



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Institut für
Fertigungstechnik und
Photonische Technologien



Pilotfabrik
Industrie 4.0

CONCIRCLE
manufacturing consultants



Diplomarbeit

Evaluierung der SAP Cloud Manufacturing Solution anhand der Implementierung in der TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer Diplom-Ingenieurin
(Dipl.-Ing. oder DI) unter der Leitung von

A.o.Univ. i. R. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Burkhard Kittl

(Institut für Fertigungstechnik und Photonische Technologien)

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr. Thomas Trautner

(Institut für Fertigungstechnik und Photonische Technologien)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Sara Julie SCHIECK, B.Sc.

Matr.Nr: 01126810

Wien, im Mai 2023

Sara Julie Schieck

Ich nehme zur Kenntnis, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen von mir selbstständig erstellt wurde. Alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, sind in dieser Arbeit genannt und aufgelistet. Die aus den Quellen wörtlich entnommenen Stellen, sind als solche kenntlich gemacht.

Das Thema dieser Arbeit wurde von mir bisher weder im In- noch Ausland einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt. Diese Arbeit stimmt mit der von den Begutachterinnen/Begutachtern beurteilten Arbeit überein.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die vorgelegte Arbeit mit geeigneten und dem derzeitigen Stand der Technik entsprechenden Mitteln (Plagiat-Erkennungssoftware) elektronisch-technisch überprüft wird. Dies stellt einerseits sicher, dass bei der Erstellung der vorgelegten Arbeit die hohen Qualitätsvorgaben im Rahmen der geltenden Regeln zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis „Code of Conduct“ an der TU Wien eingehalten wurden. Zum anderen werden durch einen Abgleich mit anderen studentischen Abschlussarbeiten Verletzungen meines persönlichen Urheberrechts vermieden.

Abkürzungsverzeichnis

AB	Abweichung
AGV	Automated Guided Vehicle (deutsch: FTS – Fahrerloses Transportsystem)
ALE	Application Link Enabling
BAPI	Business Application Programming Interface
DRF	Datenreplikations-Framework
ERP	Enterprise Resource Planning
FHM	Fertigungshilfsmittel (englisch: PRT – Production & Resource Tools)
HTTP(S)	Hypertext Transfer Protocol (Secure)
IDoc	Intermediate Document
KPI	Key Performance Indicators
MES	Manufacturing Execution System
OEE	Overall Equipment Effectiveness
POD	Production Operator Dashboard
PP	Produktionsplanung
PSN	Produktionssteuerungsnummer
REO	Resource Orchestration
RFC	Remote Function Call
S4	SAP S/4HANA
SaaS	Software as a Service
SAP BTP	SAP Business Technology Platform
SAP CPI	SAP Cloud Platform Integration
SAP DMC	SAP Digital Manufacturing Cloud
SAP DMCe	SAP Digital Manufacturing Cloud for execution
SAP ME	SAP Manufacturing Execution
SAP MII	SAP Manufacturing Intelligence and Integration
SAP PCo	SAP Plant Connectivity

Glossar

Begriff	Definition/Erklärung
Cobot	Kollaborative Roboter bezeichnen Roboter, die mit Sicherheitssensoren ausgestattet und dadurch in der Lage sind, direkt mit dem Mensch zu interagieren/ zusammenzuarbeiten (Mensch-Maschine-Interaktion)
Custom	auf Kundenbedürfnis zugeschnitten
Megatrend	Technologische Entwicklungen, die die Gesellschaft nachhaltig betreffen und sich über einen langen Zeitraum (10-20 Jahre) erstrecken
On-Premises-Software	Lizenzwerb von Software, Betrieb unter Eigenverantwortung und mit eigener Hardware
Pay as you go	Bezahlmodell, bei dem nur bezahlt wird, was genutzt wird
Produktionssteuerungsnummer (PSN)	ID für eine Instanz des zu fertigenden Materials zur Identifikation während des Prozesses (PSN-Menge = Losgröße)
SAP	Software-Unternehmen
Showcase	Modell, zu Demonstrationszwecken eingerichteter Prozess
Software as a Service (SaaS)	Software als vollständige Dienstleistung inkl. IT-Infrastruktur, die extern bezogen wird

Kurzfassung

„At least 40% of all businesses will die in the next 10 years... if they don't figure out how to change their entire company to accommodate new technologies.“

John Chambers, Executive Chairman, Cisco System [1]

Industrie 4.0 ist heutzutage jedem ein Begriff. Diese Bewegung führt im Bereich der Fertigung zu enormen Potenzialen, die es noch auszuschöpfen gilt. Produzierende Unternehmen müssen sich technisch aufrüsten; nicht nur um ihre Produktion effizienter gestalten zu können, sondern auch um gesetzlichen und immer komplexer werdenden Kundenanforderungen gerecht zu werden.

Derzeit haben sich am Markt Manufacturing Execution Systeme etabliert, welche einen großen Fortschritt im Zuge der Digitalisierung der Produktion bedeuten. Der rapide Wandel von Technologien in der heutigen Zeit lässt hier aber kein Ausharren zu und fordert ständige Innovationen und Fortschritt. Neue Megatrends wie Cloud Computing bahnen sich ihren Weg, deren Integration in die Fertigung jedoch größtenteils noch aussteht.

Der Ansatz des Cloud Computings wird im Zuge dieser Diplomarbeit am Beispiel der SAP Digital Manufacturing Cloud aufgegriffen. Durch die Implementierung in Produktions- sowie Montagelinie der TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0 wird ein Vergleich mit der existierenden On-Premises-Lösung sowie eine Beurteilung der Relevanz einer solchen Cloud-Lösung in der Fertigungsindustrie ermöglicht. Mit Hilfe der Implementierung wird zudem ein Anforderungskatalog abgeleitet, der die Vor- und Nachteile beider Systemlösungen wiedergibt, sowie als Basis dazu dient, für Produktionsunternehmen das richtige System zu bestimmen.

Im Anschluss werden die Ergebnisse ausgewertet. Ziel ist, so die Stärken und Schwächen der neuen Cloud-Lösung auszuarbeiten.

Abstract

„At least 40% of all businesses will die in the next 10 years... if they don't figure out how to change their entire company to accommodate new technologies.”

John Chambers, Executive Chairman, Cisco System [1]

Industry 4.0 is a household word nowadays. In the area of manufacturing, this movement is leading to enormous potential that still needs to be exploited. Most manufacturing companies need to upgrade their technology, not only to make their production more efficient, but also to meet legal and increasingly complex customer requirements.

Currently, Manufacturing Execution Systems have established themselves on the market, which represents a major step forward in the digitalization of production. However, the rapid change of technologies in modern times does not allow any perseverance and demands constant innovations and progress. New megatrends such as cloud computing are paving their way, but their integration into manufacturing is still largely outstanding.

The approach of cloud computing is taken up in the course of this diploma thesis using the example of the SAP Digital Manufacturing Cloud. The implementation in the production and assembly lines of the TU Wien Pilot Factory Industry 4.0 enables a comparison with the existing on-premises solution and an assessment of the relevance of such a cloud solution in the manufacturing industry. Furthermore, with the help of the implementation, a catalogue of requirements is derived, which reflects the advantages and disadvantages of both system solutions and serves as a basis for determining the right system for the manufacturers.

The results will then be evaluated, with the aim of defining the strengths and weaknesses of the new cloud solution.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Technischer Überblick.....	3
2.1	Manufacturing Execution System.....	3
2.1.1	Auftragsmanagement.....	6
2.1.2	Feinplanung und -steuerung.....	6
2.1.3	Betriebsmittelmanagement.....	6
2.1.4	Materialmanagement.....	7
2.1.5	Personalmanagement.....	7
2.1.6	Datenerfassung und -verarbeitung.....	7
2.1.7	Leistungsanalyse.....	7
2.1.8	Qualitätsmanagement.....	8
2.1.9	Informationsmanagement.....	8
2.1.10	Energiemanagement.....	8
2.2	Cloud Computing.....	8
3	Die SAP Digital Manufacturing Landschaft.....	11
3.1	SAP-Software-Angebot.....	11
3.1.1	SAP S/4HANA.....	12
3.1.2	SAP S/4HANA Cloud.....	13
3.1.3	SAP Manufacturing Execution Suite.....	13
3.1.4	SAP Digital Manufacturing Cloud.....	14
3.1.5	SAP Extended Production Engineering and Operations.....	15
3.1.6	SAP Plant Connectivity.....	15
3.1.7	SAP Analytics Cloud.....	16
3.2	SAP-spezifische Begrifflichkeiten.....	16
4	Showcases in der TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0.....	18
4.1	Überblick.....	18
4.2	Showcase Produktion ‚CONCOIN‘.....	20
4.3	Showcase Montage ‚3D-DRUCKER‘.....	22
5	Implementierung der SAP Digital Manufacturing Cloud in der Pilotfabrik.....	24

- 5.1 On-Boarding-Prozess der DMC 24
- 5.2 DMC-Applikation..... 25
- 5.3 Schnittstellenaufbau und Integration 26
 - 5.3.1 Einrichten der Schnittstelle ERP – DMC 27
 - 5.3.2 Integration von Daten..... 31
 - 5.3.3 Maschinenintegration und Erweiterungen 39
- 5.4 Implementierung und Konfiguration von Montage- und Produktionsprozess 43
 - 5.4.1 Verwaltung der Fertigungsstammdaten 43
 - 5.4.2 Fertigungskonfiguration 58
 - 5.4.3 Resource Orchestration 73
 - 5.4.4 Insights 80
- 5.5 Überblick Datenaustausch zwischen den Leitebenen..... 82
- 6 End-To-End Test und Ergebnisse 84
 - 6.1 Vorgehensweise..... 84
 - 6.2 Ergebnisse des End-To-End-Tests..... 85
 - 6.2.1 Integration von ERP nach DMC 85
 - 6.2.2 DMC Resource Orchestration 85
 - 6.2.3 Auftragsdurchführung/Manufacturing Execution 89
 - 6.2.4 Rückmeldungen an ERP..... 91
 - 6.2.5 Rückverfolgbarkeit..... 93
 - 6.2.6 Insights 95
- 7 Systemvergleich..... 97
- 8 Fazit mit Ausblick in die Zukunft..... 107
- Literaturverzeichnis..... 109
- Abbildungsverzeichnis 112
- Tabellenverzeichnis..... 117

1 Einleitung

Seit Jahren nutzen viele Menschen bereits Cloud-Services, manchmal ohne dies zu wissen bzw. ohne sich der Bedeutung von Cloud Computing bewusst zu sein. Daten werden in die Cloud geladen und können jederzeit oder allerorts abgerufen werden.

