

SDaC – Smart Design and Construction

Plattform für Anwendungen der Künstlichen
Intelligenz in der Bauwirtschaft

Schlussbericht

31.03.2024

Prof. Dr. Shervin Haghsheno

Dr. Svenja Lauble

Philipp Zielke, M.Sc.

Jan Wolber, M.Sc.

Diego Cisterna, M.Sc.

Karlsruher Institut für Technologie

1 Inhalt

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1 Aufgabenstellung	9
2 Voraussetzungen des Vorhabens	11
3 Planung und Ablauf des Vorhabens.....	15
4 Wissenschaftlicher und technischer Stand.....	17
4.1.1 Geschäftsmodellentwicklung	17
4.1.2 Grundlagenforschung und Entwicklung von Demonstratoren der Künstlichen Intelligenz	19
4.1.3 Plattform	22
4.1.4 Schutzrechte	22
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	23
6 Ergebnisse	27
6.1 Förderung des Business-Ökosystems und der Umwelt.....	27
6.2 Entwicklung neuer Geschäftsmodelle	31
6.3 Akzeptanzförderung und Demonstratoren der Künstlichen Intelligenz .	35
6.3.1 Anwendungsfälle in der Bauwerksplanung	36
6.3.2 Anwendungsfälle in der Lieferkette	39
6.3.3 Anwendungsfälle der Baurealisierung.....	43
6.3.4 Anwendungsfälle der Bauausführungsplanung.....	46
6.4 Entwicklung der Plattform	57

Inhaltsverzeichnis	IV
6.5 Humanzentrische Grundlagen	58
6.6 Weitere Wirtschaftliche Ergebnisse	61
6.7 Weitere Wissenschaftliche Ergebnisse	62
7 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	65
8 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit.....	67
8.1 Wissenschaftliche Verwertung.....	67
8.2 Wirtschaftliche Verwertung	67
8.3 Verwertung in der Lehre	69
9 Fortschritt an anderer Stelle.....	71
10 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen.....	72
10.1 Veröffentlichungen im Jahr 2020	72
10.2 Veröffentlichungen im Jahr 2021	72
10.3 Veröffentlichungen im Jahr 2022	74
10.4 Veröffentlichungen im Jahr 2023	76
11 Literaturverzeichnis	LXXVII
Anhang.....	LXXXII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Grundidee von SDaC	9
Abbildung 2: Übersicht der Teams in SDaC.....	16
Abbildung 3: Übersicht der Projektbeteiligten (Konsortial- und assoziierte Partner)	28
Abbildung 4: Dashboard zur Übersicht der Social Media Reichweite (Stand 20.12.2022)	30
Abbildung 5: Benutzeroberfläche zum Entwurf der Gebäudekontur	37
Abbildung 6: Beispiel der optimalen Lösung der generierten Layouts	39
Abbildung 7: IFC Modell aus dem generierten Layout. Link: Komplettes Gebäude. Mitte: 1. OG. Recht: EG.	39
Abbildung 8: Digitalisierung der Lieferscheine: Papierlieferschein, Zieltabelle (expected values) und die Daten im json-Format.....	40
Abbildung 9: a) Mockup mit den Funktionalitäten der Anwendung, b) technischer Prototyp (Demonstrator)	41
Abbildung 10: Betrachtungsbereich der DIN SPEC 91454.....	42
Abbildung 11: Teile der DIN SPEC 91454 (links), Inhalte der DIN SPEC 91454-2 (rechts)	42
Abbildung 12. Bautagesbericht-Schnittstelle	44
Abbildung 13. Bautagesbericht-Ergebnisüberprüfung	45
Abbildung 14. Bautagesbericht PDF-Export.....	45
Abbildung 15. Bautagesbericht Filtern	46
Abbildung 16: Vorschlagsliste zu ergänzender LV-Text	48
Abbildung 17: Vergleich Eingabedatei mit Modelldaten.....	49

Abbildung 18: Ansicht Langtext.....	50
Abbildung 19: Ergebnistabelle	51
Abbildung 20: Upload einer Mängelliste	52
Abbildung 21: Anonymisierung der Daten.....	53
Abbildung 22: Klassifizierung und Wahrscheinlichkeit.....	54
Abbildung 23: Übersicht Zuordnung Mängel nach DIN 276.....	54
Abbildung 24: Design Thinking Zyklus	59
Abbildung 25: Ablauf der Testing Sessions.....	60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Darstellung der geplanten Arbeitspakete und Meilensteine	15
Tabelle 2: Zuordnung Team und Anwendungsfälle	35
Tabelle 3: Auswertung MVP-Tests.....	61

Abkürzungsverzeichnis

API	Application Programming Interface
B2C	Business to Customer
B2B	Business to Business
CSV	Comma-Separated Values
CVAT	Computer Vision Annotation Tool
DBV	Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.
DVC	Data Version Control
GAEB	Gemeinsame Ausschreibungs- und Auftragsvergabeverfahren im Bauwesen
GM	Geschäftsmodell
GÜB	Gemeinschaft für Überwachung im Bauwesen
IFC	Industry Foundation Classes
KI	Künstliche Intelligenz
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
LV	Leistungsverzeichnis
MVP	Minimal Viable Product

1 Aufgabenstellung

Das Ziel des Forschungsvorhabens „Smart Design and Construction“ (SDaC) war die Entwicklung einer Plattform für die Nutzung von Anwendungen und Demonstratoren der Künstlichen Intelligenz (KI) in der Bauwirtschaft. Die neu entwickelten KI-basierten-Demonstratoren zeigen, wie KI dazu beitragen kann, dass Bauvorhaben effizienter und schneller abgewickelt und die Bedürfnisse der Nutzer von Bauwerken besser befriedigt werden können. Die großen, schwach strukturierten, heterogenen und verteilt abgelegten Datenmengen der einzelnen Unternehmen sollten zusammengebracht und durch Methoden der KI aufbereitet und maschinell lesbar gemacht werden. Abbildung 1 stellt die Grundidee des SDaC-Konzepts schematisch dar. Zuerst werden die verteilten Daten der Bauwirtschaft mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz strukturiert, geordnet und auf der Plattform zusammengeführt. Auf Basis dieser zentralisierten Daten können anschließend Entwickler fortgeschrittene Anwendungen der Künstlichen Intelligenz umsetzen und diese insbesondere kleinen und mittelständischen Unternehmen bereitstellen.

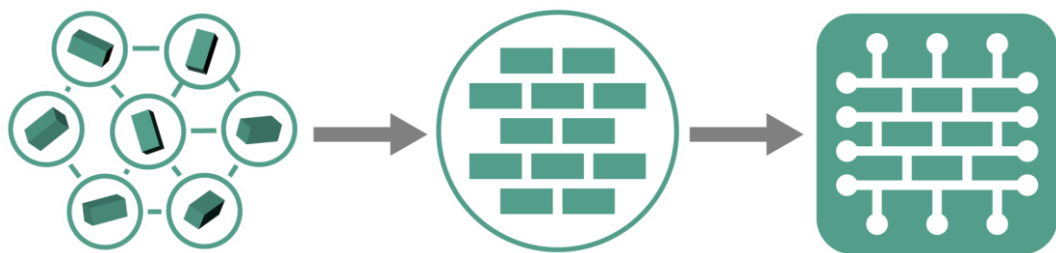


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Grundidee von SDaC

Zur Umsetzung des beschriebenen Konzeptes wurden vier Handlungs- und Forschungsfelder, die im folgenden Kapitel detailliert beschrieben werden, identifiziert:

1. **Entwicklung von Anwendungen der Künstlichen Intelligenz:** Komplexe Problemstellungen in der Bauwirtschaft erfordern sowohl die kognitiven und kreativen Fähigkeiten des Menschen als auch die analytische Unterstützung durch Künstliche Intelligenz. Anwendungen der Künstlichen Intelligenz reduzieren die Komplexität von Aufgaben, die für den Menschen schwer lösbar sind, wie die Auswertung großer Datenbestände, und schaffen Transparenz in Echtzeit. Gleichzeitig übernehmen sie monotone, nicht wertschöpfende Aufgaben, sodass sich die Rolle des Menschen z.T. vom ausführenden zum bewertenden Akteur wandelt. Durch den Ausbau

der Dienstleistungen kann so eine größere Nachfrage bedient werden. Bei der Entwicklung der Anwendungen ist ein humanzentrisches Design entscheidend.

2. **Technische Entwicklung der Plattform und Datengovernance:** Die Plattform und ihre Governance beachten Normen und Richtlinien zur Wahrung sicherheitsrelevanter Aspekte, sodass ein organisationsübergreifendes Lernen durch Metadaten gewährleistet ist. Als offene Plattform mit Open-Source Ansatz wird der Zugriff auf SDaC über Programmierschnittstellen, sogenannten APIs (application programming interface), zur Entwicklung weiterer Anwendungen ermöglicht.
3. **Entwicklung des Ökosystems:** Zur weiteren Förderung innovativer und disruptiver Lösungen werden gezielt Maßnahmen zur Belebung des Ökosystems durchgeführt und Anreize zur Partizipation geschaffen.
4. **Entwicklung neuer Geschäftsmodelle:** Das Geschäftsmodell von SDaC ermöglicht eine Transformation der Bauwirtschaft von dem bisherigen Pipeline-Modell hin zu einem Plattformansatz. Auf der SDaC Infrastruktur werden zudem neue Geschäftsmodelle befähigt, von denen der Betreiber von SDaC, technische Entwickler und Praxispartner in der Bauwirtschaft profitieren.

Die Plattform hat das Ziel ein breites Spektrum von Anwendungsfällen zu demonstrieren, wie Unternehmen durch die Bereitstellung von Tools und Methoden der KI, von der Bauwerksplanung, über die Produktionsplanung bis hin zur Ausführung von Bauwerken unterstützt werden können. Die humanzentriert umgesetzten Anwendungsfälle sollen den Menschen durch eine starke Mensch-Maschinen-Interaktion in den Mittelpunkt rücken. Dazu sind internes wie auch externes Feedback während des Projekts mit einfließen.

2 Voraussetzungen des Vorhabens

Im Rahmen des SDaC-Projekts war es obligatorisch, die zu entwickelnden Demonstratoren entsprechend den spezifischen Nutzeranforderungen zu gestalten. Dies bedeutet, dass sich die Entwicklungen nicht nur auf technische Aspekte fokussieren, sondern auch eine humanzentrierte Ausrichtung einbeziehen müssen. Mit dem konkreten und kontinuierlichen Einbinden der Nutzer in die Entwicklungen im Rahmen des Projektes wird die Akzeptanz zur Nutzung der Demonstratoren gefördert und die Bauwirtschaft aktiv zur Förderung des Verständnisses zum Thema „Künstliche Intelligenz“ miteinbezogen. Im Gegensatz zu traditionellen Innovationsprozessen, die hauptsächlich auf internen Ressourcen basieren, ist es wichtig den Innovationsprozess offen zu gestalten. Um einen offenen Innovationsprozess zu realisieren, sollen die Bedürfnisse und Anforderungen der Nutzer frühzeitig und kontinuierlich berücksichtigt werden. Dies ermöglicht eine Lösungsgestaltung, die den spezifischen Anforderungen der Nutzer gerecht wird. Um dies umzusetzen, waren ein qualifiziertes Projektteam und ausreichende Ressourcen erforderlich. Dafür wurden schon zu Beginn des Projekts verschiedene Kooperationen und Partnerschaften geschlossen. Während der gesamten Projektlaufzeit fanden Austausche mit Partnern aus der Bauindustrie, Forschungseinrichtungen, Technologieanbietern oder staatlichen Institutionen statt, um das Business-Ökosystem SDaC zu erweitern. Am Ende bestand das Ökosystem aus dem Konsortium (elf Partner) und 37 assoziierten Partnern. Im Folgenden werden die Konsortialpartner und ihre Expertise, die sie in das Projekt mitbrachten, vorgestellt.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT): Mit über 9.000 Beschäftigten ist das Karlsruher Institut für Technologie eine der weltweit größten Forschungs- und Lehrinrichtungen mit starken Kompetenzen in der Erforschung und Nutzung von Künstlicher Intelligenz und auf vielfältigen Disziplinen hinsichtlich der natürlichen und gebauten Umwelt. Das Forschungsprojekt profitiert von dem am KIT gebündelten Fachwissen durch die Einbindung von vier Instituten:

- **Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB):** Das TMB ist ein führendes Institut in der Forschung im Bauprozess- und Bauprojektmanagement sowie im Fachgebiet Lean Construction. Das TMB übernimmt im Forschungsprojekt die Konsortialführerschaft und bringt seine Expertise und umfassende Erfahrungen hinsichtlich der Planungs- und Bauprozesse, der Entwicklung innovativer Geschäfts- und

Projektabwicklungsmodelle und der Marktstrukturen in der Bauwirtschaft sowie sein umfassendes Netzwerk ein. Der Forschungsschwerpunkt des TMB liegt auf der Untersuchung von Geschäftsmodellen und deren Adaption. Zudem übernimmt das TMB das Projektmanagement im Konsortium.

- **Karlsruhe Service Research Institute (KSRI):** Das KSRI fördert die interdisziplinäre Forschung zu Digitalen Service Systemen und den Transfer von Methoden und Konzepten aus der Wissenschaft in die Industrie. Das KSRI hat seine Kompetenz in mehreren BMBF- und BMWI-geförderten Projekten demonstriert (z.B. STEP, BigDieMo, DELFIN). Im Rahmen von SDaC bringt das KSRI seine Expertise in der Entwicklung von Assistenzsystemen auf Basis von Künstlicher Intelligenz ein.
- **Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI):** Das IAI hat eine führende Rolle in der Entwicklung, Definition und Anwendung von semantischen Datenmodellen auf Komponenten-, Gebäude- und Stadtebene inne. Die umfassenden Kenntnisse aus einer Vielzahl von Projekten und die langjährige Erfahrung in openBIM-Methoden und deren Standardisierung werden in das Forschungsprojekt eingebracht (u. a. EU Forschungsprojekt STREAMER).
- **Lehrstuhl für Entrepreneurship und Technologie-Management (EnTechnon):** Die Aufgabe des EnTechnon ist es, Wissen über Unternehmertum und Technologiemanagement zu schaffen, zu vermitteln und anzuwenden. Forschungsseitig konzentriert sich das EnTechnon auf Design Science Research und begleitet in SDaC die Entwicklung von Artefakten, die unternehmerisches Handeln unterstützen.

CyberForum e.V.: Das CyberForum e.V. ist mit über 1.200 Mitgliedern das größte regionale Hightech-Unternehmer-Netzwerk in Europa. Im Rahmen von SDaC bringt das CyberForum seine Expertise zur Entwicklung von Netzwerken und Ökosystemen sowie sein Engagement bei einschlägigen Initiativen wie bspw. der Digital Hub Initiative für angewandte Künstliche Intelligenz Karlsruhe (de:hub) oder dem Mittelstand 4.0-Kompetenzzentren Stuttgart ein, um die SDaC Plattform in der Bauwirtschaft zu verankern. Insbesondere durch die gezielte Einbindung von Startups soll ein nachhaltiges Ökosystem und europäischer Innovationscluster geschaffen werden.

Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV): Der DBV ist ein technisch-wissenschaftlicher Verein, in dem Bauunternehmen, Planer, Bauherren

und Baustoffindustrie vertreten sind. Er arbeitet seit vielen Jahren an der Verbesserung der Schnittstellen zwischen allen am Bau Beteiligten, um verlässliche und zielsichere Prozeduren zu entwickeln. Standardisierte Lösungen werden vom DBV konzipiert, mitgestaltet und anschließend in die Praxis übertragen. Der DBV ist daher ein wichtiger Partner, der die aktuellen Bedarfe in den Bereichen Planung, Ausführung und Realisierung kennt.

Gemeinschaft für Überwachung im Bauwesen e.V. (GÜB): Die GÜB ist eine vom Deutschen Institut für Bautechnik für die bauaufsichtlich geforderte Überwachung von Baustellen im Bereich des Betonbaus und der Instandsetzung von Betonbauwerken anerkannte Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle. Die GÜB führt jährlich bundesweit rund 4.000 Baustellenüberwachungen durch. Die GÜB ist mit 50 Jahren Erfahrung in der Bewertung von Bauproduktanforderungen der ideale Partner, um die Bauausführenden bereits während des Forschungsprojektes mit einzubinden.

digitales bauen GmbH: Das Unternehmen digitales bauen GmbH ist ein Ingenieurbüro für Integrale Planung im Bauwesen und spezialisiert auf die Systemintegration, Modularisierung und industrielle Vorfertigung von individuellen Architekturprojekten. Auf Grundlage eines methodischen Planungsansatzes und moderner Softwaretechniken werden Gebäudeentwürfe in sich wiederholende Einheiten zerlegt und damit für strukturierte Bauprozesse bis in die industrielle Vorfertigung vorbereitet. Mit innovativen Konzepten und Herangehensweisen, über 20 Jahren Erfahrung und einer Vielzahl von realisierten Großprojekten ist digitales bauen ein wichtiger Partner für die Prozesse in der Planungsphase.

Fraunhofer Institut für Software- und Systemtechnik: Das Fraunhofer ISST unterstützt beim Aufbau komplexer IT-Systeme sowie bei der Verwirklichung sicherer und bedarfsgerechter Informationsbereitstellung. Im Forschungsprojekt unterstützen sie mit umfassenden Erfahrungen in der Entwicklung von Referenzarchitekturen, Data Governance und Plattformentwicklung. Aktuelle Projekte des Fraunhofer ISST sind beispielsweise InDaSpacePlus, DEMAND oder Digital Business Engineering. Damit werden die Kompetenzen im Bereich der Plattformentwicklung geschärft.

FARO Europe GmbH & Co. KG: FARO ist Weltmarktführer im Bereich von 3D-Laserscannern. Am europäischen Hauptsitz bei Stuttgart ist die FARO Labs Innovationsabteilung angesiedelt, welche die Digitalisierung in den Bereichen BIM, Architektur und Industrie 4.0 erforscht. Die Schwerpunkte sind digitale Plattformen,

digitaler Zwilling, Visualisierung von 3D Daten und KI-unterstützte, automatisierte Objekterkennung. In Form von laufenden BMBF-Forschungsprojekten sowie direkten Kundenprojekten mit kleine und mittlere Unternehmen (KMU) und Großunternehmen entwickeln sie diese Kompetenz kontinuierlich weiter.

Goldbeck GmbH: Goldbeck ist eines der größten deutschen Bauunternehmen und konzipiert, baut und betreut Gewerbeobjekte. Mit über 70 Standorten in Europa, firmeneigenen Produktionsstätten und rund 600 abgewickelten Projekten im Jahr steuert Goldbeck einen wesentlichen Anteil der bei SDaC genutzten Daten bei und treibt so die Digitalisierung der Bauindustrie voran.

Metis AG: Die Metis AG entwickelt und vertreibt eine Softwarelösung für die Bauausführung im BIM-Prozess, die sämtliche Steuerungs- und Dokumentationsaufgaben im Baumanagement umfasst. Als Technologiepartner bringt Metis weitreichende Expertise in den Bereichen technische Entwicklung, BIM und KI ein und unterstützt in der Betreuung der Plattform über den Projektzeitraum hinaus.

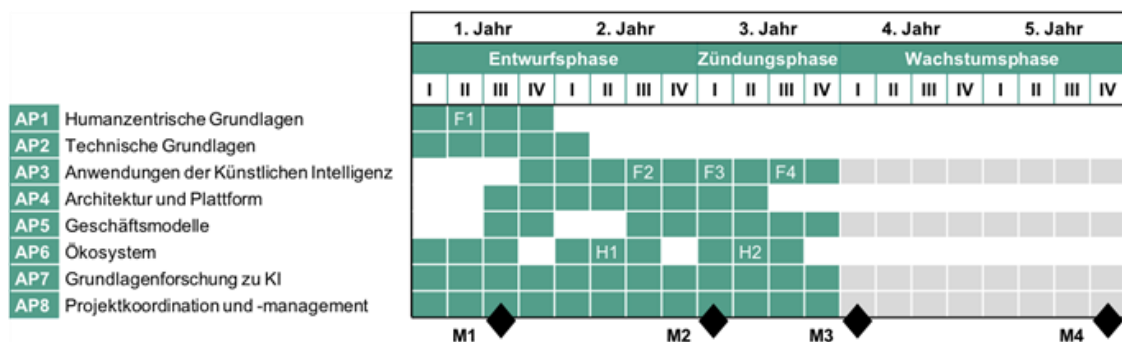
Steuer Tiefbau GmbH: Die Steuer Tiefbau GmbH ist ein innovatives Bauunternehmen, das sich auf den Tiefbau, Wegebau und Abbruch spezialisiert hat, mit dem Ziel, mittelfristig, eine End-to-End Digitalisierung des Geschäftsmodells zu realisieren. Die Steuer Tiefbau GmbH hat einen hohen Erfahrungsschatz in Bezug auf die Vernetzung von Baumaschinen mit CAD-Modellen und der Einbindung von Sensordaten in das Projektcontrolling. Als Datenpartner liefert die Firma zudem Trainingsdaten für die Optimierung und Qualitätsanalyse von Bauprozessen im Tief- und Wegebau.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt SDaC war für eine Laufzeit vom 1. April 2020 bis zum 31. März 2023 geplant. Verzögerungen im Projektablauf, verursacht durch die CoVid19-Pandemie, führten zu einer sechsmonatigen kostenneutralen Verlängerung bis zum 30. September 2023.

Zur Umsetzung existierten drei Phasen: Die Entwurfs-, Zündungs- und Wachstumsphase. Durch Feedbackschleifen entstanden die KI-Demonstratoren und die Plattform in enger Abstimmung zwischen den jeweiligen Produzenten und Anwendern. Tabelle 1 zeigt den geplanten Arbeitsablauf über die Projektlaufzeit mit den Feedbackschleifen und Meilensteinen.

Tabelle 1: Darstellung der geplanten Arbeitspakete und Meilensteine



Im Projekt waren vier Feedbackschleifen (F1-F4) für eine effiziente Implementierung der Demonstratoren auf der Plattform vorgesehen:

- F1:** In einem ersten Schritt wurden rudimentäre Prototypen (sog. Mock-Ups) mit den Kundenvorstellungen abgestimmt.
- F2:** Die Validität der entwickelten KI-Lösungen wurde durch einen Test-Datensatz sichergestellt.
- F3:** Die Demonstratoren wurden unter Realbedingungen bei den Konsortialpartnern getestet.
- F4:** In einem massiven MVP-Test wurden die entwickelten Demonstratoren bei Praxisunternehmen, die nicht Teil des Konsortiums waren, getestet.

Zur Förderung eines innovativen und disruptiven Ökosystems wurden zwei Hackathons veranstaltet, die sich mit den Themen KI als Treiber der Bauproduktion (H1) und KI als Treiber einer produktionsorientierten Bauplanung (H2) beschäftigten. Weiter wurden vier Meilensteine definiert:

- M1:** Der erste Meilenstein schließt mit der Betrachtung der Anforderungen und Kundenbedürfnisse ab.
- M2:** Mit Meilenstein zwei wird ein erster einsatzfähiger Prototyp der Plattform inklusive der Demonstratoren erreicht. Zum Ende der Zündungsphase ist eine Marktdurchdringung von 1% angestrebt. Mit dieser Schwelle wird der Break-Even-Point erreicht und SDaC gewinnt mit der wachsenden Anzahl an Partnern an ökonomischer Attraktivität.
- M3:** Meilenstein drei umfasst die Ausgründung von SDaC nach dem Förderzeitraum.
- M4:** Mit Meilenstein vier wird schließlich Marktreife erreicht.

