

Abschlussbericht



KI-WERK

KI-WERK - KI-gestützte WERTschöpfungsketten

Zuwendungsempfänger:

N+P Informationssysteme GmbH

CBA Synergy GmbH

Uni Leipzig, IMISE

Förderkennzeichen:

01IS20038A-C

Laufzeit des Vorhabens: **01.04.2021 – 31.03.2024**

Autoren:

Marco Vogel, Björn Schuster (N+P Informationssysteme GmbH)

Gerrit Raddatz (CBA Synergy GmbH)

Heinrich Herre (Universität Leipzig - IMISE)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01IS20038A-C gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangsbasis.....	2
1.1. Ursprüngliche Aufgabenstellung.....	2
1.2. Zielsetzung des Projekts	3
1.3. Wissenschaftlicher und technischer Startpunkt.....	3
1.4. Zusammenfassung der wesentlichen Projektergebnisse	5
1.4.1. N+P Informationssysteme GmbH	6
1.4.2. CBA Synergy GmbH.....	7
1.4.3. Uni Leipzig, IMISE	14
2. Detaillierte Ausführung.....	16
2.1. Ausführliche Darstellung der durchgeführten Arbeiten im Vergleich zur Vorhabensbeschreibung	16
3. Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	30
3.1. N+P Informationssysteme GmbH.....	30
3.2. CBA Synergy GmbH	30
3.3. Uni Leipzig, IMISE.....	31
4. Notwendigkeit und Angemessenheit der Projektarbeiten.....	31
4.1. N+P Informationssysteme GmbH.....	31
4.2. CBA Synergy GmbH	32
4.3. Uni Leipzig, IMISE.....	32
5. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit.....	33
5.1. N+P Informationssysteme GmbH.....	33
5.2. CBA Synergy GmbH	34
5.3. Uni Leipzig, IMISE.....	34
6. Fortschritte in Wissenschaft und Technik während der Projektlaufzeit	36
6.1. Lösungen aus dem Fachbereich	36
6.2. KI-Technologien	36
6.3. Ontologien und Semantische Netze	36
7. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen	37
7.1. Publiziert.....	37
7.2. Eingereicht	37
7.3. In Vorbereitung.....	37

1. Ausgangsbasis

1.1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Der Markt der auftragsorientierten Einzel- und Serienfertigung umfasst mehr als 50% der weltweiten Industrieproduktion. Die globalen Trends:

- Globalisierung
- Innerbetrieblichen Reduzierung der Fertigungstiefe (Leistungen werden ausgelagert)
- Verringerung der Losgrößen in der Produktion
- Individualisierung der Leistungsangebote (viele individuelle Kundenwünsche)
- Beschleunigung der Leistungserbringung (der Schnellere gewinnt)
- Zunehmenden Digitalisierung
- Anforderungen aus Industrie 4.0

fürten insbesondere in den letzten Jahren dazu, dass die auftragsorientierte Fertigung zunahm und immer mehr Unternehmen in die Wertschöpfung eingebunden werden. Damit erhöhen sich die Anforderungen an eine globale Koordination der Wertschöpfungsnetzwerke der auftragsorientierten Einzel- und Serienfertigung, die sich insbesondere in der Bildung mehrstufiger und variabler Wertschöpfungsnetzwerke ausdrückt.

Auftragsorientierte Wertschöpfungsketten sind viel komplexer und dynamischer als Wertschöpfungsketten der Massenfertigung und des Handels. Sie sind mehrstufig (gehen über mehrere Stufen der Wertschöpfung) und variabel (d.h. sind nicht vorher festgelegt). Die gewünschten Ergebnisse sind häufig nicht bekannte Produkte, sondern werden durch technische Anforderungen spezifiziert. Die auftragsorientierten Wertschöpfungsnetzwerke sind für jeden Auftrag über alle Phasen der Leistungserbringung neu abzugleichen. Dies verlangt einen umfangreichen Dialog zwischen allen beteiligten Akteuren der Wertschöpfungskette.

Es ist eine neue Kultur der kooperativen Wertschöpfung über Unternehmensgrenzen hinweg notwendig, die eine neue, agile Form der Abstimmungsprozesse und der Koordination der Wertschöpfung ermöglicht. Kritischer Erfolgsfaktor ist die Fähigkeit der beteiligten Unternehmen, entlang aller Phasen der Wertschöpfung verteilte (distribuierte) Problemlösungsprozesse mit internen und externen Akteuren einzugehen.

Ein sich hieraus ergebendes Wertschöpfungsnetzwerk setzt daher auf eine interaktive Beziehung zwischen den Unternehmen und ihren Zulieferern, Kunden und anderen Akteuren.

1.2. Zielsetzung des Projekts

Ziel des Förderprojektes war die Schaffung eines intelligenten Assistenzsystems zur Koordination mehrstufiger variabler Wertschöpfungsnetzwerke. Assistenzsystem bedeutet dabei, dass an vielen Stellen Analyse-, Strukturierungs-, Bewertungs- und Entscheidungsunterstützungsfunktionen bis hin zur teilautomatisierten Abstimmung der Wertschöpfungsnetzwerke entstehen werden, die die derzeitige manuelle Arbeit der Supply Coordinators, der Disponenten, Arbeitsvorbereiter, Projektleiter und des Vertriebsinnendienstes erleichtert, optimiert und beschleunigt.

Den beteiligten Unternehmen werden Wettbewerbsvorteile durch schnellere, sachlich fundierte und optimierte Leistungsangebote bei geringem bzw. handhabbarem Risiko und Einhaltung hoher Qualitätsstandards ermöglicht. Ausgehend von einer primären Anfrage (z.B. Kundenanfrage, Investitionsprojekt, Produktentwicklung) soll für die zwischen allen Partnern abgeglichene Wertschöpfungskette ein realistischer Projektplan generiert werden.

Hierbei sollten die Dynamik des Wertschöpfungsprozesses sowie die Rahmen- und Nebenbedingungen beachtet und alle beteiligten Akteure eingebunden werden. Die sich hieraus ergebende Forschungsfrage ist, ob und vor allem wie unternehmensübergreifende, auftragsbezogene Wertschöpfungsnetzwerke durch eine cloud basierten Koordinationsalgorithmus weitgehend automatisch abgeglichen werden können und dadurch eine neue Qualität der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit geschaffen werden kann.

1.3. Wissenschaftlicher und technischer Startpunkt

Für die im Vorhaben behandelte Aufgabenstellung bieten derzeit etablierte IT-Technologien wie z.B. ERP-oder SCM-Systeme nur sehr geringe Unterstützung. Zudem sind ERP- und SCM-Systeme für die Nutzung in einem Unternehmen zugeschnitten. Ihre internen Strukturen sind nicht an unternehmensübergreifenden Aufgaben ausgerichtet.

Eine Lösung der wichtigsten Aufgaben unserer Zeit bezüglich Lieferketten, nämlich

- die bessere Koordination von Lieferketten,

- die Erhöhung der Resilienz und
- die Schaffung von Nachhaltigkeit

kann nicht in einem Unternehmen allein geleistet werden. Es sind mehrstufige Lieferketten über Unternehmensgrenzen hinweg zu betrachten. Es erfordert eine neue Kultur der Zusammenarbeit. Es kommt nicht nur auf Informationsaustausch an, sondern um den Abgleich von Sachverhalten, um Probleme und Engpässe zu beseitigen und eine allgemeine Optimierung der Zusammenarbeit zu erreichen. Die ist nicht mit Daten-Transfer-Protokollen zu lösen, sondern erfordert andere Formen der Zusammenarbeit.

Die Komplexität der Aufgabenstellung ist so hoch, dass derzeit selbst mit modernen KI-Technologien keine Lösungen zu erwarten sind. Hauptgründe dafür sind, dass

1. das verfügbare Wissen hauptsächlich in fachlicher und nicht in derzeit maschinell verarbeitbarer Form vorliegt
2. fachliches Wissen aus vielen Quellen unterschiedlichster Struktur benötigt wird
3. derzeit die Wissensqualität von fachlichen Wissensquellen nicht bewertet und daher bei der Problemlösung nicht berücksichtigt werden kann
4. es derzeit noch keine guten Mechanismen zur Bewertung des Risikos einer Entscheidung gibt.
5. die KI die notwendigen Abstimmungsprozesse (Lösungsfindung durch aufeinander zugehen) noch nicht beherrscht, weil dazu die Grenzen des vorhandenen Wissens überschritten werden müssen.
6. die Ansätze der KI sich noch nicht der Aufgabe gestellt haben, Problemlösungen zu operationalisieren.

Erst die Beherrschung dieser Aspekte ermöglicht die (teil-)automatische Lösung von mehr als 80% der Anfragen mit hinreichender Problemlösungs- und Entscheidungsgüte und schafft damit eine Akzeptanz in der Industrie. Das hier vorgestellte Vorhaben nimmt sich dem an und beabsichtigt, innovative Lösungsansätze zu erforschen und umzusetzen.

1.4. Zusammenfassung der wesentlichen Projektergebnisse

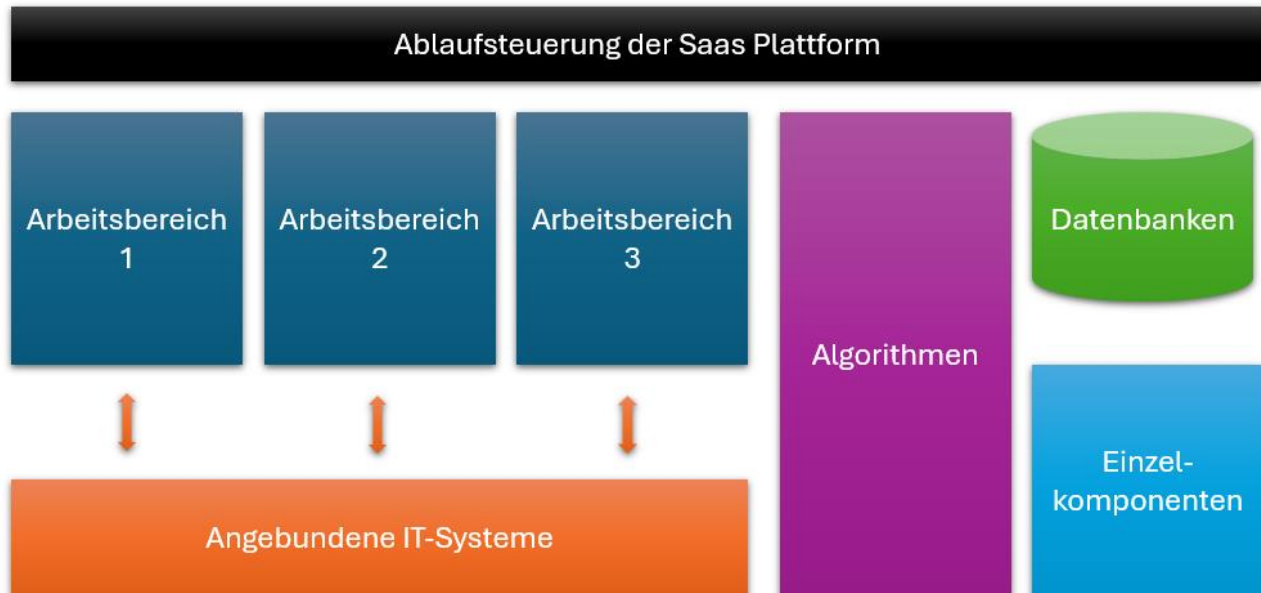


Abbildung 1: Schema der Entwicklung

Dem Lösungsansatz liegt ein allgemeingültiges logistisches Fachmodell zugrunde. Demnach wird jede Anfrage, jedes Angebot, jeder Auftrag etc. durch folgende Eigenschaften beschrieben:

- das Produkt bzw. die zu erbringende Leistung
- die Menge
- den Preis
- den Termin
- den Lieferort

Diese Variablen werden auf jeder Ebene des Problemlösungsbaumes unifiziert, d.h. die Passfähigkeit zwischen Anfrage und Angebot verifiziert bzw. hergestellt. Dazu sind wesentliche Erweiterungen gegenüber bekannten Problemlösungsalgorithmen notwendig, die nachfolgend kursiv gekennzeichnet werden.