Mit neueren Technologien wie diesen gibt es auch Handlungsbedarf im Bereich der Fertigungsindustrie. Seit mehreren Jahren sind bereits Fertigungsleitsysteme, englisch Manufacturing Execution Systems (MES), erfolgreich im Einsatz und leisten einen bedeutenden Beitrag zur Digitalisierung der Produktion. Sie spielen eine wichtige Rolle bei der Effizienzsteigerung, sowie Überwachung der Produktion, aber ebenso bei der Rückverfolgbarkeit von Produkten und dienen zur Unterstützung der Instandhaltung.

Ein großer Schritt könnte hier der Umstieg sein von On-Premises-Systemen auf Cloud-Lösungen. Das Software as a Service Angebot wächst, so wurde von dem Software-Unternehmen SAP eine MES Cloud-Lösung mit dem Namen SAP Digital Manufacturing Cloud (SAP DMC) im Jahr 2018 [2] neu auf den Markt gebracht.

Da Cloud Computing noch kaum im Fertigungsbereich angewandt wird, widmet sich diese Diplomarbeit jenem Thema, indem die SAP DMC in der TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0 implementiert wird. Dort wurde bereits ein Show Case gebaut, der den Einsatz des On-Premises-Systems SAP Manufacturing Execution (SAP ME) von derselben Firma anhand eines Produktions- sowie Montageprozesses demonstriert.

Die Implementierung erfolgt in Kooperation mit der IT-Beratungsfirma Concircle, die sich im Bereich der softwaregestützten Fertigung spezialisiert hat und in der Pilotfabrik bereits für die Implementierung von SAP ME verantwortlich war.

Da laut Concircle bisher nur eine sehr kleine Anzahl an Produktionsunternehmen die SAP Cloud-Lösung nutzt, wird mit Hilfe dieser Implementierung ein Rahmen geschaffen, um beide Systeme vergleichbar zu machen. Durch ausführliche Tests werden die Vor- und Nachteile beider Systeme anhand eines Anforderungskatalogs und somit die Stärken und Schwächen der SAP DMC erarbeitet.

So sollen auch die neuen Features evaluiert werden. SAP DMC bringt mit Resource Orchestration die Möglichkeit auf MES-Ebene die Ressourcen einzulasten und mit Insights Daten in Form von Dashboards lesbar zu machen.

In Kapitel 2 wird ein Überblick über die Technischen Gegebenheiten vermittelt, hier werden kurz MES und Cloud Computing erklärt.

Kapitel 3 liefert eine Einführung in die SAP-Welt, es werden kurz die wesentlichen Software-Angebote des Unternehmens vorgestellt. Um einen Vergleich zwischen den beiden Systemen

zu ermöglichen, gibt Kapitel 4 im Anschluss einen Einblick in die Prozesse der Pilotfabrik, verbunden mit der derzeitigen Implementierung des On-Premises-Systems. Kapitel 5 widmet sich der gesamten Implementierung der Cloud-Lösung; begonnen beim Onboarding-Prozess, über das Einrichten der Schnittstellen bis zur Konfiguration der SAP DMC samt ihrer Zusatzfunktionen. Zum Schluss erfolgt der End-To-End Test, dessen Ergebnisse in Kapitel 6 zusammengefasst werden, sowie der Systemvergleich in Kapitel 7 mit anschließendem Fazit in Kapitel 8.

Da im Laufe der Arbeit zur leichteren Lesbarkeit immer wieder Abkürzungen verwendet werden, befindet sich auf Seite II ein Abkürzungsverzeichnis.

2 Technischer Überblick

Zunächst muss auf zwei technische Begrifflichkeiten näher eingegangen werden, da diese die Grundlage der SAP Digital Manufacturing Cloud darstellen. In Kapitel 2.1 wird das Manufacturing Execution System und in Kapitel 2.2 das Cloud Computing erklärt.

2.1 Manufacturing Execution System

Manufacturing Execution Systems, deutsch Fertigungsmanagementsysteme, hier mit MES abgekürzt, sind laut Kletti [3] heute nicht mehr aus Produktionsunternehmen wegzudenken. Sie ebnet den Weg für eine effiziente und papierlose Produktion. Schon lange geht es nicht mehr nur darum, in möglichst kurzer Zeit hohe Stückzahlen zum bestmöglichen Preis zu fertigen; andere Faktoren wie Transparenz, Flexibilität und Schlanke Produktion (Lean Production) stehen im Fokus. Darüber hinaus entwickelt sich durch den wachsenden Kundenfokus (Wandel von Verkäufer- zu Käufermarkt) eine Vielfalt und Komplexität in der Produktion, die sich ohne IT-Systeme nicht bewältigen lässt. Hierzu bedarf es der richtigen Management-Tools, welche in einem MES vereint geliefert werden.

Mit zunehmender Automatisierung wurde in der industriellen Fertigung mit der ISA95-Norm (deutsche Fassung: DIN EN 62264) [4] eine Automatisierungspyramide (siehe Abbildung 1, Seite 4) eingeführt, die die Ebenen der Fertigung mitsamt ihres zeitlichen Planungshorizonts sowie Detailierungsgrads abbildet. Somit ist es möglich, IT-Systeme anhand ihrer Aufgaben einzuordnen und eine Basis für die vertikale Integration zu schaffen. MES befinden sich auf Level 3, sie siedeln sich also unterhalb der Unternehmensleitebene und oberhalb der Prozessebene an. Der Fluss der Planungsdaten verläuft von oben nach unten, während die Rückmeldedaten in die andere Richtung verlaufen.

IT-Systeme auf Unternehmensebene, auch Enterprise Resource Planning (ERP)-Systeme genannt, sind in Produktionsbetrieben bereits sehr weit verbreitet. In diesen wird der grobe Absatz sowie die Produktion geplant, Materialmanagement betrieben und die Finanzbuchhaltung durchgeführt. Auf Fertigungsebene benötigt es eine zeitnahe Planung und Koordinierung der realen Abläufe mit mehr Detail und höherer Reaktionsfähigkeit. MES übernehmen hier diese Aufgabe, für die das ERP-System zu grob bemessen ist. Durch die gleichzeitige Anbindung an die Prozessebene (Maschinenebene) ergibt sich in der IT-Architektur eine Schnittstelle, die es ermöglicht auf Basis der vorhandenen Planungsdaten in das aktuelle Geschehen einzugreifen.

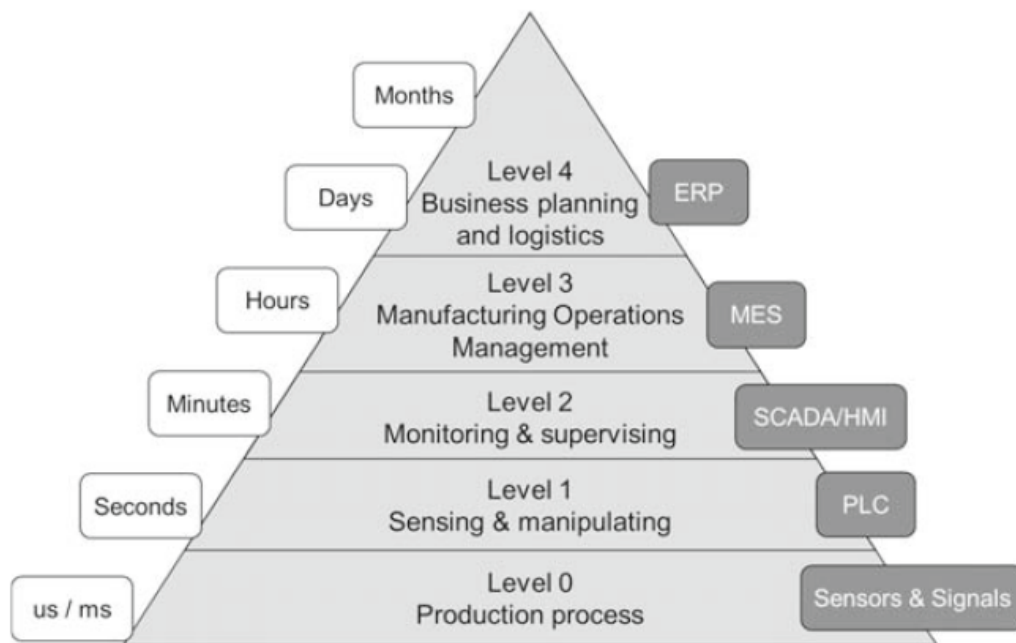


Abbildung 1: Automatisierungs-Pyramide gemäß ISA 95 Model [5, S. 2]

Das Zusammenspiel der Ebenen kann als Regelkreis betrachtet werden, Abbildung 2 zeigt dies am Beispiel ERP zu MES. Während vom ERP-System die Soll-Daten kommen, werden durch das MES die Ist-Daten erfasst, verarbeitet und ggfs. beeinflusst.



