unterschiedlichen APs konzipierten und als einzelne MVPs umgesetzten Ansätze für die Pilotierung bei den beteiligten Unternehmenspartnern herangezogen werden sollen. In Abbildung 55 ist dies zusammengefasst dargestellt.

Auf der linken Seite der Abbildung ist zu erkennen, zu welchen Themen in den unterschiedlichen Arbeitspaketen MVPs entwickelt wurden. Weiterhin ist dargestellt, welche der drei betrachteten Use Cases die einzelnen MVPs adressieren. So wurden in AP 4 und AP 6 prototypische Versionen des Transport Hosts und des Production Hosts aufgesetzt, die sowohl das Onboarding, als auch die Auftragsplanung und -Auftragsausführung abdecken. Deren Entwicklung und Pilotierung können in den Abschnitten zu AP 4 und AP 6 nachvollzogen werden. Der im Rahmen von AP 1 entwickelte Web Crawler dient der Beschleunigung der Datenerfassung im Rahmen des Onboardings (*Use Case 0*) und wird im folgenden Unterabschnitt näher beschrieben. Die in AP 2 und AP 3 entwickelte und als MVP umgesetzte Vermittlungslogik deckt den *Use Case 1* ab und wird in den Abschnitten zu AP 2 und AP 3 betrachtet. Um einen durchgehenden End-to-End-Prozess zu gewährleisten, wurde weiterhin an einem AP-übergreifenden gemeinsamen MVP gearbeitet, welcher alle drei Use Cases

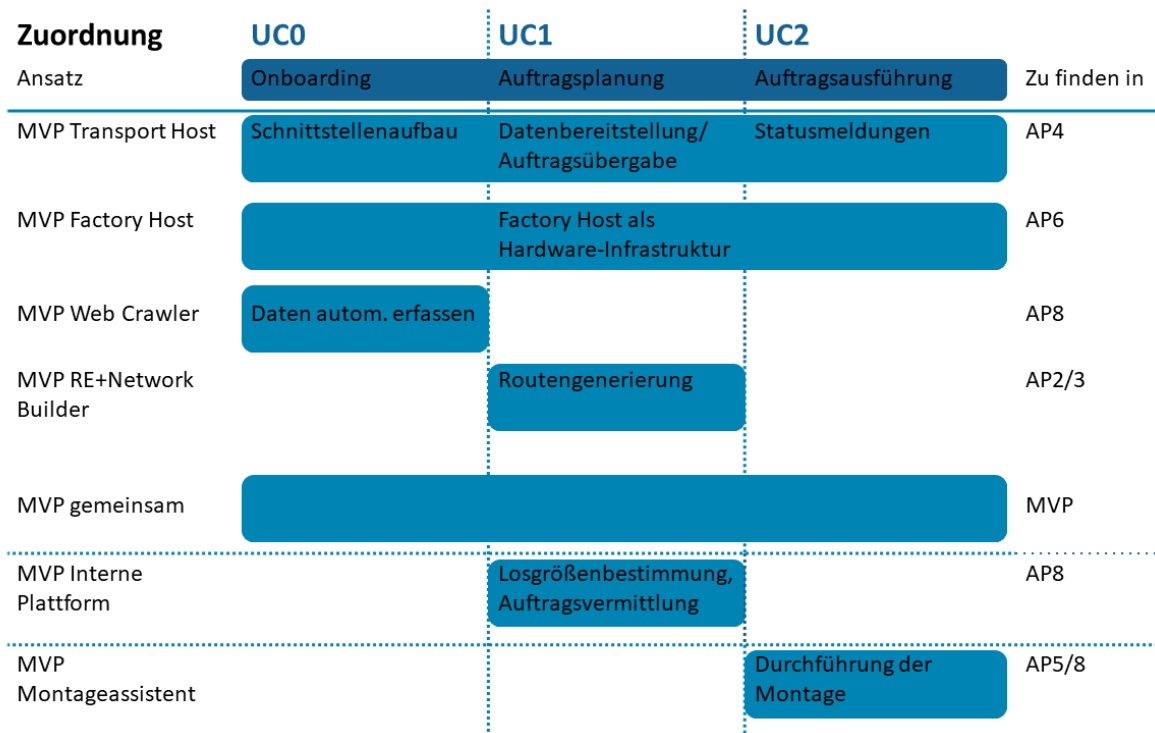


Abbildung 55: Übersicht über die im Rahmen des Projekts entwickelten Prototypen und MVPs

adressiert. Diesem wird mit dem Abschnitt 3.9 ein eigener Abschnitt gewidmet. Das Testen des gemeinsamen MVPs wird ebenfalls in dem vorliegenden Abschnitt betrachtet. Darüber hinaus wurde in AP 8 ein MVP für den Spezialfall einer unternehmensinternen Plattform entworfen und prototypisch umgesetzt, welcher den Use Case der Auftragsvermittlung im Rahmen der Serienfertigung in einem standortübergreifenden Produktionsnetzwerk abdeckt. Außerdem wurde in AP 5 ein MVP für den Montageassistenten angefertigt, welcher dem *Use Case 2* zugeordnet werden kann und hier als letzter Unterabschnitt betrachtet wird.

3.10.1 Entwicklung eines Web Crawler für das vereinfachte Onboarding

Im Projekt liegt ein Fokus auf dem Onboarding von Firmen in das Netzwerk und dessen möglichst einfache Gestaltung. Dazu sollen Onboarding Barrieren für Firmen gesenkt werden, in dem der Prozess so zeitsparend wie möglich gestaltet wird und gleichzeitig bei wenig Datenpflegeaufwand trotzdem ausreichend Daten vorhanden sind, um als Firma auf die richtigen Kundenbedarfe mit hoher Treffsicherheit gemappt werden zu können. Dazu ist es notwendig verschiedene Datenpunkte pro Firma wie Zertifikate, aber auch Fähigkeiten verfügbar zu haben, da diese wichtig für das „Match Making“ sind und wichtige Kriterien für die Auswahl eines geeigneten Anbieters für einen Bedarf darstellen.

Der Lösungsansatz, welcher dieses teilautomatisierte Onboarding von Firmendaten unterstützen soll, ist ein Crawling der entsprechenden Website der onzuboardenden Firma. Aus den gecrawlten Daten werden dann mittels Extraktoren (regelbasierte Ansätze & NLP-Ansätze, wie Entity Recognition) bestimmte Datenpunkte aus dem unstrukturierten Text der gecrawlten Website extrahiert und die entsprechenden Felder im System automatisch vorbelegt. Die Firma kann diese vorbelegten Daten dann reviewen, ändern und/oder ergänzen.

3.10.1.1 Stand der Wissenschaft und Technik

Web Crawler werden verwendet, um kontinuierlich Websites aus dem Internet zu sammeln, den Hyperlinks auf diesen Websites folgen, diese zu indizieren und die notwendigen Informationen zu extrahieren (Nguyen Quang Khue, 2018; Olston und Najork, 2010). *World Wide Web Wanderer* war der erste Web Crawler und arbeitet auf der Basis der Programmiersprache PERL (IONOS Digitalguide, 2021). Web-Crawler basieren grundsätzlich auf einfachen Graphen-Suchalgorithmus und gehen davon aus, dass alle Websites miteinander verknüpft sind und es keine Mehrfachverknüpfungen und-knoten gibt (IONOS Digitalguide, 2021).

Das Web besteht aus großen Mengen von unabhängigen Anbietern von Webinhalten. Jede Website wird durch einen Uniform Resource Locator (URL, auch Web Adresse genannt) identifiziert. Ein Web Crawler beginnt mit einer Liste von besuchten URLs oder „Seed“-URLs. Danach wird der Crawler die URL-Adresse eine nach der anderen besuchen und jede der zugehörigen Seiten herunterladen. Durch einen Link-Extraktor extrahiert ein Web Crawler die in den Seiten enthaltenen Hyperlinks und lädt die durch diese Hyperlinks adressierten Websites herunter. (Olston und Najork, 2010)

Die URL wird durch einen URL-Filter laufen, der z.B. geblockte Seiten ausschließt. Dann wird sie an den „Duplicate URL Eliminator“ weitergeleitet, um zu vermeiden, dass die schon entdeckten URLs nicht nochmal heruntergeladen werden. Die URLs werden nach ihrer Priorität und definierten Qualitätsmerkmalen verteilt z.B. durch bestimmte Kriterien wie die Anzahl der Besucher oder die Relevanz der URL. Dieser Vorgang wird nach einem bestimmten Schema kontinuierlich wiederholt. (Olston und Najork, 2010)

Es können nicht alle im Web vorhandenen Informationen und Inhalte gefunden werden, da manche Seiten nicht gecrawlt werden können, wenn der Zugang durch ein Passwort geblockt ist oder aufgrund fehlender Verlinkung. Diese Inhalte werden als „Deep Web“ bezeichnet. (Lewandowski 2018) (alto.de New Media GmbH 2020)

Die ältesten Web Crawler sind die Suchmaschinen wie Google und Yahoo, die einen hoch-effizienten und effektiven universellen Crawler betreiben, der das Netz durchwandert, um alle Seiten in Form aller Informationen zu finden, zu sammeln und in Indexen anzulegen. (Prismana et al. 2020)

Wie bereits erwähnt, versuchen die Suchmaschinen, die Inhalte des gesamten Webs automatisch zu erfassen und Millionen von Dokumenten durchsuchbar und für die Benutzer

erreichbar zu machen. Obwohl Suchmaschinen besser als andere Suchsysteme sind, werden dabei die anderen Suchsysteme nicht vernachlässigt, die ebenfalls hilfreich sind, um Informationen oder Antworten zu finden wie: (Lewandowski 2018)

Web-Verzeichnisse Ein Webverzeichnis ist eine Liste von Websites, die nicht automatisch, sondern von Menschen erstellt wird. Diese Websites werden ausgewählt und hierarchisch in Kategorien und Unterkategorien geordnet. Sie werden durch Titel, Links und Inhalte beschrieben. In den Webverzeichnissen kann man vom Allgemeinen zum Speziellen navigieren und erhält so ganze Websites zum Thema, anstatt Seiten oder Dokumente. Nach der Revolution der Suchmaschinen werden Webverzeichnisse nicht mehr für die Suche nach Informationen verwendet.

Frage-Antwort-Dienste mit einem Frage-Antwort-Dienst haben Benutzer die Möglichkeit, Informationen und Antworten direkt von anderen Personen und nicht über eine Suchmaschine zu erhalten. Benutzer können das Archiv nach bereits beantworteten Fragen durchsuchen oder Fragen stellen, in denen sie ihre Bedürfnisse detailliert erklären. Natürlich hängt der Erhalt einer Antwort von der Bereitschaft und Fähigkeit anderer Benutzer ab, zu antworten.

3.10.1.2 Lösungsansätze

Es wurden zwei Prototypen für die Extraktion verschiedener Stammdaten entwickelt: die *Certificate Extractor Microservices* für die Extraktion von Zertifikaten und die *Product Extractor Microservices* zur Extraktion von Fertigungsfähigkeiten. Auf beide wird im Folgenden eingegangen.

Certificate Extractor Microservices Die gewählte Lösungsarchitektur ist eine Microservice-basierte Architektur mit Standard REST APIs. Die Microservices sind als Docker Container verfügbar und damit einfach auf verschiedenen Umgebungen deploybar (z.B. Kubernetes, Open Shift Container Orchestrator und andere Plattformen). Dies stellt eine hohe

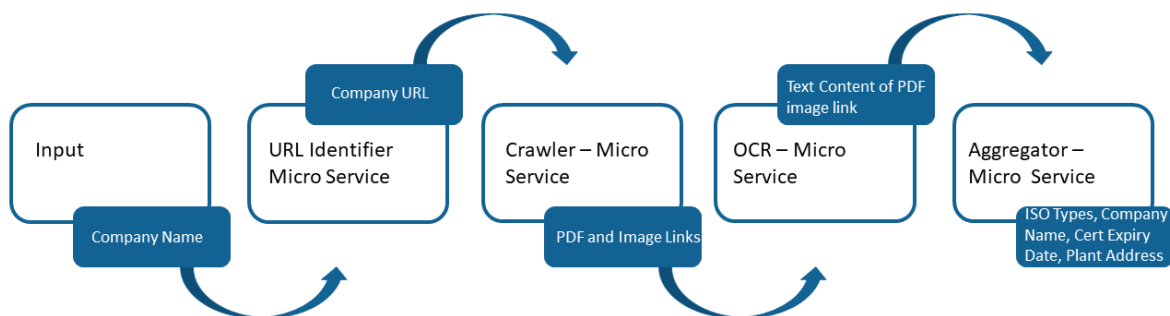


Abbildung 56: Microservice Architektur des Certificate Extractor

Flexibilität, Portierbarkeit und Unabhängigkeit vom Run Environment sicher. Es wurden verschiedene Microservices, die zusammen eine Pipeline für die Extraktion von Zertifikatsdaten bilden, entwickelt, siehe auch Abbildung 56:

- Der erste Microservice ist der **URL identifier**. Dieser Service nimmt einen Firmennamen als Input und gibt mit Hilfe einer Google Query als Output die korrekt Website URL zurück.
- Der nächste Service ist der **Web Crawler**, der eine URL einer Firma als Input nimmt und als Output die Website crawlt, Webpages mit Zertifikatsinformationen und entsprechenden Bildern und PDF Dateien der Zertifikate identifiziert, und diese herunterlädt und speichert.
- Danach werden die Bilder und Dokumente einem **OCR (Optical Character Recognition) Microservice** übergeben, der aus dem Bild unstrukturierten Text extrahiert.
- Dieser extrahierte unstrukturierte Text wird an den **Aggregator Microservice** übergeben. Dieser identifiziert die vier Datenpunkte Zertifikatstyp (z.B. ISO9001, ISO / TS 16949), Gültigkeitsdatum, Firmenname und Adresse für die das Zertifikat gültig ist.

Product Extractor Microservices Die Lösungsarchitektur ist analog dem Certificate Extractor. Ein Firmenname oder eine Homepage URL ist der Input für den Service. Auf den Daten der Website werden folgende Aufgaben durchgeführt:

1. Extraktion von Keywords der Kategorie Produkt oder Service Entität.
2. Klassifizierung einer Firma auf Basis der extrahierten Produkte und Services in eine Standardklassifikation mittels Machine Learning.