Die Leistung wird über eine Produktnummer für eindeutig spezifizierte Leistungen oder eine Pseudo-Produktnummer mit zusätzlicher Anforderungsbeschreibung spezifiziert. Pro (Pseudo-)Produktnummer, Unternehmen und Standort wird in einem Parameter spezifiziert, welche der nachfolgenden Lösungsmöglichkeiten existieren. Damit kann der Durchlauf durch den Problemlösungsbaum wesentlich einfacher strukturiert werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die im Rahmen des Projekts KI-WERK durchgeführten Vorarbeiten und Konzeptentwicklungen von großer Bedeutung für die Digitalisierung im Mittelstand sind. Die entwickelten Lösungen bieten flexible und anpassungsfähige Schnittstellenlösungen, die die Integration von ERP-Systemen in bestehende Produktionsumgebungen ermöglichen. Dies führt zu einer höheren Transparenz und Effizienz in der Produktion und ermöglicht eine bessere Planung und Steuerung der Produktionsprozesse.

Die entwickelten Konzepte und Lösungen sind besonders relevant für mittelständische Unternehmen, die oft über begrenzte Ressourcen verfügen und daher auf effiziente und kosteneffiziente Lösungen angewiesen sind. Die im Rahmen des Projekts durchgeführten Analysen und Entwicklungen bieten wertvolle Einblicke und Handlungsempfehlungen für die erfolgreiche Implementierung und Nutzung von ERP-Schnittstellenlösungen im Mittelstand.

1.4.1. N+P Informationssysteme GmbH

Das Projekt KI-WERK hat im Rahmen mehrerer Arbeitspakete bedeutende Fortschritte erzielt. Im Kontext der technischen Voruntersuchungen und Anforderungserhebungen (AP2) wurden technische Voruntersuchungen und Anforderungserhebungen durchgeführt. Dabei wurden Projektvorstellungen bei sechs LOI-Partnern vor Ort präsentiert und Prozessbefragungen vorbereitet und durchgeführt.

Diese Befragungen umfassen die Analyse von Einkaufsprozessen bei vier LOI-Partnern. Die Methodik wurde konsolidiert, und es wurden Fragebögen sowie ein Workshop-Konzept zur Prozessbefragung entwickelt. Zudem wurden Synergien zwischen den bestehenden Plattformen von N+P und cb applications analysiert und abgestimmt. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Analyse und Anforderungsaufnahme für die ERP-Anbindung. Eine externe Marktstudie im Bereich der Zukunft von Manufacturing Execution Systemen (MES) wurde geplant und abgestimmt, um die Integration von Lieferketten zu verbessern.

Im Arbeitspaket AP4 wurden Vorarbeiten und Konzeptentwicklungen für ein ERP-Schnittstellensystem durchgeführt. Es wurden Konzepte zur Integration von ERP-Systemen für die Anreicherung des digitalen Informations-Zwillings von smarten Produkten entwickelt. Eine virtualisierte Testumgebung wurde installiert und konfiguriert, um den Projektpartnern die Nutzung zu ermöglichen. Zudem wurden erweiterte Schnittstellen-Konzepte und Umsetzungen für die Multi-ERP-Integration, beispielsweise

mit SAP und APplus, für das MES entwickelt. Ein Konzept zur Konsolidierung der technischen Basis von ERP-Schnittstellen wurde ebenfalls erarbeitet.

Das Arbeitspaket AP5 konzentrierte sich auf die Entwicklung von Ontologien für den Anforderungs-, Bewertungs- und Entscheidungsprozess. Es wurden Workshops zur Beschreibung technischer Systeme durchgeführt und Konzepte sowie Anwendungsmöglichkeiten von Ontologien und dem Semantic Web für N+P-Entwicklungen, insbesondere im Bereich des digitalen Zwillings, erarbeitet. Diese Arbeiten standen in enger Verbindung zu den Tätigkeiten in den Arbeitspaketen AP2 und AP6.

Im Arbeitspaket AP6 wurde ein Konzept zur Einrichtung und Bereitstellung eines durchgängigen Pilot- und Testsystems entwickelt. Dieses System sollte als Grundlage für Gespräche mit potenziellen Kunden dienen und wurde unter anderem auf der Fachmesse Intec im März 2023 vorgestellt. Es wurden erweiterte Konzepte und Prototypen für den digitalen Zwilling im Kontext des Maschinen- und Anlagenbaus entwickelt. Zudem wurde eine durchgängige Systemumgebung zur ERP-PDM/PLM-MES-Integration bereitgestellt. Neuartige Schnittstellen im Kontext MES, einschließlich der Multi-ERP-Integration, wurden erprobt und pilotiert.

Das Arbeitspaket AP7 konzentrierte sich auf die Ergebnisintegration zum Prototyp und die Fehlerbeseitigung. Die prototypischen KI-WERK-Ansätze wurden bei mittelständischen N+P-Bestandskunden vorgestellt, und entsprechendes Feedback wurde eingeholt. Es stellte sich heraus, dass eine große Herausforderung darin besteht, die notwendige digitale Basis zu schaffen, um die erarbeiteten Ansätze anwenden zu können. Dies erfordert eine digitale Durchgängigkeit und einen entsprechenden Reifegrad der digitalen Transformation, insbesondere die Verknüpfung der Shopfloor- und MES-Daten mit den ERP-Systemen.

1.4.2. CBA Synergy GmbH

Die Projektergebnisse der CBA Synergy GmbH beziehen sich schwerpunktmäßig auf zwei Bereiche:

- das Anforderungs-Management zur Definition der zu erbringenden Leistung
- das Lieferketten-Management.

Im Bereich Anforderungsmanagement wurden folgende wesentliche Projektergebnisse erbracht:

Zusammen mit dem IMISE wurden Ontologien technischer Systeme für die Beschreibung von Anforderungen untersucht. Dabei haben sich verschiedene Standard-Ontologien als potenzielle Basis für die weitere Arbeit herauskristallisiert. Die untersuchten Standard-Ontologien stellen die Beschreibung technischer Systeme sicher. Ihnen fehlt jedoch die Möglichkeit, den Informationsentstehungsprozess innerhalb der Produktentwicklung abzubilden, weil stets auf existierende technische Systeme abgestellt wird. Somit können sehr wichtige Teile des Anforderungsmanagement (das eine Vorstufe im Produktentwicklungsprozess darstellt) nicht abgebildet werden, ebenso nicht die praxisrelevanten Themen wie Digitaler Zwilling.

Im Gegensatz dazu beinhalten CAD-Systeme und BIM (Bauwesen) eine Systematik, die einer Ontologie gleichzusetzen und praxiserprobt ist. Vielversprechende Ansätze bietet auch ManufacturingX. Die bestehenden IT-Systeme und ihre Systematiken werden bei der Bildung von Ontologien viel zu wenig berücksichtigt. Viele der in den Ontologien erst zu beschreibende Funktionalitäten sind bereits implementiert. Es sieht derzeit danach aus, als ob die wissenschaftliche Welt der Ontologien noch nicht mit der praxiserprobten Welt existierender IT-Systeme zusammengefunden hat. Dies wäre jedoch ein wichtiger Schritt, um zu praxisorientierten Sprach- und Textanalysen mit Ontologien und damit zu einer semantischen Bewertung technischer Sachverhalte zu kommen.

Dennoch konnten Ontologien zur Unterstützung des Suchverhaltens (Such-Ontologien) genutzt werden, um die Relevanz und Treffsicherheit der Suchergebnisse zu erhöhen.

Aufgrund der nicht so positiven Erkenntnisse mit Ontologien wurde das SemanticWeb untersucht und auch prototypisch angebunden. Es stellte sich schnell heraus, dass es eine große Menge unabhängig voneinander entstandene Wissensbasen des Semantic Web gibt, von denen keine unsere Informationsbedürfnisse auch nur annähernd allein befriedigen konnten. Deshalb musste erst eine Technologie zur Wissensintegration entwickelt werden, die zu einer eigenen integrierten Wissensbasis führte, die permanent manuell aktualisiert und überprüft werden muss. Dies ist für den praktischen Einsatz ein großes Hindernis. Die größten Probleme bestanden darin, die auf unterschiedlichen Systematiken basierenden Wissensfragmente semantisch in Überdeckung zu bringen. Diese Aufgabe überstieg den Scope des KI-WERK-Projektes bei Weitem.

Im Weiteren wurde am Beispiel von ChatGPT die Nutzung generativer KI untersucht. ChatGPT ist eine fantastische Technologie zum Wissensmanagement, basiert auf Musteranalysen und kann damit keine semantischen Zusammenhänge in einer IT-

technisch weiter verarbeitbaren Form zur Verfügung stellen. Praktische Ergebnisse haben gezeigt, dass ChatGPT sehr allgemeine Aussagen mit einer Wissensgüte von bis zu 80% (betrachtet werden Relevanz, Wahrheitsgehalt, Vollständigkeit und Aktualität) erreicht, sodass die Ergebnisse für unsere Zwecke in jedem Falle durch einen Menschen begutachtet und verarbeitet werden müssen.

Resümee: Ontologien, Semantic Web und ChatGPT sind wissenschaftliche Ansätze und Technologien, die faszinierend sind und einen wichtigen Beitrag zum Thema Anforderungsanalyse leisten, aber noch keine Reife aufweisen, bei der die Ergebnisse automatisch weiterverarbeitet werden können. Wir sind also nach wie vor auf die menschliche Mitarbeit angewiesen.

Für die Anforderungsanalyse wurde eine Struktur erarbeitet und prototypisch implementiert, die auf der einen Seite die bekannten Ansätze (Anforderungsstrukturbaum) mit Mitteln der KI verbindet. Anforderungen werden in Form einer Hierarchie definiert und sind damit semantisch selbsterklärend. Neu ist die KI-gestützte Bewertungsanalyse des Anforderungserfüllungsgrades einer konkreten Lösung. Dazu werden an den Blättern des Anforderungsstrukturbaumes konkrete Bewertungskriterien definiert, die eine teilautomatische Bewertung ermöglichen.

Zusammenfassung Anforderungen **Anforderungsstruktur** Auswertung

ZURÜCK AN NUTZER UNTERSETZEN ANFORDERUNGEN VALIDIEREN

- ▷ 😊 kommerzielle Anforderungen
- ▲ 😊 technische Anforderungen
 - ▲ 😊 funktionale Anforderungen
 - ▲ 😊 Leistung
 - ▷ 😊 Anzahl und Größe der Silos
 - ▷ 🚫 😊 Maximale Backtemperatur
 - ▷ 🚫 😊 Maximale Außentemperatur
 - ▷ 🚫 😊 Durchlaufzeiten
 - ▷ 😊 Anzahl Rezepturen
 - ▷ 😊 Abmaße
 - ▷ 😊 Kapazität des Rührwerks
 - ▷ 😊 Handhebbarkeit
 - ▷ 😊 Sicherheit
 - ▷ 😊 Anforderungen an Innovation
 - ▷ 😊 Anforderungen an Nachhaltigkeit
 - ▷ 😊 betriebliche Anforderungen
 - ▷ 😊 Anforderungen an Entsorgung

Anforderung

Anzahl Rezepturen

Beschreibung

Es sind mindestens 100 verschiedene Rezepturen zu bearbeiten.

Wichtigkeit **Mindest-Bewertung**

Antworten

Wie viele Rezepturen können gespeichert und verarbeitet werden?

Beschreiben Sie bitte die Art und Weise der Erfüllung der Anforderung.

▷ Details

▷ Bewertungskriterien

Abbildung 2: Anforderungsstruktur

Die Bewertung durch den Anforderer kann auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen

- a. Durch automatisierte Bewertung bei einer Auswahl von Alternativen durch direkte Zuweisung der Bewertung zu der Alternative
- b. Durch automatisierte Bewertung analoger Größen analog eines Neurons (Neuronale Netze) mit Wichtungsfaktoren, Schwellwerten und Zugehörigkeitsfunktionen
- c. Durch manuelle Bewertung von Experten oder Teams über Umfragen

Alle drei Möglichkeiten sind dadurch gekennzeichnet, dass sie

1. alle Eigenschaften eines Neurons (analog Neuronale Netze) in sich vereinen
2. semantisch selbsterklärend sind, d.h. nicht über eine Erklärungskomponente erklärt werden müssen
3. durch Experten oder vorhandenes Wissen sinnvoll vorbelegt werden können, sodass das System sofort einsatzfähig ist, und nicht aufwändig angelernt werden muss.
4. lernfähig sind, d.h. ihre Eigenschaften durch Hinzufügen neuer Anwendungsfälle anpassen

Durch diese Struktur können die verschiedenen Antwortformen einheitlich behandelt werden. Sie werden zur Verdichtung im Anforderungsstrukturbaum wiederum mit einer einem Neuron vergleichbaren Systematik miteinander verrechnet.