Als Gesamtprojektleitung und Project Management Office (PMO) - verantwortlich für den Einbezug der assoziierten Partner und der Öffentlichkeitsarbeit - fungierte das Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB). Das Forschungsprojekt SDaC war in sechs Teams unterteilt (siehe Abbildung 2). Dabei hatten das Team *Plattform* und Team *Ökosystem* eine übergeordnete Rolle, da Inhalte und Anforderungen der Teams Bauwerksplanung, Bauausführungsplanung, Lieferkette und Baurealisierung aufgenommen und miteinander abgeglichen werden.

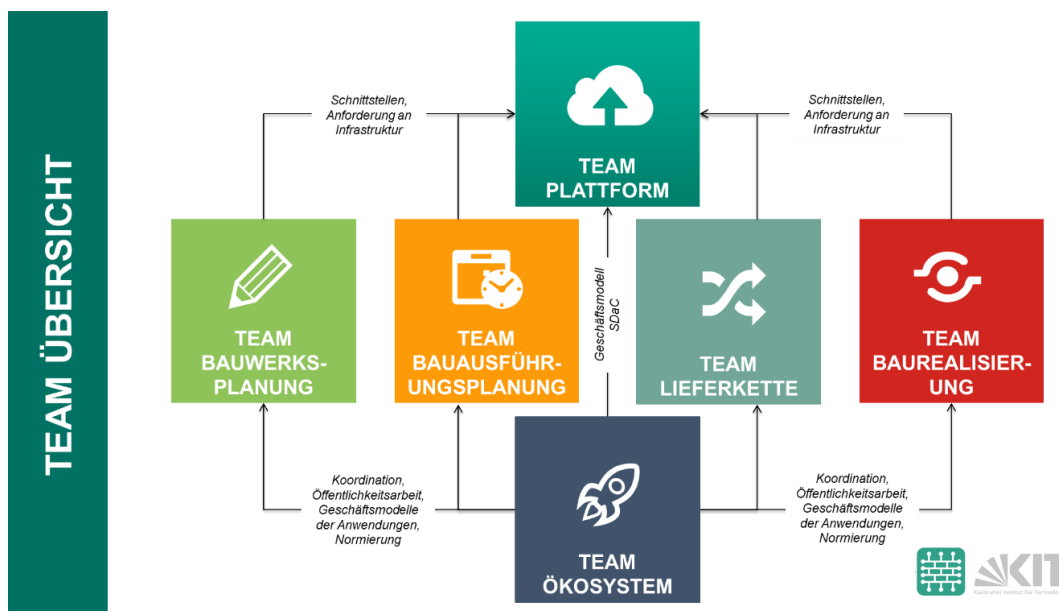


Abbildung 2: Übersicht der Teams in SDaC

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

4.1.1 Geschäftsmodellentwicklung

Die Thematik des Geschäftsmodells (GM) und der Geschäftsmodellinnovation hat in den letzten zwei Jahrzehnten an Bedeutung gewonnen. Mit der Verbreitung neuer technischer Möglichkeiten (z.B. dem mobilen Internet), aber auch neuen Kundenpräferenzen und der Deregulierung diverser Branchen entstanden und entstehen neue Möglichkeiten der Wertschöpfung. Mit der zunehmenden Verfügbarkeit von Daten und den stark reduzierten Kosten für Speicher und Rechenleistung ist eine neue Welle von Geschäftsmodellinnovationen absehbar: mit moderaten Investitionen können heute Lernende Systeme aufgebaut werden, die neue Möglichkeiten schaffen. Ein GM ist eine Darstellung der logischen Zusammenhänge, wie ein Unternehmen Wert für Kunden erzeugt und dabei einen Ertrag für die Organisation selbst sichern kann (Groesser, 2018). Das GM ist ein begrifflicher Rahmen, um ein ganzheitliches Verständnis der zugrunde liegenden Geschäftslogik zu analysieren oder zu schaffen. Wir beziehen uns bei den folgenden Ausführungen auf eine Struktur, die auf einer umfassenden Analyse zahlreicher Konzepte zum Thema Geschäftsmodellbeschreibung basiert (Al-Debei & Avison, 2010). Man kann bei einem GM vier Dimensionen unterscheiden:

- **Wertversprechen.** Das Wertversprechen bezieht sich primär auf das Angebot von Produkten und Dienstleistungen, die die Bedürfnisse ihrer Zielgruppen erfüllen.
- **Wertschöpfungsarchitektur.** Hiermit ist die organisatorische und technische Infrastruktur gemeint, welche die Bereitstellung von Produkten und Diensten ermöglicht. Auch die Darstellung der Kernkompetenzen und der wichtigsten Kernprozesse sowie ihrer IT-Unterstützung gehört zu dieser Dimension.
- **Wertschöpfungsfinanzen.** Bei dieser Dimension geht es um Preisstrukturen, Umsätze, Kosten und Profitabilität aber u.a. auch um Investitionen und die Bereitstellung von Kapital.
- **Wertschöpfungsnetzwerk.** Organisationen bauen ihre Produkte und Dienste auf Vorprodukten auf oder benötigen Komplemente, um ihr Produkt beim Kunden zu positionieren. Neben der internen Transformation spielen Transaktionen mit Geschäftspartnern eine wichtige Rolle. Diese Dimension beschreibt die Koordination und Zusammenarbeit mit anderen Organisationen.

Bei Plattformlösungen kommt der Dimension des Wertschöpfungsnetzwerkes eine besondere Bedeutung zu. Hier muss intensiv analysiert werden, wer zur Erstellung der Plattformangebote beiträgt, wer sie wie nutzt und wie dadurch Wert für den Nutzer generiert wird. Der Wert eines Produktes oder einer Dienstleistung entsteht immer in der Wahrnehmung dessen, für den er geschaffen wird. Vor diesem Hintergrund haben sich in den letzten Jahren zahlreiche Ansätze in der Innovationspraxis und Wissenschaft entwickelt. Begonnen wird die Entwicklung des Wertversprechens beispielsweise mit der „Jobs to be done“ Methode (Ulwick & Osterwalder (2016); Christensen (2016)). Ein weiterer zunehmend praktizierter Ansatz ist der des „Design Thinking“ (Plattner et al., 2016). Bei diesem Ansatz geht man von der Situation der Kunden aus, erfasst deren Probleme, entwickelt Empathie, versucht deren Bedarfe und erwünschte Ergebnisse möglichst gut zu verstehen und entwickelt auf dieser Grundlage alternative Lösungen.

Wesentlich für eine erfolgreiche Entwicklung nachhaltiger Geschäftsmodelle ist ein ganzheitliches Verständnis der Unternehmenslogik sowie der Einbettung des Unternehmens in das Ökosystem und der daraus resultierenden internen und externen Einflussfaktoren auf das Unternehmen. Die besondere Herausforderung für SDaC lag hier in der multidimensionalen Ausgestaltung der Geschäftsmodelle, zum einen des Geschäftsmodells der Plattform selbst und zum anderen der Geschäftsmodelle, die durch diese Plattform erst ermöglicht wurden. SDaC nahm diese Herausforderung an, indem das Konsortium von Beginn an alle relevanten Nutzergruppen aktiv in die Entwicklung der vier Dimensionen des eigenen Geschäftsmodells integriert hat. Darüber hinaus wurde ebenfalls von Beginn an der Fokus auf die Befähigung der Nutzergruppen zur Entwicklung eigener, durch die Plattform ermöglichter, Geschäftsmodelle gelegt.

Erste wissenschaftliche Arbeiten zu möglichen Plattformen und ihren disruptiven Auswirkungen sind bei Laine et al. (2017) und Oprach et al. (2019) zu finden. Diese Veröffentlichungen zeigen die Potentiale eines Plattform-Geschäftsmodells im Bauwesen, aber auch deren disruptive Auswirkungen auf das Ökosystem und bestehende Geschäftsmodelle.

4.1.2 Grundlagenforschung und Entwicklung von Demonstratoren der Künstlichen Intelligenz

Technische Entwicklung systematischer Methoden zur Realisierung von „datenzentrierter“ künstlicher Intelligenz

Komplexe Produkte im Rahmen von Industrie 4.0 werden im Regelfall im Verbund verschiedener Unternehmen gemeinsam hergestellt und generieren dabei eine Vielzahl an Daten. Basierend auf diesen Daten können innovative Dienstleistungen entscheidende Wettbewerbsvorteile generieren. Dies wird auch durch den steigenden Bedarf an Smart Services verdeutlicht (Demirkan & Spohrer, 2015). Der Schlüssel zu Smart Services ist die intelligente Zusammenführung und Auswertung von Daten unterschiedlicher Bereiche, wie beispielsweise BIM-Modelle (Building Information Modeling) und Echtzeit-Bilddateien der Baustelle für eine automatisierte Baufortschrittsanalyse. Auch wenn die Anzahl der existierenden Daten kontinuierlich zunimmt, gestaltet sich deren Nutzung für die Entwicklung Smarter Services bisher als schwierig. Zum einen befinden sich in einer vernetzten Welt diese Daten häufig bei unterschiedlichen Einheiten, sogenannten Entitäten, die geografisch oft verteilt sind (Wang et al., 2016). Eine Entitäten-übergreifende Verwendung dieser Daten findet bisher nicht statt, da Unternehmen befürchten, Geschäftsgeheimnisse durch den offenen Austausch von Daten zu offenbaren (Jensen, 2013). Zum anderen ist die Qualität dieser Daten aktuell für das Training von KI-basierten Services oft unzureichend. Daher werden solche Analysen, wenn überhaupt, nur innerhalb eines Unternehmens durchgeführt. Um das Potential integrierter Smart Services jedoch voll ausschöpfen zu können ist eine ausreichende Menge an Daten erforderlich, die in entsprechender Qualität vorhanden ist, um diese als Basis für das Training von KI-Systemen verwenden zu können. Der in diesem Projekt gewählte Ansatz der „datenzentrierten“ Künstlichen Intelligenz fokussiert sich auf die Verbesserung der Qualität der vorhandenen Daten sowie deren systematische Erweiterung (Jakubik, et al., 2024). In diesem Zusammenhang hat sich bisherige Forschung weitestgehend der Verbesserung von Modellarchitekturen der KI-Systeme gewidmet (Parmiggiani, et al., 2021), ohne einen speziellen Fokus auf die Daten zu legen (Sambasivan, et al., 2021). Das Paradigma der „datenzentrierten“ Künstlichen Intelligenz kann daher als komplementär zu den bisherigen Vorgehensweisen angesehen werden, in dem es Ansätze untersucht und entwickelt, wie die Anzahl an Daten und deren Qualität, die Unternehmen besitzen,

verbessert werden kann, um KI-Systemen grundsätzlich für Smarte Services nutzbar zu machen und deren Leistungsfähigkeit kontinuierlich zu steigern.

Automatisierte Layout-Generierung und Raumplanung

Bei der Layout-Generierung und Raumplanung kommen verschiedene Methoden zum Einsatz, darunter mathematische Programmierung, graphentheoretische Ansätze und maschinelles Lernen. Diese Methoden ermöglichen die automatisierte Generierung von Raumlaysouts basierend auf geometrischen Parametern, Nachbarschaftsbeziehungen und anderen funktionalen Anforderungen.

Bei der mathematischen Programmierung wird das Layout-Generierungsproblem zunächst mathematisch formuliert. Hierbei werden Raumlaysouts durch geometrische Parameter repräsentiert, während die Nachbarschaften und Funktionalitäten der Räume in Nebenbedingungen umgewandelt werden. Mithilfe von Optimierungswerkzeugen wie Solvern können diese mathematischen Optimierungsprobleme numerisch gelöst werden, um Layouts zu generieren. In verschiedenen Ansätzen wie evolutionären Algorithmen (Michalek, 2002) und der gemischt-ganzzahligen quadratischen Programmierung (Wu, 2018) werden diese Herausforderungen angegangen und effiziente Layouts erstellt.

Ein alternativer Ansatz zur Layout-Generierung nutzt die Graphentheorie, um Raumbeziehungen in topologischen Graphen abzubilden. Diese Methode konzentriert sich darauf, die Nachbarschaften zwischen Räumen darzustellen, indem Knoten die Räume und Kanten die Verbindungen zwischen den Räumen darstellen. Durch die Umwandlung dieser Beziehungen in eine 2D-Matrix können arithmetische Lösungen gefunden werden, um geometrische Grundrisse zu generieren. So stellte Shekhawat (2021) ein Werkzeug zur Konstruktion von dimensionierten Layouts mit Hilfe der Graphentheorie in Verbindung mit Optimierungstechniken vor, wobei die Anforderungen der Nachbarschaften entweder in einem Graphen oder in einem dimensionlosen Layout angegeben werden.

Immer häufiger werden Modelle des maschinellen Lernens für die automatisierte Layout-Generierung eingesetzt. Diese Modelle können aus Datensätzen realer Raumlaysouts lernen und dieses Wissen nutzen, um neue Layouts zu generieren. Durch den Einsatz von Bayes'schen Netzwerken (Merrell, 2010) und generativen adversarischen Netzen (GANs) können komplexe Raumstrukturen erlernt und für

die Generierung von Gebäudegrundrissen verwendet werden (Chaillou, 2020; Nauata, 2021). Maschinelles Lernen ermöglicht es, automatisiert Layouts zu erstellen, die den funktionalen und ästhetischen Anforderungen entsprechen.

Auswertung von Einflussfaktoren mit qualitativen, stochastischen und Soft-Computing-Methoden

Die Literatur zeigt drei Hauptansätze zur Auswertung von Einflussfaktoren in Bauprojekten: qualitative Methoden, stochastische Verfahren und Soft Computing mit Methoden des maschinellen Lernens. Qualitative Methoden, wie der Relative Importance Index (RII), werden häufig eingesetzt, um retrospektiv die Bedeutung einzelner Faktoren zu gewichten und zu ordnen. Stochastische Verfahren, wie Regressionen und Monte-Carlo-Simulationen, dienen der mathematischen Definition von Abhängigkeiten und Relevanzen zwischen Faktoren. (Chou et al. 2009, Wang et al. 2010). In multivariaten Regressionsmodellen werden Korrelationen zwischen historischen Daten und dem Zielfaktor Zeit (geplante Zeit, Zeitabweichung durch Nacharbeit) oder Kosten (geplante Kosten, Kosten durch Nachträge oder Nacharbeit) gebildet, um Schätzungen für neue Bauprojekte durchführen zu können. Im Bereich des Soft Computings kommen vermehrt Methoden des maschinellen Lernens zum Einsatz, um schwer berechenbare Probleme approximativ zu lösen.

Trotz der weitverbreiteten Anwendung der qualitativen und stochastischen Methoden in der Analyse von Einflussfaktoren gibt es bedeutende Lücken und Schwächen. Direkte Prognosen sind oft nicht möglich, und multivariate Regressionsmodelle vereinfachen die Realität stark, indem sie viele relevante Faktoren außer Acht lassen. Zeitschätzungsmodelle, die auf Kosten basieren, sind weit verbreitet, jedoch anfällig für Ungenauigkeiten und Fehlkalkulationen Modells (Magnussen et al. 2006, Potts 2005, Walker 1995). Modelle des Soft Computings könnten potenziell diese Schwächen reduzieren, allerdings sind die bisherigen Forschungsergebnisse auf spezifische Datensätze und Organisationen beschränkt, was ihre Übertragbarkeit einschränkt.

Die Herausforderung besteht darin, die bestehenden Methoden der Einflussfaktorenanalyse weiterzuentwickeln, um die Genauigkeit und Übertragbarkeit zu verbessern. Insbesondere ist eine Anpassung der Soft-Computing-Modelle erforderlich, um den Anforderungen von KMU gerecht zu werden und eine breitere Anwendung in der Praxis zu ermöglichen.

4.1.3 Plattform

Plattformkonzepte spielen in vielen Branchen eine wichtige Rolle bei der Bereitstellung und Verbreitung neuer Technologien. Hierbei kann beispielhaft auf Mindsphere (Produktion und Flottenmanagement), Thingworx (Produktion), Predix (Produktion), Uber (Mobilität), Airbnb (Tourismus) verwiesen werden. Gerade in der von kleinen und mittelständischen Unternehmen geprägten Bauwirtschaft ist der Erfolg des Vorhabens sowohl durch die Signalwirkung einer Partizipation von Marktführern als auch die Verfügbarkeit der entwickelten KI-Frameworks für Beteiligte in der Bauwirtschaft abhängig. SDaC adressiert als offene Plattform für Künstliche Intelligenz, der bereits jetzt eine Vielzahl von marktführenden Unternehmen und Verbänden ihre Unterstützung zugesagt haben, beide Bedürfnisse. Um Nutzer von der Plattform zu überzeugen, muss die Sicherheit der Daten garantiert sein. Insbesondere darf vertrauliches Wissen von Unternehmen Konkurrenten nicht öffentlich zugänglich sein. Eine Verknüpfung von Information darf beispielsweise nur auf dem Level von Metadaten erfolgen; Rohdaten dürfen nicht öffentlich zugänglich sein. Hierbei gilt es, verschiedene Konzepte im Rahmen der Umsetzungsphase zu evaluieren.

4.1.4 Schutzrechte

Es bestehen hinsichtlich der Ergebnisverwertung keine entgegenstehenden Rechte Dritter. Eigene Schutzrechte sind nicht vorhanden.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde mit sieben externen Partnern kooperiert, die ebenfalls Forschungsergebnisse entwickelt und damit maßgeblich zum Projekterfolg beigetragen haben. Im folgenden werden die Partner und deren Rolle inklusive Arbeitsergebnissen im Projekt genannt.

Zusammenarbeit mit Deutsches Institut für Normierung e.V. (DIN): Im Austausch mit DIN wurden die Zwischenergebnisse des Forschungsvorhabens regelmäßig im Hinblick auf Normungs- und Standardisierungsbedarfe sowie -potenziale geprüft. Für die Normung und Standardisierung relevanter Projektergebnisse wurde im Rahmen von Projektworkshops oder Konsortialtreffen mit den Projektpartnern diskutiert und bewertet. Dabei wurde im Rahmen dieser Workshops der „Informationsaustausch in der Liefer- und Wertschöpfungskette von Bauprodukten“ als ein neues Standardisierungsthema identifiziert. Dieses Thema wurde durch die Erstellung eines Standardisierungsdokuments in die Normung und Standardisierung überführt.

Dies erfolgte durch die nachfolgenden Aktivitäten im Rahmen der Initialisierung: Beratung und Unterstützung bei der Erstellung des Geschäftsplans, Ermittlung und Vernetzung der relevanten Gremien und Stakeholder auf nationaler Ebene, Bekanntmachung des Vorhabens über die Kanäle von DIN zur Einbindung zusätzlicher Interessenten. An der Initiierung und Erarbeitung waren folgende Organisationen und Unternehmen beteiligt:

Initiator:

- Institut für Technologie und Management im Baubetrieb des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), Prof. Haghsheeno

Mitwirkende:

- Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e. V. (BTB)
- Bundesüberwachungsverband Bauprodukte e. V. (BÜV BauPro)
- Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV)
- Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (HDB)
- Gemeinschaft für Überwachung im Bauwesen E. V. (GÜB)
- Kamioni GmbH
- WOLFF & MÜLLER Holding GmbH & Co. KG

- Zeppelin Lab GmbH
- DIN
- Deutscher Asphaltverband (DAV) e. V.
- Bayrischer Bauindustrieverband e. V.
- LEONHARD WEISS GmbH & Co. KG
- VDZ Technology gGmbH
- ROBA Transportbeton GmbH
- alcemy GmbH
- Kies und Beton AG Baden-Baden
- PRAXIS EDV - Betriebswirtschaft- und Software- Entwicklung AG
- Nevaris

Ergebnis ist die dreiteilige **DIN SPEC 91454** (DIN e.V., 2022).

Zusammenarbeit mit Xitaso GmbH: Auf Basis eines ersten Abstimmungstermins mit der GÜB und dem KIT wurden Anforderungen an das Zielprodukt der Firma Xitaso GmbH gesammelt und Rahmenbedingungen umrissen. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde von der Xitaso GmbH ein grober Lösungsentwurf skizziert, der die beteiligten SDaC-Vertreter überzeugt hat. Im weiteren Vorgehen wurde in einem eintägigen Workshop zusammen mit Ansprechpartnern seitens GÜB, DBV sowie Goldbeck als potenzieller Endnutzer in das Projekt gestartet. In diesem Workshop wurden Anforderungen nochmals detailliert geklärt, Zulieferungen der Beteiligten spezifiziert, die Hardware-Ausstattungen im Versuchslabor und auf der Baustelle definiert und ein Projektplan erstellt. Die vom Konsortialpartner GÜB bereitgestellten Lieferscheine wurden anhand der Formulartypen analysiert und eine KI trainiert. Nach jedem Sprint stellte das Entwicklerteam den Projektvertretern von GÜB, DBV und Goldbeck im Rahmen eines Sprint-Reviews das entwickelte Inkrement vor und nahm deren Feedback entgegen. Nach drei Iterationen wurde das Produkt einem Feldtest unterzogen und anschließend final ausgeliefert. Das Produkt ist über die SDaC-Plattform nutzbar.

Zusammenarbeit mit Airteam Aerial Intelligence GmbH: Für das vorgeschlagene Projekt zur Entwicklung der KI-Anwendung „Digitale Fassadenvermessung mit Hilfe von Drohnen-Luftbildern“ ist ein Praxispartner wie Airteam aus dem Bereich des Hochbaus, ein Gerüstbauer oder ein Fassadenrestaurateur ideal. Wie in der Projektbeschreibung vorgesehen, folgte nach einer ersten Recherchephase zum aktuellen Stand der (digitalen) Fassadenvermessung, eine zweite Phase mit mehreren Testprojekten mit einem

Praxispartner. Als Testobjekte boten sich Gebäude an, welche eine größere Fassadenfläche haben wie z.B. ein mehrstöckiges Mehrfamilienhaus. Aufgrund der Firmenzentrale in Berlin waren Testobjekte in Berlin am schnellsten und unkompliziertesten umzusetzen, stellten jedoch keine Anforderung dar. Die realisierte Anwendung wurde bereits in mehreren Projekten wirtschaftlich verwertet und zeigt eine hohe Nachfrage auf. Durch das Airteam Netzwerk an Drohnenpiloten kann die Anwendung deutschlandweit weiter vertrieben werden.

Zusammenarbeit mit ricostein: Nachdem die Plattform verfügbar war, wurde ein Werbefilm für das Forschungsprojekt SDaC produziert. Ziel war es von dem standardisierten Unternehmensfilm mit diversen Interviewsequenzen abzukommen und einen Film mit Werbefilmcharakter/Commercial-Charakter zu produzieren, welcher spielerisch das Angebot der Ergebnisverwertung von SDaC kommuniziert. Die Zusammenarbeit beinhaltete die Konzeption und Kreation des Films, die Vorproduktion, eine dreitägige Produktion, die Postproduktion und die Distribution. Ergebnis ist ein ca. 2,5 minütiger Film, der [online](#) abrufbar ist (siehe Stein, 2023).