Die extrahierten Informationen werden als JSON ausgegeben und werden dann in einem Knowledge Graphen gespeichert, der weitere Analysen und Ähnlichkeitskalkulationen abbilden kann. Die Funktionsweise des Services ist in Abbildung 57 dargestellt.

3.10.1.3 Projektergebnisse

Certificate Extractor Microservices Die unter Abschnitt 3.10.1.2 beschriebenen Microservices wurden entsprechend entwickelt und verprobt. Die Anwendungen liegen in Docker Containern vor. Die Ergebnisse und Extraktionsqualität sind vielversprechend und können iterativ weiter über Parameter Tuning und Reinforcement Loops verbessert werden.

Abbildung 58 gibt einen groben Überblick zu Input und Output pro Microservice anhand eines Beispiels sowie einen ersten Eindruck zur Extraktionsqualität: In der Spalte 1 „Microservices“ sieht man den entsprechenden Microservice, Spalte 2 zeigt den API Endpunkt,

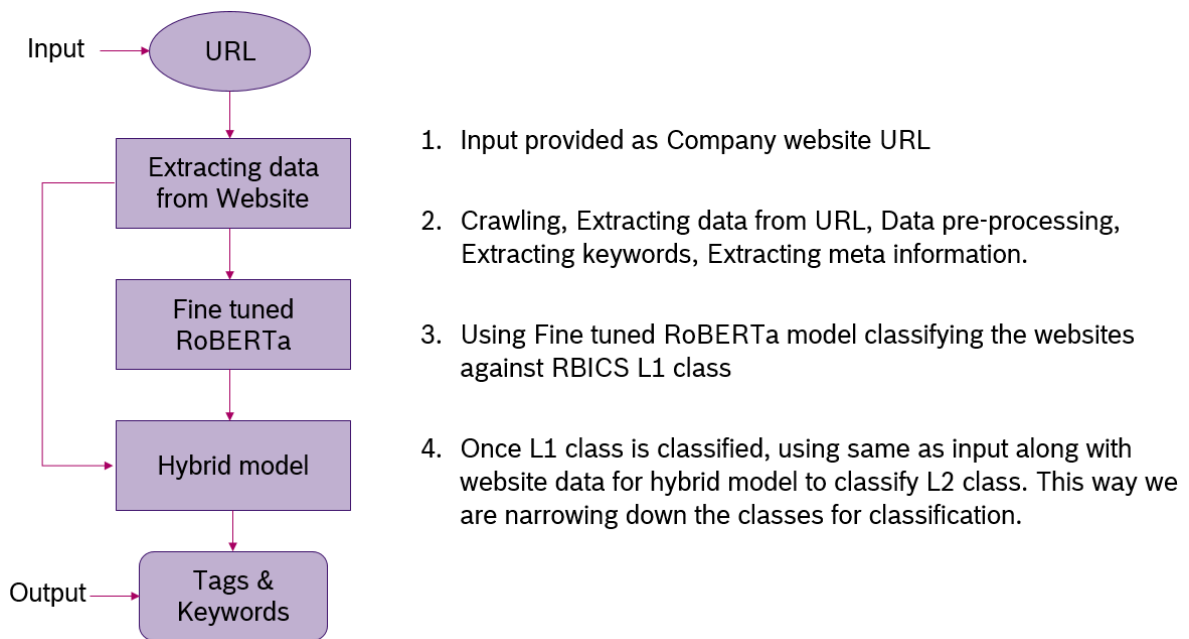


Abbildung 57: Funktionsweise des Product Extractors

Spalte 3 ein Input Beispiel – z.B. ein Firmenname als Input für den URL Identifier, Spalte 4 die API Methode (POST oder GET) und Spalte 5 die Antwort des Microservices – im Falle des URL Identifiers beispielsweise die passende URL zum Input Firmenname.

Microservices	End Point	Input Object - Example	Method	Result
URL Identifier	https://urlidentifier-ci-bei-atm-ai-projects.osh.bosch.com/identify_url	{"name":"hohman plating"}	POST	{ "language": "en", "url_original": "https://www.hohmanplating.com/" }
Crawler	http://10.47.35.157:8074/webcrawler/	{ "url_original": "https://www.hohmanplating.com/", "language": "en", "url_original": "https://www.hohmanplating.com/" }	POST	{ "job_id": "38b2f8c432dfb8e2a8b0358bccb59706" }
OCR	https://ocr-ci-bei-atm-ai-projects.osh.bosch.com/ocr	{ "url_original": "https://www.hohmanplating.com/images/downloads/4259_Hohman_Plating_and_MFG_LLC_AS_100318.pdf", "https://www.hohmanplating.com/images/downloads/NadcapCTScope31June2020.pdf", "https://www.hohmanplating.com/images/downloads/NadcapCTScope31July2022.pdf", "https://www.hohmanplating.com/images/downloads/NadcapCTCertificateExpires31July2022.pdf", "https://www.hohmanplating.com/images/downloads/NadcapCTCertificateExpires31July2021a.pdf", "https://www.hohmanplating.com/images/certs/QSPF74011_PurchaseOrderTerms_Conditions_Hohman08242020.pdf", "status": 200 }	POST	{ "lang": "en", "url_content": ["https://www.hohmanplating.com/images/downloads/4259_Hohman_Plating_and_MFG_LLC_AS_100318.pdf": ["ACCREDITED")\nEAGLE Registrations Inc. M)\nMANAGEMENT SYSTEMS)\nSERVICE- INTEGRITY)\nVALUE CERTIFICATION)\nBOD)\n(nCertificate No. 4259 Recertified October 2 2018- 2 Co ies)\nOctober 29, 2018 through October 28, 2021)\n(nCertificate of Registration)\n(nThis is to certify that the Quality Management System of)\n(n HOH N")\nJ--PLAT G)\n(na Mfg LLC)\n(n)\n(n814 Hillrose Avenue, Dayton, Ohio, 45404 USA)\n(nSite definition: Single)\n(nHas been assessed by EAGLE Registrations Inc. and\n(nconforms to the following standard:\n(n)\nAB9100D Including ISO 9001:2015)\n(nThis assessment was performed in accordance with the requirements of AB9104/1 :2012)\n(nEAGLE Registrations Inc. is accredited under the Aerospace Registrar Management Program)\n(nScope of Registration)\n(nProviding]}
Certificate Identifier	http://10.47.35.157:4022/certificate_identifier_main	{ "crawler": {"url_original": "https://www.hohmanplating.com/", "language": "en", "certificate_link": [{"url": "https://www.hohmanplating.com/images/downloads/4259_Hohman_Plating_and_MFG_LLC_AS_100318.pdf"}, {"url": "https://www.hohmanplating.com/images/downloads/NadcapCTScope31June2020.pdf"}, {"url": "https://www.hohmanplating.com/images/downloads/NadcapCTScope31July2022.pdf"}, {"url": "https://www.hohmanplating.com/images/downloads/NadcapCTCertificateExpires31July2022.pdf"}, {"url": "https://www.hohmanplating.com/images/downloads/NadcapCTCertificateExpires31July2021a.pdf"}, {"url": "https://www.hohmanplating.com/images/certs/QSPF74011_PurchaseOrderTerms_Conditions_Hohman08242020.pdf"}], "status": 200 }	POST?	{ "Certificate_Document": ["https://www.hohmanplating.com/images/downloads/4259_Hohman_Plating_and_MFG_LLC_AS_100318.pdf"], "Certificate_Type": ["ISO 9001:2015"], "Expiry_Date": "2021-10-28", "Company_Name": "a Mfg LLC", "Company_Address": "814 Hillrose Avenue, Dayton, Ohio, 45404 USA", "Checked_on_Date": "2020-11-25T14:30:44.703800" }

Abbildung 58: Beispielhafter Durchlauf durch die Certificate Extractor Microservices

Auf einem Testset von 50 Zertifikaten (pdf Format), von welchem Abbildung 59 einen Ausschnitt zeigt, wurde für die Extraktion der Datenpunkte Zertifikatsname, Expiry Date, Firmenname und Adresse bereits eine Accuracy von 95% erreicht.

	PDF filename	Text filename	Certificate Name	Expiry Date	Company Name	Company Address	Manual Check
0	101931.pdf	101931.txt	ISO 9001:2008	2018-09-15	Dormer Pramet	Unicovská 2, CZ-78753, Sumpark, Czech Republic	r
1	110721.pdf	110721.txt	ISO 9001:2008	2018-06-01	voestalpine Giesserei Traisen GmbH	Mariazeller Straße 75, 3160 Traisen, Österreich	r
2	119400.pdf	119400.txt	ISO / TS 16949:2009	2017-06-05	MOTHERSON ORCA PRECISION TECHNOLOGY GmbH	Carl-Zeiss-Straße 1, D-78073 Bad Dürkheim	r
3	125908.pdf	125908.txt	ISO 9001:2015 EN ISO 9001:2015 ISO 9001:2015	2019-06-06	DORMA BULGARIA EOOD	15 Haydelberg Str., 1582 Sofia, Bulgaria	r
4	129053.pdf	129053.txt	ISO 9001:2015	2020-03-18	ARWA Personaldienstleistungen GmbH	Am Hahnenbusch 4, 55268 Nieder-Olm	r
5	130151.pdf	130151.txt	ISO 9001:2015	2019-06-30	DHL Express Germany GmbH	Heinrich-Brüning Straße 5, 53113 Bonn, Deutschland	r
6	136846.pdf	136846.txt	ISO 9001 : 2008	2018-09-14	Quadrant EPP Deutschland GmbH	Max-Planck-Straße 7-11, 48685 Vreden, Germany	r

Abbildung 59: Ausschnitt aus dem Testset für die Certificate Extractor Microservices

Product Extractor Microservices Der Product Data Extraktor Service ist noch in Entwicklung, die Zwischenergebnisse sind jedoch vielversprechend und zeigen, dass der gewählte Ansatz funktioniert.

Im ersten Schritt werden zunächst über Named Entity Recognition und regelbasierte Ansätze „bags of words“ einer Website extrahiert, welche die capabilities des Lieferanten, sprich Wörter, die Produkte oder Services widerspiegeln.

Im zweiten Schritt nutzen wir diese Wörter dann um ein Goldset zu definieren, wo wir Firmen manuell normalisierten Produkten / Produktkategorien (Ontologien) zuordnen, sprich sie klassifizieren. So stellen wir sicher, dass beispielsweise Unterschiede in Schreibweisen von Produkten (z.B. ALDC, Aluminium Die Casting, Aluminium Casting, ...), die eigentlich dasselbe sind, aufgelöst werden. Mit diesem Goldset können wir dann ein Modell trainieren, dass Firmen anhand Ihrer „bags of words“ mit den richtigen normalisierten Produkten und Produktkategorien labelt. Je mehr Trainingsdaten wir hierfür haben mit dem wir das Modell trainieren, desto besser wird die Qualität der Klassifizierung.

Im folgenden Screenshot der Abbildung 60 sieht man ein Beispiel für die Produkt Keyword „bags of words“ Extraktion anhand einer Website. Hier sieht man die Wörter die als Produkte oder Produktkategorien erkannt wurden. Falsche Wörter werden in einem Folgeschritt auch noch über wachsende „blacklists“ entfernt.

Auch die Klassifizierung von Firmen in standardisierte Kategorien weist bereits eine hohe Accuracy auf (Vergleich mit definiertem Goldset). Abbildung 61 zeigt die Zuordnung von Firmen anhand der extrahierten „bags of words“ in übergeordnete Produktkategorien (L1 und L2 sind hierbei die ersten beiden Hierarchien von 6 Leveln unserer verwendeten Produktontologie). Die Accuracy liegt für L1 Klassifizierung bereits bei über 79%, L2 bei über

```

http://www.ushamartin.com

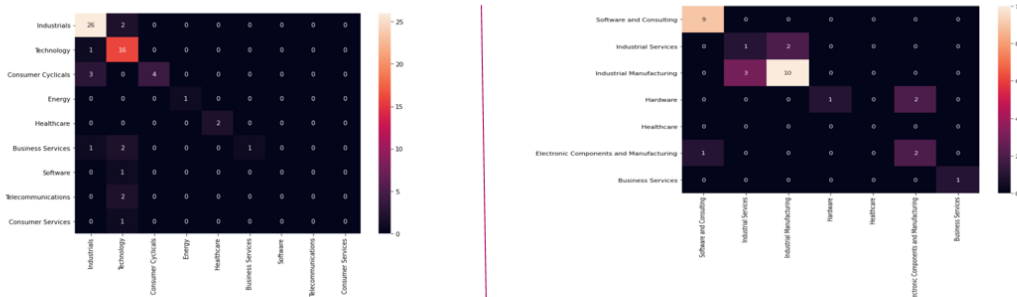
Language: en-US
Summary of website
Usha Martin |
*****
Products offered by site:
{'General Engineering Rope | Usha Martin', 'Fishing Rope | Usha Martin', 'Cable | Usha Martin', 'Prestressing | Usha Martin', 'Aerial Haulage | Usha Martin', 'Machinery | Usha Martin', 'Conveyor Cord | Usha Martin', 'Usha Martin bags the prestigious Asian Leadership Award 2021, as winner of the "Best-In-Class Award for Excellence in Product Quality & Services in Steel Wire Rope Industry". | Usha Martin', 'Mining Rope | Usha Martin', 'Elevator Rope | Usha Martin', 'Crane Rope | Usha Martin', 'Structural System | Usha Martin', 'Strand | Usha Martin', 'Wire | Usha Martin', 'Product Brochures | Usha Martin', 'Oil & Offshore Rope | Usha Martin', 'Wire Rope | Usha Martin'}
Services offered by site:
set()
*****
Tags of page: From Home Page
['infrastructure', 'regulatory', 'machinery', 'surface', 'wire', 'gold', 'center', 'supplier', 'gas', 'oil', 'virtual', 'network', 'online', 'training', 'local', 'national', 'drive', 'digital', 'industry', 'received', 'unit', 'conveyor', 'toll', 'distribution', 'investor', 'application', 'corporate', 'art', 'division', 'drilling', 'heavy', 'website', 'conducting', 'marine', 'contract', 'fishing', 'water', 'brand', 'building', 'book', 'cable', 'engineering', 'offshore', 'animal', 'account', 'steel', 'future', 'research', 'software', 'mining', 'polymer', 'program', 'engineered', 'concrete']
*****
Tags of page: From Product / Services page
*****
{'passenger ropeways', 'rubber tyre gantry crane', 'world class cable manufacturing plant for ofc\x0 and copper telecom cables.', 'offshore mooring, anchoring, towing, workwire', 'jelly filled core & dry core cable', 'offshore cranes', 'machinery', 'plain, indented, and ribbed high tensile steel wire for prestressed concrete.', 'boring', 'used particularly for production of large wire sizes for small batch quantities.', 'steel plant spares', 'coil conveyor systems', 'aerial figure "8" telephone copper cables.', 'alloy steel fasteners', 'versatility of product mix, diverse infrastructure, and capability to manufacture complex cables.', 'solid pe insulated / foam skin insulated', 'shipping', 'wire', 'used for high speed drawing of ferrous wires', 'underground optical fiber cables', 'motorised fishing boat', 'machine designed for high performance, reliability and ease of maintenance', 'used for a variety of applications including pc wires, hcs wires, stainless steel and non-ferrous wires', 'fatigue testing machine', 'mining rope catalogue', 'titan oilfield catalogue', 'suitable for in-line use or as a separate unit combined with a handling system', 'tower cranes', 'under ground mining', 'truck mounted cranes', 'excellent cooling of wire between reductions. no axial twist of wires between blocks', 'material handling ropes', 'optical fiber cables', 'fishing rope', 'ftth drop cable', 'ideal for applications of high carbon steel,\x0spring and tyre bead wires\x0and low carbon steel netting, fencing, nails and welding wires', 'surface mining', 'ftt h ls zh sheath cable', 'latest generation digital ac vector drive', 'aerial transportation rope', 'micro duct cable - upto 72f with 7.0mm/-\x0\x0\x0\x0 0.5mm', 'ftt h ls zh sheath cable', 'latest generation digital ac vector drive', 'aerial transportation rope', 'micro duct cable - upto 72f with 7.0mm/-\x0\x0\x0\x0 0.5mm', 'ftt h ls zh sheath cable', 'latest generation digital ac vector drive', 'aerial transportation rope', 'micro duct cable - upto 72f with 7.0mm/-\x0\x0\x0\x0 0.5mm'}

```

Abbildung 60: Beispielhafte „bags of words“ für eine Website

75%. Dies ist bereits eine gute Qualität, die mit mehr Trainingsdaten und Finetuning der Machine Learning Modelle noch weiter gesteigert wird.

