

**Software-defined Manufacturing**

the future manufacturing paradigm

SDM4FZI – Software-defined Manufacturing für die Fahrzeug- und Zulieferindustrie

## **Kurzfassung**

# Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil I

Teilvorhaben der SimPlan AG  
„Digitaler Wertstrom- und Logistikzwilling“  
Förderkennzeichen FKZ13IK001U

Autoren

Prof. Dr. Sven Spieckermann, Wolfgang Artschwager, Stephan Stauber

Version vom

Samstag, 19. Juli 2025

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWE) unter dem Förderkennzeichen 02K18D030 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

## I. Inhaltsverzeichnis

I.	Inhaltsverzeichnis .....	2
1	Ursprüngliche Aufgabenstellung .....	3
2	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens .....	3
3	Plan und Ablauf des Vorhabens.....	3
4	Wesentliche Ergebnisse im Überblick .....	4
5	Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen .....	4

## 1 Ursprüngliche Aufgabenstellung

Das Ziel der Arbeiten von SimPlan im Rahmen des Teilvorhabens „Digitaler Wertstrom- und Logistikzwilling“ innerhalb des Gesamtvorhabens SDM4FZI war, digitale Modelle von (i) Wertströmen und (ii) Logistikabläufen in Digitale Zwillinge zu überführen. Ausgangspunkt waren bereits vorhandene Simulationswerkzeuge wie SimVSM (SimPlan) oder Plant Simulation (Siemens) und mit diesen Werkzeugen erstellte Simulationsmodelle. Das Ziel war, diese Werkzeuge und digitalen Modelle eng mit dem realen Wertstrom bzw. dem realen Logistikprozess zu vernetzen. Dadurch sollten die Modelle zu einem jederzeit aktuellen Abbild des realen Prozesses gemacht werden. Unter Ausnutzung der Möglichkeiten der Simulationswerkzeuge sollten dann auf allen Entscheidungsebenen unmittelbar ad hoc Simulationen zur Unterstützung von kurz- bis mittelfristigen Entscheidungen durchgeführt werden.

SimPlan hatte im Teilvorhaben im Einzelnen die Aufgaben, Wertstrom- und Logistikmodelle in die Referenzarchitektur von SDM4FZI zu integrieren, Wertstrommodelle zu Wertstromzwillingen zu erweitern, Logistikmodelle zu Logistikzwillingen zu erweitern sowie die Nutzung der Wertstrom- und Logistikzwillinge zur Unterstützung der Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen im Labor zu demonstrieren.

## 2 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Eine Lösung, wie sie im Rahmen dieses Projektes erarbeitet werden sollten, namentlich die über eine standardisierte Zugriffsschicht oder über die Verwaltungsschale Simulationsmodelle direkt mit Datenquellen aller relevanten Steuerungsebenen in der Produktion verknüpfen zu können gab es nach zu Beginn des Vorhabens nicht.

Und auch eine anwendungsnahe, standardisierte, effizient und intuitiv herstellbare Verknüpfung von Wertstrom- oder Logistiksimulationsmodellen mit Datenquellen aus der Automatisierungspyramide war weder am Markt verfügbar noch als Forschungsergebnis mit hohem Reifegrad zugänglich.

## 3 Plan und Ablauf des Vorhabens

Das Gesamtvorhaben SDM4FZI wurde in sieben Arbeitspaketen (APs) bearbeitet, wobei zwischen Befähiger-APs (AP B1-3) und Solution Set APs (AP S1-4) unterschieden wurden. Im Rahmen der Solution Sets (S) wurden unter maßgeblicher Leitung und Beteiligung der in das Vorhaben involvierten Industriepartner Lösungsansätze anhand von Use-Cases erforscht. In den Befähiger-APs (B) wurden Querschnittsthemen (Architekturen, Methoden, Infrastrukturen, Modelle, Strategien und Konzepte) erforscht.

SimPlan war eingebunden in die Arbeitspakete B1 „Referenzarchitektur zur Digitalisierung“, B3 „Beherrschung der Wandelbarkeit“, und S1 „Optimierung wandlungsfähiger Produktionssysteme am Digitalen Zwilling“. Dabei lag der Schwerpunkt der Beteiligung und der Ergebnisse dem SimPlan-Teilprojekt entsprechend jeweils auf Forschungsfragen rund um den digitalen Wertstrom- und Logistikzwilling.

Das Vorhaben wurde im Wesentlichen hinsichtlich der Projektstruktur wie geplant durchgeführt. Der Zeitplan wurde aufgrund der Vielfalt der Aufgaben und zwischenzeitlicher Entwicklungen zum Beispiel in den Bereichen Standardisierung (Verwaltungsschale, OPC UA), Datenaustausch über Datenräume, Umfang der Demonstratoren oder Einbindung von großen Sprachmodellen (LLMs) um sechs Monate gestreckt. Darüber hinaus hat es weitere kleine Abweichungen bei den ursprünglich geplanten Start- und Endzeitpunkten einiger Teilarbeitspakete gegeben, ohne dass dadurch der Gesamtablauf beeinflusst worden wäre.

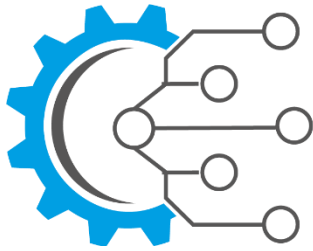
## 4 Wesentliche Ergebnisse im Überblick

SimPlan hat im Rahmen des Teilvorhabens die folgenden wesentlichen Ergebnisse erarbeitet:

- Integrationskonzept für Wertstrom- und Logistiksimulationsmodelle in die SDM4FZI-Plattform einschließlich prototypischer Umsetzung über die maßgeblich vom KIT wbk entwickelte Middleware ([https://github.com/sdm4fzi/aas\\_middleware](https://github.com/sdm4fzi/aas_middleware)).
- Demonstration der Integration anhand der ARENA2036 Fläche von Bosch inklusive virtueller Erweiterungsmöglichkeiten dieser Fläche durch virtuelle Maschinen, Fahrerlose Transportfahrzeuge und manuelle Arbeitsplätze.
- Demonstratoren von integrierten Wertstrom- und Logistiksimulationsmodellen für die Projektpartner Bosch Steering und Audi Planung.
- Demonstrator für die Steuerung von Fahrzeugflotten auf der ARENA2036 Fläche von Bosch mit Hilfe eines über den VDA5050 Standard angebindenen Flottenmanagers des KIT IFL. Dieser Demonstrator ist in einem YouTube-Video illustriert (<https://youtu.be/B12XDTBqEeo?si=Fncw1h5sLtXadYaS>).
- Demonstration der Integration von Simulation, MES und Visualisierung mit einfachem SimPlan-Frontend (SimUI) in der Lernfabrik des KIT wbk in Karlsruhe. Dieser Demonstrator ist dauerhaft in Betrieb und über das wbk zugänglich.

## 5 Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

SimPlan arbeitet im Kontext von anderen Verbundvorhaben regelmäßig und intensiv mit deutschen und europäischen Universitäten, Hochschulen und Forschungsinstituten zusammen. Zu einer unmittelbaren auf das Vorhaben SDM4FZI bezogenen Kooperation ist es während der Vorhabenslaufzeit nicht gekommen. Allerdings ist die stärkere Versorgung der Wertstrom- und Logistiksimulation mit betrieblichen Daten unter Verwendung von Standards wie der Verwaltungsschale eine Anforderung, die sich derzeit durch fast alle Forschungs- und Entwicklungsbeteiligungen von SimPlan durchzieht. Insofern diskutiert SimPlan die Entwicklungen aus SDM4FZI, speziell die Verwaltungsschalenintegration, fortlaufend mit anderen Forschungseinrichtungen wie etwa der Universität Kassel, der Technischen Universität Darmstadt, der AUEB (Athens University of Economics and Business) oder dem Politecnico di Milano.