Zusammenarbeit mit iMaven GmbH: Die iMaven GmbH trug zur Verstetigungsstrategie des Forschungsprojektes bei. Dabei wurden u.a. ein Verstetigungskonzept für die SDaC Plattform erstellt, Maßnahmen zum Geschäftsmodell von SDaC abgeleitet und Kommerzialisierungsstrategien entwickelt.

Zusammenarbeit mit dem BKI Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH: Die BKI ist eine Organisation, die eine umfassende Sammlung von Baukostendaten bereitstellt. Die BKI bietet Architekten, Bauingenieuren und anderen Bauprofis Ressourcen zur Kostenkalkulation von Bauprojekten. Die Daten umfassen detaillierte Informationen zu den Kosten verschiedener Bauelemente und Gewerke, strukturiert nach Regionen und anderen relevanten Kriterien. Die BKI Publikationen werden regelmäßig aktualisiert, um den aktuellen Marktkonditionen und Entwicklungen im Bauwesen Rechnung zu tragen. Diese Daten dienen als wichtige Referenz für realistische Kostenschätzungen, Angebotsprüfungen und die Optimierung von Bauprojektbudgets. Die Zusammenarbeit bestand in der Bereitstellung von Bau und Abrechnungsdaten als Grundlage für die Entwicklung der Demonstratoren. Dieser wurden für die Dauer des Forschungsvorhabens kostenfrei zur Verfügung gestellt.

Zusammenarbeit mit PionierGarage e.V.: Die PionierGarage ist die größte studentische Gründungsinitiative Deutschlands und fördert aktiv die Gründung neuer innovativer Unternehmen. Die PionierGarage hat mit dem CyberForum e.V. kooperiert und v.a. den organisatorischen und inhaltlichen Rahmen der Hackathons in Zusammenarbeit mit dem CyberForum und den SDaC Projektpartnern gestaltet und umgesetzt. Die PionierGarage konnte auf umfangreiche Erfahrungen im Organisieren von Hackathons zurückgreifen und besitzt den Vorteil, die Zielgruppe der Hackathons im Verein vernetzt zu wissen und nah an den einschlägigen zu sein.

6 Ergebnisse

Die Zuwendung wurde entsprechend dem Verwertungsplan verwendet, um die geplanten Ergebnisse zu erzielen. Im Folgenden werden die Projektergebnisse, einschließlich der in der kostenneutralen Verlängerungsphase erreichten Ergebnisse, dargestellt. Die Zuwendung wurde wirtschaftlich und sparsam verwendet. Es wurden nur Ausgaben getätigt, die für die Erreichung der Zielsetzung des Vorhabens notwendig waren.

6.1 Förderung des Business-Ökosystems und der Umwelt

Im Rahmen des Forschungsprojekts haben das CyberForum e.V. und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Süd entscheidende Beiträge zur Entwicklung des KI-Bau-Ökosystems geleistet. Beide Organisationen setzten ihren Schwerpunkt auf die Förderung von Diskussionen zu ethischen, kulturellen und rechtlichen Aspekten im Bereich der KI und prägten damit die Entwicklung Deutschlands als KI-Standort maßgeblich. Durch verschiedene innovative Austauschformate wurden Erfahrungsaustausch, Wissenstransfer und Kollaboration zwischen Stakeholdern intensiviert, was zur Bildung eines effektiven „Ökosystems“ für digitale Innovationen führte. Diese Kooperation unterstützte die gemeinsame Entwicklung neuer Geschäftsmodelle, plattformbasierter Angebote und weiterer digitaler Projekte. Das CyberForum beförderte insbesondere die Vernetzung der Bauwirtschaft mit der Digital- und KI-Wirtschaft, während das KIT durch die Organisation verschiedener Veranstaltungen und die Etablierung effektiver Kommunikationskanäle eine reibungslose Interaktion mit Interessierten sicherstellte. Die Aktivitäten beider Organisationen trugen maßgeblich zur Positionierung Deutschlands als KI-Standort bei und förderten die interdisziplinäre Zusammenarbeit, die angesichts der fortschreitenden Digitalisierung von zunehmender Bedeutung ist. Anbei folgt eine Auflistung der verschiedenen Veranstaltungsformate und aufgebauten Kommunikationskanäle.

Roundtables

Durch die Auswirkungen der CoVid19-Pandemie auf die Durchführung von Vor-Ort-Veranstaltungen zu Beginn des Projekts war eine Durchführung von Präsenzveranstaltungen und damit die Präsentation des Projektes nur bedingt möglich. Aus diesem Grund wurden zunächst digitale Roundtables geschaffen. Das digitale Format der Roundtables erwies sich als erfolgreich und wurde beibehalten, da dadurch ein breites Publikum aus der gesamten DACH-Region

erreicht werden konnte. In den Roundtables wurden Interessierten allgemeine Themen zu KIsowie Projektergebnisse vorgestellt und gemeinsam darüber diskutiert. Insgesamt fanden 12 Roundtables mit jeweils einer Dauer von einer Stunde statt. Die durchschnittliche Teilnehmerzahl der meisten Roundtables war 25; an einem Roundtable nahmen fast 300 Personen teil.

Netzwerktreffen

Die Netzwerktreffen fanden einmal jährlich im digitalen Format statt und dienten dazu, die assoziierten Partner über die Projektergebnisse zu informieren und gemeinsam zu diskutieren. Im Laufe des Projektes wurden 37 Unternehmen zu assoziierten Partnern (vgl. Abbildung 3). Auf einer Netzwerkveranstaltung vor Ort in Karlsruhe in Kooperation mit dem CyberForum e.V., konnten zum ersten Mal die entwickelten Prototypen von potenziellen Anwendern getestet werden.



Abbildung 3: Übersicht der Projektbeteiligten (Konsortial- und assoziierte Partner)
(eigene Darstellung)

Konferenzen, Messen und andere Vernetzungsveranstaltungen

Durch Beiträge auf verschiedenen nationalen sowie internationalen Veranstaltungen wurde das Ökosystem kontinuierlich vergrößert. Dabei war SDaC sowohl auf wissenschaftlichen Konferenzen (z.B. IGLC, ECCPM, EC3) als auch auf Konferenzen der Wirtschaft (z.B. digitalBau, GLCI IT Messe) präsent und sicherte damit die Visibilität durch Workshopbeiträge, Präsentationen, Veröffentlichungen (vgl. Kapitel 10) und den aktiven Austausch mit Unternehmen.

Das Ökosystem wurde außerdem vergrößert, indem neben den Konferenzen ein proaktiver Austausch mit verschiedenen Bereichen stattfand: So waren Bauunternehmen auf Anwenderseite, aber auch Softwareunternehmen auf Technologieseite Teil des Netzwerks und wurden in die Entwicklung der Demonstratoren sowie des Geschäftsmodells miteinbezogen. Die Bauunternehmen (z.B. BUNG; Wolff & Müller) waren potenzielle Kunden der Anwendungsfälle und die Softwareunternehmen zukünftige potenzielle Kunden der Plattform auf der Produzentenseite, z.B. specter automation. Zum Abschluss des SDaC Projektes fand am 22. September 2023 der Kongress „KI – Der Weg zur vollautomatisierten Baustelle?“ in Karlsruhe im Gebäude des KIT Präsidiums statt. Die Veranstaltung wurde maßgeblich durch das CyberForum e.V. konzipiert, vorbereitet und gemeinsam mit dem SDaC Konsortium durchgeführt. Insgesamt nahmen mehr als 70 Personen an der Veranstaltung teil.

Neben Dialogen mit Wirtschaftsvertretern, fanden Austausche auf Seiten der Forschung mit nationalen Forschungsprojekten (*BIMKit*, *Foresight*, *iECO*) und internationalen Forschungseinrichtungen (z.B. ETH Zürich, Pontificia Universidad Católica de Chile) statt.

Kommunikationskanäle

Neben der Organisation und Durchführung verschiedener Veranstaltungen wurden auch Kommunikationskanäle aufgebaut, um die Projektergebnisse mit der Öffentlichkeit zu teilen. Die sozialen Netzwerke, in denen Informationen über Inhalte und Fortschritte des SDaC-Projekts verbreitet wurden, sind Instagram, Youtube, Facebook, LinkedIn, Twitter, ein monatlich versendeter Newsletter und eine eigene Homepage.

Das soziale Netzwerk, das die größte Reichweite erzielte, ist LinkedIn. Durch LinkedIn konnten neue Kontakte sowohl national als auch international geknüpft werden, auf denen in Zukunft aufgebaut werden soll. Die Auswirkungen der sozialen Netzwerke auf die Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit des Projekts von der Projektleitung wurden in einem PowerBI Dashboard visuell verfolgt (vgl. Abbildung 4).



Abbildung 4: Dashboard zur Übersicht der Social Media Reichweite (Stand 20.12.2022)
(Eigene Darstellung)

Die aufgebauten Kanäle zur Öffentlichkeitsarbeit zeigen Erfolg. So stieg beispielsweise die Anzahl der LinkedIn Follower im dritten Jahr auf mehr als 1.000 Follower und die Anzahl der Newsletter Abonnenten auf mehr als 500.

SDaCathon

Während der Projektlaufzeit fanden zwei virtuelle Hackathons „SDaCathon“ statt. Dabei wurden innovative Ideen gefördert und mögliche Ansätze für die Weiterentwicklung der Demonstratoren gesammelt. Außerdem konnte SDaC mit dem SDaCathon seinen Bekanntheitsgrad innerhalb Deutschlands ausbauen.

Am Wochenende vom 23. April - 25. April 2021 fand erstmalig der SDaCathon statt. Über 100 Anmeldungen, von Studierenden bis Professionals, aus ganz Deutschland trafen sich zum Online-Hackathon. 48 Stunden, um mit Innovationen und kreativen Lösungsansätzen die Weichen für die digitale Transformation in der Bauwirtschaft zu stellen. Die Teilnehmer hatten drei Challenges zur Auswahl: die visuelle Challenge, die datengetriebene Challenge und die Datenschutz Challenge. Bei allen Challenges wurde mit realen Daten gearbeitet, bereitgestellt von den Praxispartnern des SDaC Projektes: digitales Bauen GmbH, FARO Europe GmbH, Steuer Tiefbau GmbH, AirTeam Aerial Intelligence GmbH und Metis Systems. Fragen, mit denen sich die Teilnehmenden beschäftigen konnten, waren z.B.:

- Wie können Daten unterschiedlicher Formate sinnvoll verknüpft werden, um in der gesamten Wertschöpfungskette einen Mehrwert zu stiften und Probleme frühzeitig zu erkennen?
- Welcher Mehrwert steckt in Bilddaten, Punktwolken und 360°Grad Panoramabildern für Bauunternehmen?
- Wie können Daten so anonymisiert werden, dass sie anderen Unternehmen zur Verfügung gestellt werden können oder diese sie für KI-Training frei geben?

Der zweite Hackathon fand vom 11.11.2022 bis zum 13.11.2022 erneut online statt. 48 Stunden hatten die Teams Zeit, ihr Können unter Beweis zu stellen. Ziel der Veranstaltung war es, innovative Ideen zum Thema Künstliche Intelligenz (KI) in der Bauwirtschaft zu entwickeln. Der zweite SDaCathon begann mit einer Online-Eröffnungsveranstaltung, bei der den Teilnehmenden der organisatorische Ablauf vorgestellt wurde. Im Anschluss hatten die Teams zwei Tage Zeit an ihren Ideen zu feilen. Hierfür gab es fünf unterschiedliche Themengebiete, bei denen die Teilnehmenden die Chance hatten, ihr Talent unter Beweis zu stellen: Terminplanung, Bauüberwachung, Lieferkette, Bildarchivierung und KI in der Baubranche.

Neben wertvollen Ergebnissen für die Weiterentwicklung der Demonstratoren, die in beiden SDaCathons generiert wurden, war ein weiterer Erfolg, dass sich aus einem SDaCathon-Team heraus das Start-Up *Semorai* ([Semorai – Smartes Risiko- und Fehlermanagement](#)) gründete.

Das Ökosystem SDaC bleibt in Form eines Wissensnetzwerks bestehen. Federführend wird das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) mit dem Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) unter Professor Haghsheno und Unterstützung weiterer Institute das Wissensnetzwerk leiten. Die Projektergebnisse stehen der Öffentlichkeit mindestens zwei Jahre nach Projektende frei zur Verfügung.

6.2 Entwicklung neuer Geschäftsmodelle

In der noch jungen Datenwirtschaft spielen Plattformen und - jüngst auch Datenmarktplätze - eine wichtige Rolle. Um in diesem Kontext nachhaltige Geschäftsmodelle zu entwickeln, war eine nähere Betrachtung des Geschäftsfeldes, der Wertschöpfungsstrukturen sowie der Interaktionen der

Akteure zwingend notwendig. Je nach Umfeld weisen Plattformen unterschiedliche Komplexitäten auf. Das Plattform-Geschäftsmodell im reinen Business-to-Customer (B2C) Bereich ist simpel: oft schieben sich branchenfremde Unternehmen zwischen Angebot und Nachfrage und bilden über die Besetzung der Schnittstelle zum Kunden Monopole. Die zweiseitigen und offenen Plattformen orchestrieren dadurch oftmals riesige datenbasierte Ökosysteme, die ihre Marktmacht begründen (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2019b). 2018 waren sieben der zehn wertvollsten Unternehmen nach Marktkapitalisierung Plattformunternehmen, darunter fünf aus den USA und zwei aus China (Riemensperger, 2019). Im Business-to-Business (B2B) Bereich folgen plattformbasierte Geschäftsmodelle oftmals einer anderen Logik. Anstelle klar identifizierbarer Monopole lässt sich eine Vielzahl von Wertschöpfungsnetzwerken beobachten (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2019a). Unternehmen teilen ihre Daten auf Plattformen nicht in dem Umfang und in der Tiefe wie Konsumenten, die auf den großen B2C Plattformen einkaufen oder z.B. Hotels oder Taxis buchen. Plattformen wie im Rahmen von SDaC entwickelt, stehen bei der Entwicklung ihrer Geschäftsmodelle dadurch vor einigen Herausforderungen. Zum einen muss das Geschäftsmodell der Plattform selbst definiert werden. Zum anderen ist es Ziel der Plattform, Unternehmen in der Bauwirtschaft, also die potenziellen Kunden der Plattform, selbst zur Entwicklung neuer, datengetriebener Geschäftsmodelle zu befähigen. Für die Konzeption und Umsetzung neuer datengetriebener Geschäftsmodelle gibt es dabei kein festgelegtes Schema. Jedes Unternehmen ist anders und jede Neuerung erfordert am Ende kreative Ideen und den unternehmerischen Willen zur Umsetzung. Der Umgang mit Daten als Schlüsselkompetenz, die Schaffung neuer Wertangebote, neuer Wertschöpfungssysteme, neuer Wertschöpfungsnetzwerke und neuer Ertragsmodelle aus Sicht der Plattformbetreiber und -nutzer sind somit wesentlicher Bestandteil der Entwicklung von SDaC. So wurden hinsichtlich des Umgangs mit Daten und zum Aufbau entsprechender Schlüsselkompetenzen bspw. mit dem Partner CyberForum Hackathons durchgeführt, um datengetriebene Geschäftsmodelle bzgl. KI in der Bauplanung und Bauproduktion zu schaffen. Außerdem wurde ein konkretes Konzept für einen Datenmarktplatz ausgearbeitet und in Zusammenarbeit mit den IT-Experten des Fraunhofer ISST wurden technische Anknüpfungspunkte mit der im Rahmen von SDaC entwickelten Plattform geschaffen. Die Plattformarchitektur wurde dabei modular aufgebaut, was eine spätere Erweiterung um den Datenmarktplatz gewährleistet.

Neben wirtschaftlichen und rechtlichen Aspekten müssen die Partner einer Plattform technische Voraussetzungen für eine Zusammenarbeit erfüllen, wie beispielsweise kompatible Schnittstellen und Datenaustauschformate. Daher wurde die Prämisse verfolgt alle Partner, Produzenten und Endkunden von Beginn an aktiv in die Entwicklung der Geschäftsmodelle einzubinden. Insbesondere Einzelunternehmer und klein- und mittelständische Unternehmen wurden miteingebunden, um ihre Rolle in einem Plattform-Ökosystem zu finden, ohne zum austauschbaren Ausführer zu werden, wie Händler bei Amazon oder Fahrer bei Uber. Der Erfolg neuer Technologien, Plattformen und neuer Geschäftsmodelle hängt auch maßgeblich von der gesellschaftlichen Akzeptanz ab. Um die Risiken bei der Implementierung durch eine fehlende Akzeptanz einer disruptiven Lösung zu minimieren, wurde durch öffentlichkeitswirksame Formate die Bauwirtschaft einbezogen und kulturelle, ethische und rechtliche Aspekte diskutiert. Zunächst wurden verschiedene Ansätze und Szenarien für die Ausgründung von SDaC als Organisation (Unternehmen, Verein etc.) innerhalb des Konsortiums erarbeitet und analysiert. Dazu fanden ab dem zweiten Projektjahr mehrere mehrtägige Workshops und eine Summer School statt, in denen Inhalte eines Geschäftsplans für unterschiedliche Ausgründungsszenarien von SDaC erarbeitet wurden. Dies umfasste die Definition von Kundengruppen, Wertversprechen, potenziellen Partnern und möglichen Erlösstrategien zur Verstetigung von SDaC.

Im dritten Projektjahr wurde die Idee „Plattform Geschäftsmodell-Szenario“ im Rahmen eines dreimonatigen Startup Accelerators des CyberForums auf den Prüfstand gestellt und kritisch hinterfragt. Es wurde eine operative Break-even-Analyse erstellt und verschiedene Szenarien für Umsatz- und Erlöspotentiale analysiert. In Gesprächen mit mehr als zehn Bauleitern und mehr als zehn Softwareunternehmen wurden bestehende Geschäftsmodelle der Bauunternehmen erfasst und evaluiert. Dabei zeigte sich, dass eine Erweiterung und Modifizierung des Modells über den reinen Plattform-Betrieb hinaus attraktiver erscheint und wurde daher in einer nächsten Phase weiterentwickelt. Ergebnis waren drei ausgewählte Szenarien, die ausgearbeitet und diskutiert wurden:

1. Plattform-Model (Stand-Alone)

In diesem Szenario wird Software über die Plattform bereitgestellt und verschiedene Software-Lösungen (inklusive der im Rahmen von SDaC entwickelten Demonstratoren) können auf dieser Plattform von Nutzern bezogen und genutzt werden. Die Monetarisierung erfolgt über Abomodelle der technischen Lösungen, die auf der Plattform angeboten werden.

2. Lizenzmodel

Die Idee dieses Modells ist es, die im Rahmen des Forschungsprojektes vom Konsortium entwickelten Lösungen zu lizensieren und über eine zentrale Vertriebs- und Verwertungsgesellschaft (oder Eigenregie) zu vermarkten.

3. Erweiterte Plattform

Diesem Geschäftsmodell liegt die Idee zugrunde, das Geschäftsmodell um weitere Wertversprechen, sogenannte Propositions, zu erweitern. Mögliche Propositions sind:

- Experten-Inhalte
- Testversionen von kuratierten und für gut befundenen Bausoftwarelösungen hosten und dadurch Leads für Anbieter generieren
- Software (Kauf-)Beratung
- Experten-System für die Identifikation von geeigneter Software für spezifische Anwendungsfälle
- Angeschlossene Mitglieder können im Auftrag von SW-Anbietern für Marktforschungszwecke angesprochen werden

Die drei Szenarien wurden anschließend mit assoziierten und weiteren außenstehenden Partnern in 1:1 Gesprächen evaluiert.

Im Rahmen der Geschäftsmodellentwicklung erhielt das Geschäftsmodellszenario einer erweiterten Plattform am meisten Zuspruch. Diese Plattform umfasst drei zentrale Propositions mit unterschiedlichen Zielgruppen. Erstens dient die Plattform als Showroom für Bauunternehmen, in dem sie anhand von Demonstratoren und Softwareprodukten erfahren können, wie KI in der Baubranche genutzt werden kann. Zweitens wird eine SDaC-Akademie für Software-Lösungsanbieter geschaffen, um diese zu befähigen und zu zeigen, welches Potenzial KI bietet, um die eigenen Lösungen zu verbessern. Drittens richtet sich die Plattform speziell an Entwickler und bietet ihnen die Möglichkeit, ihre Lösungen entweder in einem Softwarekatalog der SDaC-Plattform zu präsentieren oder selbst als Lösungsanbieter im SDaC Expertenkatalog aufzutreten.

In diesem Kontext wurde ein Schulungskonzept mit verschiedenen Fokusthemen erstellt, um das Wissen und die Kompetenzen der Zielgruppen gezielt zu fördern. Insbesondere wurde eine Schulung zur „Einführung Künstliche Intelligenz im Bau“

entwickelt, für die bereits ein Datum festgelegt wurde. Diese Schulung wird den Teilnehmern einen fundierten Einblick in den aktuellen Stand der Nutzung von KI in der Bauwirtschaft vermitteln und ihnen dabei helfen, die Potenziale und Möglichkeiten dieser Technologie für ihre eigenen Unternehmen zu erkennen und zu nutzen.

6.3 Akzeptanzförderung und Demonstratoren der Künstlichen Intelligenz

Es wurden insgesamt neun verschiedene KI-Anwendungsfälle bearbeitet und damit neun Demonstratoren entwickelt. Bei allen Demonstratoren wurde das Thema der Akzeptanzförderung adressiert und die Mensch-Maschinen-Kollaboration fokussiert. Tabelle 2 zeigt die bearbeiteten Anwendungsfälle und Aufteilung in die festgelegten Teams.

Tabelle 2: Zuordnung Team und Anwendungsfälle

Team	Anwendungsfall
Bauwerksplanung	Massenermittlung (AW1)
	Objektklassifizierung (AW2)
	Grundrissgenerator (AW3)
Bauausführungsplanung	Nachtragspotenzialanalyse (AW4)
	Terminplanung (AW5)
Lieferkette	Lieferscheinerkennung (AW6)
Baurealisierung	Bautagesbericht (AW7.1)
Bauausführungsplanung	Mängelklassifizierung (AW7.2)
Baurealisierung	Gefahrenerkennung (AW8)

Im folgenden werden die erzielten Ergebnisse hinsichtlich der entwickelten Demonstratoren pro Team vorgestellt.