- Results were evaluated against manually prepared validation dataset individually for L1 and L2.



Model	L1 label data point	% Accuracy
Roberta	67	79.4

Model	L2 label data point	% Accuracy
Strategy 1(Hybrid)	32	75.2

Abbildung 61: Zuordnung der „bags of words“ in übergeordnete Produktkategorien und resultierende Accuracy

3.10.2 Definition von Testdaten für den MVP

Zur Evaluation wurden fünf Bauteile eines Werkzeugschranks von Bedrunka+Hirth zur Verfügung gestellt. Ein Beispiel für ein solches Bauteil ist eine Mittelfachschiene, wie in Abbildung 62 dargestellt. Für diese Bauteile sind ebenfalls die notwendigen Bearbeitungen bekannt. Für das Beispielteil wird als Ausgangsmaterial ein bereits zugeschnittenes Formatblech aus dem Lager verwendet. Anschließend sind die Bearbeitungen Stanzen und Biegen notwendig.

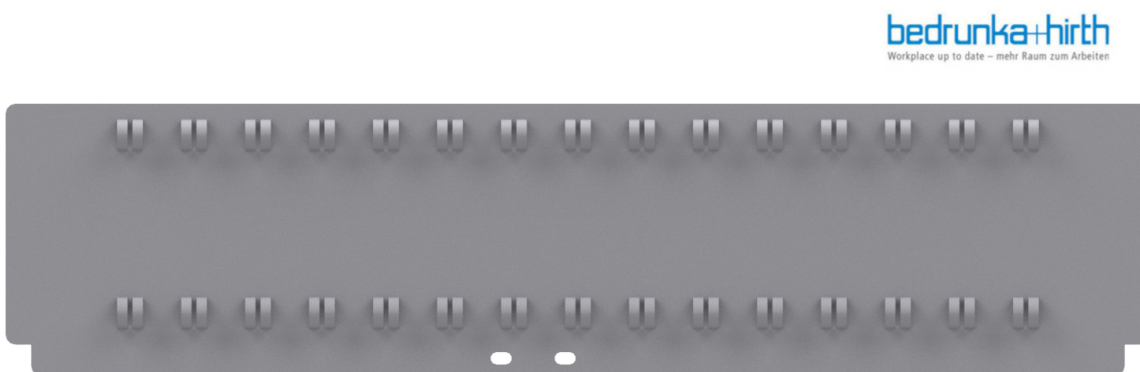


Abbildung 62: Beispiel eines Bauteils zur Evaluierung: eine Mittelfachschiene

Für die Evaluation der Plattform wurden fünf fiktive Nachfrager und zehn fiktive Anbieter definiert. Die Vergabe von Fähigkeiten sowie Präferenzen erfolgte dabei zufällig. Es besteht keine Verbindung zu realen Unternehmen. Jeder Nachfrager hat eine definierte Präferenz bezüglich Preis, Lieferzeit und Qualität. Eine Übersicht der Nachfrager ist in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Übersicht der Nachfrager

Nachfrager	Ort	Preis	Lieferzeit	Qualität
A	82362 Wilhelm	günstig	lang	niedrig
B	75038 Oberderdingen	teuer	schnell	hoch
C	21035 Hamburg	mittel	schnell	mittel
D	58791 Werdohl	teuer	mittel	hoch
E	67574 Osthofen	mittel	mittel	mittel

Für die zehn Anbieter sind analog verschiedene Eigenschaften sowie Fähigkeiten definiert (Tabelle 6). Die Fähigkeiten entsprechen denen, die in AP 2 definiert wurden (vgl. Abschnitt 3.3.4). Auch die Anbieter haben Präferenzen für Preis und Lieferzeit, sodass sich unterschiedliche Angebotscharakteristiken ergeben.

Basierend auf diesen Definitionen können nun in der Pilotierung des MVP von den Anbietern entsprechende Anfragen für eines der Demo-Bauteile gestellt werden. Die Nachfrager

Tabelle 6: Übersicht der Anbieter

	Ort	Preis	Lieferzeit	Fähigkeiten
A	73614 Schorndorf	mittel	mittel	<i>3D-Druck, Biegen, Prägen</i>
B	69115 Heidelberg	teuer	mittel	<i>Stanzen, Sägen, Zuschneiden, Entgraten, Schleifen, Laserschneiden, Bohren, Gewinde</i>
C	94481 Grafenau	mittel	lang	<i>Stanzen, Sägen, Zuschneiden, Entgraten, Schleifen, Laserschneiden, Bohren, Gewinde, Schweißen, Beschichten</i>
D	98708 Gehren	günstig	lang	<i>3D-Druck, Biegen, Prägen, Montage</i>
E	63755 Alzenau	günstig	mittel	<i>Stanzen, Sägen, Zuschneiden, Entgraten, Schleifen, Laserschneiden, Bohren, Gewinde, Montage</i>
F	85649 Hofolding	teuer	lang	<i>Biegen, Prägen, Schweißen, Beschichten, Montage</i>
G	72654 Neckar- tenzlingen	teuer	kurz	<i>3D-Druck, Stanzen, Sägen, Zuschneiden, Entgraten, Schleifen, Laserschneiden, Bohren, Gewinde</i>
H	61440 Oberursel	mittel	kurz	<i>3D-Druck, Sägen, Zuschneiden, Schleifen, Schweißen, Beschichten, Montage</i>
I	57368 Lennestadt	günstig	lang	<i>Stanzen, Entgraten, Laserschneiden, Bohren, Gewinde, Schweißen, Beschichten</i>
J	97788 Neuendorf	teuer	kurz	<i>3D-Druck, Biegen, Prägen</i>

stellen dann Angebote entsprechend ihrer Charakteristik für die diese Anfrage bereit und die Komponenten des MVP berechnen dann ein entsprechendes Angebot. Die so bereitgestellten Angebote wurden für die Evaluation des Network Builders genutzt.

3.10.3 Pilotierung bei Bosch für die kurzfristige Produktionsnetzwerkplanung

Der folgende Abschnitt ist eine Kurzzusammenfassung der Ergebnisse der Dissertation von Christoph Bubeck (Bubeck, 2021). Eine detaillierte Beschreibung kann in der Dissertationsschrift, die im Rahmen des DPNB-Projekts angefertigt wurde, nachgelesen werden. Da die Dissertation noch nicht final veröffentlicht ist, darf dieser Abschnitt nur mit der Genehmigung des Autors, Christoph Bubeck, weiterverbreitet werden. Im Rahmen der Pilotierung bei der Robert Bosch GmbH wurde untersucht, wie eine Cloud-Manufacturing (CM)-Plattform in einem internen Produktionsnetzwerk zur kurzfristigen Auftragsallokation eingesetzt werden kann. Ziel der Untersuchung war es, einen Ansatz zu entwerfen, mit welchem im Falle eines störungsbedingten Engpasses, Produktionsaufträge zwischen den Standorten eines internen Produktionsnetzwerkes umgeplant werden können. Das Konzept basiert auf der Idee, die im Netzwerk verfügbaren Ressourcen (Maschinen und Materialien)

zusammen mit verschiedenen von Spediteuren zur Verfügung gestellten Transportformen als Services auf einer privaten CM-Plattform anzubieten, so dass mit diesen Ressourcen im Störfall ein ad-hoc Wertstrom gebildet werden kann, der in die bestehenden Produktionspläne im Netzwerk integriert werden kann, ohne diese ändern zu müssen. Die private CM-Plattform stellt hierbei einen Spezialfall der allgemein zugänglichen, öffentlichen CM-Plattform dar. Im Unterschied zum öffentlichen Modell ist der Zugang auf ausgewählte Standorte eines internen Netzwerkes beschränkt. Weiterhin sind auch die zu fertigenden (Serien-)Produkte, die im Störfall zwischen den Standorten verteilt werden können, sowie die dafür geeigneten Maschinen a priori bekannt und auf der Plattform entsprechend hinterlegt. Das Grundprinzip der Plattform wird in Abbildung 63 verdeutlicht:

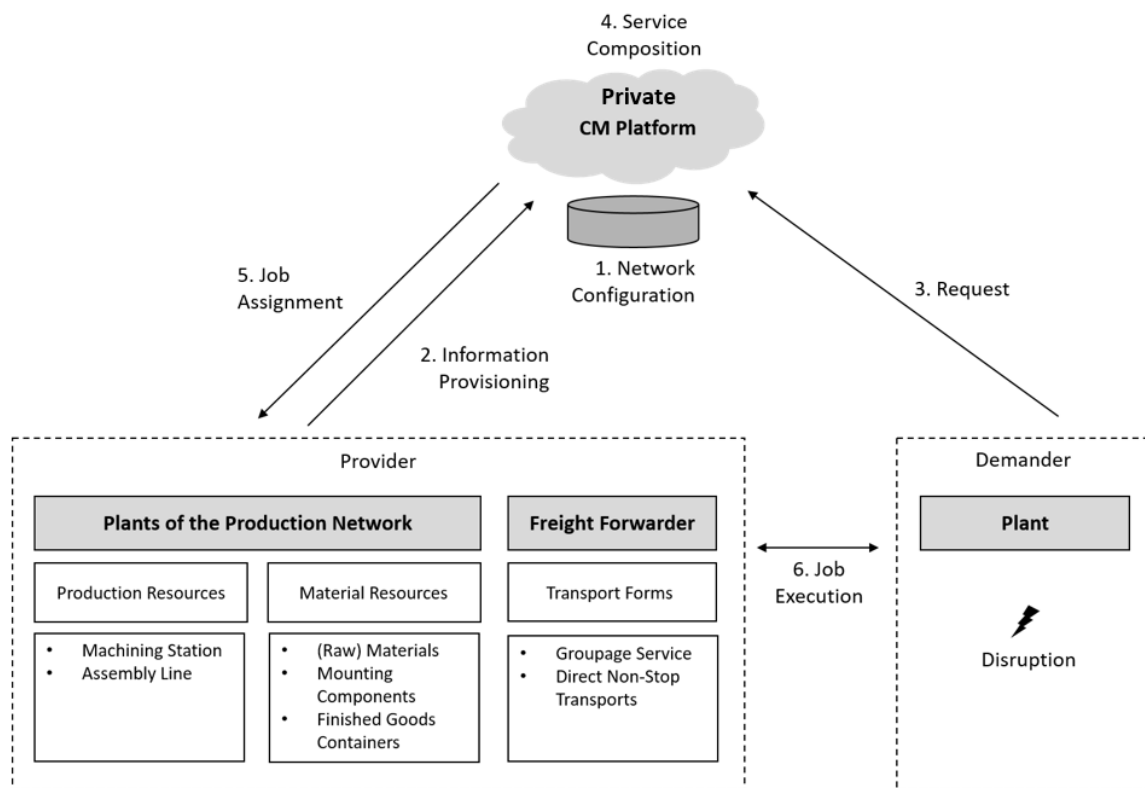


Abbildung 63: Grundprinzip der im Rahmen der Untersuchung entworfenen privaten CM-Plattform (Bubeck, 2021)

Ausgehend von den Anforderungen der Robert Bosch GmbH wurde im Rahmen der Untersuchung sowohl ein Framework entwickelt, das beschreibt, wie die Plattform in verschiedenen Störungssituationen eingesetzt werden kann, als auch ein Konzept für die Funktionsweise der Plattform entworfen und prototypisch implementiert. In Abbildung 64 ist zu erkennen, wie ein von einer Störung betroffenes Werk einen Produktionsauftrag unter Angabe der Produkt-ID, der gewünschten Fertigungsstufe, der benötigten Stückzahl und einer gewünschten Zielgewichtung in die entworfene Plattform eingeben kann.

Shortterm Planning > New Order

BOSCH

New Order

Enter the details of your order.

General Order Information

Initial Production Step
Machining

Weighting in optimization: Cost 0.5 — Time 0.5

Products

Product ID	Required Production Step	Amount
Product1	Assembly	4

I herewith confirm that the details of my order are correct.

Submit Order

Abbildung 64: Eingabe eines Produktionsauftrags (Bubeck, 2021)

Abbildung 65 zeigt, wie die berechneten Ergebnisse, d.h. die nach unterschiedlichen Zielgewichtungen berechnete Wertströme, dem Auftraggeber zur Auswahl präsentiert werden.