**Software-defined Manufacturing**

the future manufacturing paradigm

SDM4FZI – Software-defined Manufacturing für die Fahrzeug- und Zulieferindustrie

# Eingehende Darstellung

## Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil II

Teilvorhaben der SimPlan AG  
„Digitaler Wertstrom- und Logistikzwilling“  
Förderkennzeichen FKZ13IK001U

Autoren

Prof. Dr. Sven Spieckermann, Wolfgang Artschwager, Stephan Stauber

Version vom

Samstag, 19. Juli 2025

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWE) unter dem Förderkennzeichen 02K18D030 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

## I. Inhaltsverzeichnis

I.	Inhaltsverzeichnis .....	2
	Einleitung.....	3
1	Ausführliche Darstellung durchgeführter Arbeiten .....	3
1.1	Arbeiten in Arbeitspaket B1 „Referenzarchitektur zur Digitalisierung“ .....	3
1.2	Arbeiten in Arbeitspaket B3 „Beherrschung der Wandelbarkeit“ .....	5
1.3	Arbeiten in Arbeitspaket S1 „Optimierung wandlungsfähiger Produktionssysteme am Digitalen Zwilling“ .....	5
2	Erzielte Ergebnisse.....	5
2.1	Integration von Wertstrom- und Logistikmodellen in die SDM4FZI-Referenzarchitektur ....	6
2.2	Demonstration des Konzepts anhand der Bosch ARENA2036 Fläche .....	7
2.3	Demonstrator Bosch Steering.....	8
2.4	Demonstrator Audi Planung .....	10
2.5	Konzept und Demonstrator VDA5050-Schnittstelle zum Flottenmanager .....	11
2.6	Flexibler Digitaler Zwilling für die wbk-Lernfabrik .....	12
3	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	12
4	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten .....	13
5	Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse .....	14
6	Bekannt gewordener Fortschritt auf Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen .....	14
7	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses .....	15
8	Wirtschaftliche und wissenschaftliche Verwertungsperspektiven nach Projektende .....	15
8.1	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende .....	15
8.2	Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende .....	16
8.3	Wissenschaftliche und technische Anschlussfähigkeit .....	17

## Einleitung

Dieser Bericht gibt einen Überblick über die Arbeiten von SimPlan im Rahmen des Verbundvorhabens „SDM4FZI – Software-defined Manufacturing für die Fahrzeug- und Zulieferindustrie“ in den Jahren 2021 bis 2025. Dabei entspricht die Gliederung dieses Dokuments im Wesentlichen den Vorgaben des Projektträgers und den Formblättern im Formularschrank des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWE). Im Einzelnen ist der Aufbau des Dokuments wie folgt:

Das erste Kapitel gibt nach dieser Einleitung einen Überblick über die durchgeführten Arbeiten gefolgt von einem Kapitel zu den erzielten Ergebnissen. Kapitel 3 geht auf die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises ein und Kapitel 4 erläutert die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten.

Kapitel 5 geht auf Fortschritte an anderer Stelle ein-. Abschließend werden Veröffentlichungen im Rahmen des Projektes dargestellt. Das Dokument schließt mit einer Darstellung der wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Verwertungsperspektiven nach Projektende.

## 1 Ausführliche Darstellung durchgeführter Arbeiten

Das Gesamtvorhaben SDM4FZI wurde in sieben Arbeitspaketen (APs) bearbeitet, wobei zwischen Befähiger-APs (AP B1-3) und Solution Set APs (AP S1-4) unterschieden wurden. Im Rahmen der Solution Sets (S) wurden unter maßgeblicher Leitung und Beteiligung der in das Vorhaben involvierten Industriepartner Lösungsansätze anhand von Use-Cases erforscht. In den Befähiger-APs (B) wurden Querschnittsthemen (Architekturen, Methoden, Infrastrukturen, Modelle, Strategien und Konzepte) erforscht.

SimPlan war eingebunden in die Arbeitspakete B1 „Referenzarchitektur zur Digitalisierung“, B3 „Beherrschung der Wandelbarkeit“, und S1 „Optimierung wandlungsfähiger Produktionssysteme am Digitalen Zwilling“. Dabei lag der Schwerpunkt der Beteiligung und der Ergebnisse dem SimPlan-Teilprojekt entsprechend jeweils auf Forschungsfragen rund um den digitalen Wertstrom- und Logistikzwilling.

Wesentliche Kooperationspartner für SimPlan im Projektverlauf waren Bosch zum einen als Betreiber einer Demonstrationsanlage in der ARENA2036 und mit einem Fertigungsbereich für Kurbelgehäuse in einem der beteiligten Bosch-Fertigungsstandorte, Audi Planung mit einem Use-Case zur Produktionslogistik, die flexis GmbH als Entwicklungspartner für Produktionsplanungslösungen sowie das KIT aus Karlsruhe mit den Instituten wbk (Institut für Produktionstechnik) und IFL (Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme).

Dieses Kapitel vermittelt einen Überblick über die Arbeiten in den Arbeitspaketen B1, B3 und S1, an denen SimPlan zusammen mit den genannten Partnern beteiligt war.

### 1.1 Arbeiten in Arbeitspaket B1 „Referenzarchitektur zur Digitalisierung“

Der Fokus von SimPlan in diesem Arbeitspaket war die Beteiligung an der Entwicklung einer Referenzarchitektur für die Digitalisierung von Produktionssystemen. Zentrale Anforderung an diese Referenzarchitektur war die Möglichkeit, digitale Zwillinge zu modellieren und unter Nutzung von Teilmodellen Verwaltungsschale (AAS, Asset Administration Shell) mit Daten zu versorgen.

Aufbauend auf umfassenden Literaturrecherchen vor allem des wbk, hat sich SimPlan an der Konzeption eines modularen und skalierbaren Datenmodells für Produktionssysteme beteiligt. Für dieses Datenmodell steht eine Implementierung des wbk zur Verfügung, die SimPlan so weit wie möglich zur Erstellung der in Kapitel 2 näher beschriebenen Ergebnisse verwendet hat. Eine Übersicht



beteiligt (<https://github.com/sdm4fzi/aas middleware>). Diese Middleware ist ein zentraler Knoten im industriellen Kommunikationsnetzwerk von SDM und garantiert die Integration von verschiedenen Kommunikationsprotokollen, Datenformaten und Datenmodellen. Die Rolle der Middleware bei der Integration der verschiedenen Partnerkomponenten illustriert Abbildung 2.

## 1.2 Arbeiten in Arbeitspaket B3 „Beherrschung der Wandelbarkeit“

In Arbeitspaket B3 hat SimPlan an der simulativen Validierung des Use Cases zur Demonstration der Wandlungsfähigkeit mitgearbeitet. Abbildung 3 gibt einen Überblick über die Komponenten des Use Cases, die beteiligten Partner und das Zusammenspiel der Komponenten.

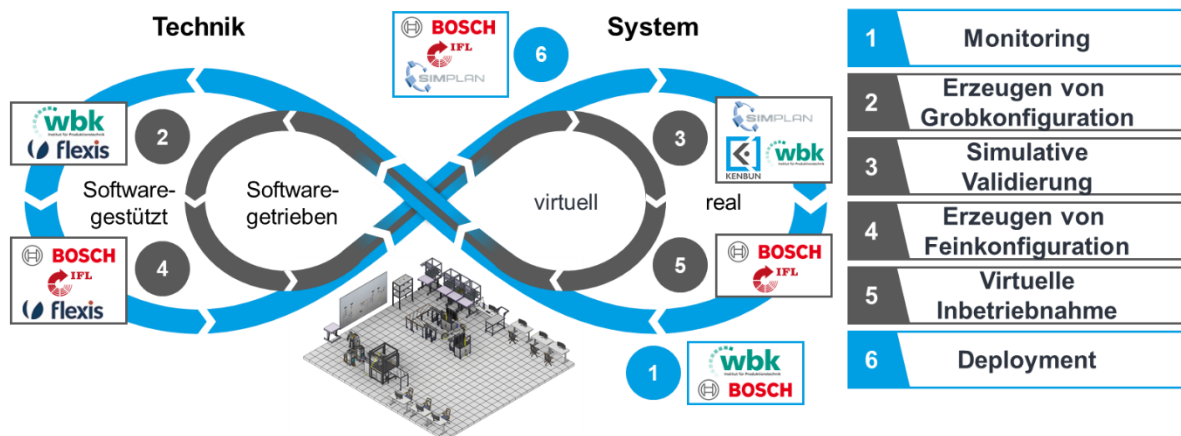


Abbildung 3: Übersicht des Use Cases zur Demonstration der Wandelbarkeit mit beteiligten Partnern

Die wesentlichen Konzepte und Entwicklungen rund um die Theorie der Wandelbarkeit wurden vom wbk erarbeitet und implementiert. Die Beteiligung von SimPlan hat sich wie dargestellt auf die Testumgebung fokussiert.