6.3.1 Anwendungsfälle in der Bauwerksplanung

AW 1 Massenermittlung und AW 2 Objektklassifizierung

Im Verlauf des Teilvorhabens wurden die Anwendungsfälle „Massenermittlung“ (AW1) und „Objektklassifizierung“ (AW2) durch das KIT (Süd) bearbeitet. Im Rahmen von AW1 wurde eine semi-automatisierte Erkennung und Klassifikation von Symbolen in Grundrissen implementiert, um die Ermittlung von Mengen zu beschleunigen. In AW2 wurden Techniken des semi-supervised learnings genutzt, um die Klassifikation von Baustellenfotos für Dokumentationszwecke zu ermöglichen. Mithilfe des entwickelten Demonstrators können aufgenommene Bilder schneller durchsucht werden. Besonders im Rahmen von AW1 wurde, neben der reinen Entwicklung einer auf Künstlicher Intelligenz basierender Anwendung, auch der Fokus auf die Untersuchung gelegt, welche Maßnahmen und Designelemente im Rahmen der Anwendungsentwicklung sich akzeptanzfördernd auf den Endnutzer auswirken können. In diesem Zusammenhang wurden zunächst Interviews mit unterschiedlichen Nutzergruppen innerhalb und außerhalb der Bauwirtschaft hinsichtlich der Bedeutung von Transparenz und Erklärbarkeit von KI-Systemen geführt. Die Erkenntnisse, die in den Interviews gesammelt werden konnten, sind anschließend direkt in die Entwicklung des Demonstrators für AW1 geflossen. Dieser wurde hierauf aufbauend in einem iterativen Verfahren in mehreren Zyklen mit Endnutzern evaluiert. Die Evaluationen zeigen, dass die vom KI-System bereitgestellten Informationen den Nutzern helfen, die Entscheidungen des Systems besser nachzuvollziehen. Insbesondere hat sich hierbei herausgestellt, dass sogenannte Konfidenzwerte über die Richtigkeit der Vorhersage des KI-Systems für viele Nutzer bereits eine zufriedenstellende Information sein können, um zu entscheiden, welche Vorhersagen des KI-Systems bevorzugt durch den Menschen zu überprüfen sind. Abschließend hatten im Rahmen des vom CyberForum organisierten SDaC Netzwerktreffens einzelne Partner die Möglichkeit, das finale System persönlich zu testen. In Summe zeigen die durchgeführten Fokusgruppen und „Think Aloud“ Studien die Bedeutung von Transparenz für eine entsprechende Nutzung und Akzeptanz der Anwendung auf und unterstreichen die Relevanz der entwickelten Verfahren.

Anwendungsfall 3 Automatisierte Planung

Die technische Umsetzung des AW 3 „Automatisierte Planung“ erfolgte durch den Demonstrator SDaC-LayoutDesigner. Der SDaC-LayoutDesigner wurde als

Desktop-Anwendung für Windows Betriebssysteme entwickelt. Diese Anwendung wird lokal auf einem PC ausgeführt und der Benutzer hat die Möglichkeit sich mit einem SDaC Benutzer-Account auf der SDaC-Plattform anzumelden und seine Projektdaten zu verwalten. Die Benutzeroberfläche des SDaC-Layout Designers ist in Abbildung 5 dargestellt. Auf der linken Seite befindet sich die Projektstruktur, über die der Benutzer die verschiedenen Prozessschritte eines Projekts verwalten kann.

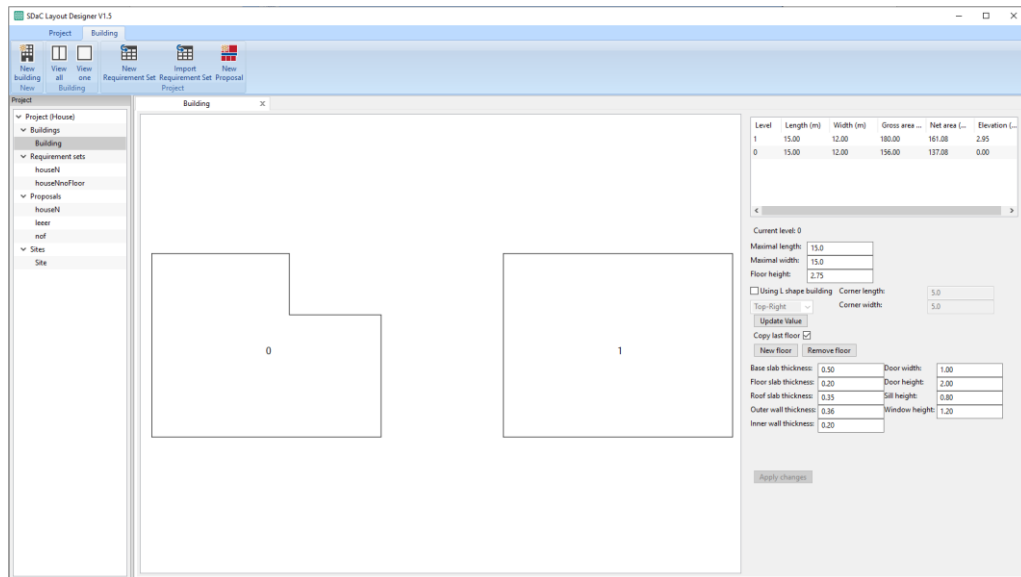


Abbildung 5: Benutzeroberfläche zum Entwurf der Gebäudekontur

(Eigene Darstellung)

Der erste Schritt ist die Außenkontur für jedes Stockwerk zu bestimmen. Diese Außenkontur wird durch ihre Länge und Breite definiert. Zusätzlich lässt sich optional an einer der vier Ecken ein Ausschnitt erstellen, um einen Grundriss in L-Form zu erstellen (vgl. Abbildung 5). Darüber hinaus ist es möglich, die Parameter der Bauelemente zu definieren, wie in Abbildung 5 auf der rechten Seite dargestellt. Diese Werte werden bei der Optimierung zur Layout-Generierung (Innen- und Außenwandstärken), sowie beim Export der openBIM Gebäudemodelle genutzt. Anschließend wird das Raumbuch definiert. Es kann entweder aus einer externen CSV-Datei importiert oder innerhalb des Programms neu definiert werden. Hierzu wurde eine tabellarische Darstellung der Räume gewählt. Um bereits bei der Eingabe von Räumen den Anwender besser zu unterstützen, wurde parallel zur Raumbuchtable ein Diagramm implementiert, das die Nachbarschaftsbeziehungen der Räume darstellt und damit einen besseren Überblick über das Gebäude schafft. Dabei ist es möglich interaktiv sowohl in der Raumbuchtable, wie auch im topologischen Diagramm einzelne

Räume auszuwählen und die Raumparameter zu bearbeiten. Der Raum-Bearbeitungsdialog erlaubt dem Anwender alle Parameter übersichtlich darzustellen und zu bearbeiten. Er erlaubt die Dimensionen (wie Länge, Breite, sowie die minimale und maximale Abweichung der Parameter) zu kontrollieren und auch die Lage eines Raumes (wie Stockwerk, Orientierung und Nachbarschaftsbeziehungen) festzulegen. Wurden die Gebäudekonturen und das Anforderungsprogramm definiert, können Grundriss-Layouts generiert werden. Zur Generierung des Layouts wird ein mathematisches Optimierungsmodell erstellt und das SCIPoptSuite Toolkit (<https://scipopt.org/>) wird benutzt, um das Optimierungsproblem zu lösen. Der Benutzer kann verschiedene Zwischenstände der Optimierung auswählen, um andere Grundrisse aus den suboptimalen Lösungen zu erhalten. Außerdem werden die ausführlichen Ergebnisse jeder einzelnen Lösung dargestellt, wie z.B. die Raumflächen und die Abweichung zu den Sollwerten aus dem Raumbuch.

Nach der Generierung der Grundriss-Layouts besteht die Möglichkeit die Ergebnisse in das openBIM Format Industry Foundation Classes (IFC) zu exportieren. Hierzu besteht zusätzlich die Möglichkeit die geographische Lage eines Gebäudes zu definieren. Auf einer openStreetMap Karte kann sowohl die Position wie auch die Orientierung des geplanten Gebäudes auf dem Grundstück eingegeben werden. Diese Informationen werden beispielsweise benötigt, um das Gebäudemodell für Simulationsanwendungen wie eine thermische Gebäudesimulation nutzen zu können. Aus den Daten der generierten Grundrisse, der Gebäude Außenkontur und den Angaben zu den Stockwerken werden neben dem 3D-Gebäudemodell auch die sogenannten Raumbegrenzungselemente abgeleitet. Die erforderlichen Parameter für die Bauteile Bodenplatte, Geschoßdecken, Dach, Wände, Fenster und Türen lassen sich in der Anwendung vordefinieren. Unterstützt werden für den Export die IFC Versionen IFC2x3 und IFC4. In Abbildung 6 sind die Ergebnisse eines generierten Layouts eines zweistöckigen Hauses dargestellt, welches die optimale Lösung des Optimierungsproblems ist. Abbildung 7 zeigt das exportierte 3D Modell, das als IFC-Format gespeichert wird.

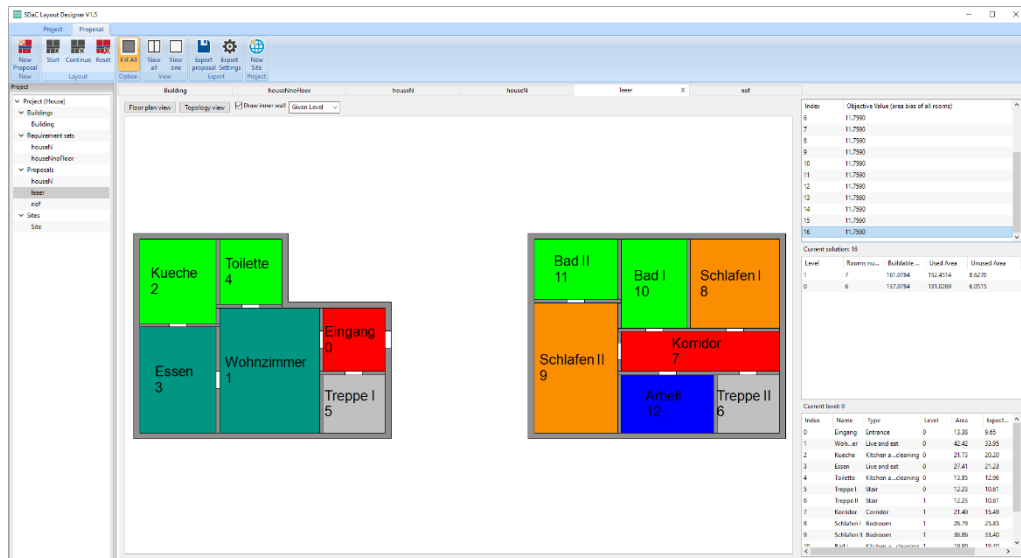


Abbildung 6: Beispiel der optimalen Lösung der generierten Layouts
(Eigene Darstellung)

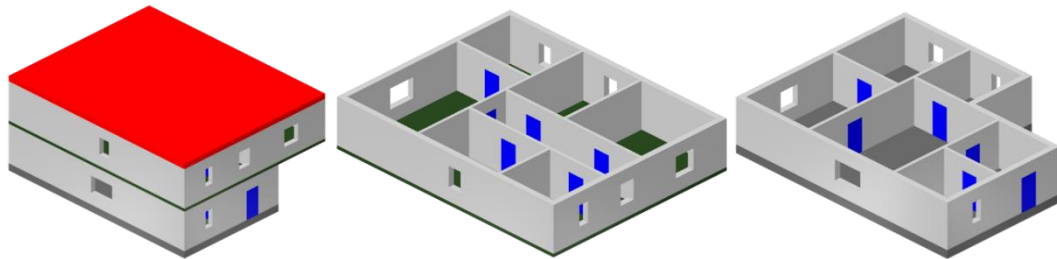


Abbildung 7: IFC Modell aus dem generierten Layout. Link: Komplettes Gebäude. Mitte: 1. OG. Recht: EG.
(Eigene Darstellung)

6.3.2 Anwendungsfälle in der Lieferkette

Umsetzung des AWs 6 Lieferkette

Derzeit werden in der Praxis noch überwiegend Papierlieferscheine verwendet. In einem ersten Schritt wurde daher ein Tool für die Digitalisierung der Papierlieferscheine entwickelt. Auf der Grundlage des Konzepts und der Zieldaten, die vom Team "Lieferkette" entwickelt wurden, hat der Partner Xitaso ein OCR-Tool (Optical Character Recognition) entwickelt. Dieses erkennt Daten aus hochgeladenen Lieferscheinen und überführt diese in das maschinenlesbare json-Format (Abbildung 8), um Muster in den gewonnenen Daten zu erkennen. Bei der Entwicklung wurden mehrere Iterationen durchgeführt und sowohl interne als auch externe Tests durchgeführt.

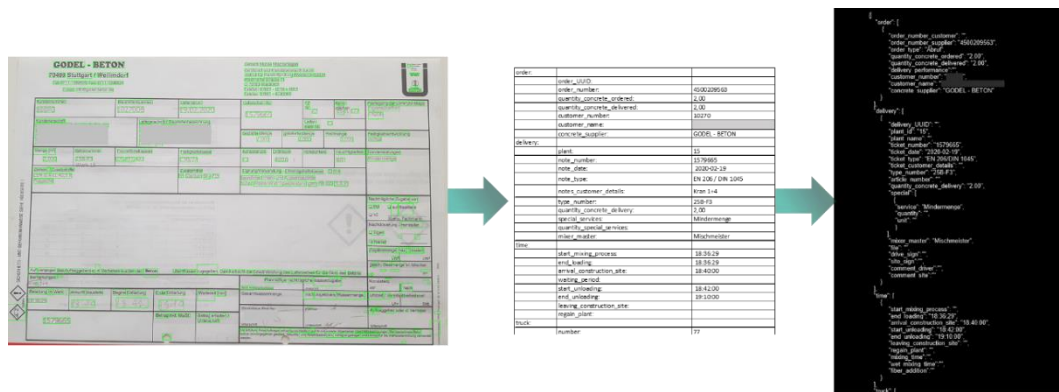


Abbildung 8: Digitalisierung der Lieferscheine: Papierlieferschein, Zieltabelle (expected values) und die Daten im json-Format
(Eigene Darstellung)

Basierend auf dem OCR-Tool, wurde ein technischer Demonstrator der digitalen Lieferkette für Beton mit einer Lösung für die Wareneingangskontrolle von Beton entwickelt. Die Entwicklung des Demonstrators wurde in zwei Phasen durchgeführt: Zunächst wurde mithilfe der Design Thinking Methode ein nutzerzentriertes Mock-Up entwickelt. Ziel des Anwendungsfalls war Lieferscheine einzuscannen, hochzuladen, die Lieferscheininformationen zu überprüfen und den entsprechenden Bauteilen zuzuordnen. Durch die Überprüfung und den Abgleich der Lieferscheininformationen können der Arbeitsaufwand des Bauleiters reduziert und Fehlerquellen eliminiert werden. Durch die Bauteilzuordnung wird sichergestellt, dass der Beton direkt an die richtige Stelle auf der Baustelle transportiert wird und sorgt somit für einen sicheren Einsatz. Mit der Funktion „Eigenüberwachung“ können Betonprüfwerte erfasst und dokumentiert werden. Die genannten Funktionen werden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens prototypisch entwickelt. Der fertige technische Demonstrator wurde auf der Plattform zur Verfügung gestellt und durch die GÜB wurde zusätzlich eine prototypische App für das Smartphone entwickelt. Eine aktuelle Version dieser App ist im Apple App Store unter dem Suchbegriff „SDaC Lieferkette“ zu finden.

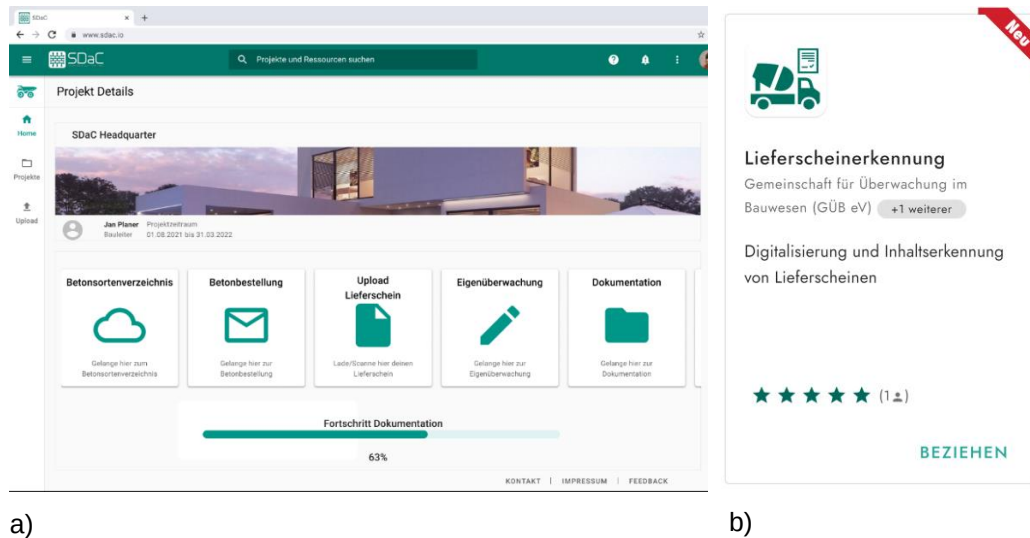


Abbildung 9: a) Mockup mit den Funktionalitäten der Anwendung, b) technischer Prototyp (Demonstrator)
(Eigene Darstellung)

Vereinheitlichung und Standardisierung in einer DIN SPEC

Grundlage für einen einheitlichen Informationsaustausch ist eine gemeinsame Sprache, mit der die verschiedenen Systeme miteinander kommunizieren können. Dies kann nur erreicht werden, wenn in einem ersten Schritt gemeinsame Attribute definiert werden. Dies bedeutet, dass die pränormativen Arbeiten als Grundlage für alle weiteren Entwicklungen notwendig sind. Im Rahmen wurde die DIN SPEC 91454 „Informationsaustausch der Liefer- und Wertschöpfungskette von Bauprodukten“ initiiert und im Juli 2022 veröffentlicht. Diese anbahnende Spezifikation ermöglicht eine standardisierte und papierlose digitale Kommunikation. Die DIN SPEC 91454 definiert Schnittstellen und Merkmallisten und fungiert als „Wörterbuch“ für die Akteure entlang der Betonlieferkette, wodurch der Prozess einheitlich und maschinenlesbar wird (Abbildung 10).

technologieorientierte Informationsaustausch definiert (Abbildung 11, rechts). Daran anknüpfend wurde Teil 3 erarbeitet, welcher sich auf das Bauprodukt Asphalt bezieht.

6.3.3 Anwendungsfälle der Baurealisierung

AW 7.1 Bautagesbericht und AW 8 Gefahrenerkennung

Der Anwendungsfall Bautagesbericht ist übergeordnet, da die Ergebnisse des Anwendungsfalls Gefahrenerkennung in diesen integriert sind. Im Bautagesbericht wurden drei Erkennungsalgorithmen integriert:

- Erkennen von Rohrbögen und Rohrabzweigen,
- Erkennen von Betonstützen und
- Erkennen, ob Sicherheitshelm getragen wird oder nicht.

Benutzer können Webcam-Bilder von Baustellen hochladen, anhand derer der Demonstrator gebaute, freistehende Betonstützen identifizieren kann. Der Benutzer kann dann einen Bericht mit einer Zusammenfassung der Anzahl der auf den Bildern erkannten Stützen erstellen. Zur Datensammlung wurden 241 Webcam-Bilder von der Goldbeck-Website und zwei Festplatten gesammelt, die verschiedene Wetter- und Klimabedingungen abdecken. Jedes Bild enthält ca. 40-50 Stützenobjekte. Die Beschriftung der Bilder erfolgte über die CVAT-Plattform, und nach Abschluss der Annotation wurden Bild und Annotation auf DVC heruntergeladen und im COCO-Format vorbereitet. Die Datenerweiterung erfolgte mit Funktionen von detectron2, darunter Flip, Crop und zufällige Helligkeit. Die Trainingsmetriken wurden in MLflow protokolliert, und das Optuna-Framework für die Hyperparameter-Optimierung verwendet. Das KI-Modell wird mit maskrcnn von detectron2 trainiert, wobei verschiedene Methoden zur Datenerweiterung ausprobiert wurden. Die beste Leistung wurde mit der Methode Größe ändern, RandomCrop, Flip, RandomBrightness, RandomContrast und RandomSaturation erzielt. Am Ende des Trainings wird das Modell in mlflow protokolliert und als .pt-Datei heruntergeladen. Für den Betrieb im Backend wird eine .mar-Datei mit torch model archiver erstellt. Da Webcam-Bilder groß sind, erfordert der Modellhandler zusätzliche Vor- und Nachverarbeitungsschritte, wie das Reduzieren der Bildgröße und das Zuordnen des vorhergesagten Begrenzungsrahmens zum Originalbild.

Nach dem erfolgreichen Hochladen des Grundrisses und der relevanten Bilder gemäß den Anweisungen wird den Benutzern die in Abbildung 12 abgebildete Oberfläche angezeigt. Den Grundriss kann man auch umgehen, indem man Bilder

direkt über die Funktion „Filtern“ hochlädt. Benutzer, die sich für die Integration des Grundrisses entscheiden, können mit der Analysephase fortfahren.

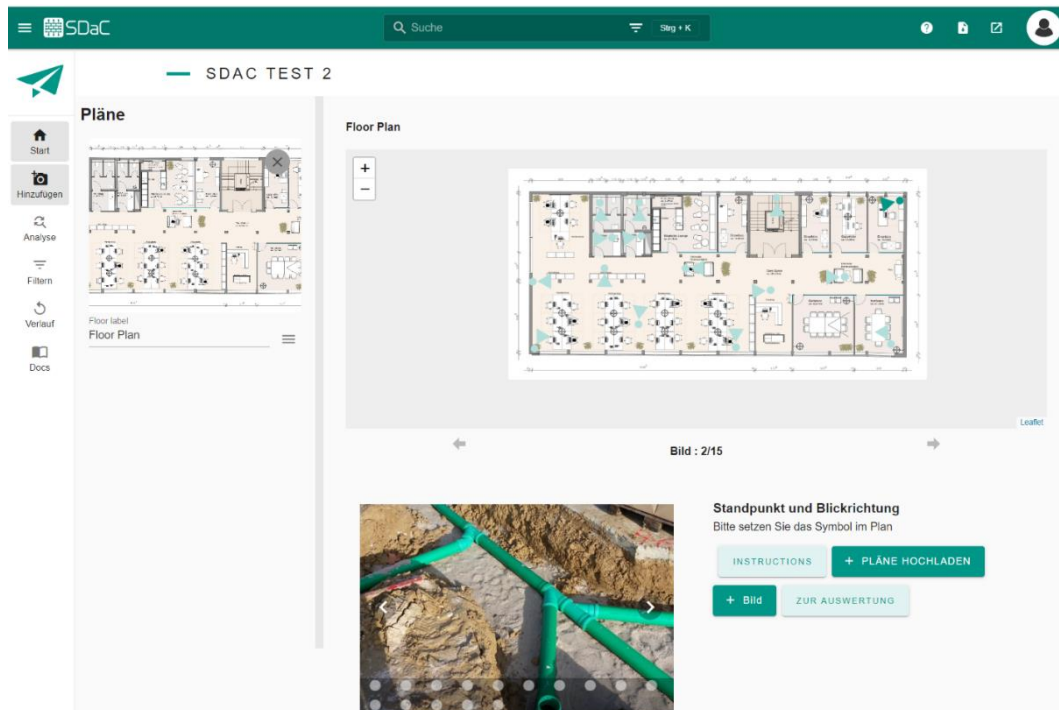


Abbildung 12. Bautagesbericht-Schnittstelle
(Eigene Darstellung)

Im Analysesegment haben die Benutzer die Möglichkeit, aus den hochgeladenen Grundrissen auszuwählen, einen bestimmten Datumsbereich für die Analyse festzulegen (der möglicherweise dem Datum entspricht, an dem die Fotos aufgenommen wurden) und die genaue Aufgabe zu bestimmen, die sie analysieren möchten. Zu den verfügbaren Aufgaben gehören „St_pipes“ für die Rohrerkenkung, „concrete_column“ für die Identifizierung von Betonstützen und „aws_missing_PPE“ für die Feststellung fehlender persönlicher Schutzausrüstung. Nach der Konfiguration dieser Parameter folgt die Analyse.