Abbildung 2: Regelkreis Datenaustausch ERP-MES [6, S. 5]

MES bestehen aus Datenverwaltungsfunktionen, Entscheidungsfunktionen und Auswertebzw. Dokumentationsfunktionen, diese sind in Abbildung 3 (Seite 5) mitsamt ihren Aufgaben abgebildet. Die Produktion in Echtzeit zu planen und zu steuern, wird um das Erfassen und Auswerten von Daten ergänzt.

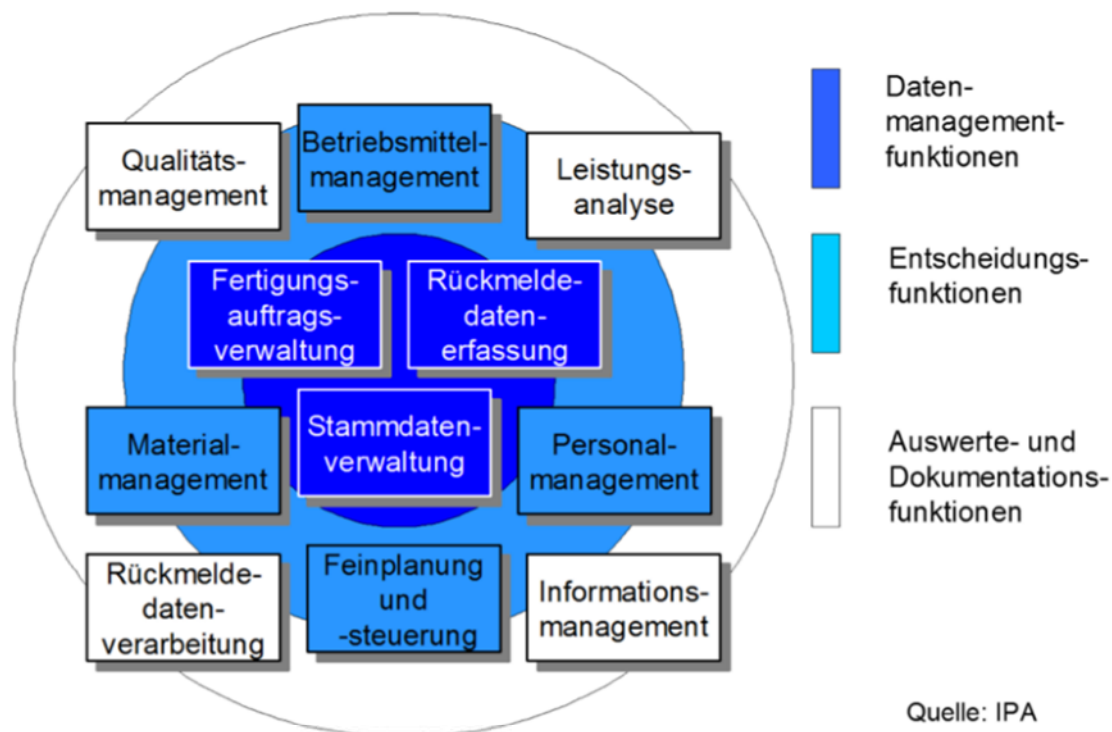


Abbildung 3: Schalenmodell der MES Aufgaben [7]

So wird auch eine Datenüberladung des ERP-Systems vermieden, da die Daten über das MES erfasst werden können und nur die relevanten weitergeleitet werden. Das stellt die Basis für kontinuierliche Verbesserungsprozesse (KVP) dar, bereits im MES können Berichte (Reports) angefertigt werden und auf unvorhergesehene Ereignisse kann durch die Prozessnähe schnell reagiert werden. Wenn es zu Fehlern oder Abweichungen in der Produktion kommt, können diese gemeldet und im Nachhinein durch eine standardisierte Vorgehensweise schnell rückverfolgt werden, alle Chargen identifiziert und ggfs. zurückgezogen bzw. nachbearbeitet werden.

Ebenso ist eine Verknüpfung mit der Maschinenebene möglich, ergo kann die Fertigungsautomatisierung um dieses System ergänzt werden. Wichtige Maschinendaten lassen sich erfassen und verarbeiten, um daraus wichtige Schlüsse über den Verlauf der Produktion zu ziehen. Durch Berechnen der Kennzahl Overall Equipment Effectiveness (OEE) kann die Produktivität einzelner Ressourcen überprüft werden bzw. nicht ausgelastete oder fehlerhafte Ressourcen leicht identifiziert werden, vgl. [3, S. 88].

Da es schon viele Softwarelösungen auf dem Markt gibt und Unternehmen teilweise ihre eigenen maßgeschneiderten Systeme entwickeln, wurden einige standardisierte Modelle entwickelt, um zu definieren, welche Aufgaben solch ein MES umfassen und mitbringen sollte. Von dem Verband Deutscher Ingenieure (VDI) wurde das VDI-Modell 5600 [8] veröffentlicht, das dem MES zehn typische Aufgaben zuschreibt.

MES-Aufgaben nach VDI-Modell 5600:

1. Auftragsmanagement
2. Feinplanung und -steuerung
3. Betriebsmittelmanagement
4. Materialmanagement
5. Personalmanagement
6. Datenerfassung und -verarbeitung
7. Leistungsanalyse
8. Qualitätsmanagement
9. Informationsmanagement
10. Energiemanagement

Im Folgenden wird kurz auf den Umfang dieser einzelnen Aufgabenbereiche, in Anlehnung an VDI5600 [8], eingegangen, wobei anzumerken ist, dass ein MES laut VDI nicht alle diese Aufgaben enthalten muss.

2.1.1 Auftragsmanagement

Auftragsdaten werden zunächst von ERP übernommen und im Laufe des Prozesses werden diese Daten an der richtigen Stelle zur Verfügung gestellt. So werden die für jede Aufgabe relevanten Daten an diese weitergeleitet und daraus abgeleitete Daten wieder in das Auftragsmanagement aufgenommen. Während der Fertigung werden die für jeden Arbeitsschritt benötigten Informationen bereitgestellt, sowie die dann erfassten Daten dem jeweiligen Auftrag zugeordnet. Daraus resultiert schnelles Reaktionsvermögen auf Änderungen und Probleme während der Prozesse.

2.1.2 Feinplanung und -steuerung

Nachdem auf ERP-Ebene bereits die Grobplanung der Aufträge erfolgte, ist die Aufgabe der Feinplanung, die Aufträge auf die einzelnen Ressourcen zu verteilen unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit und zu erreichenden Produktionsziele. Die steuernde Komponente ergibt sich dadurch, dass unmittelbar auf unvorhergesehene Ereignisse reagiert werden kann und so z.B. Ressourcen um- bzw. neubelegt werden können. Hierfür können Algorithmen und Maschinelles Lernen (Machine Learning) zum Einsatz kommen, um den möglichst effizienten Einsatz der Ressourcen zu finden. So kann optimal auf mangelnde Material- oder Ressourcenverfügbarkeit und Qualitätsfehler reagiert werden.

2.1.3 Betriebsmittelmanagement

Es wird sichergestellt, dass die Betriebsmittel termin- und bedarfsgerecht zur Verfügung stehen und einwandfrei funktionieren. Hier werden Wartungspläne und Reparaturanweisungen für Maschinen, Anlagen, aber auch für Werkzeuge hinterlegt. Dadurch, dass der Einsatz der

Betriebsmittel im System erfasst wird, können Daten hinsichtlich Wartungsbedarf ausgewertet werden.

2.1.4 Materialmanagement

Auch Material muss termin- und bedarfsgerecht bereitgestellt und abgeholt werden, dafür ist das Materialmanagement zuständig. Zudem werden hier Work-in-Progress-Bestände geführt und verwaltet, dabei handelt es sich um alle Materialien, die sich gerade in keinem Endlager befinden und in der Produktion im Umlauf sind. Logistische Aufgaben werden erledigt, sowie Chargen verwaltet.

2.1.5 Personalmanagement

Das richtige Personal muss termingerecht eingesetzt werden. Die hierfür notwendige Kapazitätsplanung wird vom Personalmanagement übernommen. Es sind Personal- sowie Kapazitätsdaten hinterlegt, daraus können Schichtpläne erstellt und somit Personal zugewiesen werden.

Durch das Hinterlegen von Zertifikaten kann dem Personal die Qualifikation für das Bedienen von Ressourcen oder das Ausführen von Aktivitäten erteilt werden.

Um das Ganze zu überwachen, werden Personalzeitkonten geführt. Der Personalbedarf ergibt sich aus der zuvor durchgeführten Feinplanung.

2.1.6 Datenerfassung und -verarbeitung

Daten jeglicher Art können auf verschiedene Weise erfasst werden. Ob manuell, halbautomatisch (z.B. durch Scanner) oder automatisch; die Datenerfassung stellt eine wichtige Komponente dar zur Rückverfolgbarkeit, Überwachung und Rückmeldung, z.B. des Produktionsfortschritts, an das ERP-System. Die Verarbeitung der Daten ist besonders wichtig, um die Masse an Daten auf ein Optimum zu minimieren.

Zum einen können Personalzeiten erfasst, das typische Clock in/Clock out kann durchgeführt werden, aber auch Pausen, Anmeldung am Arbeitsplatz oder Auftrag. Diese Daten werden wiederum im Personalmanagement weiterverarbeitet. Außerdem ist es wichtig, Maschinendaten zu erfassen, um Daten zu z.B. Störungen, Einschalt- und Nutzungsdauer zurückzumelden. Des Weiteren werden Auftrags- und Materialdaten erfasst.