Kernaspekt der Plattform ist das bei der Auftragsvermittlung zu lösende und in der Literatur als Service-Selection-Problem (SSP) bezeichnete Optimierungsproblem, das darauf abzielt, die angebotenen Ressourcen zeitlich und mengenmäßig so zu kombinieren, dass ein möglichst passender Wertstrom für den beauftragenden Kunden, d.h. das von der Störung betroffene Werk, erzeugt wird. Für die Lösung des SSP wurde im Rahmen der Untersuchung eine in der Literatur bisher noch nicht beschriebene losgrößenbasierte Problemformulierung verwendet. Das als Service-orientiertes Losgrößenproblem (SLSP) bezeichnete Modell zielt darauf ab, den vom Kunden eingestellten Auftrag unter Berücksichtigung der Material- und Maschinenverfügbarkeit und etwaiger benötigter Transporte möglichst so in die laufenden Produktionspläne der beteiligten Werke einzuplanen, dass eine aus Kundensicht kostengünstige und schnelle Lösung generiert werden kann. Um die Praxistauglichkeit des Ansatzes zu nachzuweisen, wurde die entwickelte Plattform und das darin zur Anwendung kommende SLSP mit Hilfe von Realdaten von Bosch und Transport Betz evaluiert und getestet. Auf der Basis des Maschinenparks und der Produktionspläne von drei Bosch-Werken, sowie der durch Transport Betz bereitgestellten Transportzeiten und -kosten zwischen diesen Standorten bei unterschiedlichen Direkt- und Sammelgut-Transportformen wurde in meh-

Offer Selection

The DPNB-Platform has created three offers for your order. Please select one in order to continue with the process.

Ordered Products

Product: Product1
 Production step: Assembly
 Amount: 4

Cheapest-Offer Details

2.3.2021	3.3.2021	4.3.2021	5.3.2021	6.3.2021	7.3.2021
			Transport by Carrier1 (Groupage Service) From Plant2 to Plant1. Carried Product: Product1_Raw	Processed by Plant1. Machining on Machine2: Product1 x16 Pc.	Processed by Plant1. Assembly on Assembly1: Product1_FG x16 Pc.

Close

Carrier(s): > Carrier1

More Details

Select offer

Select Offer

Abbildung 65: Ausgabe der berechneten Lösungen (Bubeck, 2021)

renen Szenarien untersucht, welche Lösungen sich bei unterschiedlich großen Störungsfällen ergeben, wenn die von der Störung betroffenen Produktionsaufträge über die private CM-Plattform umgeplant werden. Herausgefunden werden konnte etwa, dass die gleichgewichtete Zielfunktion, bei welcher die resultierenden Auftragskosten und die resultierende Lieferzeit aus der Sicht des Kunden simultan optimiert werden, einen sehr sinnvollen Kompromiss im Vergleich zu einer reinen Kosten- oder reinen Zeitbetrachtung darstellt. Eine weitere wichtige Erkenntnis der Untersuchung war, dass die Umplanung eines Auftrags an einen anderen Standort sich insbesondere bei größeren Störungen als vorteilhaft erwiesen hat. Bei kleineren Störungen war zumeist eine Umplanung auf andere Maschinen innerhalb des betroffenen Werkes von Vorteil. Im Hinblick auf den Transport konnte festgestellt werden, dass sich Direkttransporte im Vergleich zu Sammelguttransporten zumeist nur bei einer

reinen Zeitoptimierung lohnt. Weiterhin konnte durch einen Vergleich mit einer iterativen, heuristischen Prozedur, die an die aktuell in der Praxis angewendete Vorgehensweise zur Umplanung im Falle einer Störung angelehnt ist, gezeigt werden, dass der beschriebene Ansatz in den meisten Störungsszenarien eine bessere Lösung finden konnte. Im Rahmen der Untersuchung konnte damit der praktische Nutzen der privaten CM-Plattform als Umplanungsinstrument in einem internen Produktionsnetzwerk im Kontext der Serienfertigung nachgewiesen werden. Es wurden aber auch Limitationen, wie z.B. die große Menge an benötigten Daten und der hohe Rechenaufwand bei großen Problemklassen, ersichtlich.

3.10.4 Pilotierung des Assembly Assistant bei Bedrunka+Hirth

Die Evaluierung des entwickelten Assembly Assistant (siehe Abschnitt 3.6) wurde bei Bedrunka+Hirth durchgeführt. Das System nutzt als Mensch-Maschine-Schnittstelle eine HoloLens 2 von Microsoft. Neben der entwickelten Software wurde deshalb zwangsläufig auch die neuartige Hardware getestet, da keiner der Probanden vor den Versuchen Kontakt damit hatte.

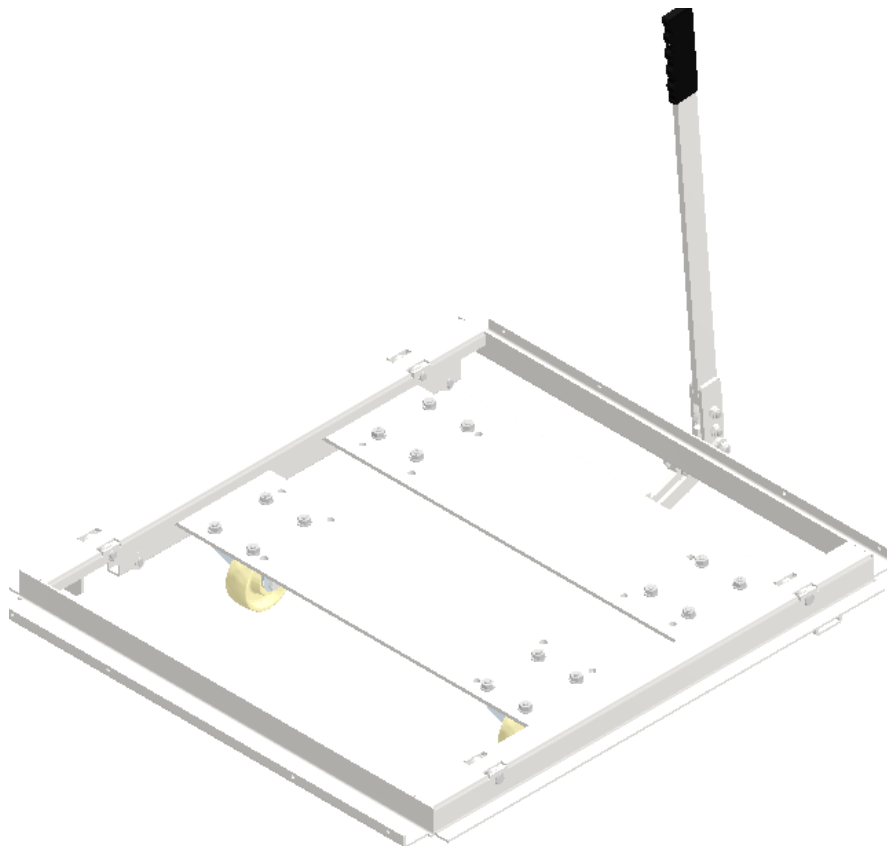


Abbildung 66: Für die Versuche verwendete Baugruppe der Hubsenkvorrichtung

Für die Versuche wurde die Baugruppe Hubsenkvorrichtung von Bedrunka+Hirth gewählt (siehe Abbildung 66). Da die Baugruppe aus 79 Einzelteilen besteht, wurden für die Versuche nur die ersten 22 Schritte ausgewählt. Dabei wurde eine Lenkrolle montiert sowie Teile des Klappmechanismus am Hebel. Die Entscheidung für die Lenkrolle und gegen eine starre Rolle ermöglicht das Montieren der Rolle in falscher Ausrichtung, da die Kontaktfläche zwischen Rolle und Rahmen nicht quadratisch ist. Die sechs Probanden kamen aus unterschiedlichen Bereichen, wie Vertrieb aber auch Werkstatt, und hatten deshalb bezüglich Montage unterschiedliche Vorerfahrung.

Jeder Versuchsdurchlauf begann mit dem Aufsetzen der HoloLens 2. Zunächst wurde diese auf den Augenabstand des Probanden kalibriert, so dass die Darstellung der Hologramme sowie die Interaktion damit möglichst präzise abläuft. Dabei wurden erste Erfahrungen mit der Bedienung gesammelt. Die Probanden wurden mit Audioanweisungen durch den Prozess geführt. Bei Fragen wurde Hilfestellung geleistet. Daraufhin starteten die Probanden die Software des Assembly Assistant. Zunächst sahen sie die fertige Baugruppe sowie das Bedienpanel (siehe Abbildung 67).

Damit wurde die Interaktion mit Hologrammen erlernt. Sobald die Probanden die Funktionsweise der Interaktion verstanden, wurde der Montageprozess gestartet. Zum Montageprozess wurden keine Fragen beantwortet. Die Probanden montierten die reale Baugruppe analog zur Anweisung der virtuellen Baugruppe. Sobald die Montage des Hebel in der virtuellen Baugruppe angezeigt wurde, endete der Versuchsdurchlauf. Daraufhin erfolgte das Ausfüllen des im folgenden Abschnitts beschriebenen Fragebogens.

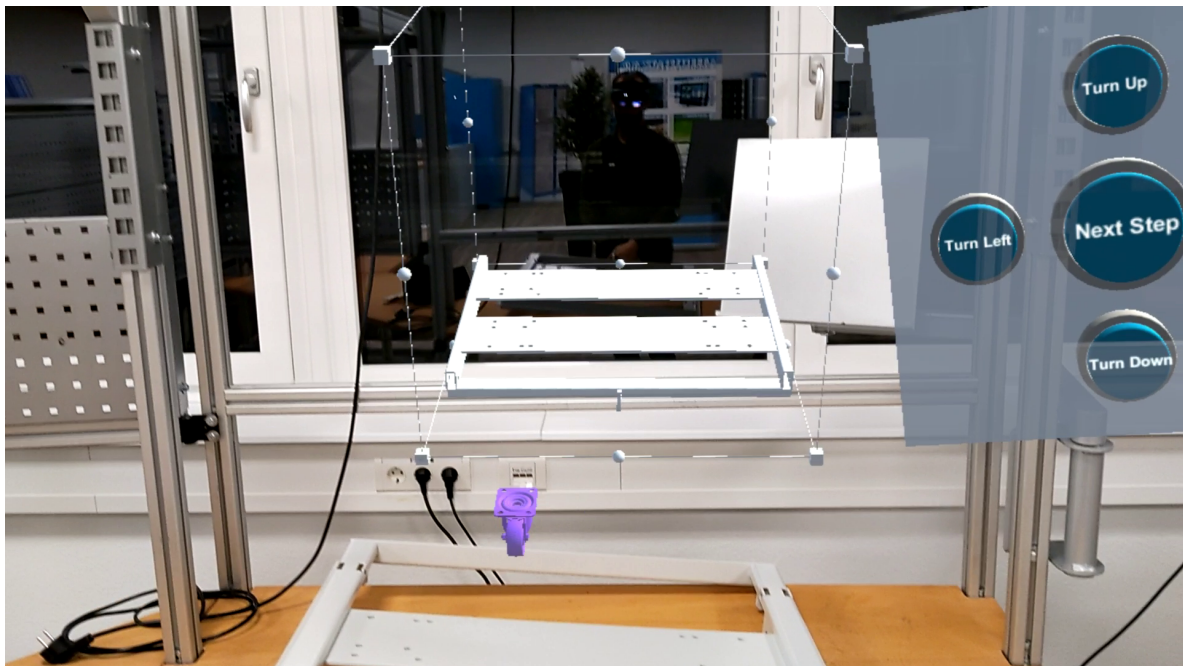


Abbildung 67: Sicht der Probanden inklusive projizierter Montageanweisung

Zur Überprüfung ergonomischer und softwarespezifischer Qualitätsmerkmale und Verbesserungsmöglichkeiten wurde ein Fragebogen auf Basis des Fragebogens von Laugwitz et al. zur Messung der User Experience von Softwareprodukten entwickelt (Laugwitz et al., 2006). Um die Compliance zu gewährleisten und den Fragebogen ökonomisch zu gestalten wurde der bestehende Fragebogen auf zehn Items reduziert. Es wurden aus jeder Faktorkategorie jeweils die zwei Items mit der höchsten Faktorladung innerhalb der Kategorie ausgewählt. Jedes Item wurde auf einer Skala von 1 (negativ) bis 7 (positiv) bewertet. Außerdem wurde ein Freitextfeld für Verbesserungsvorschläge ergänzt. Der Fragebogen wurde direkt nach dem Versuch des Probanden ausgefüllt. Abbildung 68 zeigt die Auswertung der Fragebögen als Box-Plot inklusive Median, Mittelwert und unterem sowie oberem Quartil.