Die prototypisch implementierte Lösung für das Anforderungs-Management kann als frei definierbares hierarchisches Neuronales Netz interpretiert werden, dass im Eingangsvektor neben analogen Eingangsgrößen auch diskrete Werte und menschliche Information zulässt, selbsterklärend und lernfähig ist. Bei der Anwendung des Anforderungsstrukturbaumes auf unterschiedliche Lösungsansätze ergibt sich ausgangsseitig ein Ausgabevektor wie bei klassischen neuronalen Netzen. Die verschiedenen Lösungsansätze können objektiv miteinander verglichen werden und stellen damit eine wichtige Basis für die Entscheidungsfindung dar.

Zusammenfassung	Anforderungen	Anforderungsstruktur	<u>Auswertung</u>
	Lösung		Angebotspreis (netto)
	Anbieter		Liefertermin
			Anforderungs-Erfüllung
			Bewertung
■	BM3400		156.020,00
	Backmaschinen GmbH Graz		1.11.2023
■	Backstraße Melzer		134.520,30
	Bäckereimaschinenbau Melzer GmbH & Co. KG		30.11.2023
■	Roggenmischbrot-Anlage		123.998,00
	Werner & Pfeleiderer Industrielle Backtechnik GmbH		17.11.2023



Abbildung 3: Auswertung

Die Handhabung der prototypisch implementierten Lösung ist so einfach, dass sie von Fachleuten in der Praxis einfach beherrschbar ist. Sie implementiert die Zusammenarbeit als digitalen Prozess zwischen Anforderern und Leistungsanbietern in einer fairen, kommunikativen Art und Weise.

Im Bereich Lieferketten-Management wurden folgende wesentliche Projektergebnisse erbracht:

- Problemlösungsbäume für Lieferketten können entsprechend der im Antrag vorgestellten Systematik dynamisch gebildet werden. Dazu werden Informationen aus Stücklisten und Arbeitsplänen benötigt, die in der Regel vorhanden sind.
- In der Diskussion mit den Praxispartnern hat sich ergeben, dass in vielen Fällen nicht jedes Mal neue Strukturen für Problemlösungsbäume gebildet werden müssen, sondern dass Problemlösungsbäume pro Produktgruppen als Template abgelegt und pro Auftrag instanziiert werden können. Dies vereinfacht und beschleunigt nicht nur den Aufbau der Problemlösungsbäume, sondern führt auch dazu, dass neben Unternehmen mit Einzel- und Serienfertigung auch Unternehmen mit Massenfertigung in die Systematik eingebunden werden können (Erweiterung des Anwendungsgebietes).

- Die Simulation der Problemlösungsbäume hat sich entsprechend der im Antrag vorgestellten Systematik prototypisch mit gutem Erfolg durchsetzen lassen.

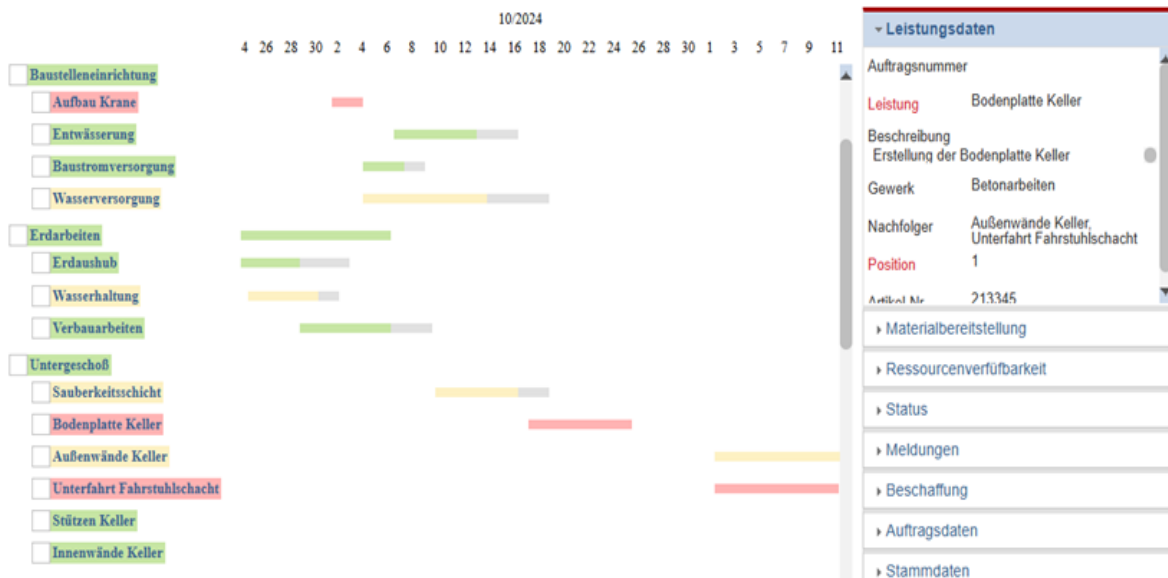


Abbildung 4: Simulation der Problemlösungsbäume

- In der Zusammenarbeit mit den Praxispartnern hat sich jedoch ergeben, dass die Datenbeschaffung komplizierter ist als gedacht. Dies betrifft nicht nur wie erwartet die Ist-Werte (Lieferungen, Verfügbarkeiten, ...), sondern leider auch die vorbereitenden Prozesse. Praxispartner berichteten uns, dass schon bis zu 70% der Anfragen und Bestellungen nicht zu rechtzeitigen Antworten (Angebote, Bestellbestätigungen) führen und das zugesagte Liefertermine nicht wirklich geprüft sind, sondern einfach die Kundenwunschtermine übernommen werden. Dies gilt unabhängig vom Übermittlungsweg (EDI, E Mail, Fax, Brief, ...). Hier muss erst einmal die Datenqualität hergestellt werden, um die Simulation der Problemlösungsbäume zu sinnvollen Ergebnissen zu führen.
- Dieser Umstand hat dazu geführt, dass für das Lieferketten-Management eine neue Komponente eingeführt wurde – die Lieferketten-Kommunikation. Sie funktioniert wie E-Mail-Marketing-Kampagnen und beinhaltet nach der Übersendung der eigentlichen Information Erinnerungs-Mails, Landing-Pages für Antworten, Bestätigungs-Mails, Bearbeitungsaufgaben und Eskalationen.

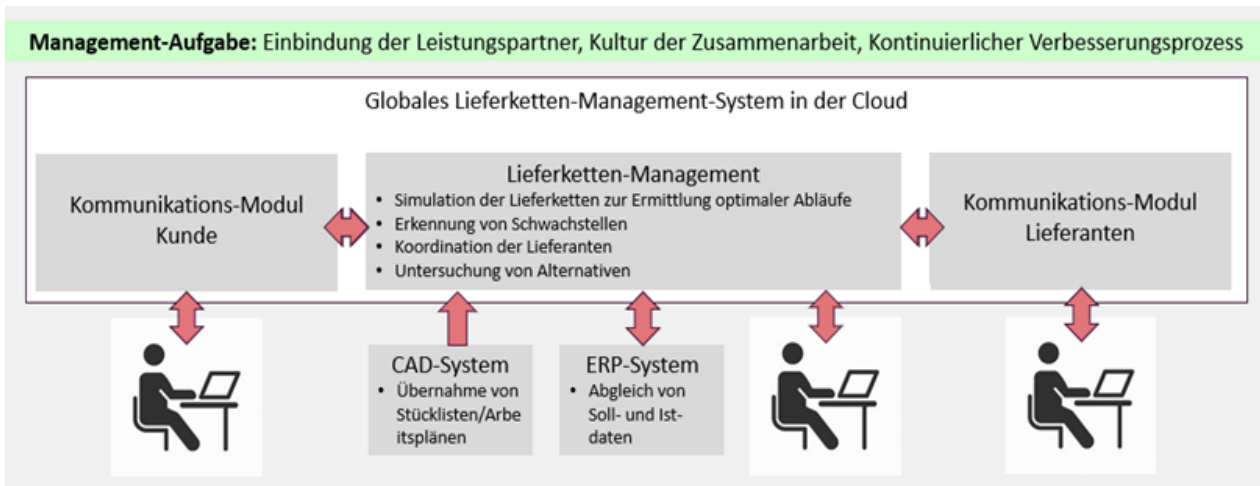


Abbildung 5: Lieferkettenkommunikation

Die prototypisch implementierte Lösung für das Lieferketten-Management entspricht nach der Ergänzung um das Lieferketten-Kommunikations-Modul den im Antrag vorgesehenen Funktionalitäten und entspricht nach Abstimmung mit den Praxispartnern deren Anforderungen.

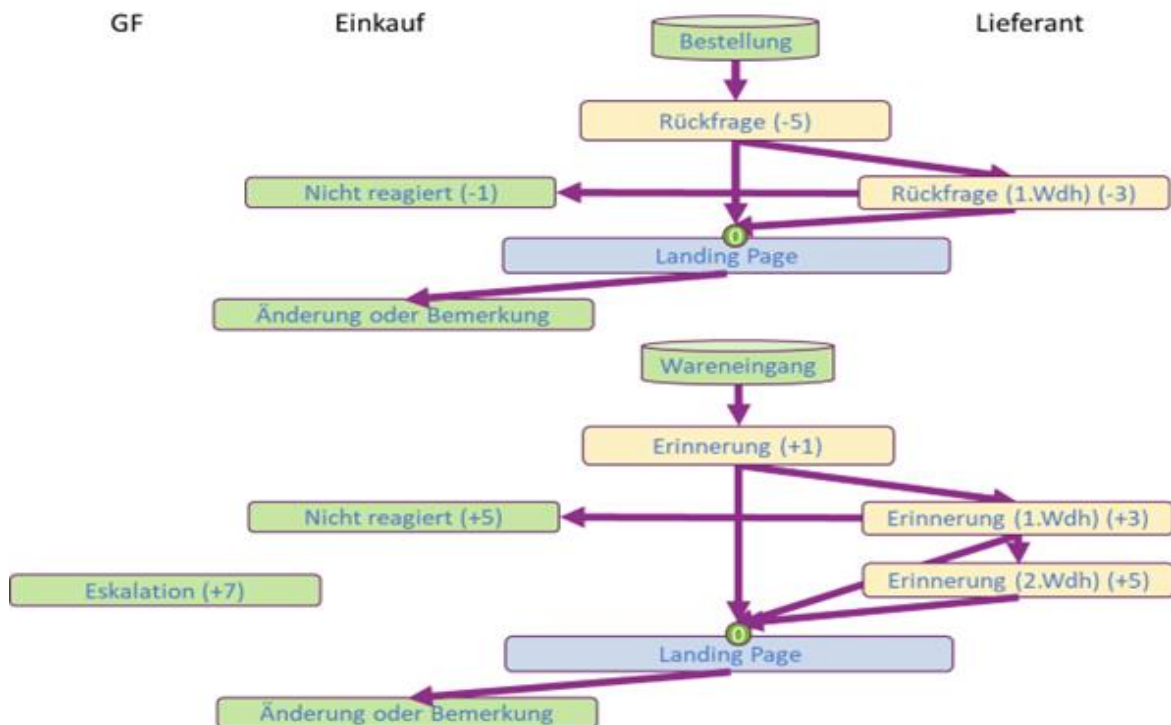


Abbildung 6: Workflow

1.4.3. Uni Leipzig, IMISE

Der Schwerpunkt der Arbeiten des IMISE bezieht sich auf die Entwicklung eines ontologischen Frameworks zur Modellierung und Spezifikation von Produktgruppen und Anforderungen. Es wurden verschiedene Techniken aus verschiedenen Anwendungsbereichen analysiert (NLP, Wissensquellen, Ontologien, Standards). Außerdem wurden Azure Cognitive Services genauer auf Eignung untersucht und ausgewertet. Die Syntax der Cognitive Search wurde analysiert und die Methodik der Search Ontology vermittelt. Dadurch wurde es möglich, den Partner in die Methodik der Search Ontology einzuführen, der Partner konnte darauf aufbauend die Search Ontology relativ unkompliziert einbauen. Diese wurde in einer Kooperation mit Frau Prof. Linke genutzt.