2.1.7 Leistungsanalyse

Die richtige Verarbeitung der gesammelten Daten führt zu einer Leistungsanalyse, die auch auf lange Sicht betrachtet eine Beurteilung des Gesamtprozesses ermöglicht. Somit können Verbesserungs- und Optimierungspotenziale festgestellt und in die Tat umgesetzt werden. Der klassische Soll-/Ist-Vergleich liefert direkte Aussagen zur Performance, verschiedene Key Performance Indicators (KPIs) können bestimmt und ausgewertet werden.

2.1.8 Qualitätsmanagement

Qualitätsmanagement wird sowohl für das Produkt als für den Prozess betrieben. Hierbei kann das MES durch Qualitätsplanung und Prüfmittelmanagement unterstützen. Die Qualitätsdaten sind im System hinterlegt und können an der richtigen Stelle abgerufen werden bzw. Qualitätsprüfungen auslösen.

2.1.9 Informationsmanagement

In der Fertigung herrscht ein großer Informationsfluss, der ein Informationsmanagement nötig macht. Informationen müssen zur richtigen Zeit am richtigen Platz und in der richtigen Form bereitgestellt werden. Sie werden aus unterschiedlichen Quellen zusammengetragen und verwaltet. Die prozessrelevanten Daten müssen aufbereitet und verfügbar gemacht werden, um so eine schnelle Reaktionsfähigkeit, sowie die Rückverfolgbarkeit sicherzustellen.

2.1.10 Energiemanagement

Der produzierende Sektor macht in Österreich laut Auswertung des Klimaministeriums [9] 28% des energetischen Endverbrauchs aus. Energieeffiziente Produktion spielt somit eine immer größer werdende Rolle, Beispiel ist die 2022 ausgelöste Energiekrise und damit verbunden steigende Energiekosten. Auch andere Themen, wie der Einfluss auf den Klimawandel bzw. der CO₂-Fußabdruck, spielen hier mit rein. Daher dient das Energiemanagement der Erkennung von Optimierungspotentialen, indem aktuelle Daten zu Energiekennzahlen ausgewertet und sichtbar gemacht werden.

2.2 Cloud Computing

Allgemein bekannt ist das Speichern von Daten in der Cloud (deutsch: Wolke). Laut Ladwig [10] hat die Bezeichnung Cloud ihren Ursprung darin, „dass es für den Anwender gleichgültig und gewissermaßen ‚verschleiert‘ ist“, wo sich seine Daten befinden. Es ist hierbei auch die Rede von Cloud Computing. Daten müssen nicht mehr lokal abgelegt werden, sie befinden sich nach wie vor an einem festen Standort, dieser Standort ist aber nicht mehr von Bedeutung, da die Bereitstellung von Speicherplatz, Rechnerleistung sowie Software über das Internet funktioniert. Über Webbrowser oder Software kann aus der Ferne auf die Cloud zugegriffen werden (siehe Abbildung 4, Seite 9). Somit ist es nicht mehr von Nöten, eigene Serverräume und IT-Netzwerke zu pflegen, all dies kann in die Cloud ausgelagert werden, die Wartung wird von externen Firmen übernommen. Die Daten sind immer abrufbar, für den Nutzer ist nicht relevant, was im Hintergrund passiert und wie die Bereitstellung funktioniert. Dadurch ergibt sich meist auch ein anderes Preismodell, da es keine großen, einmaligen Anschaffungen mehr mit sich führt, sondern Pakete bzw. Abos abgeschlossen werden.

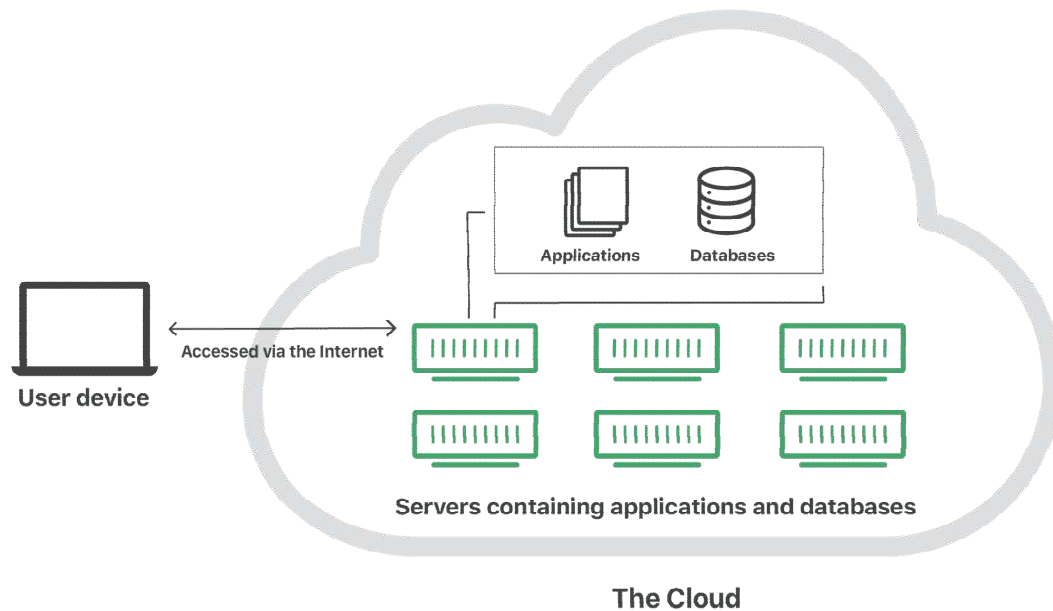


Abbildung 4: Die Cloud [11]

Laut einer Studie der Bitkom Research GmbH [12] empfinden 74% der befragten Unternehmen Cloud Computing als wichtige Technologie im Bereich der Digitalisierung. Das stimmt auch mit der Strategie von SAP überein, in Zukunft auf Cloud Computing im Produktionsbereich zu setzen und erklärt ebenso die Motivation für diese Arbeit.

Einer der großen Vorteile der Cloud ist der ständige Zugriff auf die Daten. Liegen die Daten in eigenen Rechenzentren und müssen diese z.B. gewartet werden, kommt es für diese Zeit zu einem Ausfall; durch Anmieten von Rechen- und Speicherkapazitäten wird auch die Wartung der IT-Architektur ausgelagert.

Hinzu kommt die Geschwindigkeit der Datenabfrage und -sicherung. Daten werden kontinuierlich in die Cloud geladen und können in Echtzeit abgerufen werden. Somit sind die Daten auch dann gesichert, sollte es zu einem Ausfall der Systeme kommen. Es lässt sich daher festhalten, dass sich durch das Cloud Computing für Produktionsunternehmen eine höhere Zuverlässigkeit der Datenbereitstellung und auch Sicherheit einstellt. Dem Ziel von höherer Produktivität und Leistung kann ebenso gerecht werden, da die durch Künstliche Intelligenz (KI) gestützte Auswertung in der Cloud viel schneller von statten geht und somit Optimierungspotenzial zur Gänze ausgeschöpft und bei Problemen schneller eingegriffen werden kann.

Eine weitere wichtige Rolle spielt der Kostenfaktor. Während für den Betrieb lokaler Rechenzentren und einer eigenen IT-Abteilung hohe Investitionskosten anfallen, bringt das Cloud Computing den Vorteil, dass diese Kosten wegfallen und stattdessen nur für das, was tatsächlich genutzt wird, gezahlt wird (Pay as you go). Investitionen, wie in Hardware und Software, die weiterhin getätigt werden müssen, belaufen sich vergleichsweise auf ein Minimum. Zudem bietet die Nutzung der Cloud den Unternehmen eine globale und flexible

Skalierung. Wird einmal weniger Speicherkapazität oder Rechenleistung benötigt, kann dieses durch das Pay as you go Modell einfach angepasst werden. Auch andere Umstände (Pandemie, Homeoffice, Krankheit) erhöhen die Relevanz des Datenzugriffs unabhängig vom Arbeitsplatz. Dies war zuvor möglich durch Einrichten einer Verbindung zum VPN-Server, das sichere, ortsunabhängige Einwählen in das Firmennetzwerk. Mit der Cloud können die Daten aber einfach über das Internet abgerufen werden und das jederzeit, auch durch Wartung kommt es somit zu keinen Systemausfällen mehr.

Laut Microsoft [13] steht zum einen Datenschutz an erster Stelle, zum anderen wird laufend in die Sicherheitsforschung und -entwicklung investiert. Generell ist davon auszugehen, dass eine Cloudlösung besser vor Cyberkriminalität schützt.

Eine schnelle und vor allem stabile Internetverbindung ist jedoch unabdingbar, sonst kann es hier zu ständigen Ausfällen kommen. Dann wäre der Einsatz eines Edge Devices (SAP Digital Manufacturing for edge computing) nötig, dadurch kann das System laut SAP [14] Daten auch während eines Internetausfalls am ‚Rande‘ speichern und bei Wiederherstellung der Verbindung nachträglich ohne Konflikte synchronisieren.

Der Name ‚On-Premises‘ hat sich erst mit Einzug von Software as a Service (SaaS) etabliert, um dem traditionellen IT-System, bei dem das Unternehmen alle IT-Ebenen selbst verwaltet, einen Namen zu geben. Bei SaaS handelt es sich genau um das Gegenteil, die Verwaltung aller IT-Ebenen, von Netzwerk über Rechenzentren bis zur Software, wird ausgelagert, dies ist in Abbildung 5 genauer ersichtlich. Letztere zeigt außerdem den Servicegrad der anderen Service-Modelle Platform as a Service (PaaS) und Infrastructure as a Service (IaaS).