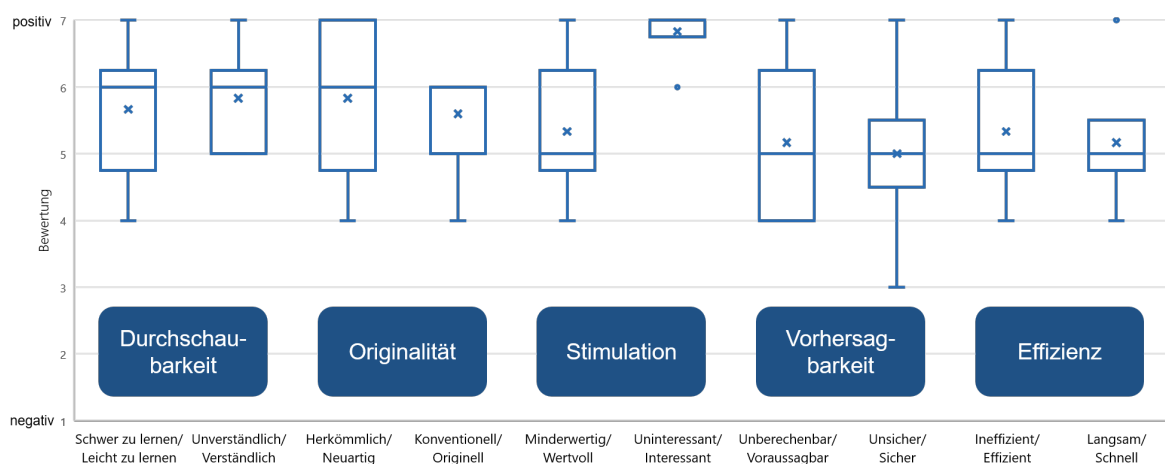


Abbildung 68: Ergebnisse der Auswertung der Fragebögen zu den Versuchen. Mittelwerte als Kreuz dargestellt

Die Faktorkategorien Durchschaubarkeit, Vorhersagbarkeit und Effizienz korrelieren stark mit der Bearbeitungsdauer. Das heißt, bei einer guten Bewertung der Items in diesen Kategorien ermöglicht die Software eine schnellere Bearbeitung der zu bearbeitenden Aufgabe als bei einer schlechten Bewertung dieser Items. Insgesamt wurde das System mit 5,6 von 7 Punkten bewertet. Dennoch ergaben sich einige Verbesserungsvorschläge von Seiten der Probanden wie auch durch Beobachtung. Die Probanden mussten mit sehr hohem Zeitaufwand in das System eingeführt werden. In Zukunft sollte dieser Prozess durch ein Tutorial abgedeckt werden. Für erfahrene Probanden war die Anzeige der einzelnen Montageschritte zu langsam. Bei sich wiederholenden Schritten wie beispielsweise das Montieren von vier gleichen Schrauben mit passenden Muttern sollte deshalb die Anleitung die Montage dieser Bauteile in einem Schritt anzeigen. Die Transformation von virtueller Baugruppe auf reale Baugruppe fällt den Probanden dann schwer, wenn beide Baugruppen in unterschiedlichen Orientierungen vorliegen. Eine Anweisung zur korrekten Ausrichtung der virtuellen Baugruppe bzw. die automatische korrekte Ausrichtung der virtuellen Baugruppe an der realen

Baugruppe würde dieses Problem beheben. Außerdem fehlte den Probanden ein Transparent Modus, so dass die virtuelle Baugruppe nicht immer so gedreht werden muss, dass das aktuell zu montierende Bauteil sichtbar ist. Trotz der Verbesserungsvorschläge wurde das System als sehr positiv wahrgenommen. Teilweise liegt das an der neuartigen Hardware und der bisher unbekannteren Interaktion damit. Weitere Versuche in der langfristigen Anwendung müssen zeigen, wie dieses Interesse aufrechterhalten werden kann.

3.11 Arbeitspaket 9: Ergebnisverbreitung und Übertragbarkeit

Das AP 9 galt den Punkten Ergebnisverbreitung und Übertragbarkeit. In diesem Sinne wurde zum Beginn des Projekts eine Website unter <https://www.dpnb.de> bereitgestellt. Über die Mailadresse kontakt@dpnb.de kann Kontakt mit dem Konsortium aufgenommen werden. Zudem wurde das Projektlogo und ein Standard-Foliensatz entwickelt, welche für das Corporate Design des Projekts sorgen.

Außerdem nahmen die Projektpartner an einigen Veranstaltungen teil, um den Erfahrungsaustausch mit externen Stellen voranzutreiben, welche im folgenden Abschnitt aufgelistet sind. Zusätzlich gab es im Rahmen des Projekts einige Veröffentlichungen, worüber der zweite Abschnitt eine Übersicht bietet.

Zu guter Letzt beschäftigte sich die Arbeit des AP 9 mit der Übertragbarkeit des im Projekt erarbeiteten Konzepts auf weitere Sachverhalte. Diese sind zum Schluss des Abschnitts aufgeführt.

3.11.1 Erfahrungsaustausch

Folgende Gelegenheiten wurden zum Erfahrungsaustausch und zur Präsentation des Projekts genutzt. Dabei ist zu beachten, dass aufgrund der COVID-19 Situation einige Veranstaltungen ausgefallen sind oder nicht in ihrer geplanten Art stattgefunden haben.

1. 24./25.10.2019: Teilnahme am Koordinatorentreffen der Förderrichtlinie InKoWe in Würzburg: Vorstellung des Projekts und Erfahrungsaustausch sowie weitere Kontakte, die daraus hervorgingen
2. Bekanntmachung des Projekts in der *IHK Zeitschrift* vom April 2020 durch Transport Betz
3. Bekanntmachung des Projekts in der *trans aktuell* vom April 2020 durch Transport Betz

4. 04.11.2019: Treffen mit Experten von TRUMPF: Vorstellung der Grundzüge der Blechbearbeitung und der Software *TruTropsBoost*
5. 13.11.2019: Teilnahme am Fachtag „Digitale Geschäftsmodelle in der *Industrie 4.0*“ des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
6. 20.01.2020: Kooperation mit dem Projekt AKKORD: Austausch mit der *Mosaiic AG* in München bezüglich Geschäftsmodellen und Klassifizierung von Daten/Datenflüssen
7. 09.09.2020: Austausch des FZI und BIBA mit Bosch bzgl. der internen Marktplatzlösung *Industrify*
8. 04.03.2021: Vortrag aus der Praxis von *Laserhub* im digitalen Meilensteintreffen
9. 2021: Terminserie mit dem Institut für Produktionstechnik (wbk), dem Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen (IMI) und Kimoknow bezüglich Montageassistenzsystemen aus welcher ein gemeinsamer Projektantrag hervorgeht
10. 18./22.02.2021: Austausch mit Top-Projekt bei Bosch zum Thema Geschäftsmodelle und dezentrale Ansätze
11. 07.04.21: Austausch mit smartFactoryKL zum Thema Geschäftsmodelle
12. 11/21: Vortrag von Transport Betz im Verkehrsausschuss der IHK Karlsruhe Vortrag aufgrund von COVID-19 verschoben, Vortrag wird zur nächsten Gelegenheit nachgeholt
13. 18.11.2021: Vortrag von TRUMPF auf der TAE Fachtagung zum Thema „Disruptive Geschäftsmodell Innovation in der Blechfertigung – Wie können die Herausforderungen des dynamischen Marktumfelds zukünftig ohne Kapitalbindung gemeistert werden?“ Veranstaltung aufgrund von COVID-19 verschoben, Vortrag wird bei möglicher Wiederaufnahme der Veranstaltung gehalten
14. 24.11.2021 Abschlusstreffen des Projekts mit Teilnahme von Vertretern der InKoWe-Projekte ReKoNet und Akkord
15. 25.11.2021 Teilnahme am Koordinatorentreffen der Förderrichtlinie InKoWe in digitaler Form: Vorstellung des aktuellen Projektstands und Vernetzungsmöglichkeiten
16. Q1/2022: Veröffentlichung auf der Website <https://www.bosch.com> zum Abschluss des Projekts

3.11.2 Veröffentlichungen im Projektkontext

Nachfolgend eine Übersicht der Veröffentlichungen, die im Projekt entstanden sind. Diese sind aufgeteilt in Publikationen, die bereits veröffentlicht sind und Publikation, die eingereicht, aber noch nicht veröffentlicht wurden.

Zusätzlich sind im Projekt 47 wissenschaftliche Arbeiten von Studierenden betreut worden. Konkret waren dies 17 Bachelor-, 24 Master- und 3 sonstige (z.B. Seminar- oder Studien-) Arbeiten.

Veröffentlicht

1. S. Wiesner, L. Behrens, und J. Baalsrud Hauge. Business Model Development for a Dynamic Production Network Platform. In B. Lalic, V. Majstorovic, U. Marjanovic, G. von Cieminski, und D. Romero, editors, *Advances in Production Management Systems. Towards Smart and Digital Manufacturing*, IFIP Advances in Information and Communication Technology, pages 749–757. Springer International Publishing, 2020. ISBN 978-3-030-57997-5. DOI 10.1007/978-3-030-57997-5_8a. (AP 7)
2. E. Broda, D. Sayah, und M. Freitag. Angebotsplanung in dynamischen Produktionsnetzwerken/Quotation planning in dynamic production networks. *wt Werkstattstechnik online*, 111(03):147–151, 2021. ISSN 1436-4980. DOI 10.37544/1436-4980-2021-03-55. (AP 2 & 3)
3. L. Behrens und S. Wiesner. Empirische Studie zu dynamischen Produktionsplattformen: Potenziale für den Einsatz von dynamischen Plattformen während der COVID-19 Pandemie. *Industrie 4.0 Management*, 37(1), 2021. (AP 7)
4. J. Dümmel, V. Kostik, und J. Oellerich. Generating Synthetic Training Data for Assembly Processes. In A. Dolgui, A. Bernard, D. Lemoine, G. von Cieminski, und D. Romero, editors, *Advances in Production Management Systems. Artificial Intelligence for Sustainable and Resilient Production Systems*, volume 633 of *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, pages 119–128, Cham, 2021. Springer International Publishing. ISBN 978-3-030-85909-1. DOI 10.1007/978-3-030-85910-7_13
5. L. Eger und S. Wiesner. Entwicklung eines Frameworks für den Entwurf dynamischer Produktionsplattformen: Anwendung einer strukturierten Vorgehensweise beim Aufbau einer dynamischen Produktionsplattform. *Industrie 4.0 Management*, 37(5):39–43, 2021. (AP 7)
6. L. Bergmann, J. Dümmel, und Y. Tang. Deriving Machining Processes from Technical Drawings: An Approach Motivated by Cloud Manufacturing Platforms Using Convolutional Neural Networks. *Industrie 4.0 Management*, 37(5):21–25, 2021. (AP 2)

7. J. Dümmel und L. Eger. Digitalisierung von Montageprozessen/Determination of potentials for the integration of assembly services into dynamic platforms. *wt Werkstattstechnik online*, 111(09):597–601, 2021. DOI 10.37544/1436-4980-2021-09-23. (AP 5)

Eingereicht

1. J. Dümmel und X. Gao. Object Re-Identification with Synthetic Training Data in Industrial Environments. In *Proceedings of the 27th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP)*. IEEE, 2021. in print. (AP 5)
2. L. Eger. Data management of product-service systems within the order execution of a cloud-based manufacturing-as-a-service platform. *Computers in Industry*, 2022. in print. (AP 7)
3. L. Eger, K. Joussem, C. Schwarz, J. Höllig, T. Levy, und A. Kraus. Digitalisierung von Transportdienstleistungen - Untersuchung von Potenzialen zur Einbindung von Transportdienstleistungen in dynamische Plattformen. *Internationales Verkehrswesen*, 2022. in print. (AP 4, AP 7)

3.11.3 Übertragbarkeit

Neben den in den verschiedenen Arbeitspaketen bereits beschriebenen Übertragungsmöglichkeiten der einzelnen Komponenten auf andere oder der Ausblick auf zukünftige Szenarien, soll an dieser Stelle auf drei weitere Möglichkeiten des Übertrags eingegangen werden, die bei der Firma Bosch betrachtet wurden.

Mittelfristige Produktionsnetzwerkplanung Aus dem in AP 8 beschriebenen Use Case der Bosch-Pilotierung heraus ergab sich die Frage, inwieweit die Idee einer kurzfristigen Vermittlung von Produktionskapazitäten ebenfalls für die mittelfristige Planung genutzt werden kann. Wie bereits in der Beschreibung des Pilotierungs-Use Cases war diese Anwendung vor allem über bisherigen hohen Planungsaufwand, Ineffizienzen und nur dezentral in verschiedenen Quellen vorhandene Daten motiviert. Dafür wurde im ersten Schritt ein Optimierungsmodell zur standortübergreifenden Programmplanung entwickelt, aufbauend auf dem Stand der Technik und den Anforderungen des Praxisbeispiels. Input des Modells stellten unter anderem Daten zu Standorten, Linien oder Produkttypen sowie Kapazitäten, Mindestauslastungen oder Freigaben dar. Die Optimierung selbst erfolgte nach dem Ziel der Kostenminimierung in den Bereichen Produktion, Bestand, Zusatzschichten sowie weiteren Strafkosten. Modelloutput stellte anschließend der Produktionsplan dar, der angibt, welches Produkt an welchem Standort in welcher Periode gefertigt wird. Darüber hinaus

wurden auch KPIs zur weiteren Analyse des Ergebnisses ausgegeben. Das entwickelte Modell wurde anschließend in Python mit der Bibliothek docplex modelliert und in einem Testnetzwerk angewandt. Da es der Kategorie der Mixed-integer linear programming-Modelle (MILP-Modelle) zuzuordnen ist, sorgt die NP-schwere für einen exponentiellen Anstieg der Lösungszeit bei wachsender Problemgröße. Für ein realitätsnahes Problem zeigte sich die Lösungszeit als zu hoch. Mit der Toleranz eines höheren Optimality Gaps sowie einer Modellvereinfachung konnte dem allerdings begegnet werden. Eine anschließende Auswertung mit Test- und auch Realdaten zeigte, dass die Anforderungen zu einem Großteil erfüllt werden können. Produktionsmengen werden nach den vorliegenden Regeln des Produktionsnetzwerks kostenoptimal auf die einzelnen Standorte verteilt. Daneben werden verschiedene Maßnahmen zur Kapazitätserweiterung getroffen.

Herausforderungen bestanden in der Wahl der Kostenparameter, welche einen hohen Einfluss auf die Lösung des Modells haben, sowie die Berücksichtigung von Einzel- und Sonderfällen der spezifischen Gegebenheiten. Dabei muss eine Abwägung zwischen beherrschbarer Modellkomplexität und realitätsgetreuer Abbildung getroffen werden. Schließlich ist die Annahme deterministischer Bedarfsdaten eine potentielle Schwachstelle des Modells. Auf eine stochastische Modellierung wurde ebenfalls zwecks Modellkomplexität verzichtet. Anschließend an die Modellierung erfolgte die Implementierung als cloud-basierter Microservice. Hierfür wurde eine Anbindung an die bereits existierende Plattform des Bosch-Piloten durchgeführt. Problemen aus dem bisherigen manuellen Prozess, wie hoher Planungsaufwand oder eine verteilte Datenlage, konnte so begegnet werden.

Ergebnis der Untersuchung ist ein prototypischer Microservice, welcher die grundlegende Lösbarkeit der eingangs gestellten Aufgabe zeigt. Die Erkenntnisse aus dieser Analyse werden in die Konzeption weiterer Produktionsplanungstools integriert.