## 1.3 Arbeiten in Arbeitspaket S1 „Optimierung wandlungsfähiger Produktionssysteme am Digitalen Zwilling“

Im Rahmen von Arbeitspaket S1 hat SimPlan zusammen mit unterschiedlichen Projektpartnern daran gearbeitet, die in den Arbeitspaketen B1 und B3 erarbeiteten Grundlagen in demonstrierbare Ergebnisse umzusetzen. Die Beschreibung dieser Ergebnisse ist Gegenstand des folgenden Kapitels.

## 2 Erzielte Ergebnisse

SimPlan hat mit in der Spitze drei bis vier Teilteams an den folgenden Entwicklungen gearbeitet, die auf den Arbeiten in den Arbeitspaketen B1 und B3 aufbauen. Im Einzelnen waren das:

- Integration von Wertstrom- und Logistikmodellen in die SDM4FZI-Referenzarchitektur
- Demonstration des Konzepts anhand der Bosch ARENA2036 Fläche
- Demonstrator Bosch Steering
- Demonstrator Audi Planung
- Konzept und Demonstrator VDA5050-Schnittstelle zum Flottenmanager
- Flexibler Digitaler Zwilling für die wbk-Lernfabrik

Die folgenden sechs Abschnitte geben einen Überblick über die jeweils erzielten Ergebnisse.



Nach gemeinsamer Definition des SDM-Referenzmodells (vgl. Abschnitt 1.1) wurde dieses durch das wbk in Verwaltungsschalen (AAS) abgebildet und für die ARENA2036 beispielhaft mit Szenariodaten befüllt. Der Zugriff auf die AAS erfolgt über die aas2openAPI Middleware des wbk (vgl. ebenfalls Abschnitt 1.1). Mittels eines Adapters, den SimPlan in Python entwickelt hat, lassen sich die Daten in das SimJSON-Format überführen, welches dann im Modelleditor SimUI importiert und simuliert werden kann. SimJSON und SimUI sind Komponenten, die SimPlan im Rahmen von SDM4FZI ebenfalls weiterentwickelt und an die Anforderungen der Use Cases angepasst hat.

## 2.2 Demonstration des Konzepts anhand der Bosch ARENA2036 Fläche

Zur Verprobung der entwickelten Integrationskonzepte wurde gemeinsam mit den Partnern flexis, Bosch und KIT (wbk) eine Demonstration anhand der Bosch ARENA2036-Fläche durchgeführt. Entstanden ist dabei ein lauffähiger Demonstrator, der als Instanziierung des in Abbildung 4 ausschnittsweise gezeigten Konzeptes verstanden werden kann.

SimPlan hat das Simulationsmodell für die Demonstration komplett entwickelt und den Partnern Bosch und wbk zur Verfügung gestellt. Dabei wurde das Simulationsmodell so ausgelegt, dass es über die vorhandene physische Fläche hinaus zu Testzwecken virtuell beliebig vergrößert werden kann. Abbildung 6 zeigt eine Konfiguration der Fläche mit einer Vielzahl von virtuellen Maschinen und einer virtuell erhöhten Anzahl manueller Arbeitsplätze während Abbildung 8 eine Konfiguration „nahe“ an der realen physischen Konfiguration auf der ARENA-Fläche zeigt.

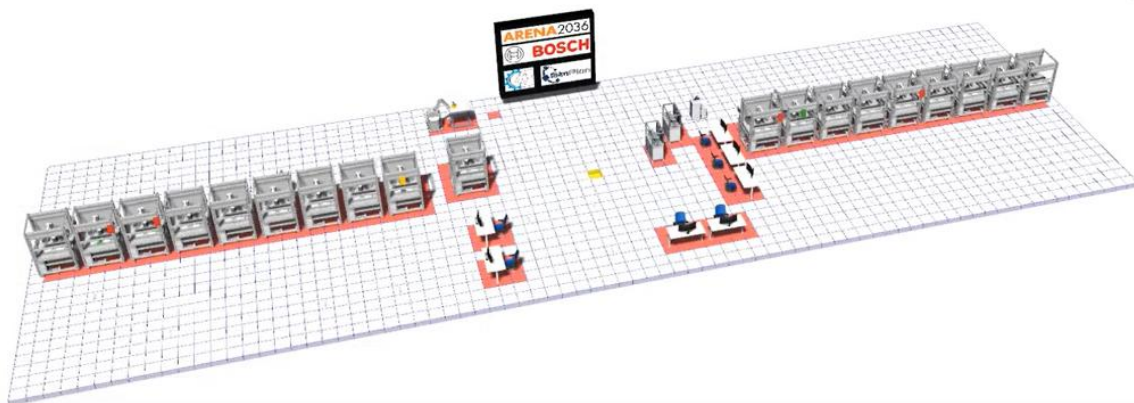


Abbildung 6: ARENA2036 Fläche in der Simulation mit virtuellen Maschinen

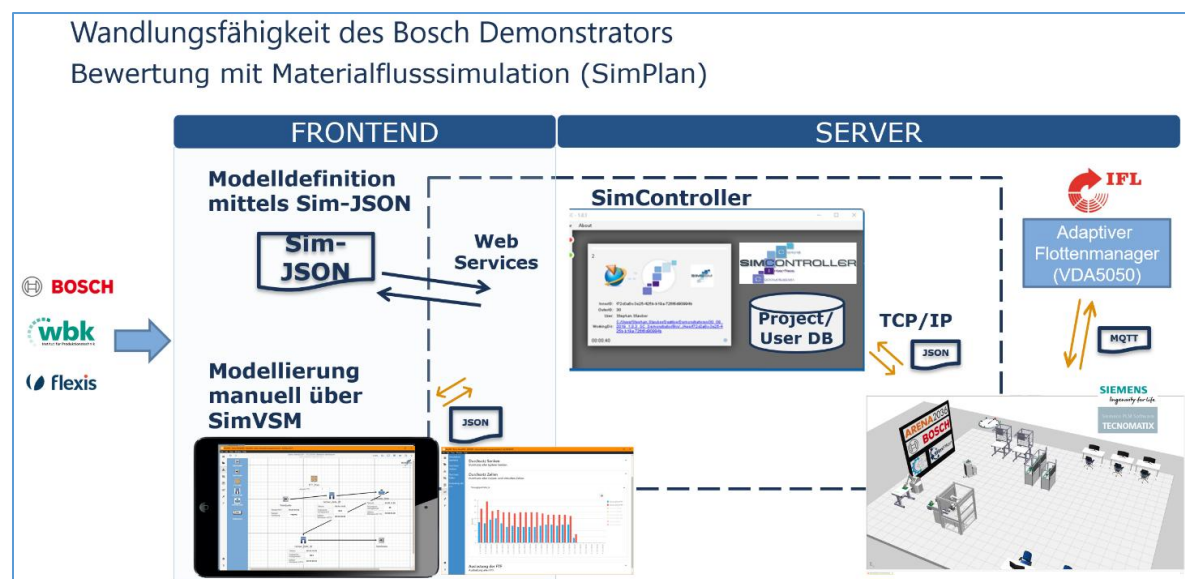


Abbildung 7: Demonstrator für die Simulationsintegration anhand der Bosch ARENA2036 Anwendung

Das insgesamt umgesetzte Konzept für das Demonstrator der Bosch ARENA2036-Fläche zeigt Abbildung 7 im Überblick. Daten zur Definition des Simulationsmodells können zum einen über die SimJSON-Schnittstelle übernommen werden. Alternativ kann das Layout der Fläche interaktiv über den von SimPlan dazu geeignet weiterentwickelten Editor SimUI modifiziert werden. Auch der SimController, der die Handhabung und Steuerung von Simulationaufgaben übernimmt, wurde für den Demonstrator angepasst und erweitert.