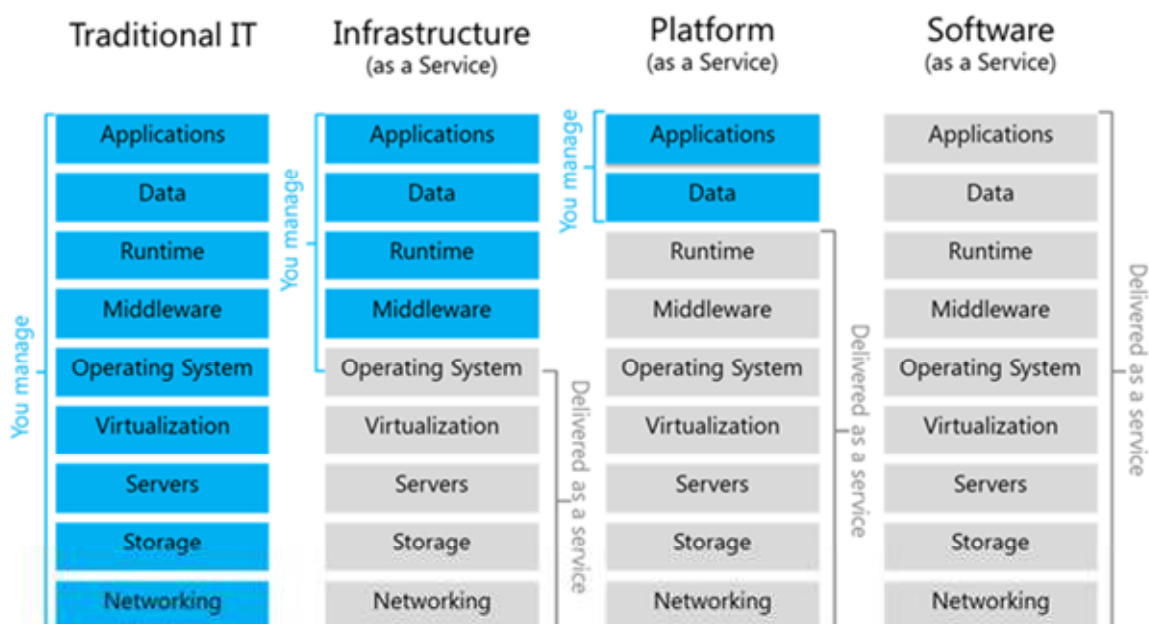


Abbildung 5: Cloud Service Models [15]

3 Die SAP Digital Manufacturing Landschaft

Die SAP SE ist ein global agierendes Unternehmen, mit Ursprung und Sitz in Deutschland. SAP konzentriert sich auf die Entwicklung von Software zur Abwicklung von Geschäftsprozessen. Hierzu gehören Systeme, die auf Unternehmens-, Produktionsleit- und Maschinenebene agieren.

Die Vielfalt der SAP-Welt wird durch Abbildung 6 auf einen Blick recht deutlich und auch wie diese Softwarekomponenten miteinander interagieren. In diesem Kapitel wird ein kurzer Überblick geschaffen, damit so die in Kapitel 5 implementierte Cloud-Lösung, symbolisiert durch die graue Wolke, besser in die SAP-Welt eingeordnet werden kann.

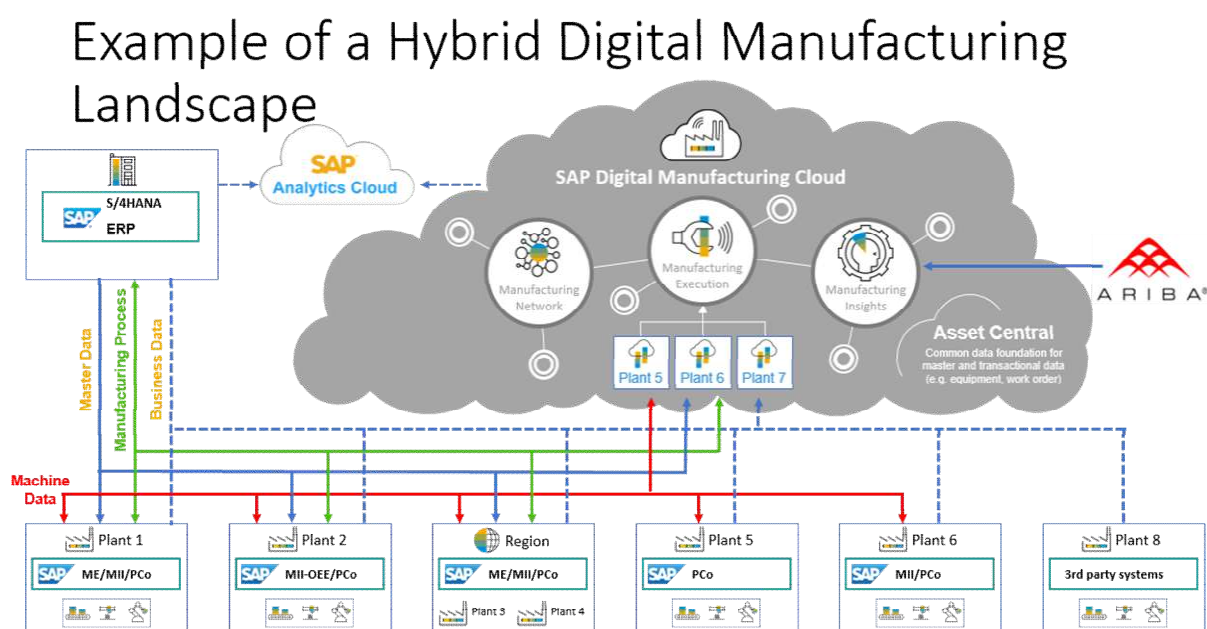


Abbildung 6: Beispiel einer hybriden digitalen Produktions-Landschaft in SAP [16]

3.1 SAP-Software-Angebot

Auf der einen Seite bietet SAP die klassischen Software-Lizenz-Modelle, also On-Premises-Software an. Einfach gesprochen umfasst es jene Software, die nicht über die Cloud zur Verfügung gestellt wird und bedarf somit einer traditionellen IT-Landschaft im eigenen Unternehmen, vgl. Abbildung 5 auf Seite 10. Für jede Ebene, die zuvor in Kapitel 2.1 vorgestellt wurde, gibt es von Seiten der SAP ein Software-Angebot.

- SAP S/4HANA
 - SAP Extended Warehouse Management (SAP EWM)
- SAP Extended Production Engineering and Operations (SAP PEO)
- SAP Manufacturing Execution Suite mit
 - SAP Manufacturing Execution (SAP ME) und
 - SAP Manufacturing Integration and Intelligence (SAP MII)

- SAP Plant Connectivity (SAP PCo)

Auf der anderen Seite bietet SAP die Cloud-Anwendungen an, für die die IT ausgelagert wird und nur mehr ein Endgerät zur Ausführung benötigt wird.

- SAP S/4HANA Cloud
- SAP Digital Manufacturing Cloud (SAP DMC)
- SAP Analytics Cloud (SAC)

Während in Abbildung 7 eine klassische vertikale Integration der On-Premises-Modelle zu sehen ist, zeigt Abbildung 6 (Seite 11) die hybride Landschaft von heute bzw. der Zukunft.

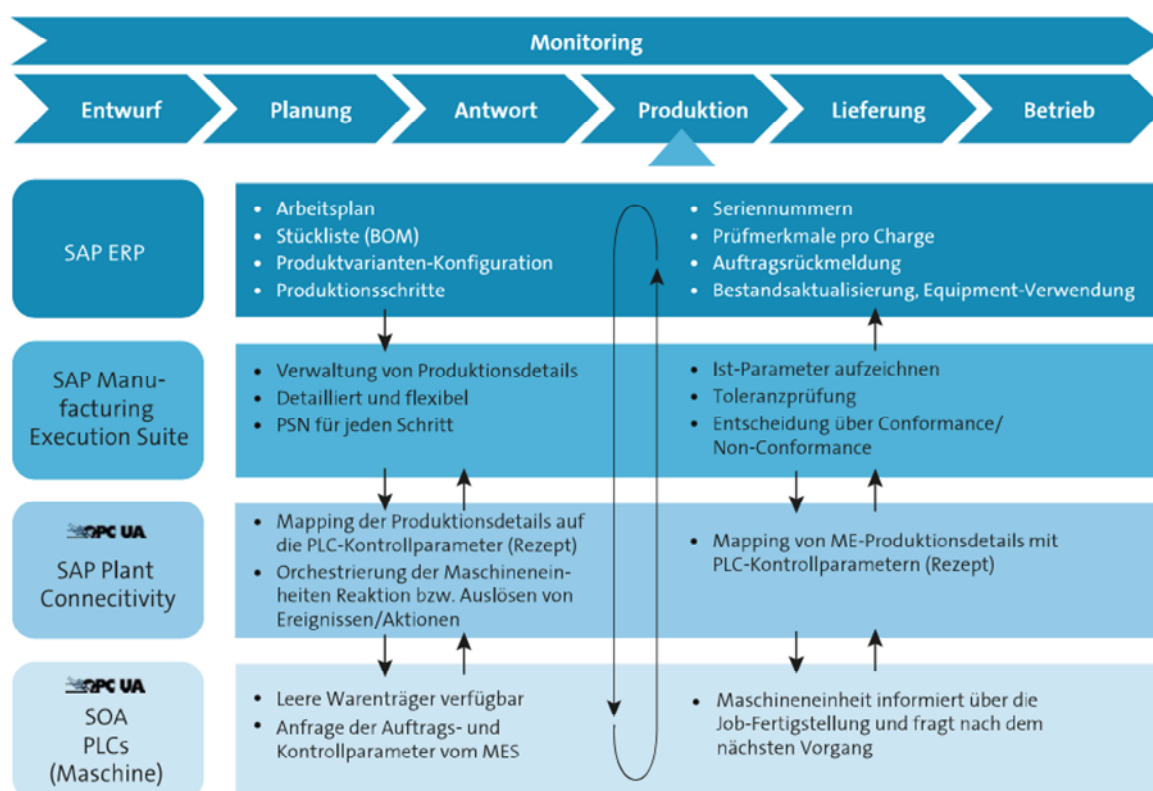


Abbildung 7: vertikale Integration [17, S. 137]