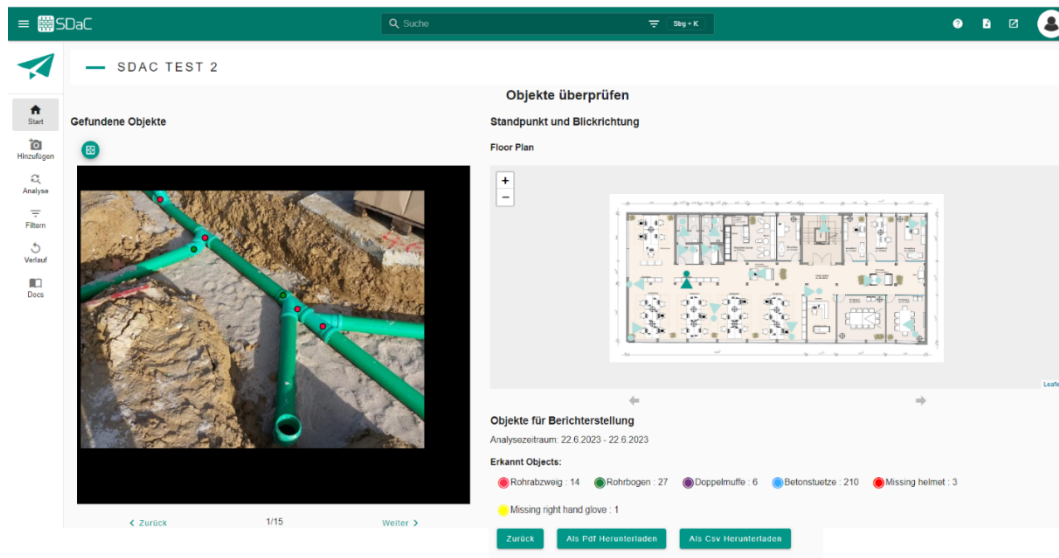


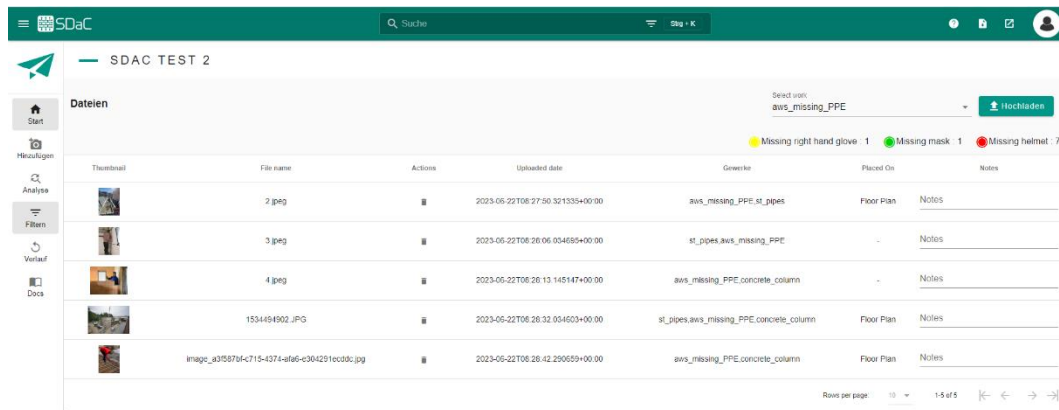
Abbildung 13. Bautagesbericht-Ergebnisüberprüfung
(Eigene Darstellung)

Im Anschluss an die Analyse wird die Ergebnisschnittstelle angezeigt (vgl. Abbildung 13). Hier können Benutzer alle hochgeladenen Bilder zusammen mit umfassenden Erkennungsergebnissen überprüfen, die von der Identifizierung fehlender Helme bis hin zum Auffinden von Säulen reichen. Diese Ergebnisse können im CSV-Format heruntergeladen werden, um die weitere Datenverarbeitung zu erleichtern, oder sie können in einem umfassenden PDF-Bericht zusammengestellt werden, wie in Abbildung 14 dargestellt:



Abbildung 14. Bautagesbericht PDF-Export
(Eigene Darstellung)

Innerhalb des Segments „Filter“ haben Benutzer die Möglichkeit, Bilder ohne Grundriss direkt hochzuladen. Sie können diese Bilder auch nach bestimmten Arbeitspaketen kategorisieren, z.B. indem sie ausschließlich Bilder zeigen, bei denen Spalten erkannt wurden. Diese Tabelle enthält eine Momentaufnahme des Upload-Datums des Bildes, seiner Zuordnung zu einem bestimmten Grundriss und seiner räumlichen Platzierung innerhalb dieses Plans. Darüber hinaus erleichtert die Plattform das Hinzufügen von Notizen zu diesen Bildern.



Thumbnail	File name	Actions	Uploaded date	Gerwerke	Placed On	Notes
	2.jpeg		2023-05-22T08:27:50.321335+00:00	aws_missing_PPE.st_pipes	Floor Plan	Notes
	3.jpeg		2023-05-22T08:26:06.034655+00:00	st_pipes_aws_missing_PPE	-	Notes
	4.jpeg		2023-05-22T08:26:13.145147+00:00	aws_missing_PPE.concrete_column	-	Notes
	1534494902.JPG		2023-05-22T08:26:32.034603+00:00	st_pipes_aws_missing_PPE.concrete_column	Floor Plan	Notes
	image_a3f5876c715-4371-af66-e304251ec03c.jpg		2023-05-22T08:26:42.250659+00:00	aws_missing_PPE.concrete_column	Floor Plan	Notes

Abbildung 15. Bautagesbericht Filtern

(Eigene Darstellung)

Zudem können Benutzer für eine eingehende Untersuchung einzelne Bilder vergrößern, indem sie diese aus einem beliebigen Abschnitt innerhalb des Demonstrators anklicken. Es ist von entscheidender Bedeutung hervorzuheben, dass der entwickelte Algorithmus für maschinelles Lernen die Unkenntlichmachung von Gesichtern gewährleistet und gleichzeitig die Erkennungsergebnisse über farblich abgestimmte Punkte anzeigt, wobei jede Farbe eine bestimmte Erkennungskategorie darstellt.

6.3.4 Anwendungsfälle der Bauausführungsplanung

AW 4 Nachtragspotenzialanalyse

Im Bauwesen sind Nachträge an der Tagesordnung. Es wird viel Aufwand betrieben Nachträge zu erstellen und durchzusetzen als auch Aufwand Nachträge abzulehnen und deren Anspruch zu widerlegen. Nachträge können verschiedene Gründe haben. Diese reichen von mangelhafter Planung, über Wetterbedingungen, zeitlicher Verzögerungen durch mangelhafte Bauabläufe bis hin zu verspäteten Vergaben. Ein weiterer Faktor sind unvollständige oder fehlerhafte Leistungsverzeichnisse.

Das Ziel dieses Anwendungsfalls bestand darin, die Ausschreibung und Vergabe von Leistungen für das Baugewerbe durch verlässliche Kosten und die Suche nach evtl. fehlenden Teilleistungen weniger anfällig für Nachträge zu machen. Für das Arbeitspaket Vergabe wurde ein Proof of Concept unter dem Titel Nachtragspotenzialanalyse durchgeführt. Ausgangspunkt hierbei ist ein Leistungsverzeichnis mit üblichen Kurz- und Langtexten.

Um die KI-basierte Textanalyse der Terminplanung nicht zu doppeln, wurde davon ausgegangen, dass die Ausgabe der Terminplanung als Eingabe für die Nachtragspotentialanalyse verwendet werden kann. Da in den BKI-Tabellen auch ein durchschnittlicher Kostenbereich pro Bauleistung enthalten ist, konnte dieser mitgeführt und den Leistungen eines Leistungsverzeichnisses (LV) zugeordnet werden. Die Ausgangsdatenbank kann im Bedarfsfall ergänzt oder ausgetauscht werden.

Der Ansatz besteht darin, aufgrund von vielen vorhandenen Leistungsverzeichnissen evtl. fehlende Teilleistungen aufgrund der Häufigkeit oft miteinander vorkommender Leistungen vorzuschlagen.

Das Datenmodell hatte für den Demonstrator nur eine geringe Größe. Die Wahrscheinlichkeit von richtigen Vorschlägen war dadurch jedoch begrenzt. Eine verbesserte Lernfähigkeit und höhere Datenmengen würden hier zu besseren Ergebnissen führen.

The screenshot shows the 'Nachtragspotentialanalyse' (Change Order Potential Analysis) interface. At the top, there is a green header with the SDaC logo, a search bar, a 'Fragebogen' (Survey) button, and a user profile icon. Below the header, a green box contains a success message: 'Die csv-Datei wurde erfolgreich analysiert und in der folgenden Tabelle werden alle gefundenen Empfehlungen für Leistungspositionen angezeigt, die in der hochgeladenen Datei fehlen könnten. Sie können jene Einträge in der ersten Spalte markieren, die Sie übernehmen wollen und über den Download-Button die Auswahl als csv-Datei mit Semikolon als Trennzeichen herunterladen.' (The csv file was successfully analyzed and all found recommendations for performance positions are displayed in the following table, which may be missing in the uploaded file. You can mark those entries in the first column that you want to take over and use the download button to download the selection as a csv file with semicolon as separator.)

☐ Empfehlungen	Ursache der Eingabe	Wahrsch...
☐ Erstbeschichtung, innen, Beton, Dispersion sb	Untergrund reinigen Erstbeschichtung, Stahlzarge	95
☐ Erstbeschichtung, innen, Beton, Dispersion sb	Untergrund reinigen Bauteile abkleben	95
☐ Erstbeschichtung, innen, Beton, Dispersion sb	Untergrund reinigen Spachtelung, Q2, Teilflächen bis 30%	94
☐ Erstbeschichtung, innen, Beton, Dispersion sb	Untergrund reinigen Fugenabdichtung, plastoplastisch, Acryl	94

At the bottom right of the table, there is a pagination control: 'Rows per page: 100 1-100 of 125'.

Abbildung 16: Vorschlagsliste zu ergänzender LV-Text

(Eigene Darstellung)

Nach dem Hochladen der CSV-Datei sucht die KI nach Zusammenhängen von Leistungen des Leistungsverzeichnisses und im Datenmodell. Dann bekommt der Anwender Vorschläge von möglicherweise fehlenden Teilleistungen. Hier muss der User entscheiden, welche Teilleistungen er übernehmen will und kann sich das Ergebnis als CSV-Datei ausgeben lassen.

AW 5 Terminplanung

Das Ziel des vorliegenden Anwendungsfalls bestand darin, einen datenbasierten Baeterminplan zu generieren. In vielen Fällen beruhen Bauzeitpläne auf dem Erfahrungsschatz und nicht notwendigerweise auf wissenschaftlichen Erkenntnissen. Bei der Durchführung wurde schnell ersichtlich, dass keine umfassenden Terminplandaten vorhanden sind, insbesondere keine fortgeschriebenen Terminpläne mit detaillierten Dokumentationen der Ursachen für Verschiebungen. Zudem unterliegen Bauzeitpläne verschiedenen Einflussfaktoren, darunter Gebäudestrukturen, Vergabestrategien, baubegleitende Vergaben, etc.

Um dennoch einen aussagekräftigen Demonstrator entwickeln zu können, wurde die Entscheidung getroffen, sich auf Terminplanvorbereitungen für Gewerke zu fokussieren. Diese dienen als Grundlage für einen Gesamt- oder Rahmenterminplan und werden aus Leistungsverzeichnissen mit Kurz- und Langtexten abgeleitet. Da Kalkulationsgrundsätze für Dauern von Arbeiten nicht

strukturiert frei verfügbar waren und aus dem SDaC Netzwerk nicht zur Verfügung gestellt werden konnten, wurde eine Kooperation mit dem BKI – dem Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern eingegangen. Die BKI- Tabellen sind eine Sammlung von Baukostenwerten, die in der Baubranche in Deutschland verwendet werden. Diese Tabellen bieten eine umfassende Übersicht über die Kosten verschiedener Bauelemente und Gewerke. Dadurch konnten diese Daten als Grundlage des Modells verwendet werden. Der Aufbau eines stark lernfähigen Datenmodells war nicht Ziel der Anwendung. Er wurde jedoch vorbereitet und ist eine gute Ergänzung für eine weitere Entwicklung.

Der erste Schritt beginnt mit dem Upload eines Leistungsverzeichnisses im GAEB-Format .X83. Anschließend erfolgt ein systematischer Abgleich der Kurz- und Langtexte mit dem zugrundeliegenden Datenmodell. Im zweiten Schritt erhält der Nutzer die Gelegenheit, die automatisch generierten Zuordnungsergebnisse zu inspizieren und bei Bedarf anzupassen, um etwaige Fehler zu korrigieren. Dieser Prozess wird durch den Demonstrator unterstützt, der dem Anwender fünf Ergebnisvorschläge präsentiert, die nach ihrer Wahrscheinlichkeit sortiert sind.

Die gaeb-Datei wurde erfolgreich analysiert und jene Positionen aus der BKI Datenbank vorausgewählt, die die höchste Übereinstimmung mit den Positionen des Leistungsverzeichnisses der hochgeladenen gaeb-Datei haben. Diese Auswahl kann über die Häkchen in der ersten Spalte angepasst werden. Details der Gegenüberstellung der Positionen des Leistungsverzeichnisses und gefundenen Einträgen in der BKI Datenbank können Sie über den Button "Details" aufrufen. Nach Anpassung der ausgewählten Entsprechungen der BKI-Positionen zu den Leistungsverzeichnis-Positionen können Sie über den Download-Button die Auswahl als csv-Datei mit Komma als Trennzeichen herunterladen.

☒	ID	ID in LV	Kurztext aus LV	Kurztext aus BKI	DIN 276 (2018) aus BKI	Details	Wkt %
☒	1	ID_1468	Vorübergehende Abfangmaßnahme Baustütze	Bauzaun umsetzen, Stahlrohrrahmen	391		51
☐	2	ID_1468	Vorübergehende Abfangmaßnahme Baustütze	Trockenmauer als Stützwand - Bruchsteinmauer	543		51
☐	3	ID_1468	Vorübergehende Abfangmaßnahme Baustütze	Bauzaun vorhalten	391		50
☐	4	ID_1468	Vorübergehende Abfangmaßnahme Baustütze	Trockenmauer als Stützwand - Schichtenmauer	543		49
☐	5	ID_1468	Vorübergehende Abfangmaßnahme Baustütze	Sockelabdichtung, Verblend-Mauerwerk	335		49

99 rows selected 1-5 of 495 < >

Abbildung 17: Vergleich Eingabedatei mit Modelldaten

(Eigene Darstellung)

Zusätzlich können in einer Detailansicht die Langtexte angezeigt und verglichen werden.



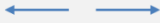
Leistungsverzeichnis		Datenbank (BKI)	
LV-Pos	1.1.1	DB-Pos	3.4.5
LV-Kurztext	Decke, Ortbeton, C25/30, bis 35cm	DB-Kurztext	Decke, Ortbeton, C25/30, bis 35cm
KG DIN 276	313	KG DIN 276	313
Mengeneinheit	m ²	Mengeneinheit	m ²
Langtext: Decke aus Stahlbeton, mit Ortbeton, Bauteil in trockner Umgebung, ohne Frostangriff, Betonflächen oben waagrecht, unten sichtbar bleibend. Schalung und Bewehrung in gesonderten Positionen. Festigkeitsklasse: C25/30 Expositionsklasse: XC1 Feuchtigkeitsklasse: WO Zuschlagstoff: natürliche Gesteinskörnung Oberfläche: Deckenstärke: bis 35 cm		Langtext: Decke aus Stahlbeton, mit Ortbeton, Bauteil in trockner Umgebung, ohne Frostangriff, Betonflächen oben waagrecht, unten sichtbar bleibend. Schalung und Bewehrung in gesonderten Positionen. Festigkeitsklasse: C25/30 Expositionsklasse: XC1 Feuchtigkeitsklasse: WO Zuschlagstoff: natürliche Gesteinskörnung Oberfläche: Deckenstärke: bis 35 cm	
			

Abbildung 18: Ansicht Langtext

(Eigene Darstellung)

Im abschließenden Schritt erfolgt die Ausgabe des Gesamtergebnisses in Form einer weiter verarbeitbaren Tabelle. Diese Tabelle umfasst die Zuweisungsliste, den Massenansatz des Ursprungsleistungsverzeichnisses sowie den Kalkulationswert aus den BKI- Tabellen. Die aggregierten Informationen dienen als wesentliche Grundlage für die Ableitung der Ausführungsdauer jeder Position. Die exportierte Tabelle dient als Basis für die Erstellung eines detaillierten Terminplans oder kann gleichzeitig als Grundlage für die Kalkulation bei der Angebotserstellung genutzt werden.

Die Offenheit des Datenformats ermöglicht das Ergänzen von Gleichzeitigkeitsfaktoren, projektspezifischen Parametern und Kolonnenstärken.



LV-Pos	LV-Kurztext	KG DIN 276	ME	Zeitaufwand in h / ME	Menge	Zeitaufwand in h	Zeitaufwand in Personentagen
1.1.1	Decke, <u>Ortbeton</u> , C25/30, 25cm	313	m ²	10	200	2000	250
1.1.2	Decke, <u>Ortbeton</u> , C25/30, 30cm	313	m ²	9	400	3600	450
1.1.3	Decke, <u>Ortbeton</u> , C25/30, 35cm	313	m ²	8	240	1920	240
1.2.1	Fundament, <u>Ortbeton</u> , C25/30, 80cm	313	m ²	10	200	2000	250
1.2.2	Fundament, <u>Ortbeton</u> , C25/30, 100cm	313	m ²		400		
1.2.3	Fundament, <u>Ortbeton</u> , C25/30, 120cm	313	m ²	8	240	1920	240
1.2.4	Fundament, <u>Ortbeton</u> , C25/30, 150cm	313	m ²	10	200	2000	250

Abbildung 19: Ergebnistabelle

(Eigene Darstellung)

Diese flexiblen Anpassungsmöglichkeiten erweitern die Funktionalität und gestatten eine präzise Berücksichtigung projektspezifischer Variablen im Rahmen der Terminplanung und Kalkulation. Dieser Ansatz fördert die Anpassungsfähigkeit und damit die Nutzerakzeptanz.

AW 7.2 Mängelklassifizierung

Die Klassifizierung von Baumängeln erlangt erhebliche Bedeutung aufgrund verschiedener Aspekte, die sowohl die Baupraxis als auch rechtliche Belange betreffen. In erster Linie ermöglicht sie eine effiziente Qualitätskontrolle während und nach der Bauphase, um sicherzustellen, dass das errichtete Bauwerk den erforderlichen Standards entspricht. Diese klare Klassifizierung erleichtert nicht nur die systematische Dokumentation von auftretenden Problemen und Unregelmäßigkeiten während des Bauprozesses, sondern trägt auch maßgeblich zur verbesserten Kommunikation zwischen den beteiligten Parteien bei.

Ein weiterer essenzieller Aspekt liegt im rechtlichen Kontext, wo die Klassifizierung von Baumängeln zur Klärung von Verantwortlichkeiten beiträgt. Darüber hinaus fungiert sie als bedeutendes Beweismittel in rechtlichen Auseinandersetzungen, wodurch eine fundierte Grundlage für juristische Entscheidungen geschaffen wird. Die präzise Dokumentation spielt ebenfalls eine entscheidende Rolle bei der Kostenminimierung, indem Baumängel frühzeitig erkannt und behoben werden, um potenziell schwerwiegendere Probleme zu verhindern.

Die Sicherheit und Gesundheit der Nutzer eines Gebäudes können durch Baumängel gefährdet sein, weshalb eine genaue Klassifizierung unerlässlich ist, um potenzielle Risiken zu identifizieren und angemessene Maßnahmen zu ergreifen. Darüber hinaus ermöglicht die Klassifizierung von Baumängeln eine kontinuierliche Verbesserung der Bauprozesse, da durch die Analyse von Trends und Mustern Ursachen für wiederkehrende Probleme erkannt und entsprechende Optimierungen vorgenommen werden können. Dieser Ansatz trägt dazu bei, die Qualität von Bauprojekten zu gewährleisten und langfristige Verwertbarkeit der erhobenen Daten zu sichern.

In der Praxis zeigt sich jedoch häufig eine mangelnde Klassifizierung von Baumängeln. Dies führt dazu, dass wichtige Erkenntnisse aus laufenden und abgeschlossenen Bauvorhaben selten datenbasiert getroffen werden können. Der entwickelte Demonstrator zielt darauf ab, eine intensive Interaktion zwischen Menschen und Maschinen zu ermöglichen. Besonderes Augenmerk wurde dabei daraufgelegt, eine niederschwellige Datengrundlage zu schaffen. Häufig werden in der Praxis einfache Mängellisten verwendet, die lediglich aus einer Mängelüberschrift und einer Mangelbeschreibung bestehen.

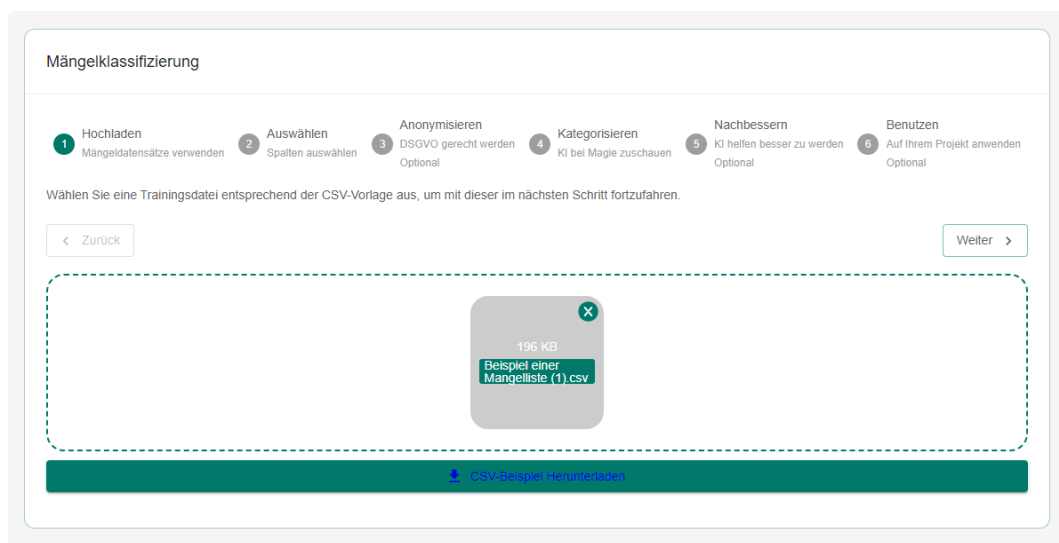


Abbildung 20: Upload einer Mängelliste

(Eigene Darstellung)

Die hochgeladenen Mängellisten durchlaufen nach dem Anonymisieren einen Abgleich mit dem Modell. Dabei erfolgt die Erkennung typischer Formulierungen in Mängelüberschriften und Mangeltexten, die anschließend gemäß den Standards der DIN 276 kategorisiert werden. Der Nutzer erhält die Möglichkeit, die Ergebnisqualität mittels einer prozentualen Auswertung zu beurteilen. Zudem

besteht die Option, aus mehreren Vorschlägen auszuwählen, um eine präzise Zuordnung zu ermöglichen.