Abbildung 8: Virtuelle Konfiguration der Bosch ARENA2036 Fläche nahe an der realen Konfiguration mit einem FTF

Die FTF (Fahrerlosen Transportfahrzeuge), die sich auf der simulierten ARENA2026-Fläche bewegen, lassen sich über einen vom KIT (IFL) entwickelten Flottenmanager steuern. Ergänzende Ausführungen dazu finden sich in Abschnitt 2.5.

### 2.3 Demonstrator Bosch Steering

Einen weiteren Demonstrator haben SimPlan und Bosch Steering gemeinsam erarbeitet. Vorbereitet wurde ein Modell einer Kurbelgehäuselinie (vgl. Abbildung 9).

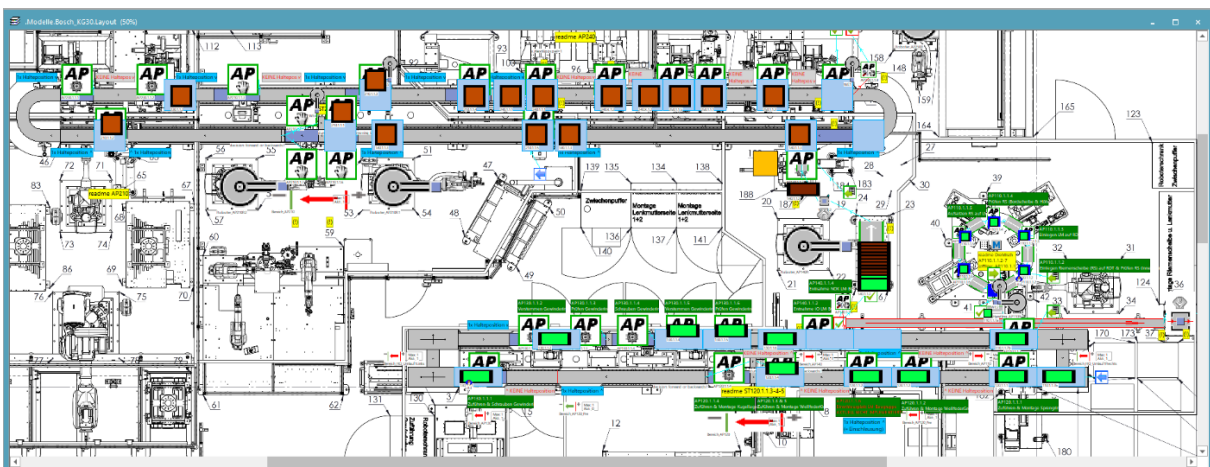


Abbildung 9: Produktionssimulationsmodell für den Bosch Steering Demonstrator

Im Zuge dieser Arbeiten wurde spezifiziert und dokumentiert, welche Daten zur Erweiterung dieses Demonstrationsmodells in einen digitalen Zwilling erforderlich sind. Bereitgestellt werden mussten über die SDM4FZI-Plattform unter anderem:

- Produktvarianten mit Untervarianten und Produktionsprogramm
- Mitarbeiter Produktion und Mitarbeiter Logistik
- Bearbeitungszeiten und Rüstzeiten
- Maschinenverfügbarkeiten und mittlere Stördauern (MTTR) jeweils inklusive statistischer Verteilung.

Dieser Demonstrator hat unter anderem dazu gedient, die in die Plattform zu integrierenden Datenmodelle im Hinblick auf Vollständigkeit und Detaillierung zu verproben und so Hinweise zur Ergänzung der erarbeiteten Konzepte abzuleiten. Konkret wurde abgeleitet, welche Daten (und damit welche Datenstrukturen) in der Plattform für die Produktionssimulation zu ergänzen sind.

Neben den gemeinsam gelegten Grundlagen und dem von SimPlan erarbeiteten Simulationsmodell hat überwiegend Bosch (mit punktueller Unterstützung durch SimPlan) die Integration in die Plattform durchgeführt. Zu den Integrationsarbeiten gehörte:

Abzug der nötigen Daten aus MES und anderen Datenquellen, Zwischenspeicherung in SQLite Datenbank

- Konvertierung in Exceltabelle im nötigen Format
- (manueller) Import in Modell und Experimente / Validierung

Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen beispielhafte Auswertungen des Simulationsmodells für den Bosch AS Usecase (Ausbringung nach Teilvariante sowie Auslastung der Stationen).

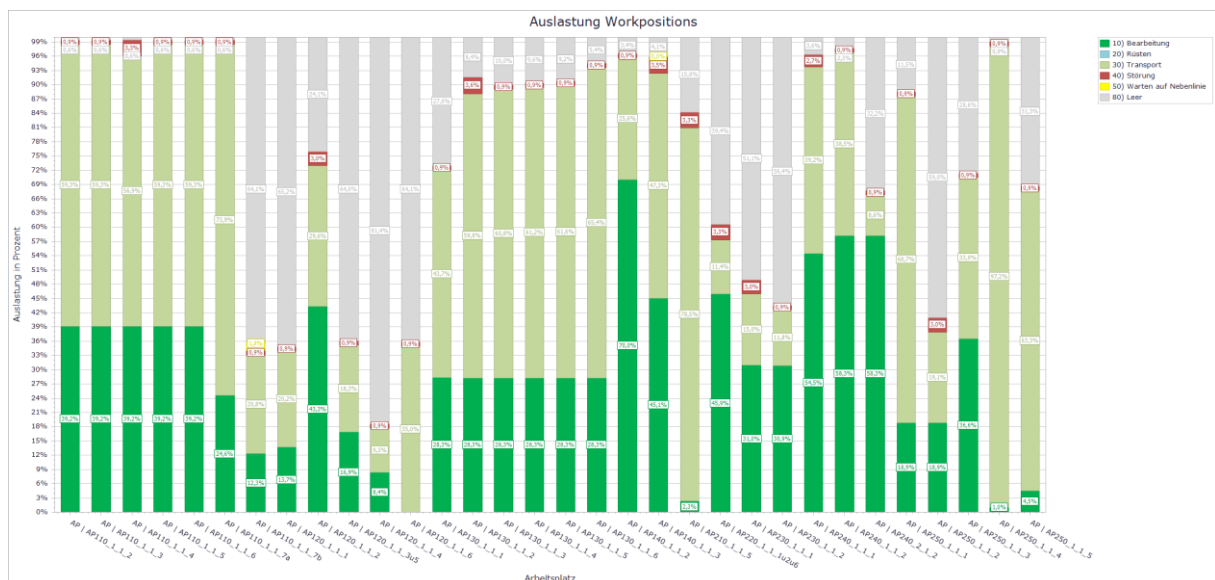


Abbildung 10: Auswertung der Auslastung der Arbeitsstationen aus dem BOSCH AS Usecase