Unternehmensinterne Marktplätze Eine weitere Zusammenarbeit ergab sich mit einem internen Projekt, in welchem ein Bosch-interner Marktplatz zur Vermittlung von Fertigungskapazitäten entwickelt wird. In der Zusammenarbeit wurde untersucht, ob und in welcher Form die Idee des Matchings aus dem DPNB auch auf diese Plattform übertragen werden kann. Um den Algorithmus zu unterstützen war eine weitere Aufgabe, ein Lieferantenbewertungssystem zu entwickeln. Der konzipierte Matching-Algorithmus setzt sich aus den zwei Prozessen Filterung und Angebotsbewertung zusammen. Zunächst werden für eine vorliegende Anfrage die potentiell in Frage kommenden Lieferanten herausgesucht, d.h. es werden die Lieferanten aussortiert, die den formalen Anforderungen der Anfrage nicht gerecht werden. Anschließend wird die Anzahl der Lieferanten weiter eingegrenzt und in eine Rangfolge gebracht, indem sie anhand von den vier Metriken Preis, Qualität, Engagement und Geschwindigkeit bewertet werden. Als Ergebnis der Filterung ergibt sich ein Kandidatenset von Lieferanten, die die Anfrage angezeigt bekommen und ein Angebot abgeben können. Anschließend folgt die Angebotsbewertung, bei der die abgegebenen Angebote mit-

einander verglichen und bewertet werden, sodass eine Rangliste der verbleibenden Anbieter erstellt werden kann. Vor allem für Mehrfachanfragen, die sich aus mehreren Herstellungsschritten zusammensetzen wurde ein Vorgehen entwickelt, mit dem eine passende Lieferantenkombination ermittelt werden kann. Eine Lieferantenbewertung im Anschluss an die Auftragsdurchführung seitens des Nachfragers und der Plattform selbst schließt den Prozess ab. Dafür werden sowohl Systeminformationen erfasst und ausgewertet als auch Bewertungen durch den Nachfrager gespeichert. Diese Auftragsbewertung fließt in die allgemeine Lieferantenbewertung für zukünftige Filterungen ein. Der Algorithmus wurde sowohl für einfache Anfragen mit nur einem Herstellungsschritt als auch für Mehrfachanfragen mit mehreren Herstellungsschritten ausgearbeitet. Die prototypische Untersuchung sowie die Auswertung zeigen, dass der Algorithmus den Nachfrager bei der Angebotsauswahl unterstützt und ein effizientes Matching gewährleistet. Das Ziel ist es, die entwickelten Ideen in die Produktplattform zu integrieren, da sie im Vergleich zum Status Quo den Vorteil bietet, die Auswahl des Nachfragers einzugrenzen und diese zu erleichtern.

CM Plattformen für das Risikomanagement Im Rahmen der Betrachtung verschiedener Übertragungsmöglichkeiten des DPNB, hat sich Bosch mit zwei weiteren Themen beschäftigt: Dabei wurde zunächst untersucht, welche Auswirkungen der Einsatz einer CM Plattform auf das Risikomanagement eines Unternehmens hat. Die Annahme dabei ist, dass Störungen in komplexen Supply Chains durch neue technologische Tools wie die DPNB Plattform kompensiert werden könnten und dies langfristig in die Supply Chain Planung eingeht.

Die zwei in dieser Studie behandelten Störungen umfassen im ersten Fall einen Produktionsausfall des Hauptlieferanten, wobei der Ausfall durch eine geringe Auftrittswahrscheinlichkeit und potentiell lange Ausfalldauern charakterisiert ist. Konkrete Beispiele sind z.B. ein Covid-19 Ausbruch oder ein Erdbeben am Produktionsstandort. Der betrachtete Zeithorizont umfasst die Dauer des Ausfalls und eine Übergangsphase bis zur Wiederherstellung des Normalzustands. Die Auswirkungen des Ausfalls werden anhand eines Vergleichs des Systems über den betrachteten Zeithorizont mit und ohne Ausfall quantifiziert. Im Anschluss wird das System ein weiteres Mal unter Einbeziehung von Bestellungen bei der Plattform untersucht und das Kompensationspotenzial bzgl. des Ausfalls dargestellt. Wesentliche Einflussfaktoren für das Kompensationspotenzial der Plattform sind die Ausfalldauer sowie die Lieferzeiten der Plattform. Im zweiten Fall wird ein unzuverlässiger Lieferant untersucht, dessen Lieferungen im Gegensatz zum ersten Fall durch kürzere und kontinuierlich auftretende Verzögerungen der Lieferzeit charakterisiert sind. Der betrachtete Zeithorizont umfasst 250 Perioden, was etwa der Anzahl der Arbeitstage im Jahr entspricht. Die Auswirkungen der Verzüge werden wieder durch einen Vergleich des Systems mit und ohne Verzüge quantifiziert und das Kompensationspotenzial der Plattform ermittelt. Wesentliche Einfluss-

faktoren sind die Verzugsrate und die durchschnittliche Verzugsdauer des unzuverlässigen Lieferanten.

Tabelle 7: Übersicht der Anwendungsszenarien

Szenario	Kostenverursacher	Variierte Parameter	Simulierter Zeithorizont T
1 Produktionsausfall des Lieferanten	Lieferausfälle	Ausfalldauer und Lieferzeit (Plattform)	$T = \text{Ausfalldauer} + \text{Übergangsperiode}$
2 Unzuverlässiger Lieferant	Lieferverszüge	Verzugsrate und durchschnittliche Verzugsdauer	$T = 250 \text{ (Arbeitstage / Jahr)}$

Die Grundlage für die Simulationsstudie bildet ein aus der Literatur übernommenes Standardparameterset bzgl. Verteilungen für die Nachfrage und Lieferzeiten (ursprünglicher Lieferant und Plattform) und Kostenparameter für Lagerhaltung, Fehlmengen und Anzahl der Bestellungen je Zeitperiode. Lagerbestände und Bestellungen werden durch eine (s, Q) Lagerhaltungspolitik gesteuert, die Bestellungen der Menge Q bei Lagerbeständen unterhalb des Mindestbestandes s auslöst. Die (s, Q) Lagerhaltungspolitik ist so gewählt, dass ein durchschnittlicher Anteil von $\beta=95\%$ der Nachfrage ohne Verzögerung direkt aus dem vorhandenen Bestand geliefert werden kann. Zur Gewährleistung dieses β -Servicelevels wird bei der Berechnung der Parameter s und Q gefordert, dass die erwarteten Fehlmengen unter einem bestimmten Schwellenwert liegen.

Erste Ergebnisse der Simulationsstudie lassen folgende Schlussfolgerungen zu: Ausfallbedingte Abnahmen des geforderten β -Servicelevel können durch Einsatz einer Plattform kompensiert werden. Dabei wirken sich zunehmende Lieferzeiten der Plattform negativ und höhere Ausfalldauern positiv auf die erreichten Kompensationsraten der Plattform aus. Wenn die Ausfalldauer in der Größenordnung der Zunahme an Lieferzeit entspricht, erreicht die Plattform Kompensationslevel um 50%, übersteigt sie die zugenommene Lieferzeit um den Faktor 3, können Kompensationslevel von über 90% realisiert werden. Für eine vollständige Betrachtung des Einsatzpotenzials der Plattform müssen jedoch die Gesamtkosten betrachtet werden, die neben den durch das β -Servicelevel minimierten Kosten für Fehlmengen noch Lagerhaltungskosten, fixe Bestellkosten sowie die Gesamtheit aller Kosten für die Nutzung der Plattform (z.B. Nutzungsgebühren, höhere Stückpreise etc.) enthält. Die in der Studie errechneten durchschnittlichen Fehlmengen und durchschnittlichen Lagerbestände je Periode sind für diese Kostenermittlung universell einsetzbare, von den individuellen Kostenparametern der Unternehmen unabhängige Größen.

Ausgehend von Szenario 2 lässt sich sagen, dass in den untersuchten Parameterbereichen eine vollständige Kompensation der abgesenkten β -Servicelevel möglich ist. Dies gilt, wenn die mit Verzügen behafteten Bestellungen beim ursprünglichen Lieferanten mit Bestellungen von der Plattform ersetzt werden. Die Option der vollständigen Kompensation ist je-

doch aus kostentechnischer Sicht erst dann sinnvoll, wenn die durchschnittliche Verzugsdauer einen gewissen Wendepunkt überschreiten, ab dem die durch den Plattformeinsatz eingesparten Kosten für Fehlmengen die mit Plattformeinsatz einhergehenden erhöhten Lagerhaltungskosten übersteigen. Ziel weiterer Untersuchungen wird es sein die Punkte abzuleiten, ab welchen der Einsatz einer Plattform für den Störfall profitabel ist.

Im Rahmen der oben entstandenen Arbeit wurde ein Modell für das Bestandsmanagement entwickelt, um das Verhalten von Unternehmen im Wiederbeschaffungsprozess und zusätzlich im Zusammenspiel mit einer CM Plattform abzubilden. Als Vergleich hierzu wurde im Rahmen der Dissertation von Bergmann (2022) ein vergleichbares Modell entwickelt, welches das Problem der Wiederbeschaffung im Idealfall effizienter als herkömmliche Methoden lösen soll. Da die Dissertation noch nicht final veröffentlicht ist, darf dieser Abschnitt nur mit der Genehmigung der Autorin weiterverbreitet werden. Dafür wurde ein Reinforcement Learning Ansatz gewählt, welcher über die Wiederbeschaffungsmenge zu diskreten Zeitpunkten entscheidet.

Die in der Literatur als Wiederbeschaffungsproblem bekannte Frage, erstellt einen Wiederbeschaffungsplan für eine gewisse Anzahl an Perioden, in welchen jeweils Nachfrage in bestimmter Höhe auftritt. Die zugehörige Problemformulierung soll dabei die Zielvorgaben des Problems berücksichtigen und erstellt als Output eine Abfolge an Bestellungen zu den diskreten Zeitpunkten (Prestwich et al., 2012). Je nach Veröffentlichung können die Zielvorgaben unterschiedlich definiert sein, orientieren sich aber zumeist an den Supply Chain inherenten Kennzahlen wie verursachte Kosten oder Servicelevel (Axsäter, 2015; Arnold et al., 2008).

Ein Reinforcement Learning System auf der anderen Seite wird nach Sutton und Barto (2018) wie folgt definiert: Die *Policy* oder auch Handlungsanweisung eines Agenten wird im Zusammenspiel mit einer Trainingsumgebung trainiert, damit der Agent ein in der Umgebung modelliertes Problem möglichst gut lösen kann. Dafür nimmt der Agent den Zustand der Umgebung wahr und trifft auf dieser Basis die Entscheidung für eine Aktion. Diese Aktion wiederum führt zu einer Veränderung in der Trainingsumgebung und wird anhand der vorher festgelegten Zielvorgaben bewertet. Über viele Iterationen hinweg lernt der Agent über die Bewertung in Zusammenspiel mit dem Zustand und der getroffenen Entscheidung, welche Entscheidung in welchem Zustand als gut oder schlecht zu bewerten ist und passt so laufend seine *Policy* an. Die einzelnen Bestandteile basieren auf dem Markov'schen Entscheidungsprozess, welcher die theoretische Grundlage bildet.

Für die Modellierung des Wiederbeschaffungsproblems als Reinforcement Learning Ansatz, wird nun die Simulation einer Supply Chain als Trainingsumgebung gewählt, die Aktionen entsprechen den einzelnen Wiederbeschaffungsmengen und in der Bewertungsfunktion verbergen sich die Kosten wie Lagerhaltungs-, Bestell- und Strafkosten.

Auswertungen haben gezeigt, dass die Performance einer konventionellen Lagerhaltungspolitik übertrifft werden kann. Performance wird in diesem Fall durch reduzierte Kosten

sowie ein gleichbleibendes oder höheres Servicelevel definiert. Außerdem konnte gezeigt werden, dass ein einmal trainiertes Modell in einer Vielzahl von unterschiedlichen Gegebenheiten einsetzbar ist und damit als robust bezeichnet werden kann. Außerdem wurde das Modell an einer Reihe von Bosch Realdaten getestet, welche vielversprechend aussehen: im Gegensatz zur Realität konnte das mittlere Bestandsniveau um das 8,8-fache der mittleren Nachfrage gesenkt werden. Nichtsdestotrotz stehen weitere Tests anhand einer vollständigeren Datenbasis noch aus, um den Einsatz des Modells komplett bestätigen zu können.

4

Zusammenfassung und Ausblick

Das Projekt *Broker für dynamische Produktionsnetzwerke*, welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe betreut wurde, sah durch drastische Änderungen im Produktionsumfeld Handlungsbedarf. Zu diesen zählen unsichere und schwankende Nachfrage sowie hohe ausfallbezogene Kosten und die Nachfrage nach kleinen Losgrößen. Als Enabler-Technologien wurden auf der anderen Seite die *Industrie 4.0* sowie das Prinzip der Plattformökonomie identifiziert. Die Idee des Projekts lag in der Verknüpfung der genannten Herausforderungen mit den Enabler-Technologien, um so die Bildung kurzfristig verfügbarer und flexibler Supply Chains zu ermöglichen. Daher wurde eine digitale Plattform zur Vernetzung von Kapazitätsanbietern und -nachfragern entwickelt, deren Eintrittsbarrieren für Lieferanten gering sind und durch das Matchingpotential für beide Seiten attraktiv ist.

Die Projektpartner haben eine solche Plattform in verschiedenen Arbeitspaketen gemeinsam konzeptioniert. Der Gesamtprozess der Plattform sowie mögliche Geschäftsmodelle wurden als übergreifende Arbeitspakete auf der Grundlage eines gemeinsamen Datenmodells betrachtet. Das Matching sowie die Betrachtung der Anbindung von Anbietern und Nachfragern aus dem Transport- sowie Produktionsbereich mittels Transport bzw. Factory Host sind weitere Komponenten der Plattform. Die Entwicklung des Montageassistenten wurde in einem separaten Arbeitspaket betrachtet, um die Integration von Montagekapazitäten zu ermöglichen. Die Erkenntnisse des Projekts wurden in einzelnen Prototypen sowie in einem übergreifenden MVP umgesetzt und getestet. Zusammenfassend betrachtet, liefern die in diesem Bericht beschriebenen Konzepte und Prototypen einen Beitrag dazu, in welcher Form derzeit eine Umsetzung von *Industrie 4.0* über plattformbasierte Lösungen

gelingen kann, aber auch welche Forschungsgrundlagen zumindest aktuell noch Grenzen setzen.

Im Rahmen des Abschlusstreffens am 24.11.2021 haben sich Möglichkeiten und Ansätze ergeben, den DPNB über das Projektende hinweg weiterzuentwickeln. Zusätzlich hat sich gezeigt welche Einzelerkenntnisse aus dem Projekt durch die Partner weiterentwickelt und vielseitig eingesetzt werden können. Ziel ist diese Weiterentwicklung in einem neuem Projekt weiterzuführen, bei welchem der Fokus auf der Abbildung komplexerer Supply Chains liegt, sodass der in diesem Projekt angenommene Anwendungsfall der Blechbearbeitung erweitert werden kann.