Mängelklassifizierung

1. Hochladen (Mängeldatenätze verwenden) 2. Auswählen (Spalten auswählen) 3. Anonymisieren (DSGVO gerecht werden Optional) 4. Kategorisieren (KI bei Mängel anschauen) 5. Nachbessern (KI helfen besser zu werden Optional) 6. Benutzen (Auf Ihrem Projekt anwenden Optional)

In diesem Schritt werden die Trainingsdaten anonymisiert, damit diese nach den Richtlinien der DSGVO weiterverwendet werden können. Hierzu können Sie die automatische Anonymisierung mit SDaC starten und anschließend noch manuell korrigieren. Fahren Sie mit dem nächsten Schritt fort, sobald die Daten vollständig anonymisiert sind.

[< Zurück](#) [Überspringen](#) [Weiter >](#)

Anonymisierung über SDaC

Interne ID	Beschreibung (original)	Beschreibung (anonymisiert) -editierbar-	Autom. Einsetzung
1	1357 Wassereinbruch EG bis 3. OG in Berlin Im Bereich der Fußpunkte kommt es auf allen Geschossen zu Was...		X
2	1354 Wassereinbruch 1. und 2. OG im Bereich der Fußpunkte kommt es erneut zu Wassereinbrüchen. Aufgrund...		X
3	1338 BPC- Perimeterdämmung nicht geeignet für Stauwasser Gemäß technischem Datenblatt ist die eingesetzte...		X
4	1326 Gerüstecke beschädigen die Abdichtung Die während der Montagearbeiten demonitierten Gerüstecke werde...		X
5	1265 Felix war auf der Baustelle: Tropfkanten fehlen Bei allen 3 Cabrodächern fehlen die Tropfkanten an den Ve...		X
6	1252 Farbunterschiede Fensterprofile außerhalb Toleranz Innerhalb der einzelnen Fensteranlagen sind Farbunte...		X
7	1251 Epoxidharz auf Scheibe Auf der Glasbrüstung ist eine Verschmutzung aus Epoxidharz		X
8	1158 Überstand Zinkblechfensterbank ist zu groß Die Zinkblechfensterbank vom 02. bis zum 04. OG haben im ...		X
9	1137 Fensterbank schief von Luisa eingebaut. Die Fensterbank ist schief eingebaut. Der Verlauf der Vorderkante...		X
10	1090 KH 58-Seltliche Winkel Ebenenunterschiede, klaffende Anschluss! Zwischen den seitlichen Winkeln auf den...		X

1-10 of 1281 < >

Abbildung 21: Anonymisierung der Daten

(Eigene Darstellung)

Das Ergebnis präsentiert dem Anwender eine umfassende Auswertung aller Mängel, die auf der Häufigkeit der Treffer bezogen auf die DIN 276 basiert. Diese Ergebnisse werden in einem übersichtlichen Balkendiagramm dargestellt, um dem Nutzer eine schnelle und klare Bewertung der Mängel zu ermöglichen. Dieser methodische Ansatz gewährleistet eine effiziente Analyse und Visualisierung der Mängel im Kontext der DIN 276, wodurch eine zielgerichtete Entscheidungsfindung und Optimierung der Bauqualität ermöglicht wird.

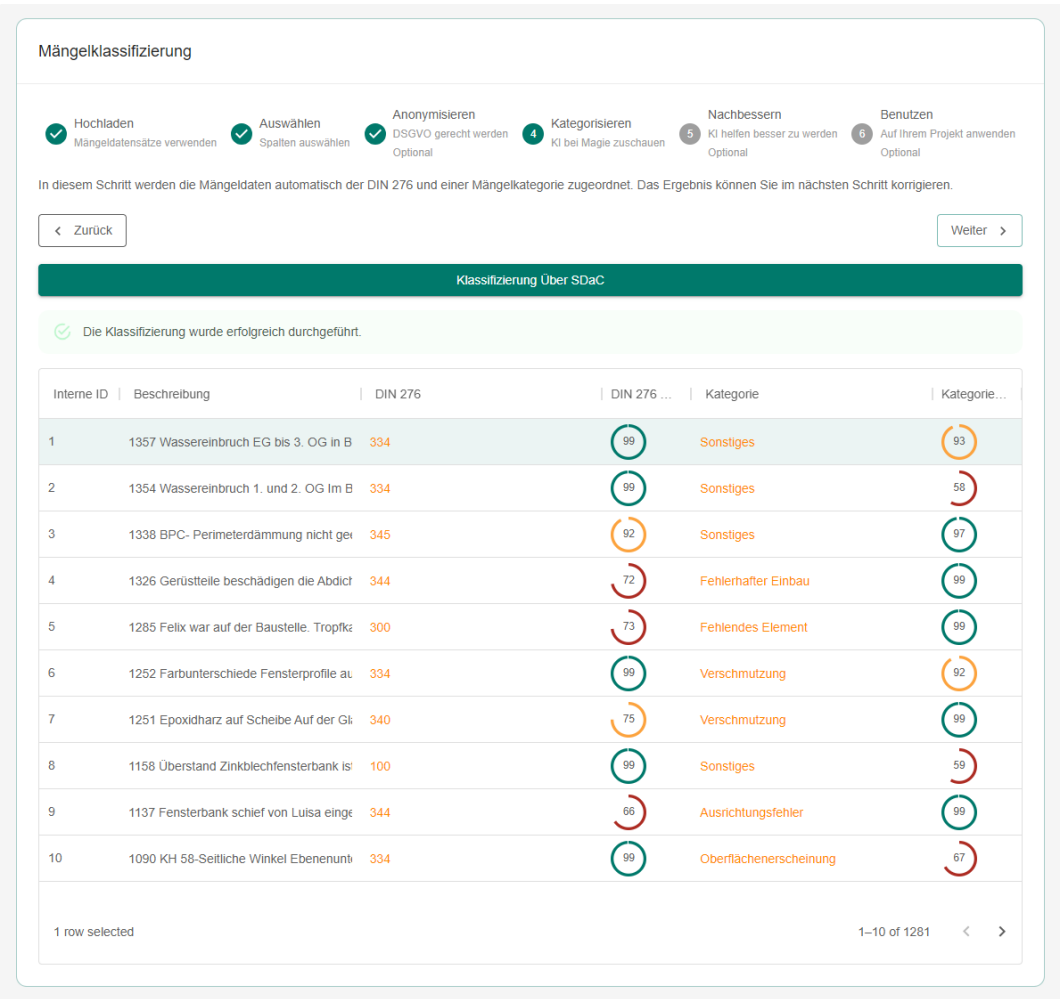


Abbildung 22: Klassifizierung und Wahrscheinlichkeit
(Eigene Darstellung)

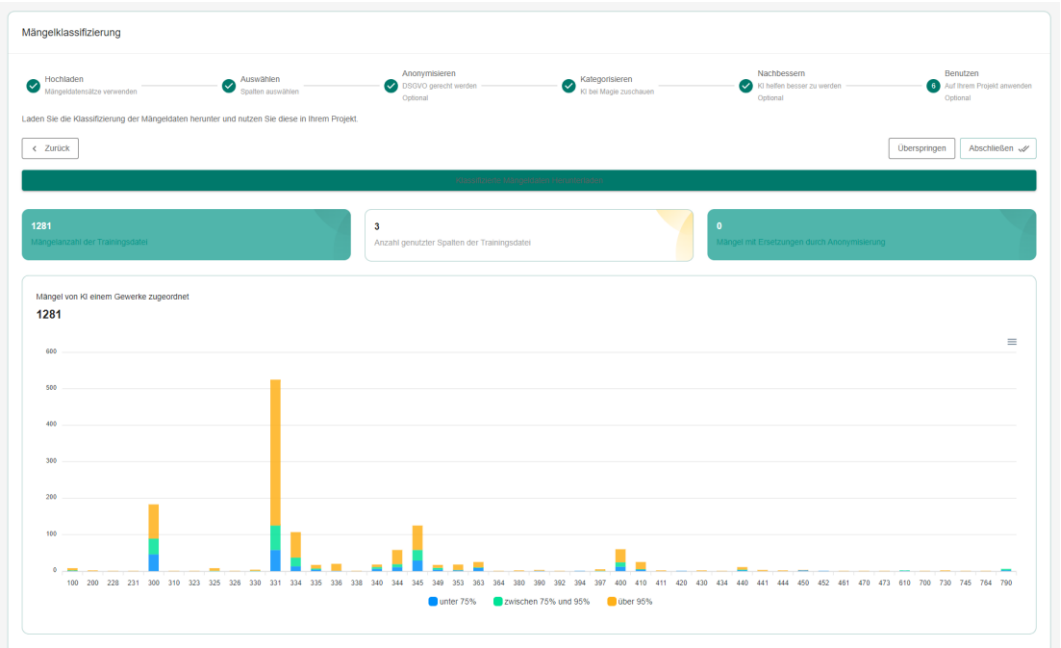


Abbildung 23: Übersicht Zuordnung Mängel nach DIN 276
(Eigene Darstellung)

Entwicklung eines IFC-Parsers

Die IFC, oder Industry Foundation Classes, sind ein offener internationaler Standard für den Austausch von datenreichen Informationen über Bauwerke oder Bauwerksmodelle. Dieser Standard wird von der International Alliance for Interoperability (IAI) entwickelt und ist besonders in der Bau- und Immobilienbranche von Bedeutung.

Die IFC-Schnittstelle bietet eine gemeinsame Sprache für die Kommunikation zwischen verschiedenen Softwareanwendungen, die in der Planung, Konstruktion, Instandhaltung und Verwaltung von Gebäuden eingesetzt werden. Diese Schnittstelle ermöglicht es, Informationen über Bauprojekte interoperabel zwischen verschiedenen Softwareanwendungen auszutauschen, unabhängig davon, von welchem Anbieter die jeweilige Software stammt.

Einige wichtige Merkmale und Funktionen der IFC-Schnittstelle sind:

Offenheit und Neutralität: IFC ist ein offener Standard, der von der Branche gemeinsam entwickelt wird. Dadurch wird sichergestellt, dass verschiedene Softwareanwendungen miteinander kommunizieren können, unabhängig von der Plattform oder dem Anbieter.

Datenreichtum: IFC unterstützt den Austausch von umfassenden Informationen über Bauwerke, einschließlich geometrischer Daten, materieller Eigenschaften, Beziehungen zwischen Bauteilen, Raumbeziehungen, und mehr. Dies ermöglicht eine ganzheitliche Betrachtung von Bauprojekten.

Interoperabilität: Durch die Verwendung von IFC können Architekten, Ingenieure, Bauunternehmer und Facility Manager nahtlos zusammenarbeiten, ohne dass es zu Verlusten von Informationen kommt. Die Interoperabilität unterstützt den reibungslosen Informationsaustausch über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes.

Versionierung: Die IFC-Spezifikation wird regelmäßig aktualisiert, um den sich wandelnden Anforderungen weiterhin gerecht zu werden. Die verschiedenen Versionen stellen sicher, dass die IFC-Schnittstelle mit den neuesten technologischen Entwicklungen Schritt hält.

Die IFC-Schnittstelle hat sich als wichtiges Instrument für die digitale Transformation in der Bauindustrie erwiesen. Sie ermöglicht es BIM (Building

Information Modeling) zu implementieren und trägt dazu bei, die Effizienz, Genauigkeit und Zusammenarbeit in Bauprojekten zu verbessern.

Der entwickelte IFC Parser dient Interoperabilität: Der IFC-Parser ermöglicht die Interoperabilität zwischen verschiedenen Softwareanwendungen in der Architektur-, Ingenieur- und Bauindustrie (AEC). Durch das Parsen von IFC-Dateien können Daten zwischen verschiedenen BIM-Tools ausgetauscht werden, unabhängig vom Hersteller.

Für Entwickler bietet der IFC-Parser eine Grundlage für die Erstellung von Anwendungen, die IFC-Dateien unterstützen. Dies erleichtert die Entwicklung von Softwarelösungen, die in den BIM-Workflow integriert werden können. Insgesamt tragen IFC-Parser dazu bei, die Zusammenarbeit in der Bauindustrie zu verbessern, den Informationsaustausch zu erleichtern und die Effizienz bei der Verwaltung von Bauprojekten zu steigern. Der IFC-Parser steht als Open-Source-Projekt [hier](#) zum Download zur Verfügung.

Entwicklung eines GAEB-Parsers

GAEB steht für „Gemeinsame Ausschreibungs- und Auftragsvergabeverfahren im Bauwesen“. Es handelt sich um ein standardisiertes Dateiformat, das in der deutschen Baubranche weit verbreitet ist. Das GAEB-Format dient hauptsächlich der Strukturierung und standardisierten Darstellung von Ausschreibungs- und Leistungsverzeichnissen im Bauwesen.

Die Verbreitung von GAEB ist in Deutschland sehr hoch und es wird von vielen Akteuren in der Baubranche genutzt, darunter Bauunternehmen, Architekten, Ingenieure und öffentliche Auftraggeber. Es ermöglicht einen standardisierten Datenaustausch im Ausschreibungs- und Vergabeprozess und trägt zur Effizienz und Konsistenz bei der Abwicklung von Bauprojekten bei.

Ein GAEB-Parser ist eine spezialisierte Software, die darauf ausgerichtet ist, GAEB-Dateien zu analysieren und zu verarbeiten. Die Hauptaufgabe des GAEB-Parsers besteht darin, Informationen aus GAEB-Dateien zu extrahieren, die oft für Ausschreibungen und Auftragsvergaben genutzt werden.

Typischerweise umfassen die Funktionen des GAEB-Parsers die Extraktion von Details zu Positionen, Mengen, Einheiten und Preisen aus einem Leistungsverzeichnis. Die extrahierten Daten werden strukturiert, um eine leicht verständliche Form für die Weiterverarbeitung oder Anzeige bereitzustellen.

Weiterhin überprüft der GAEB-Parser die Konformität der GAEB-Datei mit den vorgegebenen GAEB-Standards und stellt sicher, dass sie den festgelegten Regeln entspricht.

Ein wichtiger Aspekt des GAEB-Parsers besteht darin, die extrahierten Daten nahtlos in andere Softwareanwendungen oder Systeme zu integrieren. Dadurch wird ein reibungsloser Datenaustausch ermöglicht, was wiederum die Zusammenarbeit und Effizienz im gesamten Ausschreibungsprozess verbessert.

Diese Parser tragen dazu bei, menschliche Fehler zu minimieren und eine konsistente Verarbeitung von GAEB-Daten sicherzustellen, wodurch der gesamte Prozess effizienter und zuverlässiger gestaltet wird. Die Vorhersage des KI-Systems könnte für viele Nutzer bereits eine zufriedenstellende Information sein, um zu entscheiden, welche Vorhersagen des KI-Systems bevorzugt durch den Menschen zu überprüfen sind. Der GAEB-Parser ist unter folgendem Link aufrufbar: [Metis Systems AG Opensource / GAEB-SQL-Converter · GitLab](#)

6.4 Entwicklung der Plattform

Die SDaC-Plattform wurde unter Berücksichtigung verschiedener Anforderungen entwickelt. In Gesprächen mit den Partnern wurden relevante Datenflüsse identifiziert, während eine Microservice/Microfrontend Architektur angestrebt wurde, um die Datenflüsse bestmöglich zu orchestrieren und zu kapseln. Es wurde beschlossen, überall HTTP als Kommunikationsprotokoll einzusetzen, während für die asynchrone Kommunikation ein Message Bus entworfen wurde. Zusätzlich wurden elf relevante Datenformate identifiziert, auf die sich die Plattform fokussiert.

Das Konzeptpapier für die Grobarchitektur und Daten-Governance der SDaC-Plattform umfasste die Identifikation notwendiger Services, das Design einer Architektur sowie die Auswahl passender Technologien. Besonderes Augenmerk wurde auf Datensouveränitätsgarantien gelegt, wobei Transparenz, Vertrauen und Kontrolle als wichtige Pfeiler identifiziert wurden. Zudem wurde eine Taxonomie für Datenplattformen entwickelt und ein technisches Data Governance Toolset für die Plattform entworfen.

Die technische Umsetzung der SDaC-Plattform umfasste die Realisierung der technischen Demonstratoren mittels Node.js sowie die Entwicklung des Frontends basierend auf Nutzerfeedback in Vue.js und Vuetify. Die Dienste wurden über Kafka verknüpft und über ein Kong API-Gateway gekapselt. Dabei wurden Open-

Source Komponenten wie Keycloak und strapi eingesetzt, um Arbeit zu sparen. Die Plattform wurde erfolgreich durch Nutzertests evaluiert.

Um Datensicherheit und Souveränität zu gewährleisten, wurden neueste Technologien und Standards eingesetzt. Ein „Hack the Platform“-Event wurde durchgeführt, um Schwachstellen in der Software zu identifizieren. Zudem wurden spezielle Daten-Souveränitäts-Management-Services entwickelt, um Nutzer in Echtzeit nachvollziehen zu lassen, was mit ihren Daten geschieht.

Ein Framework zur kollaborativen Erstellung datenbasierter Produkte & Service wurde entwickelt, um die wichtigsten Akteure und Ströme auf der Plattform zu identifizieren und die Erweiterbarkeit zu einem Datenmarktplatz zu konzipieren. Es wurden Anreizsysteme entwickelt, um den Datenaustausch auf der Plattform zu fördern und die kollaborative Erstellung datenbasierter Produkte und Services zu unterstützen.

6.5 Humanzentrische Grundlagen

Für den Erfolg des Vorgehens bei der Entwicklung der Demonstratoren war es unerlässlich, zunächst eine ausführliche Anforderungsanalyse der Systemteilnehmer durchzuführen, um deren spezifische Anforderungen an ein Ökosystem herauszufinden und software- sowie hardwaretechnische Bedürfnisse zu erfahren, wie z.B. geringe Einstiegskosten für Kleinunternehmen, Datenschutz sowie eine intuitive Benutzeroberfläche. Das Institut KSRI verfolgte für diese Analyse einen Design Thinking Ansatz: Durch Workshops und Interviews mit den Stakeholdern wurden Erkenntnisse zum prototypischen Angebot von SDaC bereitgestellt. Dies diente dem Verständnis spezieller Akzeptanzanforderungen an die Kombination von moderner KI und dem SDaC-Ökosystem. Hier war insbesondere die humanzentrierte Gestaltung relevant, z.B. die Nutzerinteraktion oder die Kollaboration zwischen Menschen und KI. Die humanzentrierte Gestaltung wurde durch den Design Thinking Ansatz erreicht (vgl. Abbildung 24)Abbildung 24: Design Thinking Zyklus. In diesem Ansatz ist ein iteratives Vorgehen vorgesehen, wobei in jeder Entwicklungsstufe Feedback des Nutzers gesammelt wird.

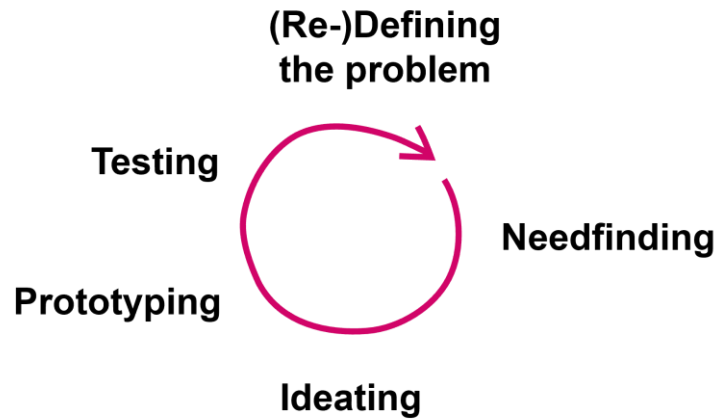


Abbildung 24: Design Thinking Zyklus (Seminar „Service Design Thinking“ des KSRI)

Um zu Beginn des Design Thinking Ansatzes ein Verständnis der Nutzeranforderungen an die Handlungsfelder und die Anwendungsfälle zu erhalten, wurden verschiedene Workshops mit dem Konsortialteam durchgeführt. Die Softwaretools *Miro* und *Figma* dienten als Basis der humanzentrischen Entwicklung von User Interfaces für jeden Anwendungsfall. Die Entwicklung des User Interfaces und der User Experience fand iterativ in drei Entwicklungsstufen statt: User Flow, Wireframe und Mock-Up. Der Detaillierungsgrad der Prototypen steigt dabei von Stufe zu Stufe. In jedem Iterationsschritt wurde das User Feedback der vorherigen Entwicklungsstufe berücksichtigt. Basierend auf den Mock-Ups wurden erste lauffähige technische Prototypen für einzelne Anwendungsfälle erstellt und anschließend in den einzelnen Projektteams weiterentwickelt.

Diese KI-Demonstratoren sind auf eine enge Mensch-Maschinen-Interaktion konzipiert. Daher wurden in einer Testphase erste technische Prototypen der SDaC-Demonstratoren mit potenziellen Nutzern getestet, um Feedback zu Inhalt und Design der Demonstratoren zu erhalten. Diese Testphase fand zu Beginn des dritten Projektjahres statt. Die Tests wurden dabei in kleinen Nutzergruppen für jeden der Demonstratoren durchgeführt. Die einzelnen Testings begannen mit einer kurzen Einführung, in der das Entwicklerteam allen Testpersonen den Kontext und die allgemeinen Funktionen der Anwendung erklärten. Danach testeten die Testpersonen in 1:1-Sitzungen mit Moderatoren den technischen Prototypen und gaben sofort qualitatives Feedback. Um die Intuition und das Testen des Demonstrators unter möglichst realen Bedingungen zu gewährleisten, erhielten die Testpersonen keine Hinweise, welche Buttons angeklickt werden müssen. Nachdem in der 1:1 Sitzung das Feedback von dem Moderator aufgenommen wurde, diskutierte die Testgruppe gemeinsam mit den Entwicklern

den jeweiligen Anwendungsfall. Insgesamt fanden acht Testing-Sessions mit 28 Testpersonen statt deren Ablauf in Abbildung 25 dargestellt ist.