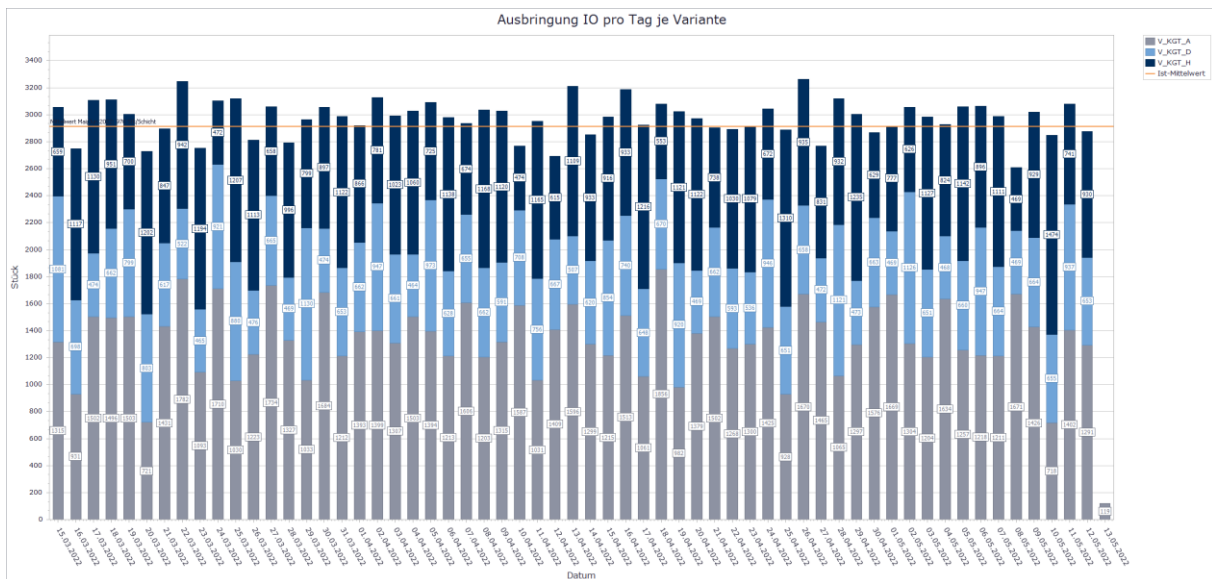


Abbildung 11: Auswertung der täglichen Produktionsmengen aus dem BOSCH AS Usecase

## 2.4 Demonstrator Audi Planung

Gemeinsam mit dem Partner Audi Planung wurde ein Modelldemonstrator vorbereitet, dessen Schwerpunkt wie im SimPlan Teilvorhaben vorgesehen auf Modellen von Logistikabläufen liegt. Als konkretes Beispiel wurde die Teileversorgung von Montagelinien gewählt. Ähnlich wie im Produktionssimulationsfall von Bosch Steering wurde ein Anwendungsbeispiel gewählt – hier die Montagehalle A3 OG der Audi AG – und in ein Modell umgesetzt. Abbildung 12 zeigt einen kleinen Ausschnitt dieses Modells.

- Modellausschnitt Halle A3OG – Umsetzung:

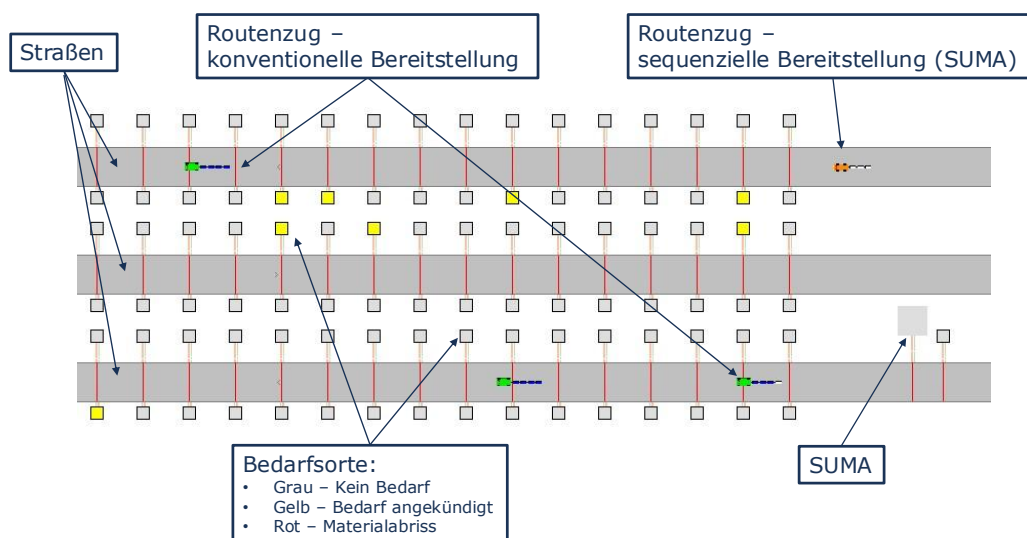


Abbildung 12: Ausschnitt Logistikmodell Audi Planung

Wie im Bosch Steering Demonstrator wurden anhand dieses Modells die erforderlichen Konzepte zur Plattformintegration der Simulationsmodelle verprobt und erweitert. Folgende Modellerweiterungen wurden in der Berichtsperiode u.a. durchgeführt:

- Integration von Supermarktprozessen (SUMA) – sequenzielle Bereitstellung
  - Versorgung der Linie mittels SUMA Umfängen
  - Versorgung SUMA mittels konventioneller Bereitstellung durch den Routenzug

- Aufbau eines vereinfachten Dateninputs in das Modell
  - Vereinfachter Vergleich von verschiedenen Datensätzen aus Excel, z.B. für unterschiedliche Routen-Konfigurationen
  - Mögliche Validierung des von Audi erstellten „Routenoptimierungstool“ (optimierte Routenverläufe können durch einfaches Einlesen getestet werden und mit den Ergebnissen für die ursprünglichen Routenverläufe abgeglichen werden - Abbildung 13 zeigt ein Beispiel)

### ■ Vergleich von Datensätzen

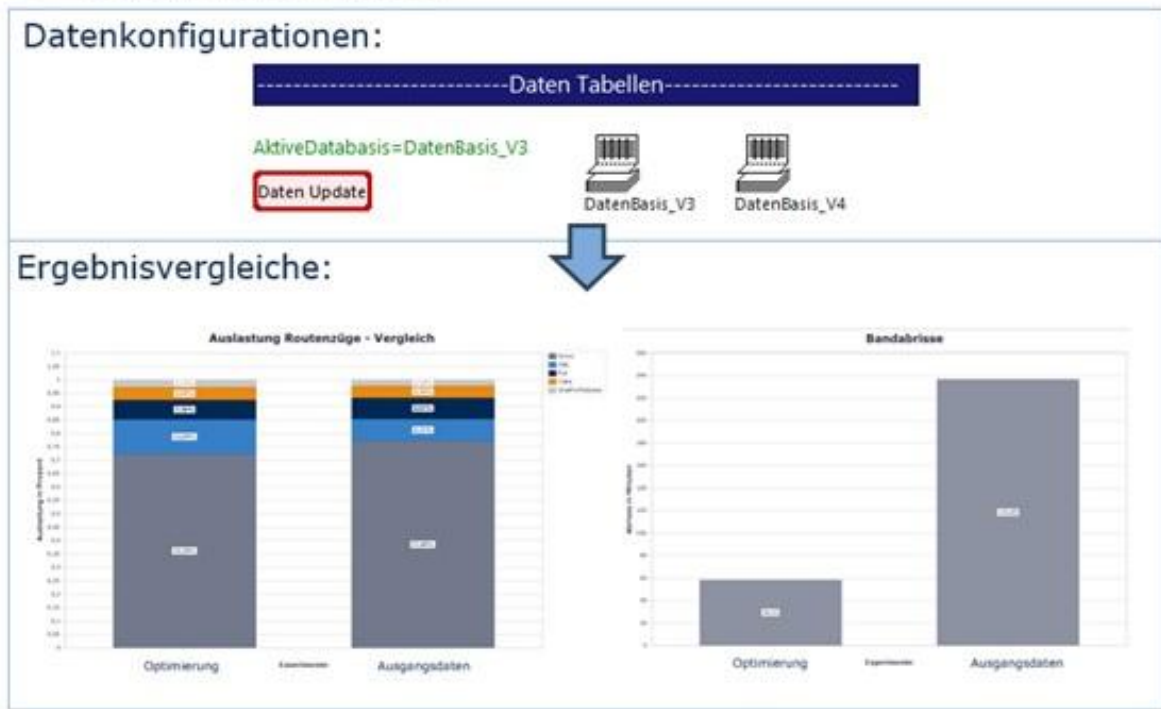


Abbildung 13: Vereinfachter Dateninput und Ergebnisvergleich (Routenoptimierungstool)

## 2.5 Konzept und Demonstrator VDA5050-Schnittstelle zum Flottenmanager

SimPlan hat in Abstimmung mit den Projektpartnern Bosch und KIT IFL zusätzlich zu den ursprünglich im Teilvorhaben vorgesehenen Themen einen Demonstrator für eine auf der VDA5050 Norm basierende Testumgebung für einen Flottenmanager erstellt.