Es wurden Features und Attribute untersucht, die für die ontologische Beschreibung von Industrieprodukten grundlegend sind. Darauf aufbauend wurde eine Recherche zum Stand der Technik für die Modellierung von Industrieprodukten und Lieferketten durchgeführt. Für die Entwicklung einer Kern-Ontologie für Industrieprodukte wurde eine Recherche durchgeführt und der Industriestandard CPM (Core Product Model) von NIST (National Institute for Standardization) ausgewählt. Die Kern-Ontologie beschreibt Artefakte, welche bestimmte Eigenschaften, wie z.B. Form oder Funktion haben und Anforderungen an diese bestimmten Eigenschaften erfüllen. Aufbauend auf dieser Kernontologie wurde ein relationales DB-Schema entwickelt, welches diese Kernontologie umsetzt. Zusätzlich wurde in das relationale DB-Schema eine einfache Prüfung der Widerspruchsfreiheit eingebaut.

Ferner wurde die Unit-Measure Ontologie untersucht und geprüft, wie man sie einsetzen kann, um eine Validierung der Anforderungsanalyse zu unterstützen. Als Resultat ergab sich, dass die von der NASA ursprünglich entwickelte Ontologie QUDT ein guter Kandidat ist. Basierend darauf wurde untersucht, wie man diese benutzen kann, um die spezifizierten Maße eines materiellen Objekts bzw. Artefakts, bzw. genauer eines Industrieprodukte validieren zu können. Aufgrund der Ausrichtung der Projektpartner auf relationale Modelle wurde ein reduziertes relationales Schema analog zu einer Unit-Measure Ontologien erarbeitet mit dem Fokus auf Validierung dimensionaler Eigenschaften.

In Kooperation mit dem Industriepartner wurden verschiedene Zuarbeiten geleistet. Zu diesen Arbeiten gehörten:

- Planung, Aufbau und Nutzung einer Indexer-Infrastruktur mittels MS Azure,
- mehrere Recherchen in Tool-Dokumentation,
- Tests für Umsetzung von Indexern, etc.
- Vorbereitung und Umsetzung von Workshops (Themen: Semantic Web und Linked Data) für CBA,
- die Erarbeitung eines prototypischen Lastenhefts als Grundlage für die Formalisierung von Anforderungen,
- die Einarbeitung in die Compendio-Software von CBA
- Durchführung eines kleinen Workshops mit Feedback zwecks Benutzerführung bzgl. Wissensmanagement
- Unterstützung beim Projektmanagement und der Organisation von Meetings.

Die Untersuchung von Features und Attributiven fortgesetzt, die für die ontologische Beschreibung von Industrieprodukten grundlegend sind. Hierbei wurde ein Zusammenhang zu der GFO-Datenontologie hergestellt. Es hat sich gezeigt, dass der Begriff eines Features umfassender ist, als der bisher zugrunde gelegte Begriff eines Attributivs (Eigenschaft). Ebenso wurde an der ontologischen Fundierung des Begriffs einer Anforderung gearbeitet.

Die Präzisierungen der Begriffe der Vollständigkeit und Widerspruchsfreiheit einer Anforderungsspezifikation, sowie die Entwicklung einer Ontologie, die diese Begriffe mit der inhaltlichen Beschreibung einer Anforderungsspezifikation zusammenführt, ist eine komplexe Aufgabe, die im Berichtszeitraum untersucht wurde. Die Resultate dieser Untersuchungen werden in zwei Publikationen zusammengefasst und publiziert. Es lässt sich einschätzen, dass die bisherigen Ergebnisse das wissenschaftliche Hauptresultat seitens des IMISE sind.

Der Nachweis der Widerspruchsfreiheit einer Anforderungsspezifikation verwendet formale Systeme. Hierzu wurden Theorembeweiser bzw. Owl-Reasoner untersucht und auf ihre Pra-xistauglichkeit getestet. Das Resultat dieser Untersuchung wurde inzwischen publiziert (<https://arxiv.org/abs/2309.06888>). Weitere Untersuchungen beziehen sich auf die Analyse und Recherche von Ontologien aus dem Bereich Industrie 4.0.

Die Ergebnisse wurden in verschiedenen Dokumenten zusammengefasst. Die Dokumente werden im Einzelnen aufgeführt.

Das IMISE, Universität Leipzig, ist registriertes Mitglied des internationalen OntoCommons-Projekts, das Industriestandards gewidmet ist. (<https://ontocommons.eu>). Dieses EU-Projekt entwickelt verschiedene Systeme für die Industrie. Die Entwicklung von Ontologien steht hier im Mittelpunkt.

2. Detaillierte Ausführung

2.1. Ausführliche Darstellung der durchgeführten Arbeiten im Vergleich zur Vorhabensbeschreibung

Im Nachfolgenden sollen die wissenschaftlich-technischen Ergebnisse des Projektes und deren gesammelten Erfahrungen nach Arbeitspaketen vorgestellt werden.

Arbeitspaket AP1: Projektmanagement

Als Konsortialführer übernahm die N+P Informationssysteme GmbH die Leitung des Gesamtprojekts. Dies umfasste bspw. Einladung und Durchführung der Projekttreffen, Abstimmungen zwischen Partnern in Form von monatlichen Regelcalls sowie das Berichtswesen zum Gesamtprojekt.

Die anderen Projektpartner CBA Synergy GmbH und Universität Leipzig (IMISE) übernahmen die inhaltliche Leitung für ihre jeweiligen Teilprojekte und beteiligten sich an den partnerübergreifenden Absprachen und Projekttreffen.

Alle Partner unterstützten sich zudem gegenseitig bei der Abstimmung und Detailplanung der Entwicklungsaufgaben und der kontinuierlichen Anpassung der Feinplanung, speziell in der Zeit der Corona-bedingten Einschränkungen.

Arbeitspaket AP2: Technische Voruntersuchungen und Anforderungserhebung, Konzeption

Im Rahmen des ersten Teilarbeitspakets des zweiten Hauptarbeitspakets wurden notwendige technische Voruntersuchungen durchgeführt. Dies umfasste die Untersuchungen zum technischen Aufbau der Schnittstellen bestehender Drittsystemen und die Analyse und den Abgleich des Informationsinhalts der zu integrierenden Daten mit den gestellten Anforderungen.

Dabei wurden seitens N+P Projektvorstellungen bei sechs LOI-Partnern vor Ort präsentiert und Prozessbefragungen vorbereitet und durchgeführt. Diese Befragungen umfassten die Analyse von Einkaufsprozessen bei vier LOI-Partnern. Die Methodik wurde konsolidiert, und es wurden Fragebögen sowie ein Workshop-Konzept zur Prozessbefragung entwickelt. Zudem wurden Synergien zwischen den bestehenden Plattformen N+P und CBA Synergy analysiert und abgestimmt. Ein weiterer Schwerpunkt von N+P lag auf der Analyse und Anforderungsaufnahme für die ERP-Anbindung.

Eine externe Marktstudie im Bereich der Zukunft von Manufacturing Execution Systemen (MES) wurde im Rahmen dieses Arbeitspakets geplant und abgestimmt, um die Integration von Lieferketten zu verbessern. Diese Studie ist besonders wichtig, da sie die enge Verzahnung des KI-WERK-Ansatzes im Zusammenhang mit der Abstimmung der Lieferketten, speziell im Bereich der Lieferzeiten, untersucht. Der Trend geht in Richtung sogenannter Manufacturing Operation Management Systeme (MOM), die wesentlich kleinteiliger und flexibler sind als die traditionellen monolithischen MES-Systeme.

Manufacturing Execution Systeme (MES) sind traditionelle, monolithische Systeme, die eine Vielzahl von Funktionen zur Unterstützung der Fertigungsprozesse bieten. Sie umfassen Module für die Produktionsplanung, Qualitätsmanagement, Bestandsverwaltung und vieles mehr. MES-Systeme sind in der Regel stark integriert und bieten eine umfassende Lösung für die Fertigungssteuerung. Allerdings sind sie oft komplex und schwerfällig, was ihre Anpassungsfähigkeit und Flexibilität einschränkt. Dies kann insbesondere in dynamischen Produktionsumgebungen, in denen schnelle Anpassungen erforderlich sind, zu Herausforderungen führen.

Manufacturing Operation Management Systeme (MOM) hingegen repräsentieren einen moderneren Ansatz. MOM-Systeme sind modular aufgebaut und basieren häufig auf plattformbasierten Microservices. Diese Architektur ermöglicht eine höhere Flexibilität und Skalierbarkeit, da einzelne Module unabhängig voneinander entwickelt, bereitgestellt und aktualisiert werden können. Dies erleichtert die Anpassung an spezifische Anforderungen und die Integration neuer Technologien. MOM-Systeme bieten somit eine agilere und anpassungsfähigere Lösung für die Fertigungssteuerung.

Die Vorteile von plattformbasierten Microservices in MOM-Systemen sind vielfältig:

- Flexibilität und Anpassungsfähigkeit: Durch die modulare Architektur können einzelne Komponenten unabhängig voneinander entwickelt und angepasst werden. Dies ermöglicht eine schnelle Reaktion auf sich ändernde Anforderungen und Marktbedingungen.
- Skalierbarkeit: Microservices können bei Bedarf skaliert werden, um den Anforderungen wachsender Produktionsvolumina gerecht zu werden. Dies ist besonders wichtig in Zeiten von Produktionsspitzen oder bei der Einführung neuer Produkte.
- Wartbarkeit und Weiterentwicklung: Da die einzelnen Module unabhängig voneinander sind, können Updates und Wartungsarbeiten durchgeführt werden, ohne dass das gesamte System beeinträchtigt wird. Dies reduziert Ausfallzeiten und erhöht die Verfügbarkeit des Systems.
- Interoperabilität: Plattformbasierte Microservices erleichtern die Integration mit anderen Systemen und Technologien. Dies ist besonders wichtig für die nahtlose Verbindung von MES- und ERP-Systemen sowie für die Einbindung neuer Technologien wie IoT und KI.
- Kostenreduktion: Durch die Nutzung von Microservices können Unternehmen Kosten sparen, da sie nur die benötigten Module implementieren und betreiben müssen. Zudem können sie von der Wiederverwendbarkeit und der gemeinsamen Nutzung von Ressourcen profitieren.

Die im Arbeitspaket AP2 durchgeführten Untersuchungen und Analysen haben gezeigt, dass der Trend in der Fertigungsindustrie eindeutig in Richtung MOM-Systeme geht. Diese Systeme bieten eine zukunftssichere Lösung, die den Anforderungen der digitalen Transformation gerecht wird und Unternehmen dabei unterstützt, ihre Produktionsprozesse effizienter und flexibler zu gestalten. Die enge Verzahnung des KI-WERK-Ansatzes mit der Abstimmung der Lieferketten, insbesondere im Bereich der Lieferzeiten, unterstreicht die Relevanz dieser Entwicklungen.

Eine externe Marktstudie wird weitere Einblicke in die Zukunft von MES und MOM geben und Handlungsempfehlungen für die Implementierung dieser Systeme liefern.

Grund für die Studie ist die enge Verzahnung des KI-Werk Ansatzes im Zusammenhang mit der Abstimmung der Lieferketten speziell im Bereich der Lieferzeiten. Diese Lieferzeiten liegen in der Regel in monolithischen komplexen MES-Systemen bei den Unternehmen

Der Trend in diesem Bereich geht aber in Richtung sogenannter Manufacturing Operation Management Systeme (MOM), welche wesentlich kleinteiliger und flexibler sind.

Seitens der CBA erfolgte in diesem Arbeitspaket die Anforderungserhebung an die Koordination auftragsbezogener Wertschöpfungsnetzwerke in Zusammenarbeit mit den Pilotkunden (assoziierte Partner). Dazu gab es mehrfach Gespräche mit verschiedenen Fachabteilungen.

Arbeitspaket AP3 - Generierung des Problemlösungsbaumes, Simulation, Risikobewertung und Abgleich

Die CBA hat im dritten Arbeitspaket die Algorithmen zur Erstellung des Problemlösungsbaumes und die online-Anfrage an die Unternehmen erarbeitet.

Eine besondere Herausforderung bestand darin, dass die Abgrenzung der Informationen (Mandanten-Struktur) auf der Plattform so erfolgen musste, dass einerseits ein Anbieter nicht die Informationen anderer Anbieter einsehen kann, andererseits die inhaltliche Zusammenarbeit zwischen Kunden und Leistungsanbietern so gestaltet werden musste, dass sie einfach, handhabbar und diskriminierungsfrei erfolgt.