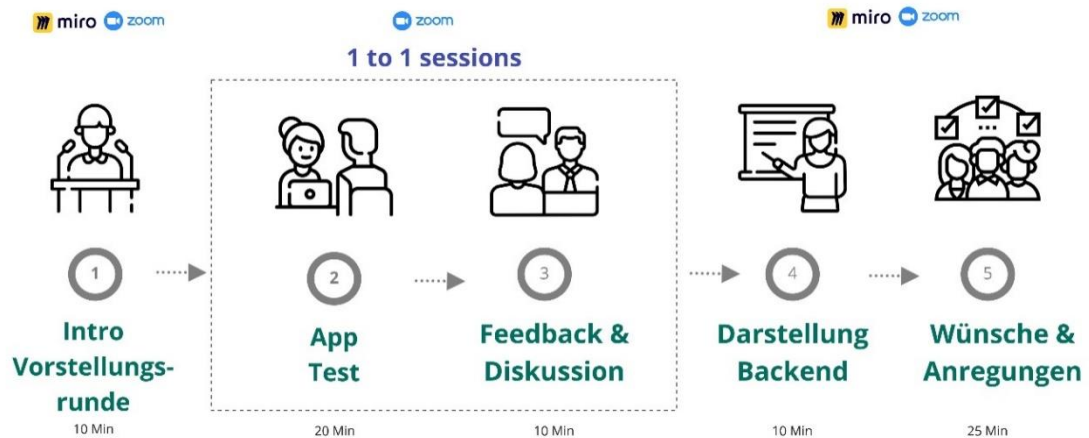


Abbildung 25: Ablauf der Testing Sessions (eigene Darstellung)

Die in den Testing Sessions evaluierten Demonstratoren wurden dann in der nächsten Stufe *Live Minimum Viable Product (MVP) Tests* von potenziellen Nutzern extern erprobt und validiert. Ziel dieser Stufe war es, den Mehrwert zu messen, den die Demonstratoren im realen Kontext liefern. Vor den eigentlichen MVP-Tests fanden noch Pre-Tests der entwickelten Anwendungsfälle statt. Die Pre-Tests dienten überwiegend dazu, Rückmeldung von den Testpersonen zu erhalten, inwieweit die Nutzung in den Berufsalltag integriert werden kann. Außerdem wurde Feedback zu der Umfrage gesammelt, die im Anschluss des MVP-Tests ausgefüllt werden sollte. Um die Umfrage zu erstellen, wurde das SIPOC-Diagramm verwendet (ein Qualitätsinstrument, das im Prozessmanagement verwendet wird, um Schlüsselemente eines Prozesses zu identifizieren und zu visualisieren). Ziel dieser Umfrage war es, Fragen zu den verschiedenen von KI unterstützten Prozessphasen zu formulieren.

An den Tests nahmen neben Unternehmen aus dem Konsortium auch Unternehmen teil, die nicht an der Entwicklung der Demonstratoren beteiligt waren. Die Testgruppe wurde stetig erweitert und Interessierten wurden Zugänge zum Testen der Anwendungsfälle ermöglicht. Insgesamt wurden 47 Personen Testzugänge erstellt, die verschiedene Demonstratoren testeten. In Tabelle 3 ist die Anzahl der Testpersonen den jeweiligen Anwendungsfällen zugeordnet.

Tabelle 3: Auswertung MVP-Tests

Anwendungsfall	Anzahl Testpersonen
Massenermittlung (AW1)	28
Objektklassifizierung (AW2)	28
Grundrissgenerator (AW3)	30
Nachtragspotenzialanalyse (AW4)	10
Terminplanung (AW5)	10
Lieferscheinerkennung (AW6)	30
Bautagesbericht (AW7.1)	11
Mängelklassifizierung (AW7.2)	10
Gefahrenerkennung (AW8)	9

Mit der Auswertung der MVP-Tests war der Design-Thinking Zyklus und damit die humanzentrierte Entwicklung der KI-Anwendungsfälle abgeschlossen.

6.6 Weitere Wirtschaftliche Ergebnisse

Im Rahmen der Geschäftsmodellentwicklung wurde während der Projektlaufzeit untersucht, inwieweit die wirtschaftliche Tragfähigkeit des Geschäftsmodells Plattform gegeben ist. Während der Projektlaufzeit wurden verschiedene organisatorische und technische Inhalte erarbeitet und werden nach Projektlaufzeit im KI-Kompetenzzentrum umgesetzt. So werden verschiedene Netzwerkveranstaltungen, Schulungen und andere Veranstaltungsformate über das SDaC-Ökosystem weitergetragen. Dadurch ist die Basis gesetzt worden SDaC langfristig und nachhaltig in der Bauwirtschaft zu etablieren.

Neben der Fortführung von SDaC seitens TMB, gab es ein weiteres wirtschaftliches Ergebnis, das von Airteam erzielt wurde: Airteam ist mit dem Unternehmen Lumoview eine wirtschaftliche Kooperation eingegangen, um

gemeinsam die Gebäudehülle und die Innenräume eines Gebäudes abzubilden und wird dieses Produkt der Bauwirtschaft zur Verfügung stellen.

6.7 Weitere Wissenschaftliche Ergebnisse

Als wissenschaftliches Ergebnis ist neben wissenschaftlichen Papern (vgl. Kapitel 10) und Dissertationen die Initiierung des Springer-Buchs zum Thema „KI im Bauwesen“ zu nennen. Das Buch wird verschiedene Beiträge aus der DACH-Region von renommierten Organisationen enthalten und wurde vom TMB koordiniert. Im Rahmen des Teilvorhabens wurden verschiedene Arbeiten zur Zusammenarbeit zwischen Menschen und KI entwickelt.

Der Vorteil der KI liegt in ihrer Geschwindigkeit. In den vergangenen Jahren haben Unternehmen der Baubranche deshalb damit begonnen künstliche Intelligenz (KI) einzusetzen, um zeitaufwändige und repetitive Prozesse zu beschleunigen. Im Gegensatz dazu liegt die Stärke des menschlichen Experten in dessen Genauigkeit. Die zugrundeliegende Motivation für die Anwendung von Mensch-KI Systemen in der Bauindustrie liegt in der Kombination aus Geschwindigkeit und Genauigkeit. Da aktuelle KI-Systeme die Anforderungen der Bauindustrie hinsichtlich der Systemgenauigkeit nicht erfüllen können, werden menschliche Experten situativ eingebunden, um Entscheidungen der KI zu prüfen und, wenn nötig, anzupassen. Während des Teilvorhabens wurde in der ersten Stufe ein Mensch-KI System entwickelt, um die Analyse von Grundrissen hinsichtlich der Ermittlung von Mengen zu verbessern.

Aktuell kann die Massenermittlung nur mithilfe von digitalen Grundrissen automatisiert werden. Für Bestandsbauten liegen allerdings keine digitalen Grundrisse vor und für Neubauten können die digitalen Formate aufgrund fehlender Standardisierung häufig nicht verarbeitet werden. Aus diesem Grund wurde innerhalb des Teilvorhabens ein KI-basiertes System zur Erkennung und Klassifizierung von Symbolen in Grundrissen entwickelt, wobei ein Domänenexperte KI-Entscheidungen korrigieren kann (sog. Human-in-the-Loop-System). Das entwickelte KI-Modell berechnet ein Unsicherheitsmaß für die Klassifizierung von jedem erkannten Symbol. Symbole mit hohem Unsicherheitswert werden dann an Domänenexperten geleitet und von diesen klassifiziert. Der entwickelte Ansatz wurde mithilfe eines realen Datensatzes, der von einem Konsortialpartner zur Verfügung gestellt wurde, ganzheitlich evaluiert und die Ergebnisse auf der Konferenz „Innovative Applications of AI (2022)“ in Vancouver, Kanada vorgestellt.

Basierend auf dieser initialen Arbeit zu Mensch-KI Zusammenarbeit wurden zwei Herausforderungen von aktuellen Systemen identifiziert:

1. Bestehende Mensch-KI Systeme sind nicht effizient genug. Der ständige Rückgriff auf menschliche Experten für schwierige Modellklassifizierungen führt über die Zeit zu einem starken Anstieg des menschlichen Aufwands. Da bestehende Systeme nicht in der Lage sind mit dem Feedback des Domänenexperten weiter zulernen, muss der Domänenexperte jedes Mal aufs Neue konsultiert werden. Der Aufwand für menschliche Experten nimmt also mit der Zeit linear zu.
2. Bestehende Mensch-KI Systeme sind nicht komplementär. Das bedeutet, dass aktuelle Systeme nicht so entwickelt sind, dass die gemeinsame Genauigkeit von Menschen und KI höher ist als die Genauigkeit einer der beiden Akteure allein.

Basierend auf diesen beiden grundlegenden Herausforderungen in der Zusammenarbeit zwischen Menschen und KI, wurden weitere grundlegende Forschungsarbeiten erstellt, um die Zusammenarbeit hinsichtlich ihrer Effizienz und der Leistungsfähigkeit zu verbessern.

Um die Effizienz von Mensch-KI Systemen zu verbessern, wurde von KSRI-Mitarbeitern ein hybrides System entwickelt, das sogenannte künstliche Experten (KI-Modelle) erzeugt. Diese künstlichen Experten lernen Dateninstanzen aus unbekannten Klassen zu klassifizieren, die zuvor von menschlichen Experten überprüft wurden. Auf diese Weise reduzieren die künstlichen Experten den Aufwand für menschliche Domänenexperten. Das hybride System bewertet, welcher künstliche Experte für die Klassifizierung einer Instanz aus einer unbekannten Klasse geeignet ist, und ordnet diese automatisch zu. Mit der Zeit reduziert dies den menschlichen Aufwand und erhöht die Effizienz des Systems. Die durchgeführten Experimente zeigen, dass der entwickelte Ansatz die Effizienz von traditionellen Mensch-KI-Systemen deutlich übertrifft. Diese grundlegende Arbeit wurde bei der „Konferenz für Wirtschaftsinformatik (2023)“ (vgl. Kapitel 10.4) präsentiert und ist für einen Best Paper Award nominiert.

Um eine möglichst effiziente Zusammenarbeit zwischen Menschen und KI-Systemen zu ermöglichen, wurde in einem Folgeprojekt untersucht, ob es möglich ist, ein KI-System speziell komplementär zu der Expertise des Menschen zu entwickeln. Hierzu wurde ein zweistufiges System entwickelt, welches zum einen in der Lage ist, besonders genaue Entscheidungen in den Fällen zu treffen, bei

denen menschliche Experten mit einer höheren Wahrscheinlichkeit fehlerhafte Entscheidungen treffen, um diese inhaltlich zu ergänzen. Zum anderen ist das System in der Lage, automatisch eine Aufteilung von einzelnen Teilaufgaben zwischen beiden Parteien vorzunehmen. Hierbei werden die Teilaufgaben von dem System entweder dem menschlichen Experten zugewiesen oder das KI-System übernimmt die Aufgabe selbst, je nachdem ob ein menschlicher Experte oder das KI-System mit höherer Wahrscheinlichkeit die jeweilige Teilaufgabe besser erledigen wird. Die Ergebnisse dieses Folgeprojekts wurden auf der „International Joint Conference on Artificial Intelligence“ 2022 in Wien vorgestellt und im Rahmen dieser Konferenz in einem Paper veröffentlicht.

7 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Trotz einer stetigen Zunahme des Bauvolumens in Deutschland (vgl. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2021) ist dem Baugewerbe eine Stagnation zu entnehmen (vgl. statista, 2021). Noch vor 2020 und den folgenden Wirtschaftskrisen durch Corona oder Kriege, betrug die jährliche Wachstumserwartung bis zu 4,2 Prozent p.a., dominiert vom Sektor des Wohnungsbaus. Darauf zurückzuführen ist der steigende Bedarf an Wohnraum, insbesondere in urbanen Regionen (vgl. PwC, 2018). Da viele Wirtschaftszweige einen immer höheren Digitalisierungsgrad aufweisen und Prozesse zunehmend automatisiert werden, steht das Baugewerbe vor der Aufgabe, den Fokus ebenfalls vermehrt hierauf zu richten. Bewertungen des Status Quo zeigen jedoch, dass der Digitalisierungsgrad des Baugewerbes im Vergleich zu anderen Wirtschaftszweigen unterhalb des Durchschnitts liegt (DIHK, 2023). Ein ähnliches Bild ergibt sich beim Vergleich der Investitionen von Unternehmen in KI-Bereiche: Gemäß einer Studie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi; nun: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz) sind die Investitionen von Unternehmen der Bauwirtschaft in KI-Bereiche so gering, dass eine eigenständige Erfassung der Baubranche innerhalb der Statistik nicht möglich ist (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2020). Die Möglichkeiten von KI-Demonstratoren, sei es in der Planung, auf der Baustelle oder in bewohnten Gebäuden, sind jedoch vielfältig und weisen bei erfolgreicher Implementierung einen hohen Nutzen auf (vgl. Giannakidis et al., 2021).

Maßgebende Gründe des bisher geringen Einsatzes von KI-Anwendungen in der Baubranche sind die Einzigartigkeit sowie Komplexität von Bauprojekten. Das Resultat dieser Eigenschaften ist mangelnde historische Daten, welche jedoch eine maßgebliche Grundlage für die Anwendung einer schwachen KI darstellen. Von der Datenproblematik bei Bauprojekten sind insbesondere KMU betroffen. Da die deutsche Bauwirtschaft zu 99,9% aus KMU besteht, wird der Effekt verstärkt, dass der Prozess einer unternehmensübergreifenden bzw. branchenweiten Digitalisierung – und damit der Einsatz von KI-Anwendungen – verzögert wird (Bundesamt, 2022).

Neben der technischen Machbarkeit spielen die gestaltungsorientierten Bausteine, die im Rahmen der KIT-Arbeitspakete erarbeitet wurden, eine entscheidende Rolle

für das Design von KI-basierten Services und den Aufbau eines KI-basierten Service-Ökosystems in der Bauwirtschaft. Die Erforschung solcher Ökosysteme, die durch ihre Vielfalt an Teilnehmern gekennzeichnet ist, ist besonders anspruchsvoll und erfordert entsprechende finanzielle Förderung. Die Förderung ermöglichte die Entwicklung und Erprobung neuer innovativer Konzepte und trägt langfristig zur Sicherung des Wirtschaftsstandorts Deutschland bei.

8 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

8.1 Wissenschaftliche Verwertung

Im Rahmen des SDaC-Projekts wurden bedeutende wissenschaftliche Erkenntnisse und Methoden gewonnen, die in verschiedenen Forschungsarbeiten und Doktorarbeiten an den drei Instituten des KIT angewandt wurden.

Konkret werden drei Doktorarbeiten am TMB und zwei Doktorarbeiten am KSRI auf den während des SDaC-Projekts erzielten Erkenntnissen basieren. Diese Arbeiten tragen zur wissenschaftlichen Vertiefung und Erforschung der KI in der Bauwirtschaft bei und eröffnen neue Perspektiven für die Branche.

Zusätzlich zu den Doktorarbeiten wurden wissenschaftliche Paper veröffentlicht (vgl. Kapitel 10), die die Forschungsergebnisse des SDaC-Projekts einem breiteren Publikum zugänglich machen. Die Veröffentlichung von Papers ermöglicht den Austausch von Wissen und die Diskussion der Ergebnisse mit der wissenschaftlichen Gemeinschaft.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der wissenschaftlichen Verwertung ist die Integration der während des SDaC-Projekts gewonnenen Erkenntnisse und Methoden in neue Forschungsprojekte. So werden die Anwendungsfälle AW1 und AW2 in dem Forschungsprojekt „NaiS“ (Nachhaltige intelligente Sanierungsmaßnahmen) weiterverwendet und ausgebaut. Dieser Übergang von einem Projekt zum nächsten zeigt, wie die Forschungsergebnisse nicht nur in der Theorie, sondern auch in der Praxis Anwendung finden und dazu beitragen, nachhaltige und intelligente Lösungen für die Bauwirtschaft zu entwickeln.

8.2 Wirtschaftliche Verwertung

Im Bereich der wirtschaftlichen Verwertung haben die Forschungsergebnisse des SDaC-Projekts bereits zu bedeutenden Entwicklungen und Fortschritten in der Bauwirtschaft geführt.

Die beiden KIT Institute TMB sowie EnTechnon haben gemeinsam mit dem CyberForum die Ausgründung von SDaC als Geschäftsmodell maßgeblich vorangetrieben. Hierbei wurden organisatorische und technische Inhalte erarbeitet und umgesetzt (vgl. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**), um SDaC langfristig und nachhaltig in der Bauwirtschaft zu etablieren.

Dies zeigt das Engagement der Akteure, das Projekt in eine wirtschaftlich erfolgreiche Richtung zu lenken.

Als Teil der wirtschaftlichen Verwertung wurde das „Kompetenzzentrum KI in der Bauwirtschaft“ (<https://sdac.tech/>) geschaffen. Dieses Zentrum dient als Plattform für den Austausch von Wissen und die Förderung der KI in der Bauwirtschaft. Ein Akademiekonzept und Schulungen wurden erarbeitet, ein Softwarekatalog mit über 200 KI-Anwendungen für die Bauwirtschaft erstellt und ein Expertennetzwerk geschaffen, das es Unternehmen und Forschungseinrichtungen ermöglicht, ihr Fachwissen zu bündeln und gemeinsam innovative Lösungen zu entwickeln.

Durch die Förderung des unternehmerischen Denkens und die Teilnahme an Start-Up Acceleratoren wurden zwei Spin-Offs initiiert: [Valoon](#) und eine [App des Konsortialpartners GÜB](#). Ein bemerkenswertes Beispiel für die wirtschaftliche Verwertung aus dem SDaC-Projekt ist die Unternehmensgründung von [Semorai](#). Dieses Startup hat sich aus dem SDaCathon herausgebildet und nutzt die dort gewonnenen Erkenntnisse, um innovative KI-Lösungen wie wissensbasierte Methoden des Qualitäts- und Fehlermanagements in produzierenden Unternehmen durch künstliche Intelligenz zu automatisieren.

Die Ergebnisse und Erfahrungen aus dem Projekt SDaC laufen mittlerweile in die Neugestaltung der am Projekt beteiligten Unternehmensprozesse mit ein. Dabei bilden die SDaC-Demonstratoren wertvolle Grundlagen für die Entwicklung der hausinternen KI-Systeme. So gibt es bei Goldbeck eine neue strategische Kompetenzabteilung, die sich mit der Identifizierung und Nutzung von KI-Anwendungsfeldern befasst. Digitales bauen GmbH führte erste Gespräche mit interessierten Unternehmen, um diesen den AW2 bereitzustellen. Eine weitere Zusammenarbeit ist für 2024 vereinbart. Die Metis AG, als Anbieter eines Projektmanagementtools, beabsichtigt Aspekte der Demonstratoren in ihre Softwareinfrastruktur zu integrieren. Auch bei Airteam sind die Ergebnisse aus den Entwicklungen in das unternehmenseigene Softwareprogramm geflossen.

Die im Projekt erarbeitete DIN SPEC bildet den Grundstein für sämtliche nachfolgende Entwicklungen. Bereits in der Praxis gibt es erste Anwendungen, darunter solche von Betonherstellern, Bauunternehmen sowie Überwachungseinrichtungen (Vasilic et al., 2023). Der Einsatz von Anwendungen auf Basis der DIN SPEC 91454 ermöglicht einen reibungslosen Datenaustausch und bringt Vorteile für alle am Bau Beteiligten. Der während des Projektes initiierte AK DigLKB wird zukünftig gemeinsam mit weiteren Akteuren aus der Bauwirtschaft

an der Umsetzung und Weiterentwicklung der DIN SPEC arbeiten. Das langfristige Ziel ist eine durchgängige digitale Wertschöpfungskette auf Basis der DIN SPEC 91454, die Nachhaltigkeit und Produktivität steigert und Vorteile für alle am Bau Beteiligten bringt.

Diese Ergebnisse zeigen deutlich, dass die wirtschaftliche Verwertung der Forschungsergebnisse des SDaC-Projekts bereits vielfältige und vielversprechende Entwicklungen in der Bauwirtschaft vorantreibt. Durch die Zusammenarbeit von Wissenschaft, Unternehmen und Start-ups werden die gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis überführt und tragen dazu bei, die Bauwirtschaft zukunftsfähig und innovativ zu gestalten.

8.3 Verwertung in der Lehre

Im Bereich der Lehre wurde die Verwertung der Forschungsergebnisse des SDaC-Projekts durch die Integration in bestehende Vorlesungen und Lehrveranstaltungen erfolgreich umgesetzt.

Hierfür wurden bestehende Vorlesungen am TMB um Lehrinhalte oder Beispiele aus dem SDaC-Projekt ergänzt. Ein konkretes Beispiel ist die Einbindung der Anwendungsfälle 4 und 7 in die Vorlesung "Produktionsplanung und -steuerung im Bauwesen", in der den Studierenden gezeigt wurde, wie man mittels KI Lieferscheine auswerten kann. Diese Ergänzung ermöglicht den Studenten auch zukünftig einen praxisnahen Einblick in die Anwendung von KI in der Bauwirtschaft und verdeutlicht die Relevanz der Forschungsergebnisse für die Branche.

Auch im Rahmen des Service Design Thinking Seminars des KSRI wurden die gewonnenen Erkenntnisse des SDaC-Projekts vorgestellt. Hierbei lag der Fokus darauf, die Problemstellungen und Herausforderungen im Bereich der KI in der Bauwirtschaft zu präsentieren. Diese Integration in die Lehre ermöglicht den Studierenden des Seminars eine interdisziplinäre Herangehensweise an die Entwicklung von innovativen Lösungen und fördert das Verständnis für die Bedeutung von KI in verschiedenen Anwendungsbereichen.

Das spiegelt sich auch im „Student Innovation Lab“ (SIL) wider, welches durch das EnTechnon für die unternehmerische Perspektive begleitet wird. Hier zeigt ein Anwendungsbeispiel aus dem Automation Innovation Lab sehr schön die Schnittstelle von Hardware- und Software-Einsatz in der Baubranche. Die entwickelte Applikation der Studenten zielt darauf ab, mittels Drohnen und KI einen digitalen Zwilling eines Gebäudes anzufertigen, um so die Fehlerdetektion zu

erhöhen und zu vereinfachen. Auf diese Weise können die Effizienz gesteigert sowie unnötige Kosten vermieden werden, die bei manueller Fehlersuche und nicht-Detektion vielfach entstehen.

9 Fortschritt an anderer Stelle

Während der Durchführung sind keine Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt geworden.