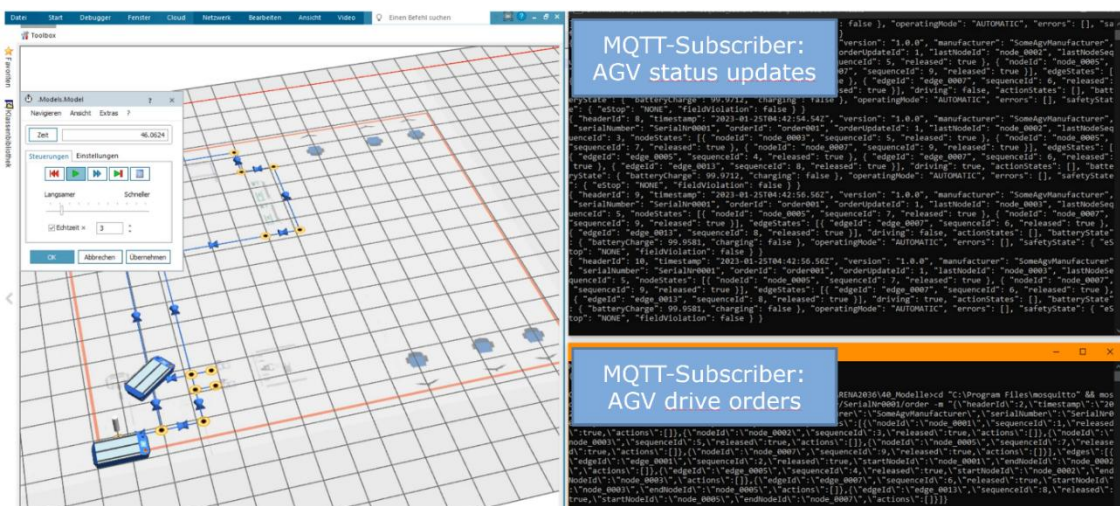


Abbildung 14: Demonstrator zur VDA5050-basierten Modellkommunikation

Der VDA5050-Norm als Standard für die Kommunikation zwischen fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) und überlagerten Flottenmanagementsystemen kommt eine wachsende Bedeutung zu. Da sich Forschungsarbeiten des KIT IFL mit der Entwicklung eines dem Standard folgenden Flottenmanagers befassen und auf der ARENA2036 Fläche von Bosch FTF zum Einsatz kommen, hat SimPlan eine erste prototypische Simulationsintegration des VDA5050-Kommunikationsprotokolls in einem Simulationswerkzeug vorgenommen. Gemeinsam mit Bosch und dem KIT wurde der Prototyp anhand der ARENA2036 Fläche demonstriert.

Abbildung 14 zeigt einen Schnappschuss aus diesem Demonstrator für den auch Videos in deutscher und englischer Sprache entstanden sind (vgl. Kapitel 7).

## 2.6 Flexibler Digitaler Zwilling für die wbk-Lernfabrik

SimPlan hat in Abstimmung mit dem Projektpartner wbk und zusätzlich zu den ursprünglich im Teilvorhaben vorgesehenen Themen einen Prototypen für einen flexiblen Digitalen Zwilling der wbk Lernfabrik erstellt, der auf der in SDM4FZI entwickelten Architektur aufbaut.

Der Prototyp ermöglicht es den Studierenden im Rahmen der Lernfabrik einen digitalen Zwilling über die SimUI Oberfläche zu modifizieren (um z. B. eine alternative Anordnung von Maschinen auf der Fläche der Lernfabrik experimentell zu bewerten), (manuell) einen Simulationslauf zu starten und dann die Ergebnisse auszuwerten.

Die Entscheidung für diesen Demonstrator ist unter anderem deswegen gefallen, weil das wbk in der Lernfabrik ein MES einsetzt. Damit demonstriert dieser Use Case den direkten Datenabzug aus einem MES durch die SimUI. Es werden beispielsweise die angezeigten Taktzeitparameter dem aktuellen Ist-Stand entsprechend aus dem MES übernommen und müssen nicht manuell eingepflegt oder aktualisiert werden.

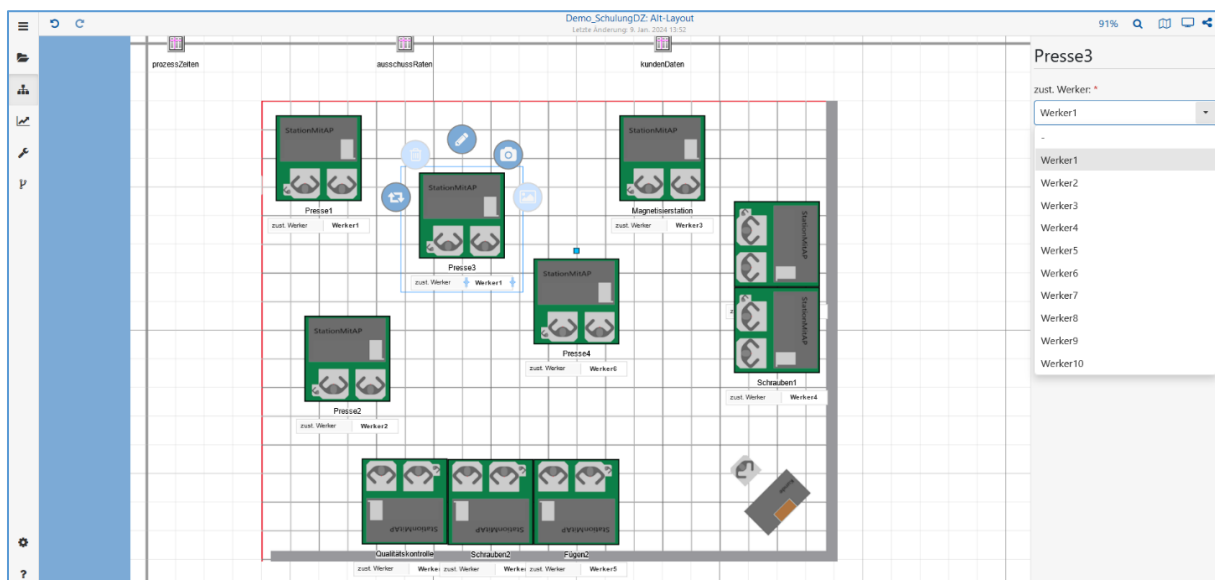


Abbildung 15: SimUI Oberfläche für den digitalen Zwilling der wbk-Lernfabrik

## 3 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Gemäß Vorkalkulation hat SimPlan Personalkosten von € 1.068.804,- und Reisekosten von € 8.500,- ermittelt. Entstanden sind gemäß Nachkalkulation im vorgelegten Verwendungsnachweis Personalkosten in Höhe von € 1.262.910,- und Reisekosten von € 4.582,69. In Summe ergibt sich damit ein Mittelbedarf von € 631.455,- gegenüber den vorkalkulierten € 538.652,-. Wie zu erkennen ist, resultiert diese Überschreitung aus Mehrausgaben beim Personaleinsatz. Die Gründe für die gegenüber der

Vorkalkulation um rund 18,1% höheren Personalkosten sind die während der letzten Jahre erforderlich gewordenen Gehaltserhöhungen, die sich in erhöhten Kostensätzen niedergeschlagen haben. Dazu kommt die gegenüber der Vorkalkulation etwas andere Zusammensetzung des Projektteams sowie die breite Aufstellung im Projekt fünf Demonstratoren zusätzlich zur Integration in die SDM4FZI-Architektur. Letzteres hat dazu geführt, dass SimPlan auch mehr Stunden in das Projekt investiert hat als ursprünglich geplant. Selbstverständlich ist SimPlan bereit, die Mehrumfänge gegenüber der Vorkalkulation aus eigenen Mitteln zu tragen.