Hierfür wurden geeignete Lösungen gefunden, die im weiteren Projektverlauf implementiert worden sind.

Arbeitspaket AP4 - Einbindung der Arbeitsumgebung und Schnittstellen

Seitens N+P und CBA wurden im AP4 umfangreiche Konzeptentwicklungen für ein ERP-Schnittstellensystem durchgeführt. Diese Vorarbeiten sind von zentraler Bedeutung, da sie die Grundlage für die Integration von ERP-Systemen in bestehende Produktionsumgebungen schaffen. Die Entwicklung eines solchen Schnittstellensystems erfordert eine detaillierte Analyse der bestehenden Prozesse und Systeme, um sicherzustellen, dass die Schnittstellen nahtlos und effizient funktionieren. Diese Vorarbeiten sind besonders wichtig für mittelständische Unternehmen, die oft über heterogene Systemlandschaften verfügen und daher flexible und anpassungsfähige Schnittstellenlösungen benötigen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt des Projekts war die Analyse und Abstimmung zu einem Minimum Viable Product (MVP) im Rahmen der Projektarbeiten der CBA. Ein MVP ist eine Version eines Produkts mit den minimalen Funktionen, die erforderlich sind, um den Nutzen des Produkts zu demonstrieren und Feedback von Nutzern zu erhalten. Die

Analyse und Abstimmung eines MVPs ist entscheidend, um sicherzustellen, dass die entwickelten Lösungen den Anforderungen der Nutzer entsprechen und gleichzeitig schnell und kosteneffizient implementiert werden können. Dies ist besonders relevant für mittelständische Unternehmen, die oft begrenzte Ressourcen haben und daher pragmatische und zielgerichtete Lösungen benötigen.

Basierend auf Fallbeispielen wurden weitere Konzeptentwicklungen des ERP-Schnittstellensystems durchgeführt. Diese Fallbeispiele bieten wertvolle Einblicke in die praktischen Anforderungen und Herausforderungen bei der Implementierung von ERP-Schnittstellen. Durch die Analyse und Berücksichtigung dieser Fallbeispiele können die entwickelten Konzepte gezielt auf die Bedürfnisse der Nutzer zugeschnitten werden. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Implementierung und Nutzung der Schnittstellenlösungen.

Ein weiterer wichtiger Schritt war die Installation und Konfiguration einer virtualisierten Testumgebung. Diese Testumgebung ermöglicht es den Projektpartnern, die entwickelten Schnittstellenlösungen in einer kontrollierten Umgebung zu testen und zu validieren. Die Nutzung einer virtualisierten Umgebung bietet den Vorteil, dass verschiedene Szenarien und Konfigurationen getestet werden können, ohne die Produktionsumgebung zu beeinträchtigen. Dies ist besonders wichtig für mittelständische Unternehmen, die oft keine umfangreichen Testressourcen haben und daher auf effiziente und flexible Testlösungen angewiesen sind.

Die Umsetzung erweiterter Schnittstellen-Konzepte und Umsetzungen bzgl. der Multi-ERP-Integration, beispielsweise mit SAP und APplus, für das Manufacturing Execution System (MES) ist ein weiterer zentraler Aspekt dieses Arbeitspakets und für das Gesamtprojekt von großer Bedeutung. Die Integration von ERP-Systemen mit MES-Systemen ermöglicht eine nahtlose Verbindung zwischen Geschäftsprozessen und Produktionsprozessen. Dies führt zu einer höheren Transparenz und Effizienz in der Produktion und ermöglicht eine bessere Planung und Steuerung der Produktionsprozesse. Die Multi-ERP-Integration ist besonders relevant für mittelständische Unternehmen, die oft verschiedene ERP-Systeme im Einsatz haben und daher flexible und anpassungsfähige Integrationslösungen benötigen.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis des Projekts sind die Konzepte zur Integration von ERP-Systemen für die Anreicherung des durchgängigen digitalen Informations-Zwillings von smarten Produkten. Der digitale Zwilling ist ein virtuelles Abbild eines physischen Produkts, das alle relevanten Informationen und Daten des Produkts enthält. Die

Integration von ERP-Systemen in den digitalen Zwilling ermöglicht eine nahtlose Verbindung zwischen Geschäftsprozessen und Produktdaten.

Dies führt zu einer höheren Transparenz und Effizienz in der Produktentwicklung und -produktion und ermöglicht eine bessere Planung und Steuerung der Produktionsprozesse. Diese Konzepte sind besonders relevant für mittelständische Unternehmen, die oft über begrenzte Ressourcen verfügen und daher auf effiziente und flexible Lösungen angewiesen sind.

Die Erweiterung des ERP-Schnittstellensystems um eine Schnittstelle zu PLM-Systemen (Product Lifecycle Management) und die Bereitstellung einer "Cloud-ready"-Lösung ist ein weiterer wichtiger Aspekt des Projekts. PLM-Systeme ermöglichen die Verwaltung des gesamten Produktlebenszyklus, von der Entwicklung über die Produktion bis hin zur Wartung und Entsorgung. Die Integration von ERP-Systemen mit PLM-Systemen ermöglicht eine nahtlose Verbindung zwischen Geschäftsprozessen und Produktdaten. Die Bereitstellung einer "Cloud-Ready"-Lösung bietet den Vorteil, dass die Systeme flexibel und skalierbar sind. Dies ist besonders relevant für mittelständische Unternehmen, die oft über begrenzte IT-Ressourcen verfügen und daher auf flexible und kosteneffiziente Lösungen angewiesen sind.

Abschließend wurde ein Konzept zur Konsolidierung der technischen Basis von ERP-Schnittstellen entwickelt. Dieses Konzept umfasst technische Details und Mockups, die die Grundlage für die weitere Entwicklung und Implementierung der Schnittstellenlösungen bilden. Die Konsolidierung der technischen Basis ist entscheidend, um eine einheitliche und effiziente Implementierung der Schnittstellenlösungen zu gewährleisten. Dies ist besonders wichtig für mittelständische Unternehmen, die oft über begrenzte Ressourcen verfügen und daher auf effiziente und kosteneffiziente Lösungen angewiesen sind.

Das IMISE war in diesem Arbeitspaket im Wesentlichen unterstützend tätig und hat im Rahmen der monatlichen Regelmeetings vor allem durch konstruktive Diskussionen und dem Gedankenaustausch zu diesen Themen mitgewirkt.

Arbeitspaket AP5 - Entwicklung der Ontologien für Anforderungs-, Bewertungs- und Entscheidungsprozess

Zentrale Aufgabe des fünften Arbeitspakets war die Entwicklung eines ontologischen Frameworks für den kooperative Anforderungsprozess, der sich als einen KI-gestützten iterativen Problemlösungsprozess auffassen lässt. Der gesamte Prozess wurde

analysiert und daraus konkrete Aufgabenstellungen abgeleitet. Der Beitrag der Ontologie beginnt stets mit einer Analyse und Präzisierung der verwendeten Begriffe.

Es hat sich gezeigt, dass der kooperative Anforderungsprozess zu Herausforderungen führt, die zum Teil im Projektverlauf nicht vollständig gelöst werden konnten. Diese werden im Folgenden zusammengestellt und die Beiträge des IMISE aufgelistet.

(1) Der kooperative Anforderungsprozess (KoopAP) enthält als Komponente ein Assistenzsystem für das Auffinden und die Extraktion relevanten Wissens aus verschiedenen Quellen für die Lösung eines vorgegebenen Problems. Ein solches System muss verschiedene Funktionen erfüllen:

- a) das Wissen in den verschiedenen Quellen muss nach den Prinzipien der Wissensorganisation geordnet werden,
- b) das System muss einen effizienten Suchalgorithmus realisieren,
- c) aus den gefundenen Dokumenten muss das relevante Wissen extrahiert werden.
- d) Es muss ein Zusammenhang zwischen einer Problemstellung und den für die Lösung relevanten Wissensinhalten hergestellt werden.

Der intendierte Algorithmus muss daher verschiedene Funktionen miteinander verknüpfen. Für die Suche nach Dokumenten hat das IMISE die Methode der Search-Ontologie zur Verfügung gestellt. Dieses Konzept wurde bereits in verschiedenen Kontexten erfolgreich eingesetzt. Um eine Problemstellung mit der Suche nach dafür relevanten Dokumenten wurde vom IMISE das Konzept eines integrativen Bootstrap-Learning entwickelt. Für die Extraktion des strukturierten Wissens aus den aufgefundenen Dokumenten werden NLP-Verfahren eingesetzt.

(2) Ein zentrales Anliegen des KoopAP ist die Entwicklung einer Anforderungsspezifikation für ein Industrieprodukt, sowie deren Validierung (Problemangemessenheit, Widerspruchsfreiheit und Vollständigkeit). Bei der Lösung dieser Aufgabe muss man zwischen der Anforderungsanalyse und der Anforderungsspezifikation unterscheiden. Beide Aktivitäten sind eng miteinander verzahnt. Das IMISE hat sich bei der Untersuchung dieser Schritte an einem IEEE-Standard orientiert. Um diese Entwicklungsschritte an einem konkreten Beispiel zu untersuchen hat das IMISE ein experimentelles Beispiel entwickelt: Ein Lastenheft für Ausstattung eines Fitnessstudios für Senioren. Folgende Schritte sind zu unterscheiden:

1. Anforderungserhebung (Requirement Elicitation),
2. Anforderungsanalyse (Requirement analysis)
3. Anforderungsspezifikation (Requirement Specification), und
4. Anforderungsbewertung (Requirement Validation).
5. Realisierbarkeit der Spezifikation (realizability) .

Eine Anforderungsspezifikation ist ein Text, der sich strukturiert und formal durch eine Ontologie darstellen lässt. Hierbei sollte man auf Terminologien und Standards über Industrieprodukte zurückgreifen. Terminologien können als Präontologien aufgefasst werden. Das IMISE hat verschiedene Terminologiensysteme untersucht und als Grundlage für die weitere Arbeit einbezogen. Dazu wurde der Industriestandard CPM (Core Product Model) von NIST (National Institute for Standardization) ausgewählt. Darüber hinaus ist das IMISE ein registriertes und aktives Mitglied des OntoCommons-Projekts¹.

Die Validierung einer Spezifikation hat sich als ein sehr komplexes Problem erwiesen, das nur teilweise gelöst werden konnte. Hierbei wurden systematisch die folgenden Aspekte untersucht: Widerspruchsfreiheit, Vollständigkeit, und Machbarkeit. Es wurden verschiedene Formen der Widerspruchsfreiheit erkannt und präzisiert. Dazu gehören: Die logische Widerspruchsfreiheit, sowie verschiedene Formen der Kompatibilität; diese umfassen: Kompatibilität zu den Naturgesetzen, sowie Erfüllung gesetzlicher Vorschriften. Diese Beziehungen lassen sich auf eine Grundform zurückführen; wir betrachten die Anforderungsspezifikation als ein formales System (eine Ontologie) *OntoReqSpec*. Und die Formalisierung der einschränkenden Regeln, die sich ebenfalls als Ontologien darstellen lassen, also *OntoNature* (Gesetze der Natur), *OntoLaws* (Vorschriften gesetzlicher Art). Es muss gezeigt werden, dass sich aus den Systemen *OntoReqSpec* U *OntoNature* und aus *RequSpec* U *OntoLaws* keine Widersprüche ableiten lassen. Ein vollautomatischer Test dürfte gegenwärtig noch nicht möglich sein und ist ein wichtiges Forschungsthema für die nächste Zukunft. Ein weiteres Problem ist die Sicherung der Vollständigkeit einer Anforderungsspezifikation. Hier gibt es eine begriffliche Unklarheit, die das IMISE lösen konnte. Man muss zwischen zwei Arten der Vollständigkeit unterscheiden: die

¹ OntoCommons ist ein europäisches Projekt (<https://www.ontocomons.com>), das der Standardisierung für die Dokumentation von Daten gewidmet ist, die sich auf alle Domänen der Industrieproduktion beziehen. Ziel ist die Schaffung einer Grundlage für eine interoperable, harmonisierte und standardisierte Daten-Dokumentation unter Verwendung von Ontologien

konzeptuelle Vollständigkeit und die deskriptive Vollständigkeit. Eine Spezifikation ist konzeptuell vollständig, wenn alle notwendigen Begriffe, Relationen, Funktionen und Bestimmungsstücke beschrieben sind, einschließlich aller zentralen Merkmale und funktionalen Anforderungen, die das Produkt ausmachen. Eine Spezifikation ist deskriptiv vollständig, wenn alle realen Instanzen der Spezifikation untereinander isomorph sind. Diese deskriptive Vollständigkeit wird nicht immer notwendig sein, deshalb ist es sinnvoll, abgeschwächte Begriffe der deskriptiven Vollständigkeit einzuführen. Hierzu hat das IMISE ein Framework für verschiedene Typen der deskriptiven Vollständigkeit skizziert.