3.1.1 SAP S/4HANA

In Kapitel 2.1 wurden bereits die verschiedenen Ebenen vorgestellt. Auf Unternehmensleitebene ist von Seiten der SAP teilweise noch das ECC und meist das neuere S/4HANA System im Einsatz. Letzteres bietet die von SAP entwickelte Datenbank-Technologie HANA. Abbildung 8 (Seite 13) zeigt die verschiedenen Module/Bereiche der S/4HANA Software laut SAP-Guide [18]. Hier kam es in den letzten Jahren zu leichten Umstrukturierungen. Das Modul ‚Sourcing and Procurement‘ umfasst die bekannten Funktionen der Materialwirtschaft und des Einkaufs. Anlagenbuchhaltung, Finanzbuchhaltung und Kostenrechnung sind in dem Finance-Modul enthalten.

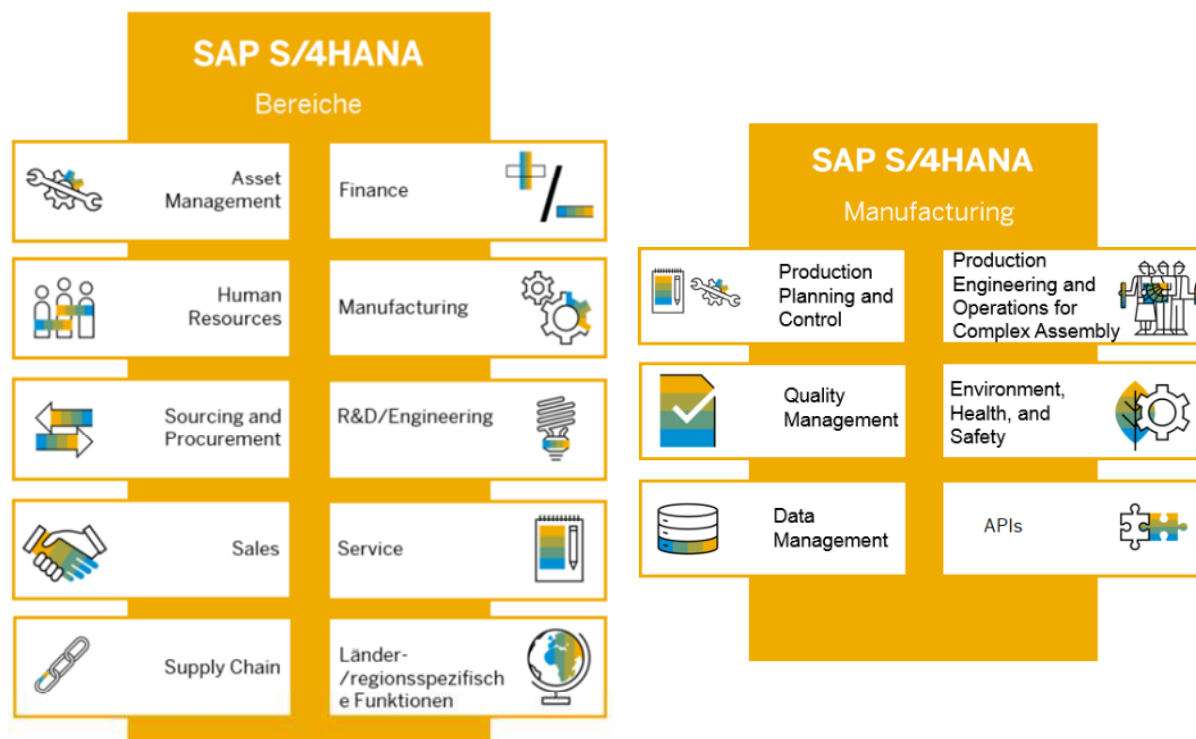


Abbildung 8: S/4HANA Bereiche und Detailansicht des Bereichs Manufacturing [18]

Die für diese Arbeit relevanten SAP-Module sind

- Material Management (MM) → Teil von Sourcing and Procurement,
- Produktionsplanung (PP) → Teil von Manufacturing,
- Qualitätsmanagement (QM) → Teil von Manufacturing,
- Extended Warehouse Management (EWM) → Teil von Supply Chain.

MM wird für das Anlegen und Bearbeiten der Material-Stammdaten gebraucht, mit PP werden Arbeitspläne angelegt und Fertigungsaufträge angelegt, grob eingeplant und freigegeben, sowie an das MES distribuiert. Mit QM können Prüfmerkmale auf Vorgangsebene definiert werden. EWM dient zur effizienten Lagerverwaltung und Überwachung der Warenbewegungen.

3.1.2 SAP S/4HANA Cloud

Auf Basis von S/4HANA wird das ERP-System von SAP als SaaS angeboten, wartet laut der Firma SERKEM [19] allerdings nicht mit all seinen Funktionen aus der On-Premises-Version auf. Auch Eigenentwicklungen, die in S/4HANA On-Premises als Add-Ons integriert wurden nicht ohne Weiteres übernommen werden. Dies ist individuell zu prüfen.

3.1.3 SAP Manufacturing Execution Suite

SAP ME ist das geläufige On-Premises MES von SAP, welches bereits mehrere Jahrzehnte vielerorts im Einsatz ist. Es erfüllt die meisten Aufgaben eines MES nach VDI5600, lediglich die Fertigungsfeinplanung ist hier nicht enthalten.

Mit SAP MII erfolgt die vertikale Integration (siehe Abbildung 9) zum ERP-System sowie zur Maschinenebene. Es werden Daten ausgetauscht und übersetzt (Integration), aber es können auch Daten aufbereitet und Logiken hinterlegt werden (Intelligence). [20] SAP NetWeaver dient als Anwendungsplattform, über die SAP MII und SAP ME laufen, sowie als Entwicklungsumgebung für Erweiterungen.

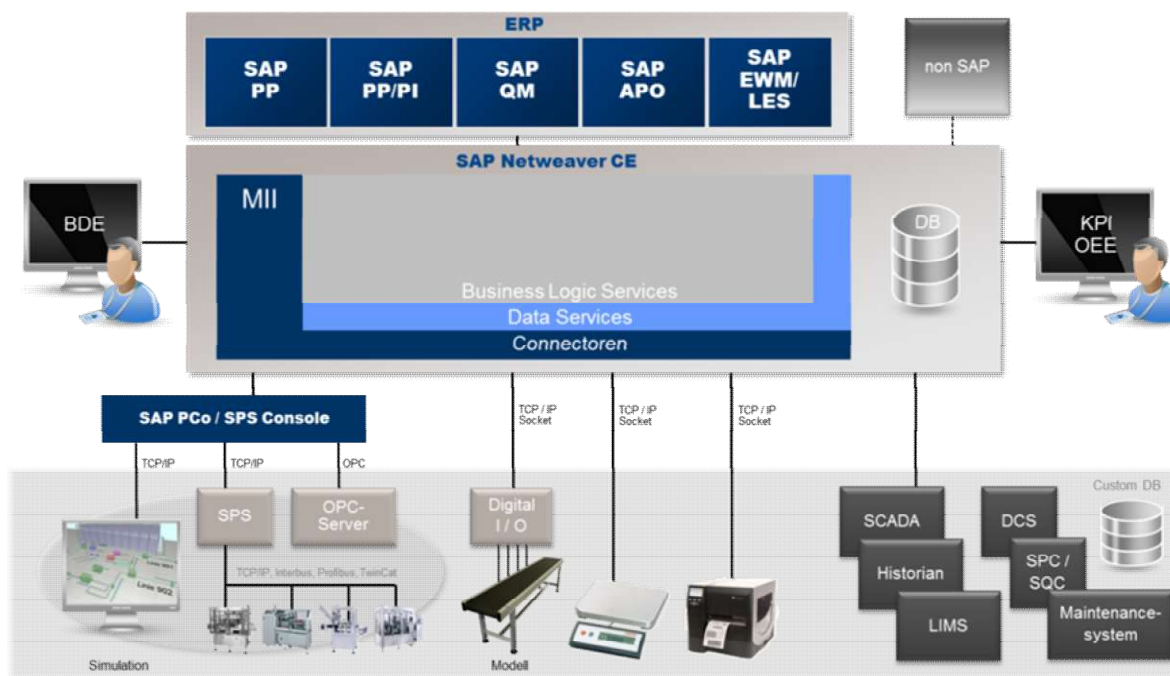


Abbildung 9: vertikale Integration mit SAP MII [20]

3.1.4 SAP Digital Manufacturing Cloud

SAP DMC (im Zuge dieser Arbeit nunmehr mit DMC abgekürzt) handelt es sich um eine SaaS, deren Implementierung und Evaluierung im Fokus dieser Arbeit steht.

Zusätzlich zu den bekannten Manufacturing Execution (DMC for execution, kurz DMCE) Funktionen, bietet es mit DMC Resource Orchestration (DMC REO, ab hier REO) ein Feinplanungstool, im ‚Shopfloor Designer‘ lassen sich zu den angebotenen Maschinen automatisierte ‚Produktionsprozesse‘ (immer in einfachen Anführungszeichen zur Unterscheidung vom Produktionsprozess in der Pilotfabrik) definieren und mit DMC insights (DMCi, ab hier insights) enthält es ein umfassendes Datenanalyse-Tool.