Die Mittelüberschreitung bei den Personalkosten wird etwas gedämpft durch die nur teilweise in Anspruch genommenen Reisekosten. Ursache dafür war, dass das Vorhaben insbesondere in der ersten Projekthälfte in die Pandemiezeit fiel, und ab Projektbeginn bis weit in das Jahr 2022 hinein so gut wie keine projektbezogenen Reisen durchgeführt worden sind.

## 4 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Es wurden sämtliche geplanten Arbeiten gemäß Vorhabenbeschreibung im Rahmen des Projektes bearbeitet. Ergänzend sind weitere Simulationsansätze, Prototypen und Demonstratoren bearbeitet worden. Vor diesem Hintergrund werden die Projektarbeiten für notwendig und für angemessen erachtet. Die folgenden Tabellen geben einen arbeitspaketbezogenen vertieften Blick wieder.

AP B1: Referenzarchitektur zur Digitalisierung			
Aufgabe	Laufzeit Soll	Laufzeit Ist	Status
B1.1: Informationsmodellierung (Referenzarchitektur Produktionsmittel und Produktionssystem)	Q1 – Q12	Q1 – Q13	Abgeschlossen
B1.2: Datenkonsistenz Produktion/ Produktionsmittel Life Cycle	Q4 - Q10	Q4 – Q11	Abgeschlossen
B1.4: Digitale Abbildung von Produktionsprozessen	Q3 – Q9	Q3 – Q14	Abgeschlossen
<b>Anmerkung:</b> Im AP B1.4 war SimPlan bis kurz vor Projektende an der Weiterentwicklung der in Kapitel 2 beschriebenen Demonstratoren involviert. Daraus ergibt sich die deutlich veränderte Laufzeit.			

AP B3: Beherrschung der Wandelbarkeit			
Aufgabe	Laufzeit Soll	Laufzeit Ist	Status
B3.3: Beherrschung der Wandlungsfähigkeit auf Materialflussebene	Q1 – Q11	Q1 – Q14	Abgeschlossen
B3.4: Beherrschung der Wandlungsfähigkeit auf Systemebene	Q2 – Q9	Q2 – Q13	Abgeschlossen
<b>Anmerkung:</b> Ähnlich wie in Arbeitspaket B1.4 war SimPlan bis kurz vor Projektende an der Weiterentwicklung der im Projektverlauf erarbeiteten Grundlagen beteiligt. Das hing unter anderem			

damit zusammen, dass sich Standards wie Verwaltungsschale, aber auch die erst im Verlauf von SDM4FZI zunehmend relevant werdenden Datenräume, kontinuierlich entwickeln.

AP S1: Optimierung wandlungsfähiger Produktionssysteme am Digitalen Zwilling			
Aufgabe	Laufzeit Soll	Laufzeit Ist	Status
S1.1: Digitale Abbildung anhand Referenzarchitektur	Q1 – Q11	Q1 – Q12	Abgeschlossen
S1.2: Szenarioanalyse und Optimierung	Q1 – Q11	Q1 – Q12	Abgeschlossen

## 5 Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse

Für SimPlan hat das Vorhaben eine Reihe von geplanten und ungeplanten Nutzeffekten mit sich gebracht, die im Folgenden stichpunktartig erläutert werden sollen:

- SDM4FZI hat SimPlan die Möglichkeit und den Rahmen geboten, sich intensiv mit den Möglichkeiten der Verwaltungsschale für die Produktions- und Wertstromsimulation auseinanderzusetzen. Die entsprechenden Vorarbeiten konnten aufgegriffen und vor allem im Vorhaben TwinMap (FKZ 13IK028E, BMW) so weiterentwickelt werden, dass SimPlan mittlerweile an mehreren Teilmodellen mitgewirkt und ein Teilmodell maßgeblich selbst initiiert und entwickelt hat.
- Softwarekomponenten, die SimPlan entwickelt und vertreibt konnten in unterschiedlichem Maße weiterentwickelt werden. Zuvorderst ist hier die Frontendkomponente SimUI zu nennen, die sowohl im Bosch ARENA2036 Demonstrator als auch im Digitalen Zwilling der wbk Lernfabrik zu Einsatz gekommen ist. Die Weiterentwicklungen im Rahmen der Demonstratoren haben einen wichtigen Beitrag dazu geleistet, dass SimPlan das Produkt SimUI heute eigenständig am Markt anbietet (vgl. <https://simui.info/en/>).
- SimPlan konnte Erfahrungen in Konzeption und Implementierung der Verknüpfung eines Simulationswerkzeugs mit einem Flottenmanager über den VDA5050 Standard sammeln. Diese ursprünglich nicht geplante Demonstration bildet eine wichtige Grundlage für anschließende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

Insgesamt entspricht die nach aktuellem Stand geplante Verwertung in weiten Teilen den ursprünglichen Planungen (vgl. auch Kapitel 8). Unter anderem hat sich ein Arbeitsplatzeffekt insoweit ergeben, als die Beteiligung am SDM4FZI-Vorhaben zur Sicherung von Arbeitsplätzen an den Standorten in Hanau, Regensburg und Sindelfingen beigetragen hat.

## 6 Bekannt gewordener Fortschritt auf Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit gab es viele wichtige Entwicklungen, die einen großen Einfluss auf die weitere Gestaltung von Simulationen und Digitalen Zwillingen haben werden. Dazu gehörten Fortschritte bei der Standardisierung rund um die Verwaltungsschale, die Überlegungen zum Datenaustausch über Datenräume sowie nicht zuletzt die sich sehr dynamisch entwickelnden Möglichkeiten großer Sprachmodelle, die bei Beantragung und zu Beginn von SDM4FZI so nicht absehbar waren.

SimPlan hat die Arbeiten im Projektverlauf stets an diese Entwicklungen angepasst und Fortschritte an anderer Stelle in die Arbeiten einfließen lassen. Die Notwendigkeit einer Anpassung der Ziele des Projektes hat sich daraus im Sinne einer Erweiterung ergeben: neue Teilmodelle der IDTA waren aufzugreifen, der Datenaustausch über Datenräume – soweit im Projekt noch machbar – vorzudenken, die Potenziale von Sprachmodellen stets mit einzubeziehen. All das ist erfolgt und haben den Forschungsarbeiten im Projekt teilweise einen ergänzenden Schwerpunkt gegeben, ohne dass die durchgeführten Arbeiten rund um Materialflusssimulation und Digitale Zwillinge dadurch grundsätzlich in Frage zu stellen gewesen wären.

## 7 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Während der Projektlaufzeit ist eine Publikation mit unmittelbarer SimPlan-Beteiligung entstanden:

Behrendt, S.; Enke, C.; Rüdert, M.; Bussmann, M.; Tutsch, H.; Spieckermann, S.; Lanza, G.: “Closing the Loop: A Software-Defined Approach to Agile Production Planning and Control”, to appear.

Online gibt es die folgenden Darstellungen des Projektes insgesamt bzw. von Zwischen- oder Teilergebnissen:

- Projektbeschreibung auf der SimPlan-Homepage  
<https://www.simplan.de/forschung/forschungsprojekt-sdm4fzi/> (deutsch)  
<https://www.simplan.de/en/research/research-project-sdm4fzi/> (englisch)
- Videodarstellungen zum Demonstrator der VDA5050 Schnittstelle auf der ARENA2036 Fläche in deutscher und englischer Sprache  
<https://youtu.be/B12XDTBqEeo?si=Fncw1h5sLtXadYaS>  
<https://youtu.be/aoMp7-7SSec?si=wg6ejJaUpZS4csxA>.
- Videodarstellung zur Demonstration des Gesamtkonzepts:  
<https://youtu.be/yAub9QyJkU?si=6QlpJP5PQIr4VO-E> (englisch)  
<https://youtu.be/QyxV36EFvvg?si=XFoRID-hFmIKiVBQ> (deutsch)

## 8 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Verwertungsperspektiven nach Projektende

Die folgenden Inhalte entsprechen dem Verwertungsplan aus der Teilvorhabenbeschreibung von SimPlan. Anpassungen und Fortschreibungen, die sich im Projektverlauf ergeben haben, sind berücksichtigt

SimPlan ist erfolgreich im Markt für Simulationslösungen und digitale Zwillinge als Dienstleistungs- und Softwareanbieter tätig. Der Anwendungsschwerpunkt liegt heute auf planungsbegleitenden offline-Simulationssoftwarepaketen und -Simulationsprojekten. Die Beteiligung am Vorhaben wie auch der Verwertungsplan sind darauf ausgerichtet, aufbauend auf vorhandenen Vorentwicklungen und Vorarbeiten einen großen Schritt in Richtung online- und ad hoc Simulation (Digitaler Zwilling) für Wertströme und Logistikabläufe voranzukommen und dieses Angebot auch im Hinblick auf plattformorientierte cloudbasierte Leistungen zu stärken.