Die Realisierbarkeit einer Spezifikation ist ein eigenes und umfassendes Thema, das eine enge Beziehung zu den Innovationen, und allgemein zur Innovationsforschung hat. Eine Spezifikation kann widerspruchsfrei sein, dennoch ist es nicht unbedingt möglich, diese in ein reales Produkt umzusetzen. Das ist eine typische Situation bei dem Entstehen einer Innovation. Da die Spezifikation als widerspruchsfrei vorausgesetzt ist, existiert stets eine Instanz als ein mögliches Objekt. Man nennt solche Entitäten intentionale Objekte. So existieren Flugkörper (in Anlehnung an Vögel) bereits in früheren Zeiten als intentionale (vorgestellte) Objekte, deren Realisierbarkeit aber von dem Stand der Technologie abhing. Jede Erfindung wird als Vorstellung, als ein intentionales Objekt vorweggenommen. Das IMISE hat diese Untersuchungen weitergeführt und mit der TRIZ-Technologie in Verbindung gesetzt. Die Erkenntnis dieser Zusammenhänge soll in künftige Forschungs- und Praxisvorhaben einfließen, die für die Innovationsforschung in Deutschland grundlegend sind.

- (3) Ein weiteres wichtiges Problem des KoopAP ist die Kommunikation zwischen Anbieter und Kunde. Dieses Problem gilt als noch nicht vollständig gelöst, und es sind verschiedene Modelle entwickelt worden, um die Lösung dieses Problems zu unterstützen. Von Bedeutung ist das Führen von Dialogen zwischen Anbieter und Kunde. Das IMISE hat für die Kommunikation zwischen Personen ein neues Modell entwickelt, das auch für die Explainable KI (erklärbare KI) von Bedeutung ist. Bei diesem Konzept werden Methoden der kognitiven Psychologie und der formalen Logik verwendet. Eine weitere Quelle ist die genetische Epistemologie von Jean Piaget. Der Grundgedanke besteht darin, dass jeder Mensch ein eigenes individuelles Begriffsgerüst besitzt und die Kernaufgabe darin besteht, diese

verschiedenen Begriffsgerüste ineinander zu transformieren; hier spielt die formale Logik und die Definitionstheorie eine zentrale Rolle. Dieses Konzept wurde bereits in der Didaktik erfolgreich getestet und der nächste Schritt besteht darin, diese Theorie auf andere Bereiche anzuwenden. Wir haben die These aufgestellt, dass dieses Konzept künftig die allgemeine Grundlage für die explainable KI sein wird.

(4) Zusammenfassung weiterer Beiträge und Erkenntnisse des IMISE, die sich aus der Kooperation mit den Projektpartnern ergeben haben. Der Begriff der Anwendung ist nicht scharf definiert und es gibt eine Wechselbeziehung zwischen den theoretischen Untersuchungen und den praktischen Anwendungen. Es hat sich gezeigt, dass einige von den unseren Partnern aufgeworfenen praktischen Aufgabenstellungen zu theoretischen Problemen führen, die noch ungelöst sind. Das IMISE untersuchte und testete das Compendio, eine Art Dokumentenverwaltungssystem von CBSynergie, und konnte Verbesserungsvorschläge machen. Für die Suche nach Dokumenten kann die von IMISE entwickelte Search Ontologie (SON) eingesetzt werden. Das IMISE lieferte einen Beitrag zum Verständnis der digitalen Zwillinge, die in der Industrie 4.0 eine wichtige Rolle spielen. Ein automatischer Test der Widerspruchsfreiheit einer Anforderungsspezifikation setzt voraus, dass die Spezifikation in einer hinreichend formalisierten Sprache repräsentiert ist. Hierzu wurden Methoden des semantic Web vorgeschlagen, die auf formalen Sprachen wie die OWL (Ontology Web Language) und RDF basieren. Diese Systeme haben sich, nach Test durch CBSynergy, noch als unzureichend erwiesen. Andererseits gibt es eine Vielzahl von Anwendungen, die den Nutzen des Semantic web beweisen. Um den gegenwärtigen Stand dieser Systeme zu erfassen, wurde von dem IMISE eine umfassende Studie durchgeführt, die zeigt, dass vom Nutzer-Standpunkt die aktuellen Systeme noch viele Mängel aufweisen.

N+P hat im Rahmen des Arbeitspakets einen Workshop zur Ontologie für die Beschreibung technischer Systeme durchgeführt. Ziel des Workshops war es, ein gemeinsames Verständnis für die Entwicklung und Anwendung von Ontologien zu schaffen, um technische Systeme präzise zu beschreiben und abzubilden.

Ein zentrales Thema war dabei das Konzept sowie die Anwendungsmöglichkeiten von Ontologien und des Semantic Web im Kontext der N+P-Entwicklungen, insbesondere im Hinblick auf den Digitalen Zwilling. Hier wurde untersucht, wie Ontologien genutzt

werden können, um digitale Abbilder von Produkten und Prozessen zu erstellen und zu optimieren.

Die Arbeiten im Arbeitspaket 5 stehen in enger Verbindung zu den Tätigkeiten in Arbeitspaket 2 und Arbeitspaket 6. Diese inhaltliche Verknüpfung ermöglicht es, Synergien zu nutzen und domänenspezifisches Wissen effizient in die Entwicklung einzubringen.

Im Rahmen der fachlichen Unterstützung wurde domänenspezifisches Wissen aus dem Maschinen- und Anlagenbau zur Spezifikation von Kern-Ontologien bereitgestellt. Diese Unterstützung basierte auf den in AP2 erarbeiteten Anwendungsfällen, die als Grundlage für die Entwicklung der Ontologien dienten.

Es zeigt sich, dass eine weitergehende Formalisierung einer Anforderungsspezifikation im Rahmen einer logischen Sprache (z.B. des Prädikatenkalküls der ersten oder einer höheren Stufe) weitergehende Untersuchungen erfordert, die über den Umfang des Projekts hinausgehen. Deshalb wurde vorgeschlagen, die Inhalte einer Anforderungsspezifikation in einer relationalen Datenbank zu repräsentieren. Aufbauend auf einer Kernontologie (CPM Core Product Model) wurde ein relationales DB-Schema entwickelt, welches die Kernontologie umsetzt. Ferner wurde die Unit-Measure Ontologie untersucht und geprüft, wie man sie einsetzen kann, um eine einfache Prüfung der Widerspruchsfreiheit für gewisse Eigenschaften zu erreichen.

Arbeitspaket AP6 - Entwicklung und Implementierung der Umsetzungsplanung

Im sechsten Arbeitspakets wurde ein umfassendes Konzept zur Einrichtung und Bereitstellung eines durchgängigen Pilot- und Testsystems entwickelt. Dieses System dient der Integration von Basis- und Autorensystemen, um die konzeptionellen Schnittstellen optimal einzubinden.

Darüber hinaus wurden erweiterte Konzepte und Prototypen für den Digitalen Zwilling im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus entwickelt und implementiert. Diese Prototypen ermöglichen eine präzise Abbildung von Maschinen und Anlagen in digitalen Systemen, um innovative Lösungen zu erproben.

Ein weiterer wichtiger Aspekt in diesem Zusammenhang war die Bereitstellung einer durchgängigen Systemumgebung zur Integration von ERP-, PDM/PLM- und MES-Systemen. Diese Umgebung wurde als Grundlage für Gespräche mit potenziellen Kunden, unter anderem auf der Fachmesse Intec im März 2023, genutzt.

Die in Arbeitspaket 2 definierten und detaillierten Use Cases festgehaltenen Rahmenparameter wurden auf konkrete Feld- und Quellinformationen in der konzipierten Demoumgebung gemappt. Diese Umgebung stand im Projektverlauf den Projektpartnern zur Verfügung und diente als Basis für weitere Tests und Entwicklungen. Ein zentrales Element dieses Entwicklungsschrittes war zudem die Verprobung und Pilotierung entwickelter Schnittstellen im Kontext des MES, insbesondere im Hinblick auf die Multi-ERP-Integration. Diese Schnittstellen wurden softwaretechnisch so umgesetzt, um eine nahtlose Datenübertragung zwischen ERP- und MES-Systemen auf Cloud-Plattformen, wie der N+P-Plattform, zu ermöglichen.

Arbeitspaket AP7 - Ergebnisintegration zum Prototyp, Fehlerbeseitigung

Im siebenten Arbeitspaket erfolgte die Ergebnisintegration zu einem Demonstrator durch das Zusammenführen aller entwickelten Komponenten in eine zentrale Testumgebung. Hierbei wurden alle Module und Schnittstellen integriert und in ersten Testreihen auf ihre Funktionsfähigkeit überprüft. Anschließend wurde der Gesamtprototyp durch weitere Tests validiert, um sicherzustellen, dass er den Anforderungen entspricht.

Während dieser Phase werden erste Fehler durch Debugging identifiziert und priorisiert behoben.

Das IMISE hat in diesem Zusammenhang verschiedene Industriestandards analysiert und dann das CPM (Core Product Model) von NIST (National Institute for Standardization) als Grundlage für die Implementierung einer prototypischen Kernontologie ausgewählt.

Arbeitspaket AP8 - Funktionstest beim Pilotkunden

Ausgehend von einer prototypischen Umsetzung des Gesamtsystems in AP7 hat N+P den so entstandenen Demonstrator für die Vorstellung und Präsentation der KI-WERK-Ansätze bei mittelständischen N+P-Bestandskunden genutzt und konnte so ein erstes entsprechendes Feedback einholen:

Das generelle Feedback der Kunden (KMU) lässt sich derart festhalten, dass die große Herausforderung darin besteht, die notwendige digitale Basis zu schaffen, um die in KI-WERK erarbeiteten Ansätze anwenden zu können, da diese eine digitale Durchgängigkeit und damit einen entsprechenden Reifegrad der digitalen Transformation bedürfen. Konkret betrifft dies vordergründig die Verknüpfung der Shopfloor-/ MES-Daten mit den ERP-Systemen. Diese Informationen liegen selten digital vor.

Die CBA hat im Rahmen des Arbeitspakets Praxisdaten von den IT-Systemen (insbesondere ERP) der Pilotkunden extrahiert. Mit ca. 1.500 Knoten wurde ein umfangreicher Problemlösungsbaum als Beispiel im Prototyp implementiert. Zur Bewertung der einzelnen Knoten wurden teilweise manuelle Eingaben, teilweise automatische Berechnungen und teilweise Annahmen zugrunde gelegt. Die Bewertungsalgorithmen ermöglichten eine 70% automatisierte Bewertung der Knoten. Dabei wurden vielfältige Leistungstypen für Beschaffung, Produktion, Transport, Vertrieb mit verschiedenen Strategien

- unterschiedliche Beschaffungstypen wie normale Anfrage-Angebote, Rahmenverträge, Internet-Marktplätze
- unterschiedliche Produktionsverfahren
- unterschiedliche Transportprozesse (Paketdienste, Paletten-Transporte, Container-Transporte, ...)

untersucht.

Die Konsolidierung der Bewertungsergebnisse zu Kennzahlen und KPIs erfolgte automatisch. Dabei wurden die verschiedenen KPIs (kommerzielle, fachlich-technische und Nachhaltigkeits-Kriterien) getrennt über die gesamte Lieferkette betrachtet werden, sodass neben der Gesamtbewertung pro Unternehmen auch eine Bewertung der Einzel-KPIs über die gesamte Lieferkette machbar ist.

Das einheitliche Bewertungsschema, das den Abgleich der Lieferketten durch Minimierung des Risikos über alle Elemente der Lieferkette in den Mittelpunkt stellt, hat sich bewährt. Der Algorithmus zeigte sehr gute Ergebnisse, insbesondere wenn nicht nur die Wertschöpfung in einem Unternehmen, sondern über Unternehmensgrenzen hinweg betrachtet wurde.