Zusätzlich wurden in einem Impulsvortrag von Prof. Dr.-Ing. Furmans nochmals die Entwicklung von linearen Geschäftsmodellen hin zu digitalen Plattformen aufgezeigt. Dabei wurde eine mögliche Unterscheidung und auch Entwicklung von digitalen Plattformen anhand der Lese-, Schreib- und Ausführungsrechte betrachtet. Das Stichwort *Information Economy* fasst danach beispielsweise Suchmaschinen wie Google und Yahoo zusammen, welche Lesezugriff auf die jeweiligen Suchergebnisse geben. Unter *Platform Economy* wiederum werden Unternehmen wie facebook, youtube und uber verstanden, die sowohl Lese- als auch Schreibzugriff auf ihre Plattformprodukte ermöglichen. Jeder Nutzer von facebook kann beispielsweise Inhalte konsumieren und auch erstellen. Als bisher höchste Entwicklungsstufe wird die *Token Economy* genannt, welche zusätzlich die Ausführung ermöglicht, u.A. durch Smart Contracts oder Blockchain-Technologie. Die Entwicklungen des DPNB können in die Stufe der Platform Economy eingeordnet werden, bieten aber Möglichkeiten zur Erweiterung hin zur Token Economy durch die Anbindung von Maschinen und Planungssystemen. Es bleibt also auch auf dieser Ebene viel Spielraum für weitere Entwicklungen.

Literaturverzeichnis

- R. Alm, M. Aehnelt, und B. Urban. Plant@Hand. In B. Urban und T. Kirste, editors, *Proceedings of the 2nd international Workshop on Sensor-based Activity Recognition and Interaction*, pages 1–7, New York, NY, USA, 2015. ACM. ISBN 9781450334549. DOI 10.1145/2790044.2790057.
- L. Alting und H. Zhang. Computer Aided Process Planning: the state-of-the-art survey. *International Journal of Production Research*, 27(4):553–585, 1989. DOI 10.1080/00207548908942569.
- J. Alves, B. Marques, M. Oliveira, T. Araujo, P. Dias, und B. S. Santos. Comparing Spatial and Mobile Augmented Reality for Guiding Assembling Procedures with Task Validation. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)*, pages 1–6. IEEE, 2019. ISBN 978-1-7281-3558-8. DOI 10.1109/ICARSC.2019.8733642.
- D. Arnold, H. Isermann, A. Kuhn, H. Tempelmeier, und K. Furmans. *Handbuch Logistik*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2008. DOI 10.1007/978-3-540-72929-7.
- S. Axsäter. *Inventory Control*, volume 225. Springer International Publishing, Cham, 2015. ISBN 978-3-319-15728-3. DOI 10.1007/978-3-319-15729-0.
- L. Behrens und S. Wiesner. Empirische Studie zu dynamischen Produktionsplattformen: Potenziale für den Einsatz von dynamischen Plattformen während der COVID-19 Pandemie. *Industrie 4.0 Management*, 37(1), 2021. (AP 7).
- L. Bergmann. *Reinforcement Learning for Inventory Control in Supply Chains: An Approach towards Robust and Decentral Models*. Unveröffentlichte Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, 2022.
- L. Bergmann, J. Dümmel, und Y. Tang. Deriving Machining Processes from Technical Drawings: An Approach Motivated by Cloud Manufacturing Platforms Using Convolutional Neural Networks. *Industrie 4.0 Management*, 37(5):21–25, 2021. (AP 2).

- P. Bertram, M. Birtel, F. Quint, und M. Ruskowski. Intelligent Manual Working Station through Assistive Systems. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11):170–175, 2018. ISSN 2405-8963. DOI 10.1016/j.ifacol.2018.08.253.
- J. Blattgerste, P. Renner, B. Strenge, und T. Pfeiffer. In-Situ Instructions Exceed Side-by-Side Instructions in Augmented Reality Assisted Assembly. In *PETRA 2018*, ACM Digital Library, pages 133–140, New York, NY, USA, 2018. ACM. ISBN 9781450363907. DOI 10.1145/3197768.3197778.
- U. Blaurock, M. Schmidt-Kessel, und K. Erler. *Plattformen: Geschäftsmodell und Verträge*, volume 10 of *Schriften der Ernst von Caemmerer Stiftung*. Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, Baden-Baden, 1. auflage, 2018. ISBN 9783845292298. DOI 10.5771/9783845292298-1.
- A. Bochkovskiy, C.-Y. Wang, und H.-Y. M. Liao. Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection, 2020. URL <https://arxiv.org/abs/2004.10934v1>.
- Bosch Rexroth AG. Assistenzsystem ActiveAssist, 2020. URL <https://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/assembly-technology/news/activeassist-assistance-system/index>.
- E. Broda, D. Sayah, und M. Freitag. Angebotsplanung in dynamischen Produktionsnetzwerken/Quotation planning in dynamic production networks. *wt Werkstattstechnik online*, 111(03):147–151, 2021. ISSN 1436-4980. DOI 10.37544/1436-4980-2021-03-55. (AP 2 & 3).
- A. Broring, A. Ziller, V. Charpenay, A. S. Thuluva, D. Anicic, S. Schmid, A. Zappa, M. P. Linares, L. Mikkelsen, und C. Seidel. The BIG IoT API - Semantically Enabling IoT Interoperability. *IEEE Pervasive Computing*, 17(4):41–51, 2018. ISSN 1536-1268. DOI 10.1109/M-PRV.2018.2873566.
- C. Bubeck. *Cloud Manufacturing as an Event-based Rescheduling Instrument in Multi-Site Production Networks: Models, Algorithms and Analysis*. Unveröffentlichte Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, 2021.
- S. S. Chaudhry, S. T. McCormick, und I. D. Moon. Locating independent facilities with maximum weight: Greedy heuristics. *Omega*, 14(5):383–389, 1986. DOI 10.1016/0305-0483(86)90079-4.
- M. Dalle Mura und G. Dini. Augmented Reality in Assembly Systems: State of the Art and Future Perspectives. In S. Ratchev, editor, *Smart technologies for precision assembly*, volume 620 of *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, pages 3–22. Springer, Cham, 2021. ISBN 978-3-030-72631-7. DOI 10.1007/978-3-030-72632-4_1.

- DIN. DIN 8580:2003-09: Fertigungsverfahren - Begriffe, Einteilung. 2003. DOI 10.31030/9500683.
- J. Dümmel und L. Eger. Digitalisierung von Montageprozessen/Determination of potentials for the integration of assembly services into dynamic platforms. *wt Werkstattstechnik online*, 111(09):597–601, 2021. DOI 10.37544/1436-4980-2021-09-23. (AP 5).
- J. Dümmel, M. Hochstein, J. Glöckle, und K. Furmans. Effizientes Labeln von Artikeln für das Einlernen Künstlicher Neuronaler Netze. *Logistics Journal : Proceedings*, Vol. 2019, 2019. DOI 10.2195/LJ_PROC_DUEMMEL_DE_201912_01. (AP 5).
- J. Dümmel, V. Kostik, und J. Oellerich. Generating Synthetic Training Data for Assembly Processes. In A. Dolgui, A. Bernard, D. Lemoine, G. von Cieminski, und D. Romero, editors, *Advances in Production Management Systems. Artificial Intelligence for Sustainable and Resilient Production Systems*, volume 633 of *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, pages 119–128, Cham, 2021. Springer International Publishing. ISBN 978-3-030-85909-1. DOI 10.1007/978-3-030-85910-7_13.
- J. Dümmel und X. Gao. Object Re-Identification with Synthetic Training Data in Industrial Environments. In *Proceedings of the 27th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP)*. IEEE, 2021. in print. (AP 5).
- L. Eger. Data management of product-service systems within the order execution of a cloud-based manufacturing-as-a-service platform. *Computers in Industry*, 2022. in print. (AP 7).
- L. Eger und S. Wiesner. Entwicklung eines Frameworks für den Entwurf dynamischer Produktionsplattformen: Anwendung einer strukturierten Vorgehensweise beim Aufbau einer dynamischen Produktionsplattform. *Industrie 4.0 Management*, 37(5):39–43, 2021. (AP 7).
- L. Eger, K. Jousen, C. Schwarz, J. Höllig, T. Levy, und A. Kraus. Digitalisierung von Transportdienstleistungen - Untersuchung von Potenzialen zur Einbindung von Transportdienstleistungen in dynamische Plattformen. *Internationales Verkehrswesen*, 2022. in print. (AP 4, AP 7).
- J. Euzenat und P. Shvaiko. *Ontology matching*. Springer, Heidelberg and New York and Dordrecht and London, second edition, 2013. ISBN 978-3-642-38721-0. DOI 10.1007/978-3-642-38721-0.
- P. Fath und D. Sayah. jdecor pojo template. 2021. DOI 10.5281/ZENODO.5145105.
- F. Fraider. Integration einer Datenbrille in ein Montageassistenzsystem. Master's thesis, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, 2019.

- Fraunhofer. MonSiKo: Ein adaptives Assistenzsystem vereinfacht die Montage der Industrie 4.0, 2020. URL <https://www.ipa.fraunhofer.de/de/referenzprojekte/MonSiKo.html>.
- M. Gonzalez-Rodriguez, A. Vennesland, und S. Dalmolen. A common language for logistics services interoperability. In *2015 4th International Conference on Advanced Logistics and Transport (ICALT)*, pages 70–75. IEEE, 2015. ISBN 978-1-4799-8400-8. DOI 10.1109/ICAdLT.2015.7136595.
- D. Gors, J. Put, B. Vanherle, M. Witters, und K. Luyten. Semi-automatic extraction of digital work instructions from CAD models. *Procedia CIRP*, 97:39–44, 2021. ISSN 22128271. DOI 10.1016/j.procir.2020.05.202.
- I. Ham und S. C.-Y. Lu. Computer-Aided Process Planning: The Present and the Future. *CIRP Annals*, 37(2):591–601, 1988. ISSN 0007-8506. DOI [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60756-2](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60756-2).
- S. Hartmann und D. Briskorn. An updated survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 297(1):1–14, feb 2022. DOI 10.1016/j.ejor.2021.05.004.
- J. Hennes. Transport Optimization in Dynamic Production Networks. Master’s thesis, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, 2021.
- W. Hofman. Toward Large-Scale Logistics Interoperability Based on an Analysis of Available Open Standards. In K. Popplewell, K.-D. Thoben, T. Knothe, und R. Poler, editors, *Enterprise Interoperability VIII*, volume 9 of *Proceedings of the I-ESA Conferences*, pages 249–261. Springer International Publishing, Cham, 2019. ISBN 978-3-030-13692-5. DOI 10.1007/978-3-030-13693-2_21.
- M. Häusele. Entwicklung einer Ontologie im Logistikbereich und Anwendung auf Cloud Manufacturing Plattformen. Master’s thesis, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, 2020.
- A. Icks, C. Schröder, S. Brink, C. Dienes, und S. Schneck. *Digitalisierungsprozesse von KMU im Produzierenden Gewerbe*, volume Nr. 255 of *IfM-Materialien*. Institut für Mittelstandsforschung Bonn, Bonn, 2017. URL <http://hdl.handle.net/10419/156246>.
- IONOS Digitalguide. Was ist ein Crawler: Wie die Datenspinnen das Internet optimieren, 2021. URL <https://www.ionos.de/digitalguide/online-marketing/suchmaschinenmarketing/was-ist-ein-crawler/>.
- M. Jaekel. *Die Macht der digitalen Plattformen: Wegweiser im Zeitalter einer expandierenden Digitalosphäre und künstlicher Intelligenz*. SpringerLink Bücher. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2017. ISBN 9783658191788. DOI 10.1007/978-3-658-19178-8.

- A. Jentsch, N. C. Melcher, J. Gildemeister, D. Schellong, C. Höfer, P. Wiedenhoff, und J. Riedl. Why Road Freight Needs to Go Digital—Fast, 2018. URL <https://www.bcg.com/de-de/publications/2018/why-road-freight-needs-go-digital-fast>. zuletzt abgerufen am 14.12.2021.
- H. Kagermann, W. Wahlster, und J. Helbig. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0 – Securing the Future of German Manufacturing Industry: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, 2013. URL <http://digital.bib-bvb.de/webclient/DeliveryManager?pid=5744125>.
- K.-Y. Kim, D. G. Manley, und H. Yang. Ontology-based assembly design and information sharing for collaborative product development. *Computer-Aided Design*, 38(12):1233–1250, 2006. ISSN 0010-4485. DOI 10.1016/j.cad.2006.08.004.
- A. Kirmse, V. Kraus, M. Hoffmann, und T. Meisen. An Architecture for Efficient Integration and Harmonization of Heterogeneous, Distributed Data Sources Enabling Big Data Analytics. In *Proceedings of the 20th International Conference on Enterprise Information Systems*, pages 175–182. SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2018. ISBN 978-989-758-298-1. DOI 10.5220/0006776701750182.
- M. König, M. Stadlmaier, T. Rusch, R. Sochor, L. Merkel, S. Braunreuther, und J. Schilp. MA 2 RA - Manual Assembly Augmented Reality Assistant. In *2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, pages 501–505, Piscataway, NJ, 2019. IEEE. ISBN 978-1-7281-3804-6. DOI 10.1109/IEEM44572.2019.8978844.
- V. Kostik. Automatisierte Trainingsdatenerstellung von Bauteilen in CAD. Master’s thesis, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, 2019.
- LAP-Laser. Laserprojektion für alle Industrien, 2020. URL <https://www.lap-laser.com/de/produkte/kategorie/laserprojektion-in-der-industrie/>.
- B. Laugwitz, M. Schrepp, und T. Held. Konstruktion eines Fragebogens zur Messung der User Experience von Softwareprodukten. In H. M. Heinecke und H. Paul, editors, *Mensch und Computer 2006*. OLDENBOURG WISSENSCHAFTSVERLAG, München, 2006. ISBN 9783486841749. DOI 10.1524/9783486841749.125.
- O. Lehmberg, C. Bizer, und A. Brinkmann. WInte.r - a web data integration framework. *CEUR Workshop Proceedings*, 1963, 2017.
- Y. Liu und X. Xu. Industry 4.0 and Cloud Manufacturing: A Comparative Analysis. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 139(3), 2017. ISSN 1087-1357. DOI 10.1115/1.4034667.