### 8.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Der Bedarf an Digitalisierungslösungen, digitalen Zwillingen und Simulation in den Bereichen Wertstrom, Produktion und Logistik liegt allein in Deutschland im zweistelligen Millionenbereich pro Jahr und wächst im zweistelligen Prozentbereich laut Einschätzungen von Marktforschern wie Gartner. SimPlan ist bestrebt in Bereich der Digitalisierung von Wertströmen, Produktionsabläufen und Logistik seine Stellung zu halten und nach Möglichkeit auszubauen. Das gilt umso mehr, als auch der Bedarf an einfachen und integrierten Lösungen für die Simulationsanwendung permanent wächst.

Als etabliertes Software- und Beratungshaus im Bereich Simulation und digitale Zwillinge hat SimPlan einen Kundenstamm von einigen hundert aktiven Kunden mit einem Schwerpunkt von rund 50% im Bereich der Automobil- und Automobilzulieferindustrie. Eine Reihe von Kunden setzen auch heute bereits Simulationslösungen oder Wertstrommodellierungslösungen ein. Hier ergibt sich ein unmittelbarer Marktzugang für einen innovativen Ansatz im Bereich integrativer Wertstrom- und Logistikzwillinge.

Hinsichtlich einer detaillierteren zahlenmäßigen Einschätzung des Marktes für digitalisierte Wertstromlösungen lassen sich eine „Top-Down-“ und eine „Bottom-Up-“Abschätzung vornehmen. Im Jahr 2024 waren bei LinkedIn rund 600.000 Personen in Gruppen zu den Themen „Lean Management“ oder „Wertstrommanagement“ registriert. Natürlich dürften zahlreiche Personen in diesem Umfeld aktiv sein, ohne sich bei LinkedIn registriert zu haben, und gleichzeitig dürften nicht alle in den einschlägigen Gruppen registrierten Personen intensiv mit Wertströmen befasst sein. Aus der LinkedIn-Nutzung (eine digitale B2B-Socialmedia-Plattform) lässt sich unmittelbar ableiten, dass entsprechenden Personen offen für Digitalisierungslösungen sind. Dementsprechend könnten bei vorsichtiger Schätzung 30% der oben genannten Personen Interesse an einfachen Softwarelösungen zur Wertstrommodellierung haben. Wenn davon wiederum 30% die modellierten Wertströme auch simulieren möchten, dann ergibt sich ein potenzielle Nutzergruppe von 54.000 Personen. Unterstellt man ferner, dass diese Personen oder die Organisationen, für die die Personen tätig sind, bereit sind, pro Jahr 30,- Euro p.a. mehr für eine Wertstromsoftware zu bezahlen, die ein „Value Stream Twinning“ ermöglichen, dann ergibt sich ein Umsatzvolumen von rund 1,5 Million Euro p.a. – wohlgermerkt nur für den Funktionsumfang, der im Rahmen von SDM4FZI entwickelt werden soll.

SimPlan hat heute, rund acht Jahre nach der Markteinführung von SimVSM, 7.000 Benutzer der nicht online-daten-integrierten SimVSM-App. Mittelfristiges Ziel ist es, dass SimPlan sich ungefähr 25% der potenziellen Nutzergruppe, also ca. 13.500 Benutzer (s. oben), erschließt. Wenn davon dann die Hälfte bereit ist, zusätzlich für die Verwendung einer Online-Integration die genannten 30,- Euro p.a. zu bezahlen, ergibt sich bei vorsichtiger Rechnung ein Umsatzpotenzial von ca. T€ 200 p.a. OnSite-Installationen bei vorhandenen SimPlan-Großkunden, die Gewinnung neuer Großkunden etc. sind dabei noch nicht berücksichtigt. Daraus erwächst bei erneut sehr konservativer Schätzung ein zusätzliches Umsatzpotenzial von T€ 100 – 200 p.a., so dass das Potenzial für SimPlan mittelfristig (2-3 Jahre nach Ende des Vorhabens) bei T€ 300 – T€ 400 pro Jahr (Summe aus Dienstleistungserlösen und Softwareverkäufen) liegt. Das wird zu drei bis vier neuen Arbeitsplätzen im Geschäftsbereich Wertstromlösungen bei SimPlan führen. Diese Arbeitsplätze werden an einem oder mehreren der SimPlan-Standorte in Deutschland entstehen.

Die Schritte im Einzelnen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Lfd. Nr.	Konkrete Verwertung	Zeithorizont
S1	Prototyp der standardisierten Zugriffsschicht für Wertstrom- und Logistikzwillinge für Pilotanwender (SimPlan-intern und Bestandskunden) bereitstellen	03/2025 (ist erfolgt)
S2	Entwicklung einer marktreifen Lösung aus dem Prototyp und Integration in vorhandene Produkte	12/2025
S3	Ausrollen der Lösung an Bestandskunden und Gewinnung ersten Neukunden sowie Einsatz in eigenen Dienstleistungsprojekten	06/2026

Tabelle 1: Wirtschaftliche Verwertung

## 8.2 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

SimPlan ist in zahlreichen Verbänden und Gremien tätig (Fachausschuss Modellierung und Simulation im Verein Deutscher Ingenieure, ASIM-Fachgruppe Simulation in Produktion und Logistik, Gesellschaft für Operations Research) und publiziert in diesem Kontext regelmäßig über neue und weiterentwickelte Lösungen. Das erfolgt auch laufend für die digitalen Wertstrom- und Logistikzwillinge einschließlich der standardisierten IT-Integration. Daraus ergeben sich Anknüpfungspunkte für weitere

Forschungsvorhaben mit Beteiligung von SimPlan. Da SimPlan in einem regelmäßigen Austausch mit Forschern beispielsweise zur Simulation und Modellierung an zahlreichen deutschen und europäischen Universitäten steht, finden die Ergebnisse des Vorhabens kontinuierlich Eingang in den entsprechenden technisch-wissenschaftlichen Austausch.

### **8.3 Wissenschaftliche und technische Anschlussfähigkeit**

Die Entwicklung der im Projekt entstandenen Demonstratoren zur marktreifen Produkten werden – so zeigt die Erfahrung aus früheren Innovationsvorhaben der SimPlan AG – weitere Mittel (erfahrungsgemäß bis zur Größenordnung der gesamten seitens der SimPlan AG in das Vorhaben investierten Gelder) benötigen. Zur Finanzierung oder Teilfinanzierung dieser Mittel wird die SimPlan AG einen der folgenden Wege beschreiten: a) Ko-Finanzierung durch einen Industriepartner im Rahmen einer gemeinsamen industriellen Entwicklung; b) Ko-Finanzierung in einem weiteren Forschungsprojekt oder c) Finanzierung aus Eigenmitteln. Aktuell laufen Entwicklungen, die auf den Optionen b) und c) basieren. SimPlan entwickelt die Integration mit Verwaltungsschalen und mit Datenräumen in Forschungsprojekten weiter. Ferner werden bestimmte Komponenten, etwa die Benutzeroberfläche SimUI, aus Eigenmitteln weiterentwickelt und vermarktet.