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit den Pilotkunden hat sich herausgestellt, dass der Lieferkettenabgleich nicht nur aus dem eigentlichen Abgleich des Problemlösungsbaumes bestehen kann, sondern dass im Vorfeld eine zielgerichtete Kommunikation mit den Lieferanten bzw. Kunden aufgebaut werden muss, damit die notwendigen Informationen ausgetauscht werden.

Aus diesem Grund werden N+P und CBA in weiterführenden Arbeiten den derzeitigen Demonstrator um ein Kommunikationssystem erweitern.²

Im Weiteren haben die Projektpartner gemeinsam mit den Pilotpartnern die neuesten Entwicklungen im Bereich generativer KI untersucht. ChatGPT hat sich an dieser Stelle als sehr guter Lieferant von Informationen herausgestellt. Jedoch sind die gelieferten Informationen in der Regel allgemeingültig und unspezifisch, sodass sie für eine konkrete Problemlösung nur mit Einschränkung zu verwenden sind oder nicht weitergeholfen haben.

Zudem fehlte den Projektpartnern bisher eine geeignete Schnittstelle, um ChatGPT automatisiert ansprechen zu können. Die verwendeten Daten primär auf englischsprachige Quellen orientiert. Eine Spezialisierung für unseren Anwendungsfall erscheint nur dann sinnvoll machbar, wenn eine spezielle Installation mit branchenspezifischem Wissen angelernt und in Folge mit unternehmensspezifischem Wissen angereichert wird. Dies ist aus bisheriger Sicht noch ein weiter Weg, weil ChatGPT dafür nicht konzipiert wurde. Entsprechende Arbeiten bedürfen eines eigenständigen Forschungsprojektes.

Die von CBA und N+P durchgeführten Untersuchungen des SemanticWeb haben zu der Erkenntnis geführt, dass das SemanticWeb zwar eine bestechende Technologie ist, aber die verschiedenen Anbieter von Wissen in keiner Weise auf gemeinsame Strukturen zugreifen. Es muss daher zuerst eine Integrationsplattform geschaffen werden, die die sehr unterschiedlichen technischen Zugänge und die unterschiedlichen inhaltlichen Strukturen integriert, um zu nutzbarem Wissen zu gelangen.

Bei ersten Tests in Zusammenarbeit mit IMISE stellte sich jedoch heraus, dass das dort vorhandene Wissen sehr rudimentär und schwer verarbeitbar ist. Auch hier müsste ein eigenes Projekt unter Einbeziehung von Ontologien als fachlich strukturierendes Element aufgesetzt werden.

Die Themen Nachhaltigkeit und Resilienz haben während der Projektbearbeitung einen immer höheren Stellenwert bekommen. Es haben sich verschiedene Bewertungsmethoden, Standards und Gesetze etabliert. Wir sehen in dem von uns gewählten Denkansatz sehr gute Möglichkeiten, beide Themen zu adressieren. Eine praktische Nutzung ist aus unserer Sicht nur unter Einbeziehung konkreter

² Dies geschieht nicht mehr im Rahmen des KI-WERK-Fördermaßnahme, sondern erfolgt im Rahmen der weiteren Verwertung.

Anwendungsfälle und Industriepartner möglich. Dies überschreitet den aktuellen Projektrahmen.

3. Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die relativen partnerspezifischen Ausgaben-/Kostenverteilungen sind im folgenden Diagramm dargestellt.

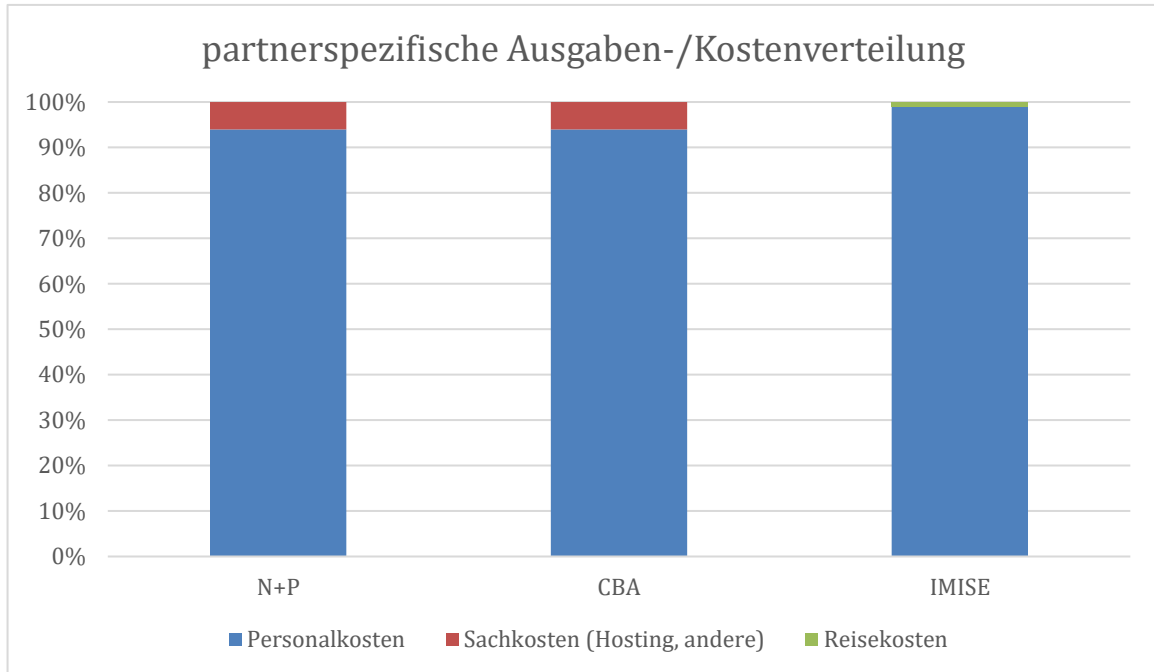


Abbildung 7: partnerspezifische Ausgaben-/Kostenverteilung

3.1. N+P Informationssysteme GmbH

Die geplanten Mittel wurden entsprechend der ursprünglichen Planung seitens der N+P Informationssysteme GmbH weitestgehend eingehalten. Entsprechend wurden Softwareentwickler auf das Projekt eingesetzt.

Die Reisemittel wurden aufgrund der Corona-Pandemie nicht in der geplanten Form aufgewendet.

3.2. CBA Synergy GmbH

Im Berichtszeitraum wurden die angeforderten finanziellen Mittel entsprechend der Projektplanung effizient eingesetzt.

Ein wesentlicher Teil der Mittel wurde für den Personaleinsatz verwendet. Hierbei lag der Fokus auf den Kapazitäten, die für die Entwicklung, die Softwarearchitektur sowie

die projektbezogenen Leistungen der Mitarbeiter erforderlich waren. Die Entwickler arbeiteten intensiv an der Implementierung und Weiterentwicklung der benötigten Softwarelösungen, während das Softwarearchitektur-Team die technologische Grundlage und Struktur des Systems gestaltete. Zudem wurden projektbezogene Aufgaben durch das Team erfolgreich koordiniert und umgesetzt.

Darüber hinaus wurden die Mittel für die Deckung der projektbezogenen Serverkosten verwendet, die im Rahmen der Infrastruktur zur Unterstützung der Entwicklungsarbeiten und des laufenden Betriebs notwendig waren. Insgesamt konnten alle geplanten Aufwendungen wie vorgesehen realisiert werden, was zur planmäßigen Fortschreibung des Projekts beigetragen hat.

3.3. Uni Leipzig, IMISE

Im Projekt haben seitens des IMISE der Universität Leipzig – wie geplant – der Projektleiter Prof. Heinrich Herre sowie die wissenschaftlichen Mitarbeiter*innen Konrad Abich, Hanna Fiegenbaum, Paul-Robert Kästner und Stefan Kropf aktiv mitgewirkt. Dies unterstreichen auch die aus dem Projekt hervorgegangenen wissenschaftlichen Veröffentlichungen (s. Publikationsliste).

Die tatsächlich entstandenen Ist-Ausgaben der Universität Leipzig im Projekt lagen geringfügig unterhalb der beantragten Mittel. Wie dargestellt, konnte der Arbeitsplan dennoch vollumfänglich eingehalten und umgesetzt werden.

4. Notwendigkeit und Angemessenheit der Projektarbeiten

Die Corona-Krise sowie der Ukraine-Konflikt haben eindrücklich aufgezeigt, wie wichtig zuverlässige, robuste und nachhaltige Lieferketten sind. Die Erderwärmung sowie das Lieferkettengesetz betonen weiterhin die Notwendigkeit der Steuerung von Nachhaltigkeit in der Wertschöpfung, die das Kernthema des Projektes darstellt.

4.1. N+P Informationssysteme GmbH

Ausgehend von der Zusammenarbeit in dem Projekt war es der N+P möglich, die vorhandenen Kompetenzen im Bereich der Softwareentwicklung noch einmal erheblich auszubauen.

Auch ist im Verlauf des Projektes noch einmal deutlich geworden, dass die Entwicklung einer Software sowie von professionellen, softwaregestützten Dienstleistungen nicht auf die leichte Schulter genommen werden kann und von einem KMU wie N+P, in der Form

und Zeit, hätte ohne die Unterstützung der anderen Projektpartner nicht durchgeführt werden können.

Die Entwicklung und prototypische Implementierung von KI-Werk im Kontext komplexer Lieferketten erforderten einen ganzheitlichen Ansatz beider am Vorhaben beteiligten Partner sowie die sich daraus ergebene Symbiose aus (wissenschaftlicher) Theorie und unternehmerischer Praxis.

Für die N+P eröffnet die im Projekt erforschten und umgesetzten Herangehensweisen die Tür für den Einsatz von modernen Verfahren zum Wissensmanagement im Spannungsfeld von zum einen existierenden Datenströmen und zum anderen den dazu notwendigen Modellen und Implementierungen.

Mit Blick auf die wirtschaftliche Verwertung sowie Pflege und Weiterentwicklung der Projektergebnisse wurden bei der N+P bestehende Entwicklerstellen verstetigt sowie weitere Stellen neu geschaffen.

4.2. CBA Synergy GmbH

Analog zu den Ausführungen von N+P war auch für CBA Synergy die Zusammenarbeit in dem Projekt sehr fruchtbar und bot die Möglichkeit, die vorhandenen Kompetenzen im Bereich der Softwareentwicklung noch einmal erheblich auszubauen.

Insbesondere der Einsatz neuester Verfahren in komplexen und verzweigungsreichen Softwareumgebungen war vor Projektbeginn nicht abzuschätzen und erwies sich als sehr wertvoll. Daher wäre ohne Förderung die wissenschaftlich-technische sowie die wirtschaftlichen Risiken zu hoch gewesen, um in diesem Bereich die angedachten Lösungen zu entwickeln.

4.3. Uni Leipzig, IMISE

Der Austausch mit entwickelnden KMUs bzw. Industriepartnern im Projekt hat weiter dazu beigetragen, ein tiefes Verständnis für die in der wirtschaftlichen Praxis bzw. in Unternehmen vorliegenden Daten zu erhalten. Ohne die Zusammenarbeit mit der N+P und der CBA Synergy hätte das IMISE in diesem Bereich keine wesentliche wissenschaftliche Forschung betreiben bzw. diese nicht angemessen evaluieren können. In dem Projekt ist die Entwicklung eines ontologischen Frameworks als eines der Ziele gesetzt. Hierzu war es notwendig, die in AP5 (Entwicklung der Ontologien für Anforderungs-, Bewertungs- und Ent-scheidungsprozess) beschriebenen Untersuchungen durchzuführen.

Die Ontologien gewinnen zunehmend an Bedeutung in verschiedenen Anwendungsbereichen. Sie sind die am weitesten fortgeschrittene Methodik für die Erhebung, Repräsentation und Nutzung des Wissens eines Gegenstandsbereichs. Das IMISE hat diese Methodik in einer Vielzahl von Projekten angewandt, die einerseits auf praktische Ergebnisse ausgerichtet sind, andererseits auf neue Erkenntnisse in den Wissenschaften fokussiert sind.