- T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado, und J. Dean. Efficient estimation of word representations in vector space, 2013. URL <http://arxiv.org/abs/1301.3781v3>.
- M. Mohammadi, W. Hofman, und Y.-H. Tan. Seamless interoperability in logistics by ontology alignment: 104-117 Pages / Journal of Supply Chain Management Science, Vol 1 No 3-4 (2020): July 2020 / Journal of Supply Chain Management Science, Vol 1 No 3-4 (2020): July 2020 - December 2020. 2020. DOI 10.18757/jscms.2020.5444.
- Nguyen Quang Khue. Location-based web crawler for geotagged images retrieval. 2018. URL http://www.cs.joensuu.fi/pages/franti/sipu/pub/MSc_NgyuenKhue.pdf.
- S. Niedersteiner, C. Pohlt, und T. Schlegl. Smart Workbench: A multimodal and bidirectional assistance system for industrial application. In K. Ohishi und H. Hashimoto, editors, *IECON 2015 - Yokohama*, pages 002938–002943, Piscataway, NJ, 2015. IEEE. ISBN 978-1-4799-1762-4. DOI 10.1109/IECON.2015.7392549.
- F. E. Nowruzi, P. Kapoor, D. Kolhatkar, F. A. Hassanat, R. Laganieri, und J. Rebut. How much real data do we actually need: Analyzing object detection performance using synthetic and real data, 2019. URL <https://arxiv.org/abs/1907.07061>.
- C. Olston und M. Najork. *Web Crawling*. Now Publishers Inc, 2010.
- Optimum GmbH. Der Schlaue Klaus, 2020. URL <https://www.optimum-gmbh.de/produkte/der-schlaue-klaus>.
- M. Parente, G. Figueira, P. Amorim, und A. Marques. Production scheduling in the context of industry 4.0: review and trends. *International Journal of Production Research*, 58(17): 5401–5431, feb 2020. DOI 10.1080/00207543.2020.1718794.
- J. T. Pedersen. One Common Framework for Information and Communication Systems in Transport and Logistics: Facilitating Interoperability. In P. Golinska und M. Hajdul, editors, *Sustainable Transport*, pages 165–196. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2012. ISBN 978-3-642-23549-8. DOI 10.1007/978-3-642-23550-4_8.
- T.-A. Pham und Y. Xiao. Unsupervised Workflow Extraction from First-Person Video of Mechanical Assembly. In M. Kim und A. Balasubramanian, editors, *HotMobile'18*, pages 31–36, New York, NY, USA, 2018. ACM Association for Computing Machinery. ISBN 9781450356305. DOI 10.1145/3177102.3177112.
- Plattform Industrie 4.0. Fortschreibung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0 Ergebnisrapier, 2016. URL <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/fortschreibung-anwendungsszenarien>.

- J. Portisch, M. Hladik, und H. Paulheim. KGvec2go – Knowledge Graph Embeddings as a Service, 2020. URL <http://arxiv.org/abs/2003.05809v1>.
- S. D. Prestwich, S. A. Tarim, R. Rossi, und B. Hnich. A neuroevolutionary approach to stochastic inventory control in multi-echelon systems. *International Journal of Production Research*, 50(8):2150–2160, 2012. ISSN 0020-7543. DOI 10.1080/00207543.2011.574503.
- P. S. Rajpura, H. Bojinov, und R. S. Hegde. Object Detection Using Deep CNNs Trained on Synthetic Images, 2017. URL <http://arxiv.org/abs/1706.06782v2>.
- L. Ren, L. Zhang, L. Wang, F. Tao, und X. Chai. Cloud manufacturing: key characteristics and applications. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(6):501–515, 2017. ISSN 0951-192X. DOI 10.1080/0951192X.2014.902105.
- S. Richebächer. Enabling API Interoperability with Ontology Matching. Master’s thesis, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, 2021.
- D. Riemer, F. Kaulfersch, R. Hutmacher, und L. Stojanovic. StreamPipes: Solving the DEBS Challenge with Semantic Stream Processing Pipelines. In *Proceedings of the 9th ACM International Conference on Distributed Event-Based Systems*, pages 330–331, 2015.
- P. Ristoski und H. Paulheim. RDF2Vec: RDF Graph Embeddings for Data Mining. In P. Groth, E. Simperl, A. Gray, M. Sabou, M. Krötzsch, F. Lecue, F. Flöck, und Y. Gil, editors, *The Semantic Web – ISWC 2016*, volume 9981 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 498–514. Springer International Publishing, Cham, 2016. ISBN 978-3-319-46522-7. DOI 10.1007/978-3-319-46523-4_30.
- M. Sadeghi, P. Buchniček, A. Carenini, O. Corcho, S. Gogos, M. Rossi, und R. Santoro. SPRINT: Semantics for Performant and scalable INteroperability of multimodal Transport. In *8th Transport Research Arena TRA 2020*, pages 1–10. 2020. DOI 10.1145/2675743.2776765.
- T. W. Sandholm. Automated contracting in distributed manufacturing among independent companies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 11(3):271–283, 2000. DOI 10.1023/a:1008971326005.
- D. Sayah und S. Irnich. A new compact formulation for the discrete p-dispersion problem. *European Journal of Operational Research*, 256(1):62–67, Jan. 2017. DOI 10.1016/j.ejor.2016.06.036. URL <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.06.036>.
- A.-W. Scheer. *ARIS – Vom Geschäftsprozess zum Anwendungssystem*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, vierte, durchgesehene auflage, 2002. ISBN 9783642563003. DOI 10.1007/978-3-642-56300-3.

- J. Schumacher, M. Rieder, M. Gschweidl, und P. Masser. Intelligent Cargo – Using Internet of Things Concepts to Provide High Interoperability for Logistics Systems. In D. Uckelmann, M. Harrison, und F. Michahelles, editors, *Architecting the Internet of Things*, pages 317–347. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2011. ISBN 978-3-642-19156-5. DOI 10.1007/978-3-642-19157-2_12.
- Statista. Digitale Plattformen - Relevanz für Unternehmen in Deutschland 2019 | Statista, 04.07.2021. URL <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1063557/umfrage/relevanz-von-digitalen-plattformen-fuer-unternehmen-in-deutschland/>.
- R. S. Sutton und A. G. Barto. *Reinforcement learning: An introduction*. Adaptive computation and machine learning. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, second edition, 2018. ISBN 9780262039246.
- K. Täuscher und S. M. Laudien. Understanding platform business models: A mixed methods study of marketplaces. *European Management Journal*, 36(3):319–329, 2018. ISSN 0263-2373. DOI 10.1016/j.emj.2017.06.005.
- S. Thamm, L. Huebser, T. Adam, T. Hellebrandt, I. Heine, S. Barbalho, S. K. Velho, M. Becker, V. S. Bagnato, und R. H. Schmitt. Concept for an augmented intelligence-based quality assurance of assembly tasks in global value networks. *Procedia CIRP*, 97:423–428, 2021. ISSN 22128271. DOI 10.1016/j.procir.2020.05.262.
- X. Tian, R. Han, L. Wang, G. Lu, und J. Zhan. Latency critical big data computing in finance. *The Journal of Finance and Data Science*, 1(1):33–41, 2015. ISSN 24059188. DOI 10.1016/j.jfds.2015.07.002.
- A. Tuma. Configuration and coordination of virtual production networks. *International Journal of Production Economics*, 56-57:641–648, sep 1998. DOI 10.1016/s0925-5273(97)00146-1.
- Y. Wang und T. Peng. Speculations on the Market Evolution of Cloud Manufacturing. In *Proceedings of the ASME 11th international manufacturing science and engineering conference 2016*, New York, NY, 2016. The American Society of Mechanical Engineers. ISBN 978-0-7918-4990-3. DOI 10.1115/MSEC2016-8538.
- P. Wegner. Interoperability. *ACM Computing Surveys*, 28(1):285–287, 1996. ISSN 0360-0300. DOI 10.1145/234313.234424.
- S. Wiesner, L. Behrens, und J. Baalsrud Hauge. Business Model Development for a Dynamic Production Network Platform. In B. Lalic, V. Majstorovic, U. Marjanovic, G. von Cieminski, und D. Romero, editors, *Advances in Production Management Systems. Towards Smart*

- and Digital Manufacturing*, IFIP Advances in Information and Communication Technology, pages 749–757. Springer International Publishing, 2020. ISBN 978-3-030-57997-5. DOI 10.1007/978-3-030-57997-5_8a. (AP 7).
- H. Worch, R. Kaltenrieder, und B. Altuncevahir. Markteintrittsstrategien für Unternehmensplattformen, 2020. URL <https://www.ffhs.ch/de/ffhs/news/artikel/2020-01-24-markteintrittsstrategien-fuer-unternehmensplattformen>.
- P. Zehnder, P. Wiener, T. Straub, und D. Riemer. StreamPipes Connect: Semantics-Based Edge Adapters for the IIoT. In A. Harth, S. Kirrane, A.-C. Ngonga Ngomo, H. Paulheim, A. Rula, A. L. Gentile, P. Haase, und M. Cochez, editors, *The Semantic Web*, volume 12123 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 665–680. Springer International Publishing, Cham, 2020. ISBN 978-3-030-49460-5. DOI 10.1007/978-3-030-49461-2_39.
- X. Zhou, D. Wang, und P. Krähenbühl. Objects as Points, 2019. URL <https://arxiv.org/abs/1904.07850v2>.

Abbildungsverzeichnis

1	Logos der Projektpartner	5
2	Übersicht der Arbeitspakete	26
3	Onboardingprozess Literatur	31
4	<i>Use Case 0</i> : Onboarding	32
5	<i>Use Case 1</i> : Auftragserstellung	33
6	<i>Use Case 2</i> : Auftragsausführung	33
7	Sonderprozess: Reklamation	34
8	Gesamtarchitektur	36
9	Überblick über das Datenmodell für die Broker-Plattform	38
10	Stammdaten im Datenmodell für die Broker-Plattform	39
11	Ressourcen im Datenmodell für die Broker-Plattform	40
12	Anfrage, Angebot und Auftrag im Datenmodell für die Broker-Plattform	41
13	Datenmodell des MVP	42
14	Ausschnitt 1 des Klassendiagramms	44
15	Ausschnitt 2 des Klassendiagramms	44
16	Ontologie für den Transportprozess	45
17	Drag & Drop-Editor zum Erstellen der Prozesskette für die Anfrage	47
18	Datenmodell des Editors für das Requirements Engineering	48
19	Ablauf im Anwendungsfall <i>Use Case 1</i> (Broda et al., 2021)	50
20	Beispielprodukt im Anwendungsfall <i>Use Case 1</i> (Broda et al., 2021)	51
21	Beispiel: Prozesskette und Bearbeitungsangebote im VPN	53
22	Ablauf Transport-Service (Hennes, 2021)	54
23	Beispiel mit 4 Fahrten und korrespondierendem Konfliktgraphen	55
24	Datenqualität Kontrollzyklus.	58
25	Datenfluss im Transport Host.	59
26	Mapping Process nach Richebächer (2021).	60
27	Verteilte Infrastruktur.	61
28	Gesamtprozess des Assembly Assistant	64

29	Prozess des Assembly Sequencer	65
30	Prozess des Labeltool (Kostik, 2019)	66
31	Bildprojektion durch Beamer (links), Optische Transparenz durch Epson Mo- verio BT-35E (mittig) (Fraider, 2019) sowie durch Microsoft HoloLens 2 (rechts)	67
32	Kubernetes Architektur (Quelle: kubernetes.io, CC BY 4.0)	73
33	SFH Ökosystem Architektur (Quelle: Eigene Darstellung)	74
34	Architektur, einschließlich des Dienstes der DPNB-Plattform	79
35	Datenhierarchie	81
36	Framework für die Entwicklung einer dynamischen Plattform	83
37	Erster Prototyp des Frontends des MVP	88
38	Systemlandschaft des zweiten Prototypen	89
39	Zweite Version des Brokers mit Aufträgen	90
40	Details eines Auftrags in der zweiten Version des Brokers	90
41	Zielbild des MVP	91
42	Die Startseite für einen eingeloggten Benutzer	92
43	Ergebnisse des Web Crawler-Services für den Firmennamen "Bosch"	93
44	Eintragung der gewählten Firma in das Benutzerprofil	93
45	Neue Anfrage für 10 Mittelfachschiene	94
46	... und die weiteren Anforderungen für den Auftrag.	95
47	Übersicht der Anfrage	96
48	Der Auftrag im Broker, ergänzt um die modellierte Prozesskette, nun in der Angebotsphase, bereits mit erhaltenen Angeboten.	97
49	Angebote für den Prozessschritt Biegen.	97
50	Angebote für die Anfrage.	98
51	Buchung eines berechneten Angebots für die Anfrage.	98
52	Tracking für einen Auftrag	99
53	Trackingdetails für den Transport zwischen Stanzen und Biegen.	99
54	Der Auftrag ist ausgeliefert und abgeschlossen.	100
55	Übersicht über die im Rahmen des Projekts entwickelten Protoypen und MVPs	101
56	Microservice Architektur des Certificate Extractor	103
57	Funktionsweise des Product Extractors	105
58	Beispielhafter Durchlauf durch die Certificate Extractor Microservices	105
59	Ausschnitt aus dem Testset für die Certificate Extractor Microservices	106
60	Beispielhafte „bags of words“ für eine Website	107
61	Zuordnung der „bags of words“ in übergeordnete Produktkategorien und resultierende Accuracy	107
62	Beispiel eines Bauteils zur Evaluierung: eine Mittelfachschiene	108
63	Grundprinzip der im Rahmen der Untersuchung entworfenen privaten CM- Plattform (Bubeck, 2021)	110

64	Eingabe eines Produktionsauftrags (Bubeck, 2021)	111
65	Ausgabe der berechneten Lösungen (Bubeck, 2021)	112
66	Für die Versuche verwendete Baugruppe der Hubsenkvorrichtung	113
67	Sicht der Probanden inklusive projizierter Montageanweisung	114
68	Ergebnisse der Auswertung der Fragebögen zu den Versuchen. Mittelwerte als Kreuz dargestellt	115

Tabellenverzeichnis

1	Meilensteine im DPNB-Projekt	26
2	Terminplanung im Kick-Off-Treffen	27
3	Übersicht der durchgeführten Workshops	27
4	Ausgewählte Fertigungsverfahren im Broker	46
5	Übersicht der Nachfrager	108
6	Übersicht der Anbieter	109
7	Übersicht der Anwendungsszenarien	122