Die DMC kann vertikal mit S/4HANA On-Premises bzw. Cloud integriert werden. Auch auf Produktionsleitebene gibt es unterschiedliche Integrationsszenarien. DMC kann entweder als vollständiges MES oder angebunden an SAP ME als Erweiterung um REO und insights verwendet werden.

Als Anwendungsplattform dient in der SAP Cloud-Welt die SAP Business Technology Platform (SAP BTP oder nur BTP). Über diese können verschiedene Systeme und Erweiterungen angebunden, Zusatzservices eingekauft sowie eigene Software-Lösungen

integriert bzw. Erweiterungen selbst entwickelt werden. Die vertikale Integration erfolgt über die SAP Cloud Platform Integration (SAP CPI oder nur CPI). Bei Anbindung der Cloud-Lösung an ein On-Premises-System ist die Installation des Cloud Connectors (CC) im eigenen Netzwerk notwendig, dieser dient als Reverse Proxy (= Sicherheitsschranke bei Zugriff aus dem Internet auf das lokale Netzwerk).

Die Implementierung in der Pilotfabrik erfolgt als eigenständiges MES über eine Anbindung an das dortig vorhandene S/4HANA On-Premises-System. Auf die übrigen Integrationsszenarien wird in dieser Arbeit nicht eingegangen.

3.1.5 SAP Extended Production Engineering and Operations

Mit SAP PEO wird ein reduziertes MES in das ERP-System, als Erweiterung zu dem PP-Modul, integriert. Somit dient es nicht als vollständiges MES, schafft aber die Möglichkeit bereits in ERP auch auf Werker-Ebene zu arbeiten, Abbildung 10 zeigt einen beispielhaften Prozess in SAP PEO.

- Anlegen bzw. Generieren einer Stückliste und einer Arbeitsanweisung.
- Arbeit kann an Werker zugewiesen werden und durchgeführt werden.

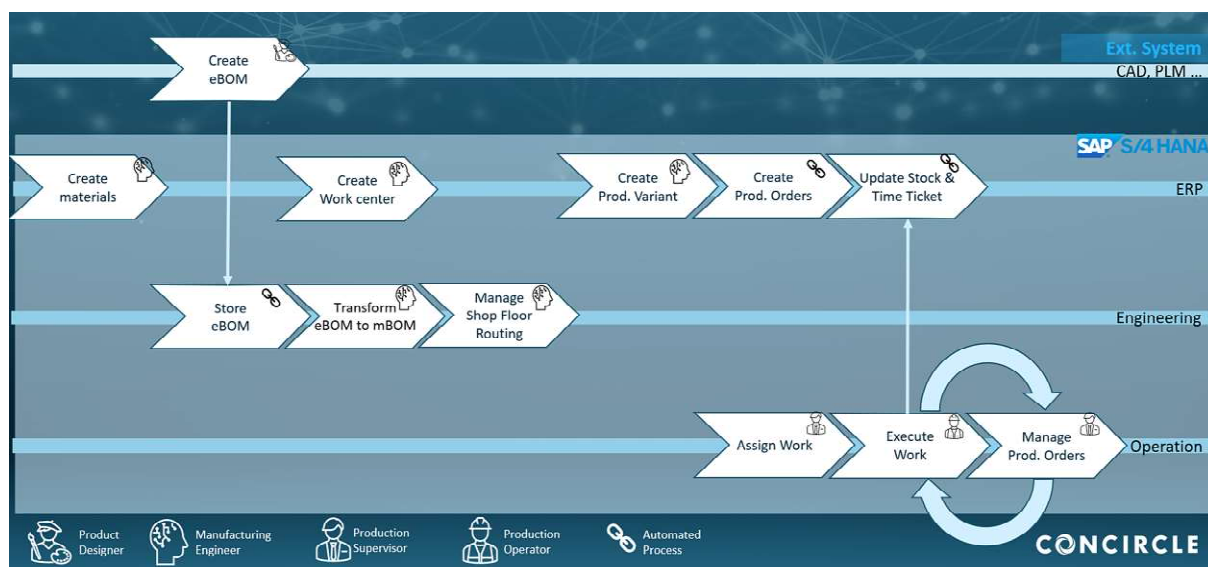


Abbildung 10: SAP PEO Prozessdiagramm [21]

3.1.6 SAP Plant Connectivity

SAP PCo (oder nur PCo) dient als Schnittstelle zwischen Maschinenebene und Prozessebene, es verbindet also z.B. SAP ME mit den Maschinen, und kann Daten und Befehle in beide Richtungen austauschen und übersetzen. PCo ermöglicht somit die Kommunikation mit standardisierten Softwareschnittstellen wie OPC UA oder MQTT. Zusätzlich kann auch ein ERP-System angebunden werden. PCo wird im lokalen Netzwerk implementiert, die unmittelbare Prozessnähe ist hier unabdingbar.

3.1.7 SAP Analytics Cloud

Bei SAC handelt es sich um ein Analyse-Tool, mit dem Daten aus allen SAP-Anwendungen zusammengetragen, rasch ausgewertet und präsentiert werden können.

3.2 SAP-spezifische Begrifflichkeiten

Da bei der Nutzung von SAP-Software bestimmte Begriffe immer wieder auftauchen, wird in diesem Kapitel kurz auf diese eingegangen.

Remote Function Call (RFC): zum einen eine Standardschnittstelle zur Kommunikation zwischen zwei SAP-Systemen, sowie einem SAP-System und einem Drittsystem; zum anderen bedeutet es den Aufruf einer Funktion aus der Ferne [22]

Business Application Programming Interface (BAPI): Methode, um Daten aus bestimmten Objekttyp abzufragen, wird synchron über RFC-Verbindung aufgerufen und hat Rückmeldung von Information zur Folge → Read, Create and Change. Beispiel: Business Objekttyp = Stückliste, BAPI = GetList () [23]

Intermediate Document (IDoc): Datenformat für den Import in das SAP-ERP-System, sowie den Export aus dem SAP-ERP-System, verschiedene IDoc-Typen haben unterschiedliche Strukturen, Tabelle 1 zeigt die für dieses Projekt relevanten.

Tabelle 1: Übersicht über verschiedene IDocs [16]

IDoc-Typ	Stammdaten-Typ
MATMAS	Material
BOMMAS	Stückliste
LOIWCS	Arbeitsplatz
LOIROU	Routing
LOIPRO	Produktions-Auftrag

Application Link Enabling (ALE): asynchrone Datenübertragung (z.B. mit IDocs) innerhalb des Unternehmens zwischen physisch getrennten SAP-Systemen oder auch zu einem Drittsystem [22]

Electronic Data Interchange (EDI): Datenübertragung außerhalb des Unternehmens [22], Abbildung 11 auf Seite 17 verdeutlicht den Unterschied zwischen ALE und EDI.

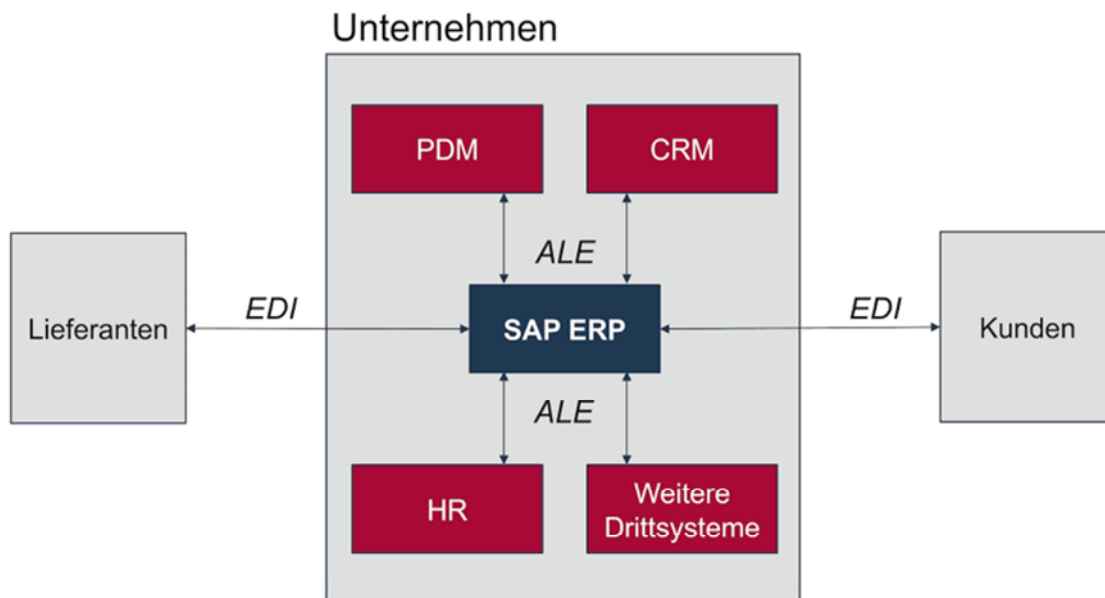


Abbildung 11: Unterschied ALE zu EDI [22]

4 Showcases in der TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0

Als geförderte Forschungseinrichtung der TU Wien konzentriert sich die TU Wien Pilotfabrik auf alles, was mit einer digitalen Produktion zu tun hat. Sie bietet Raum dafür, neueste Technologien mit Fokus auf Industrie 4.0 zu testen und weiterzuentwickeln.