10 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

10.1 Veröffentlichungen im Jahr 2020

- Im Rahmen der Begleitforschung wurde die Publikation „Smart Design, Smart Construction, Smart Operation“ der Verbundprojekte BIMcontracts, BIMSWARM, DigitalTWIN, SDaC erarbeitet. In dieser werden zusammen mit anderen Forschungsprojekten Aspekte bei der Digitalisierung der Bauwirtschaft beleuchtet.
Blumenstiehl, B., Cisterna, D., Gorski, T., Haghsheno, S., Hemmer, P., Oprach, S., Vössing, M., Weinmann, M. & Wolber, J. (2021) „KI und die Rolle des Menschen im Bauwesen“, in Begleitforschung Smart Service Welt II Institut für Innovation und Technik (Hg.) Smart Design Smart Construction Smart Operation: Einsatz von digitalen Services in der Bauwirtschaft, S. 15–20.
- Es wurde ein Beitrag in der chilenischen Zeitschrift „Negocio & Construcción“ (Ausgabe September) erstellt.
- In der Veröffentlichung des Magazins „Techtag“ wurden Auswirkungen der Anwendung von KI-Applikationen erläutert.
Feil, F. (2020) „SDaC: Wie Künstliche Intelligenz das Baugewerbe verändert [Interview]“, techtag, 3. Juli [Online]. Verfügbar unter <https://www.techtag.de/digitalisierung/sdac-wie-kuenstliche-intelligenz-das-baugewerbe-veraendert-interview/> (Abgerufen am 10 Juli 2023).
- In einer Veröffentlichung in „Bauprodukte digital“ (Wilhelm Ernst & Sohn Verlag) wird das Forschungsprojekt SDaC und sein Vorhaben beschrieben.
- In der Zeitschrift BauPortal wurde der Anwendungsfall der Gefahrenerkennung erläutert.
Steuer, D. (2020) „Mehr Sicherheit dank künstlicher Intelligenz: Forschungsprojekt SDaC unterstützt Unternehmen bei der Minimierung von Gefahren auf der Baustelle“, BauPortal, Vol. 132.
- „Erstes Netzwerktreffen im Rahmen des Forschungsprojektes SDaC“, 13.10.2020, online, verfügbar unter <https://www.cyberforum.de/newsroom/1-netzwerktreffen-im-rahmen-des-forschungsprojekts-sdac> (Abgerufen am 15. Januar 2024)
- bauzeit (2020), Eine für alle, https://cms.goldbeck.de/fileadmin/goldbeck.de/00_newsroom/prospekte/goldbeck_kundenmagazin_bauzeit_intelligenz_9_2020.pdf (Abgerufen am 28. November 2023).

10.2 Veröffentlichungen im Jahr 2021

- In einem Proceedingsbeitrag der DiTTEt Konferenz wurden mit einer statistisch-deskriptiven Analyse die Treiber und Hemmnisse der KI in der Bauwirtschaft dargestellt:
Cisterna D., Seibel S., Oprach S., Haghsheno S. (2022) Artificial Intelligence for the Construction Industry - A Statistical Descriptive Analysis of Drivers and Barriers. In: de Paz Santana J.F., de la Iglesia D.H., López Rivero A.J. (eds) New Trends in Disruptive Technologies, Tech Ethics and Artificial Intelligence. DiTTEt 2021. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1410. Springer, Cham.

- In einem Proceedingsbeitrag des Internationalen BBB-Kongress wurde das Konzept einer durchgängigen Informationskette mit Methoden der Künstlichen Intelligenz am Beispiel der Lieferkette von Beton vorgestellt:
Bargstädt, H. (2021). 6. Internationaler BBB-Kongress 2021. Bauhaus-Universitätsverlag Weimar.
- Es wurden zwei Veröffentlichungen zum Thema „Zusammenarbeit von Mensch und Maschine“ verfasst:
Zschech, Patrick; Walk, Jannis; Heinrich, Kai; Kühl, Niklas (2021): A Picture is Worth a Collaboration: Accumulating Design Knowledge for Computer-Vision-based Hybrid Intelligence Systems. In: 29th European Conference on Information Systems (ECIS 2021), June 14 - 16, 2021 - Marrakech, Morocco
Hemmer, Patrick; Schemmer, Max; Vössing, Michael; Kühl, Niklas (2021): Human-AI Complementarity in Hybrid Intelligence Systems: A Structured Literature Review. In: PACIS 2021 Proceedings.

Weitere Veröffentlichungen:

- „Lean Construction und KI in der Bauwirtschaft – geht das?“, 15.1.2021, online, verfügbar unter <https://www.cyberforum.de/newsroom/sdac-roundtable-ki-und-lean-construction-geht-das> (Abgerufen am 15. Januar 2024)
- „SDaCathon: Make Bauwirtschaft sexy again!“, 22.3.2021, online, verfügbar unter <https://www.cyberforum.de/newsroom/sdacathon-make-bauwirtschaft-sexy-again> (Abgerufen am 15.1.2024).
- „3. Konsortialtreffen des Forschungsprojektes SDaC“, 28.4.2021, online, verfügbar unter: <https://www.cyberforum.de/newsroom/2-konsortialtreffen-des-forschungsprojekts-sdac> (Abgerufen am 15. Januar 2024).
- „Das war der SDaCathon 2021“, 5.5.2021, online, verfügbar unter <https://www.cyberforum.de/newsroom/das-war-der-sdacathon-2021> (Abgerufen am 15. Januar 2024).
- „4. Konsortialtreffen des Forschungsprojektes SDaC“, 12.10.2021, online, verfügbar unter <https://www.cyberforum.de/newsroom/4konsortialtreffen-des-forschungsprojekts-sdac> (Abgerufen am 15. Januar 2024).
- Es wurde ein Beitrag im Buch des Verlags buildingSMART Deutschland zum Thema „BIM und KI in Wissenschaft & Unternehmenspraxis“ veröffentlicht:
Teizer, K. and Koska, P. (2021) *Die Baubranche im Wandel*. bSD Verlag - Haus der Bundespressekonferenz / 4103.
- Es wurde eine technische Dokumentation auf GITHUB veröffentlicht. Hierbei handelt es sich um eine neue Version des buildingSMART Standards in Version 1.2.

10.3 Veröffentlichungen im Jahr 2022

Publikationen des KSRI:

- Lara Riefle, Patrick Hemmer, Carina Benz, Michael Vössing, Jannik Pries (2022) On the Influence of Cognitive Styles on Users' Understanding of Explanations. In International Conference on Information Systems (ICIS)
- Max Schemmer, Patrick Hemmer, Maximilian Nitsche, Niklas Kühl, Michael Vössing (2022) A Meta-Analysis of the Utility of Explainable Artificial Intelligence in Human-AI Decision-Making. In AAAI/ACM Conference on AI, Ethics, and Society (AIES)
- Patrick Hemmer, Sebastian Schellhammer, Michael Vössing, Johannes Jakubik, Gerhard Satzger (2022) Forming Effective Human-AI Teams: Building Machine Learning Models that Complement the Capabilities of Multiple Experts. In International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)
- Patrick Hemmer, Max Schemmer, Lara Riefle, Nico Rosellen, Michael Vössing, Niklas Kühl (2022). Factors that influence the adoption of human-AI collaboration in clinical decision-making. In European Conference on Information Systems (ECIS)
- Max Schemmer, Patrick Hemmer, Niklas Kühl, and Sebastian Schäfer (2022). Designing Resilient AI-based Robo-Advisors: A Prototype for Real Estate Appraisal. In International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology (DESRIST)
- Johannes Jakubik, Patrick Hemmer, Michael Vössing, Benedikt Blumenstiel, Andrea Bartos, Kamilla Mohr (2022) Designing a Human-in-the-Loop System for Object Detection in Floor Plans. In AAAI Conference on Artificial Intelligence, Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence (IAAI), Emerging Applications Track
- Johannes Jakubik, Benedikt Blumenstiel, Michael Vössing, Patrick Hemmer (2022) Instance Selection Mechanisms for Human-in-the-Loop Systems in Few-Shot Learning. In International Conference on Wirtschaftsinformatik (WI)
- Patrick Hemmer, Niklas Kühl, Jakob Schöffner (2022) Utilizing Active Machine Learning for Quality Assurance: A Case Study of Virtual Car Renderings in the Automotive Industry. In Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)
- Patrick Hemmer, Max Schemmer, Niklas Kühl, Michael Vössing, Gerhard Satzger (2022) On the Effect of Information Asymmetry in Human-AI Teams. In Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI), ACM CHI Workshop on Human-Centered Explainable AI
- Max Schemmer, Patrick Hemmer, Niklas Kühl, Carina Benz, Gerhard Satzger (2022) Should I Follow AI-based Advice? Measuring Appropriate Reliance in Human-AI Decision-Making. In Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI), ACM CHI Workshop on Trust and Reliance in AI-Human Teams
- Jakubik, J., & Feuerriegel, S. (2022) Data-driven allocation of development aid towards Sustainable Development Goals: Evidence from HIV/AIDS. Production and Operations Management.
- Jakubik, J., Nazemi, A., Geyer-Schulz, A., & Fabozzi, F. J. (2022) Incorporating Financial News for Forecasting Bitcoin Prices Based on Long Short-Term Memory Networks. Quantitative Finance (Forthcoming).
- Jakubik, J., Vössing, M., Bär, D., Pröllochs, N., & Feuerriegel, S. (2022) Online Emotions During the Storming of the US Capitol: Evidence from

the Social Media Network Parler. International AAAI Conference on Web and Social Media (ICWSM).

- Jakubik, J., Schöffner, J., Hoge, V., Vössing, M., & Kühl, N. (2022) An Empirical Evaluation of Predicted Outcomes as Explanations in Human-AI Decision-Making. Proceedings of the European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases (ECML PKDD) - XKDD Workshop.

Publikationen des TMB:

- Cisterna, D., Lagos, C., Haghsheno, S. (2022) International assessment of Artificial Intelligence applications offered in the AEC industry. 14th European Conference on Product and Process Modelling
- Lauble, S., Franz, M., Haghsheno, S. (2022) Predicting the Construction Duration in the Predesign Phase with Decision Trees. 14th European Conference on Product and Process Modelling
- Cisterna, D., Lauble, S., Haghsheno, S. & Wolber, J. (2022) Synergies Between Lean Construction and Artificial Intelligence: AI Driven Continuous Improvement Process In: *Proc. 30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. Edmonton, Canada, 27-29 Jul 2022. pp 199-210

Weitere Veröffentlichungen

- Lindemann, A. (2022) „Künstliche Intelligenz als Helfer für die Bauwirtschaft“, techtag, 16.8.2022 [Online]. Verfügbar unter <https://www.techtag.de/it-und-hightech/kuenstliche-intelligenz/kuenstliche-intelligenz-als-helfer-fuer-die-bauwirtschaft/> (Abgerufen am 15. Januar 2024)
- Lindemann, A. (2022) „Auch die Baubranche nutzt die Kreativität der Maker-Szene“, techtag, 7.5.2022 [Online]. Verfügbar unter <https://www.techtag.de/digitalisierung/auch-die-baubranche-nutzt-kreativitaet-der-maker-szene/> (Abgerufen am 15. Januar 2024).
- „5. Konsortialtreffen läutet das letzte Jahr SDaC ein“, 3.5.2022, online, verfügbar unter <https://www.cyberforum.de/newsroom/das-letzte-jahr-sdac-ist-eingelaetet> (Abgerufen am 15. Januar 2024).
- „KI – der Weg zur vollautomatisierten Baustelle?“, 20.7.2022, online, <https://www.cyberforum.de/newsroom/ki-der-weg-zu-vollautomatisierten-baustelle> (Abgerufen am 15. Januar 2024).
- „SDaCathon Hack the Construction“, 18.10.2022, online, verfügbar unter <https://www.cyberforum.de/newsroom/sdacathon-hack-the-construction-1> (Abgerufen am 15. Januar 2024).
- „Das war der SDaCathon 2022“, 15.11.2022, online, verfügbar unter <https://www.cyberforum.de/newsroom/das-war-der-sdacathon-2022> (Abgerufen am 15. Januar 2024).
- „KI in der Bauwirtschaft mit der SDaC Plattform“, 17.11.2022, online, verfügbar unter: <https://www.cyberforum.de/newsroom/ki-in-der-bauwirtschaft-mit-der-sdac-plattform> (Abgerufen am 15. Januar 2024).
- Ö. Tercan, K. Vasilic, C. Sievering, and J. Wolber, "Digitalisierung der Lieferkette im Betonbau – Stand der Entwicklungen und erste Standardisierungsmaßnahmen", *Beton- Stahlbetonbau*, vol. 117, no. 10, pp. 844-849, 2022, doi: <https://doi.org/10.1002/best.202200066>.
- Zhong, Y., Geiger, A. (2022). Automated Floorplan Generation using Mathematical Optimization. 14th European Conference on Product and Process Modelling

- Jan Dominik Kuhnke, Monika Kwiatkowski, Olaf Hellwich (2022), Paper auf arxiv.com Image based detection of surface defects in concrete during construction

10.4 Veröffentlichungen im Jahr 2023

Publikationen des KSRI:

- Patrick Hemmer, Monika Westphal, Max Schemmer, Sebastian Vetter, Michael Vössing, Gerhard Satzger (2023) Human-AI Collaboration: The Effect of AI Delegation on Human Task Performance and Task Satisfaction. In International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI)
- Patrick Hemmer, Lukas Thede, Michael Vössing, Niklas Kühl (2023) Learning to Defer with Limited Expert Predictions. In: AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI)
- Johannes Jakubik, Daniel Weber, Patrick Hemmer, Michael Vössing, Gerhard Satzger (2023) Improving the Efficiency of Human-in-the-Loop Systems: Adding Artificial to Human Experts. In: International Conference on Wirtschaftsinformatik
- Jakob Schöffner, Johannes Jakubik, Michael Vössing, Niklas Kühl, Gerhard Satzger (2023) On the Interdependence of Reliance Behavior and Accuracy in AI-Assisted Decision-Making. In International Conference on Hybrid Human-Artificial Intelligence (HHAI)
- Joshua Holstein, Max Schemmer, Johannes Jakubik, Michael Vössing, Gerhard Satzger (2023) Sanitizing Data for Analysis: Designing Systems for Data Understanding. Electronic Markets (Forthcoming)
- Johannes Jakubik, Michal Muszynski, Michael Vössing, Niklas Kühl, Thomas Brunschweiler (2023) Toward Foundation Models for Earth Monitoring: Generalizable Deep Learning Models for Natural Hazard Segmentation. International Geoscience and Remote Sensing Symposium.

Publikationen des TMB:

- J. Wolber, D. Cisterna, Ö. Tercan, S. Haghsheno, S. Lauble (2023). Utilising Design Thinking to refine customer requirements – A case study using the concrete supply chain as an example (IGLC 31)

Weitere Veröffentlichungen:

- Lindemann, A. (2023) „Bausoftware dockt an WhatsApp an... und bringt Bewegung in die Digitalisierung auf der Baustelle.“, techtag, 21.8.2023 [Online]. Verfügbar unter <https://www.techtag.de/startups/bausoftware-dockt-an-whatsapp-an-und-bringt-bewegung-in-die-digitalisierung-auf-der-baustelle/> (Abgerufen am 15.Januar 2024).
- „Mehr baggern – weniger Büroprozesse“, 25.9.2023, online, verfügbar unter <https://www.cyberforum.de/newsroom/mehr-baggern-weniger-bueroprozesse> (Abgerufen am 15.Januar 2024).

11 Literaturverzeichnis

Afridi, M. J., Ross, A. & Shapiro, E. M. (2018) „On Automated Source Selection for Transfer Learning in Convolutional Neural Networks“, *Pattern recognition*, Vol. 73, S. 65–75.

Al-Debei, M. M. & Avison, D. (2010) „Developing a unified framework of the business model concept“, *European Journal of Information Systems*, Vol. 19, No. 3, S. 359–376.

(2018) *Baubranche Aktuell: Wachstum 2020 - Digitalisierung und BIM*.

Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J. & Addepalli, S. (2012) „Fog computing and its role in the internet of things“, *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing*. Helsinki Finland, 17 08 2012 17 08 2012. New York, NY, USA, ACM, S. 13–16.

Buchmann, A. & Koldehofe, B. (2009) „Complex Event Processing“, *itit*, Vol. 51, No. 5, S. 241–242.

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hg.) (2021) *Strukturdaten zur Produktion und Beschäftigung im Baugewerbe: Berechnungen für das Jahr 2020*.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hg.) (2019a) *Plattform I4.0:: Digitale Geschäftsmodelle für die Industrie 4.0* [Online]. Verfügbar unter https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/digitale-geschaeftsmodelle-fuer-industrie-40.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (Abgerufen am 28 Juli 2023).

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hg.) (2019b) *Plattform I4.0:: Germany's evolving platform landscape* [Online]. Verfügbar unter <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Germanys-evolving-platform-landscape.html> (Abgerufen am 28 Juli 2023).

Chaillou, S. (2020) *Archigan: Artificial Intelligence X Architecture*. Architectural Intelligence. Springer, 117-127.

Christensen, C. M. (2016) *Competing Against Luck: The story of innovation and customer choice*, [S.l.], Harpercollins Publishers.

Chou, J.S. (2009): Generalized linear model-based expert system for estimating the cost of transportation projects, In: *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, Nr. 3, Part 1, S. 4253–4267.

Demirkan, H. & Spohrer, J. (2015) „T-Shaped Innovators: Identifying the Right Talent to Support Service Innovation“, *Research-Technology Management*, Vol. 58, No. 5, S. 12–15.

(2023) *Die IHK-Umfrage zur Digitalisierung: Digitalisierung tritt auf der Stelle.*

DIN e.V. (2022): *DIN SPEC 91454-1:2022-07*, Berlin: Beuth Verlag GmbH.

(2020) *Einsatz von Künstlicher Intelligenz in der Deutschen Wirtschaft: Stand der KI-Nutzung im Jahr 2019*, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

Fromm, H., Habryn, F. & Satzger, G. (2012) „Service Analytics: Leveraging Data Across Enterprise Boundaries for Competitive Advantage“, in Bäumer, U., Kreutter, P. & Messner, W. (Hg.) *Globalization of Professional Services*, Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, S. 139–149.

Giannakidis, A., Stolze, D. & Weber-Iewerenz, B. (2021) *KI in der Bauwirtschaft. Einsatzmöglichkeiten für Planung, Realisierung und Betrieb von Bauwerken.*

Groesser, S. (2018) *Geschäftsmodell* [Online], Gabler Wirtschaftslexikon. Verfügbar unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/geschaeftsmodell-52275/version-275417> (Abgerufen am 19 Juni 2023).

Hirt, R. & Kühl, N. (2018) „Cognition in the Era of Smart Service Systems: Inter-organizational Analytics through Meta and Transfer Learning“, *39th International Conference on Information Systems, ICIS 2018; San Francisco Marriott Marquis San Francisco; United States; 13 December 2018 through 16 December 2018*, AIS eLibrary (AISeL).

Jakubik, J., Vössing, M., Kühl, N. et al. Data-Centric Artificial Intelligence. *Bus Inf Syst Eng* (2024). <https://doi.org/10.1007/s12599-024-00857-8>

Jensen, M. (2013) „Challenges of Privacy Protection in Big Data Analytics“, *2013 IEEE International Congress on Big Data*. Santa Clara, CA, USA, 27.06.2013 - 02.07.2013, IEEE, S. 235–238.

Kwan, S. K. & Hottum, P. (2014) „Maintaining Consistent Customer Experience in Service System Networks“, *Service Science*, Vol. 6, No. 2, S. 136–147.

- Laine, E., Alhava, O., Peltokorpi, A. & Seppänen, O. (2017) „Platform Ecosystems: Unlocking the Subcontractors' Business Model Opportunities“, *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Heraklion, Greece, 7/9/2017 - 7/12/2017, International Group for Lean Construction, S. 177–184.
- Magnussen, O.M.; Olsson, N.O.E. (2006): Comparative analysis of cost estimates of major public investment projects, In: *International Journal of Project Management*, Vol. 24, S. 281-288.
- Martin, D. & Kühl, N. (2019) „Holistic System-Analytics as an Alternative to Isolated Sensor Technology: A Condition Monitoring Use Case“, *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*, Hawaii International Conference on System Sciences.
- Michalek, J., Choudharz, R., Papalambros, P. (2002). Architectural layout design optimization. *Engineering optimization* 34, 461-484.
- Nauata, N., Hosseini, S., Chang, K.H., Cheng, C.Y., Furukawa, Y. (2021) House-gan ++: Generative adversarial layout refinement network towards intelligent computational agent for professional architects. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 13632-31641.
- Oprach, S., Sonnabend, F. & Haghsheno, S. (2019) „The General Contractor Response to Platform Ecosystems“, *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)* [Online]. DOI: 10.24928/2019/0211.
- Pan, S. J. & Yang, Q. (2010) „A Survey on Transfer Learning“, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 22, No. 10, S. 1345–1359.
- Parmiggiani, E. Østerlie, T., & Almklov, P. G. (2022). In the Backrooms of Data Science. *Journal of the Association for Information Systems*
- Plattner, H., Meinel, C. & Leifer, L. (2016) *Design Thinking Research: Making Design Thinking Foundational*, Cham, Springer International Publishing.
- Potts, K. (2005): The New Scottish Parliament Building—a critical examination of the lessons to be learned, In: *Proceedings of the Third International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-III)*, Athens, 15-17 September, 2005, S. 534 - 539.

- Riemensperger, F. (2019) *Titelverteidiger: Wie die deutsche Industrie ihre Spitzenposition auch im digitalen Zeitalter sichert* [Online], München, Redline Verlag. Verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=5996646>.
- Sambasivan, N., Kapania, S., Highfill, H., Akrong, D., Paritosh, P.K., & Aroyo, L. (2021). "Everyone wants to do the model work, not the data work": Data Cascades in High-Stakes AI. Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems.
- Satzger, G., Holtmann, C. & Peter, S. (2015) „Advanced Analytics im Controlling - Potenzial und Anwendung für Umsatz- und Kostenprognosen“, *Controlling*, Vol. 27, 4-5, S. 229–235.
- Satzger, G. & Hottum, P. (2015) „Management der Interaktionsqualität in industriellen Dienstleistungsnetzwerken — Ein Service-Analytics-Ansatz für die Störungsbearbeitung“, *Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Vol. 67, S69, S. 150–173.
- Shekhawat, K., Upasani, N., Bisht, S., Jain, R.N. (2021) A tool for computer-generated dimensioned floorplans based on given adjacencies. *Automation in Construction* 127, 103718.
- statista (2021) *Baugewerbe - Deutschland: Statista Marktprognose* [Online]. Verfügbar unter <https://de.statista.com/prognosen/924964/baugewerbe-umsatz-in-deutschland>.
- Stein, R. (2023) *SDaC Imagevideo 2023* [Online]. Verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=2ZwOgxOtbBI> (Abgerufen am 21 Juni 2023).
- Ulwick, A. W. & Osterwalder, A. (2016) *Jobs to be done: Theory to practice*, [Houston, TX], Idea Bite Press.
- Vasilic, K.; Stratmann, S. "DIN SPEC 91454 - ein digitaler Standard," *DBV-Rundschreiben*, vol. 277, pp. 4-7, Dezember 2023.
- Walker, D.H.T. (1995): An investigation into construction time performance, In: *Construction Management and Economics*, Vol. 13, S. 263 - 274.

Wang, Y.-R.; Gibson Jr., G.E. (2010): A study of pre project planning and project success using ANNs and regression models, In: *Automation in Construction*, Vol. 19, Nr. 3, S. 341 - 346.

Wang, S., Wan, J., Di Li & Zhang, C. (2016) „Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook“, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 12, No. 1, S. 3159805.

Wu, W., Fan, L., Liu, L., Wonka, P. (2018) Miqp-based layout design for building interiors. *Computer Graphics Forum*, 511–521.

Xiao, J., He, C. & Wang, S. (2012) „Crude Oil Price Forecasting: A Transfer Learning Based Analog Complexing Model“, *2012 Fifth International Conference on Business Intelligence and Financial Engineering*. Lanzhou, Gansu, China, 18.08.2012 - 21.08.2012, IEEE, S. 29–33.

Anhang

Erfolgskontrollbericht