Durch die Verwendung der Ontologien und die onto-axiomatischen Methode sind in diesem Vorhaben die Folgenden Ergebnisse zustande gekommen:

- Verwendung der Konzepte von Search-Ontologien und ihre Bereitstellung für die effiziente Suche nach Dokumenten;
- Schaffung von methodischen Grundlagen für das Thema der Anforderungen;
 - hier wurde durch die Einführung verschiedene Begriffe der Vollständigkeit und der Widerspruchsfreiheit einer Anforderungsspezifikation eine Grundlage für die praktischen Anwendungen und die künftige Forschung geschaffen.
- Von besonderer Bedeutung ist die Verbindung der Theorie der Anforderungen mit der Innovationsforschung. Das ist ein zusätzliches Ergebnis, das ohne die ontologischen Methoden nicht zustande gekommen wäre.

5. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit

5.1. N+P Informationssysteme GmbH

Für N+P sind die Erfolgsaussichten für eine weiterführende Verwertung sehr gut, da wir in den Gesprächen mit den Unternehmen die Notwendigkeit zur (weiteren) durchgängigen Digitalisierung bestätigt bekommen haben. Hier zeigt sich der Mehrwert durch das N+P-Portfolio, Prozesse und Systeme miteinander zu verbinden und keine Einzellösungen zu platzieren. Der laufende Austausch mit den Unternehmen und das Beschäftigen mit (Technologie-) Trends hilft N+P bei der zukunftsorientierten Ausrichtung des Unternehmens in Bezug auf (Weiter-) Entwicklungen im Bereich Digitaler Zwillinge von Anlagen und Maschinen. Grundlage hierfür ist das Vorhandensein von digitalen Informationen/ Daten

Im Zuge des Projektes wurden interessierte Pilotkunden identifiziert, welche die entwickelten zukunftsweisenden Technologien verproben möchten. Ein wichtiger Aspekt und Mehrwert für N+P ist die Entwicklung auf einer in Deutschland gehosteten

Software-/ Plattformumgebung. Ein wesentlicher Vorteil hierfür ist die im Projekt erreichte Durchgängigkeit und Skalierbarkeit auf verschiedenen Domänen (Prozesse für smarte Gebäude- und Maschinen-/ Anlagenkontexte) in Verbindung mit der (3D-)Visualisierung auf einer in Deutschland gehosteten von Hyperscalern unabhängigen Plattform.

Mit Blick auf die weitere Zusammenarbeit mit den Projektpartnern besteht ebenfalls weiterhin eine positive Prognose, dass über das Projektende hinaus die wirtschaftliche Verwertung und Anschlussfähigkeit der Projektergebnisse gesichert ist, indem die Praxispartner die Erkenntnisse unmittelbar in ihr Angebot integrieren werden.

5.2. CBA Synergy GmbH

Nach Abschluss der Entwicklungsarbeiten werden die Pilotkundenanwendungen in praktische Anwendung überführt. Dadurch werden Referenzkunden gewonnen und die CBA Synergy kann entlang der Lieferkette weitere Kunden mit den entwickelten Lösungsansätzen unterstützen. Die wirtschaftliche Verwertung erfolgt dabei in Form von Lizenzmodellen sowie einem dazugehörigen Beratungs- und Projektgeschäft.

Für eine weitere Streuung und den Vertrieb der Lösungsansätze werden die Microsoft Partnerlösungen und deren Marktplatz, SAP und andere Softwaremarktplätze genutzt.

In diesem Zusammenhang wird ein gemeinsames Marketing und Vertrieb mit den Projektpartnern angestrebt. Hierfür ist auch die Gründung eines Joint Venture zwischen CBA Synergy und N+P denkbar.

Zusätzlich ist angestrebt, die gewonnen Erkenntnisse in einem möglichen Folgeprojekt mit einzubringen. Dieses soll sich mit dem konkreten Einsatz von Ontologien und strukturiertem Wissen in einem Werkerassistenzsystem (Bereich: industrielle Fertigung) sowie der Integration eines NLP Moduls beschäftigen.

5.3. Uni Leipzig, IMISE

Die im Projekt entwickelten Verfahren und Konzepten werden als Grundlage für weitere Forschung in diesem Bereich dienen.

Die weiterführenden Forschungen wurden in mehreren Dokumenten zusammengefasst. Dazu gehören eine Betrachtung über die digitalen Zwillinge sowie eine Präzisierung der Begriffe der Widerspruchsfreiheit und der Vollständigkeit einer Anforderungsspezifikation. Die Ideen, die sich auf dem Kommunikationsproblem

zwischen Anforderer und Lieferer ergeben haben, werden zu einer neuen Konzeption für die Explainable KI ausgearbeitet.

Für diese weitere Forschung muss eine Verbindung und Kooperation mit anderen Wissenschaftsbereichen hergestellt werden, vor allem mit den Bereichen der Kognitionspsychologie und dem SCADS Projekt, das an der Universität Leipzig eine zentrale Stellung einnimmt. Ein weiterer Beitrag, der sich aus den Erkenntnissen der KI-Werk-Projekt ergeben hat, ist für die Innovationsforschung zu erwarten.

Dabei soll auch die praktische Anwendbarkeit in anderen Anwendungsbereichen und Szenarien analysiert werden, um den generellen Einsatz der entwickelten Verfahren zu ermöglichen.

Eine wirtschaftliche Verwertung seitens der Universität Leipzig ist vorgesehen.

Die im Projekt entwickelten Verfahren und Konzepten werden als Grundlage für weitere Forschung in diesem Bereich dienen. Dabei soll auch die praktische Anwendbarkeit in anderen als in diesem Projekt untersuchten Anwendungsbereichen und Szenarien analysiert werden, um den generellen Einsatz der entwickelten Verfahren zu ermöglichen.

6. Fortschritte in Wissenschaft und Technik während der Projektlaufzeit

Während der Durchführung des Vorhabens wurden folgende neue Arbeiten – nach projektrelevante Themenfeldern kategorisiert – den Projektpartnern bekannt:

6.1. Lösungen aus dem Fachbereich

Für die Steuerung von Wertschöpfungsketten gab es softwareseitig in den letzten Jahren zahlreiche Weiterentwicklungen, die insbesondere Aspekte wie Cloudcomputing, immer tiefere Integration in die Office-Umgebung und intelligente Datenanalyse und -auswertung adressierten. Im Kontext von KI-Werk lassen sich hier exemplarisch benennen:

- ERP
- SCM-Systeme
- Online-Marktplätze
- Webbasierte Ausschreibungs-Systeme

Unbenommen der verfügbaren neuen Softwarelösungen ist den Projektpartnern keine Lösung bekannt, die umfänglich mit den Ergebnissen aus KI-Werk vergleichbar ist.

6.2. KI-Technologien

Im Projektverlauf hat sich insbesondere die Nutzung und Integration generativer Transformer bzw. Large Language Modelle wie bspw. ChatGPT von OpenAI auch in Business Anwendungen als Stand der Technik etabliert.

Der Einfluss dieser Technologien ist bedeutsam und wird sich in naher Zukunft auf viele Arbeitsprozesse in der Wirtschaft auswirken. Das IMISE leistet bereits Beiträge für die Weiterentwicklung dieser KI-Technologie. Im Rahmen eines Promotionsvorhabens werden LLMs mit Ontologien kombiniert. Dadurch soll den LLM-Verfahren eine deduktive Komponente hinzugefügt werden.

6.3. Ontologien und Semantische Netze

Der Bereich der Ontologien mit ihren Anwendungen hat sich kontinuierlich weiterentwickelt. Für das Vorhaben von Bedeutung ist ein großes EU-Projekt, genannt OntoCommons, hier spielen die Ontologien eine zentrale Rolle. Das IMISE ist ein registriertes Mitglied dieser Community und nimmt an Workshops teil.

Ein weiteres von dem IMISE betreutes Promotionsvorhaben beschäftigt sich mit der Transformation von Mindmaps in Ontologien. Das IMISE ist auch an einer Erweiterung der Search-Ontologie beteiligt, die eine Verbindung zur Wissensorganisation anstrebt.

Das IMISE ist kein passiver Rezipient neuer Entwicklungen in verschiedenen Bereichen der Ontologien und der KI Methoden, sondern es ist ein aktiver Mitgestalter.

7. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

7.1. Publiziert

- Konrad Abicht: (arxive) OWL Reasoner still useable in 2023, arxive:2309.06888

7.2. Eingereicht

- Konrad Abicht: Machine Readable RDF ontologies and vocabularies from the field of industrial manufacturing
- H. Fiegenbaum: Towards a formalization of artifacts (eingereicht bei Applied Ontology)

7.3. In Vorbereitung

- The Ontology of requirements for industrial products
- The Ontology of features for industrial products.
- Verschiedene Reports (auch Grundlage für weitere Papiere)
- Generische Komponenten des Projekts KI-Werk
- Unit Measure Ontologien
- Anforderungen und Klassifikationssysteme

Kurzbericht



KI-WERK

KI-WERK - KI-gestützte WERTschöpfungsketten

Zuwendungsempfänger:

N+P Informationssysteme GmbH

CBA Synergy GmbH

Uni Leipzig, IMISE

Förderkennzeichen:

01IS20038A-C

Laufzeit des Vorhabens: **01.04.2021 – 31.03.2024**

Autoren:

Marco Vogel, Björn Schuster (N+P Informationssysteme GmbH)

Gerrit Raddatz (CBA Synergy GmbH)

Heinrich Herre (Universität Leipzig - IMISE)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01IS20038A-C gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

Die auftragsorientierte Einzel- und Serienfertigung hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen, insbesondere durch Trends wie Globalisierung, Digitalisierung und die Anforderungen von Industrie 4.0. Die Herausforderung liegt in der Koordination mehrstufiger und variabler Wertschöpfungsnetzwerke, die für jeden Auftrag neu abgestimmt werden müssen. Aktuelle IT-Technologien wie ERP- und SCM-Systeme bieten nur geringe Unterstützung für diese komplexen Aufgaben, da sie in erster Linie für innerbetriebliche Prozesse entwickelt wurden.

Das Ziel des Projekts KI-WERK war die Entwicklung eines intelligenten Assistenzsystems zur Unterstützung bei der Koordination solcher Netzwerke. Durch die Integration von KI-Technologien sollten insbesondere Prozesse der Lieferkettenkoordination automatisiert und optimiert werden.

Das Projekt wurde von April 2021 bis März 2024 durchgeführt. N+P Informationssysteme GmbH leitete das Projektkonsortium, dem auch die CBA Synergy GmbH (CBA) und die Universität Leipzig (IMISE) angehörten. Inhaltlich bearbeitete N+P die Thematiken bzgl. ERP-Integration und digitaler Zwillinge. IMISE unterstützte das Projekt insbesondere durch die Entwicklung von Ontologien zur Modellierung von Anforderungen und Produktgruppen. CBA befasste sich schwerpunktmäßig mit zwei Bereichen: das Anforderungs-Management zur Definition der zu erbringenden Leistung und das Lieferketten-Management.

Zu Beginn wurden umfassende technische Voruntersuchungen durchgeführt, um Anforderungen und Integrationsmöglichkeiten für ERP-Systeme zu analysieren. Die Analyse von Einkaufsprozessen und die Untersuchung der Synergien zwischen den Plattformen der Projektpartner waren zentrale Elemente des ersten Projektabschnitts.

Im Laufe des Projekts wurde ein Framework für die ERP-Integration entwickelt, das die Anbindung verschiedener ERP-Systeme wie SAP und APplus ermöglichte. Parallel dazu wurden Ontologien entwickelt, um den Prozess der Anforderungsbewertung und Entscheidungsfindung zu unterstützen.

Zu den wesentlichen Ergebnissen bzw. Innovationen zählt die Entwicklung eines ERP-Schnittstellensystems, das flexibel auf die Anforderungen von mehrstufigen Lieferketten eingeht. Durch die Integration von ERP-Daten in den digitalen Zwilling können eine höhere Transparenz und Effizienz in der Produktionsplanung erreicht werden. Ein

weiteres Ergebnis war die Entwicklung eines Bewertungssystems, das KI-basierte Analysen ermöglicht, um Entscheidungsprozesse in der Lieferkette zu unterstützen.

Das Projekt führte zudem zu mehreren Prototypen und Pilotanwendungen, die auf Fachmessen vorgestellt wurden. Die entwickelten Lösungen wurden von Pilotkunden getestet, wobei deutlich wurde, dass eine durchgängige Digitalisierung in den Unternehmen notwendig ist, um die Projektansätze erfolgreich zu implementieren. Anzumerken ist hierbei, dass das Prinzip der Prototypen und Konzepte auch auf andere Domänen als den Maschinenbau bzw. der Einzel- und Serienfertigung übertragen werden können.