4.1 Überblick

Abbildung 12 zeigt einen Überblick über die IT-Landschaft mit den bisher implementierten Features und gelb hervorgehoben die Wolke mit der SAP Digital Manufacturing Cloud, die im nächsten Schritt implementiert wird.

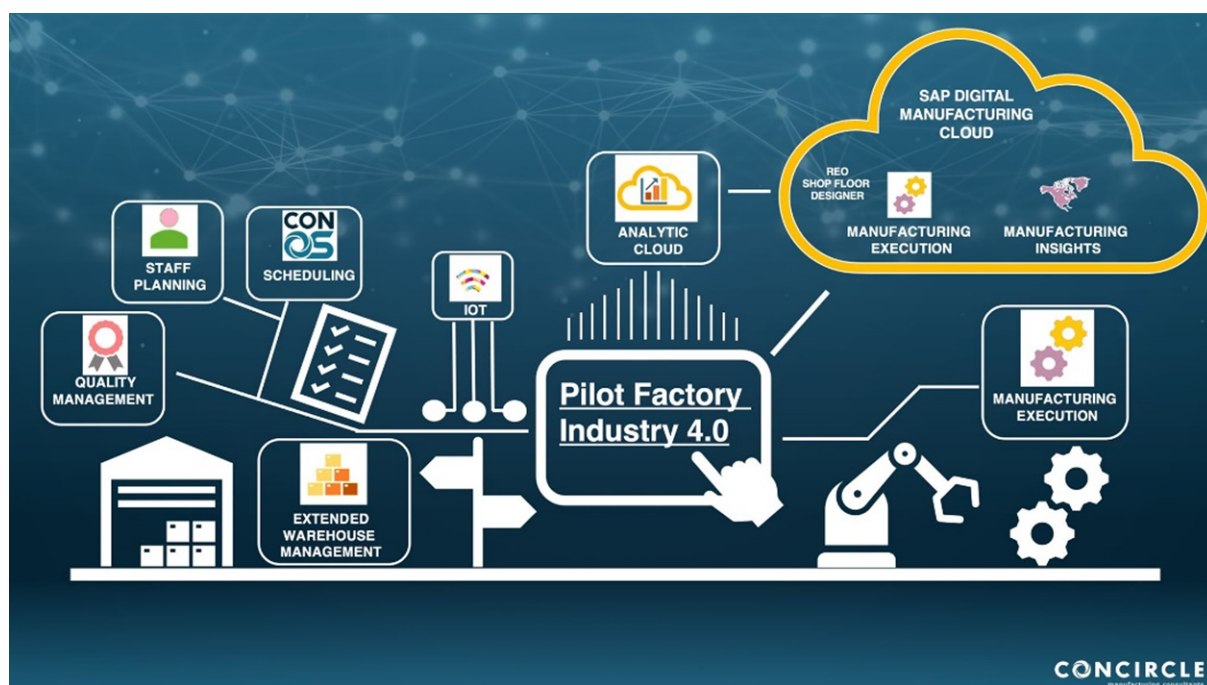


Abbildung 12: IT-Features in der Pilotfabrik [21]

Derzeit sind in der Pilotfabrik zwei Prozesse als MES-Showcases installiert, zum einen der Produktionsprozess der Münze ‚ConCoin‘ (siehe Abbildung 13, Seite 19) und außerdem der Montageprozess des ‚3D-Druckers‘ (siehe Abbildung 14). Als ERP-System kommt S/4HANA (ab hier auch mit S4 abgekürzt) zum Einsatz, zur Produktionssteuerung ist derzeit das On-Premises-System SAP ME implementiert. Beide Produkte lassen sich in einem Webshop bestellen, wodurch ein Fertigungsauftrag in S4 generiert und automatisch an SAP ME geschickt wird. Die Produktion wird hier bis zur Fertigstellung gesteuert und an S4 rückgemeldet. Somit handelt es sich bei beiden um klassische End-to-End-Prozesse.

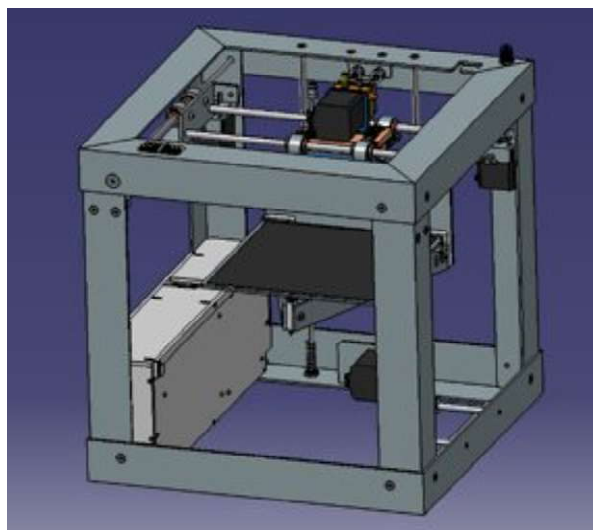
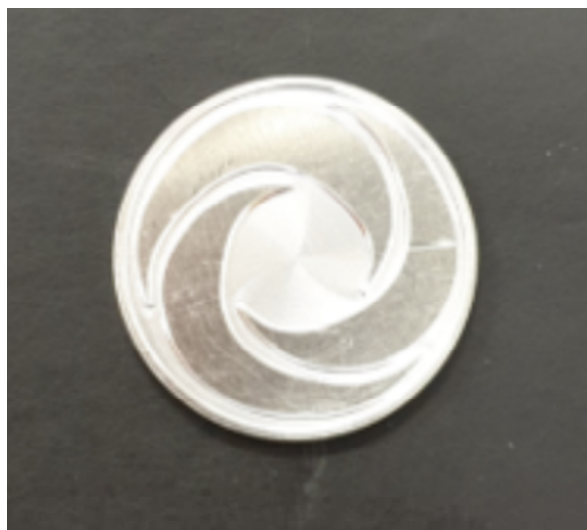


Abbildung 13: Produktfoto ConCoin [21] Abbildung 14: Produktfoto '3D-Drucker' [21]

Das Konzept für die Implementierung der DMC leitet sich aus jenem von SAP ME ab, da sich die Systeme ähnlich sind. Sich ergebende Unterschiede werden durch dieses Projekt ausgearbeitet und im Zuge der Auswertung in Kapitel 7 vorgestellt.

Die grobe Vorarbeit für dieses Projekt wurde zuvor geleistet, da die Prozesse bereits für die Digitalisierung ausgelegt und die Stammdaten im S4-System gepflegt wurden. Auch existiert bereits eine standardisierte Maschinenebene, sodass im Fokus der Implementierung das Einrichten der Schnittstellen sowie die Konfiguration des neuen MES stehen.

Die vorhandenen Prozesse, sowie ihre derzeitige spezifische Implementierung vor Ort werden im Folgenden kurz vorgestellt, um eine Basis für den späteren Vergleich der beiden Systeme zu schaffen.

Auf beiden Linien kommen sowohl Roboter bzw. kollaborative Roboter, englisch Collaborative Robots (Cobots), sowie fahrerlose Transportsysteme, englisch Automated Guided Vehicle (AGV), zum Einsatz.

Im Fertigungsprozess bekommt eine Instanz des zu fertigenden Materials eine eigene ID mit der Bezeichnung Produktionssteuerungsnummern (PSN), englisch Shop Floor Control (SFC) Number. Die PSN-Menge richtet sich nach der Losgröße. Ein Auftrag kann in eine oder mehr PSN aufgeteilt werden, eine PSN gehört allerdings immer nur zu einem Auftrag.

Damit eine solche Instanz während des Prozesses identifiziert werden kann, wird sie im System zu Beginn einer Palette zugeordnet. Die Palette entspricht einer auf dem AGV fix montierten Vorrichtung, auf der das zu fertigende Werkstück eingespannt wird. Dieser Vorgang nennt sich Palettierung.

Allgemeine Konfigurationen in SAP ME für beide Prozesse:

- Stammdaten-Integration aus S4 (Material, Arbeitsplätze, Arbeitspläne)
- Transfer von Produktionsaufträgen aus S4
- Abweichungsprotokollierung (Nacharbeit, Ausschuss)
- Digitale Werkerführung mit Hilfe des Production Operator Dashboards (POD)
 - Montagefunktion zur Rückverfolgbarkeit der montierten Materialien
 - POD-Erweiterung ‚Work Instruction View Plugin‘ zur Darstellung von Arbeitsanweisungen speziell im URL-/Video-Format
- (Teil-)Rückmeldungen an S4 über Gutmenge, Ausschuss, Auftragsabschluss
- Palettierung: PSN auf Palette anbringen (Befehl ‚Load Pallet‘) bzw. von der Palette entladen (Befehl ‚Unload Pallet‘) → mit ‚Behälter pflegen (Ein-/Auspacken)‘
- Maschinenintegration (über Webservices, keine PCo-Anbindung)
 - AGV-Steuerung (Befehl ‚Call AGV/Send AGV‘)

4.2 Showcase Produktion ‚CONCOIN‘

Als Showcase für den Produktionsprozess wird das Endprodukt ‚ConCoin‘ gefertigt. Dabei handelt es sich um eine Münze, die laut Arbeitsplan drei Arbeitsschritte an drei verschiedenen Arbeitsplätzen (siehe Abbildung 15) durchläuft. Bei der Kommissionier-Station wird ein Rohling auf einer Palette angebracht, die auf dem AGV befestigt ist (Vorgang 1). Außerdem wird hier die Verfügbarkeit der CNC-Fräse (Computerized Numerical Control) und der Werkzeuge geprüft. Per AGV gelangt die Münze zum Fräszentrum, wo diese bearbeitet wird (Vorgang 2) und anschließend automatisch zur Qualitätskontrolle weitertransportiert wird (Vorgang 3).

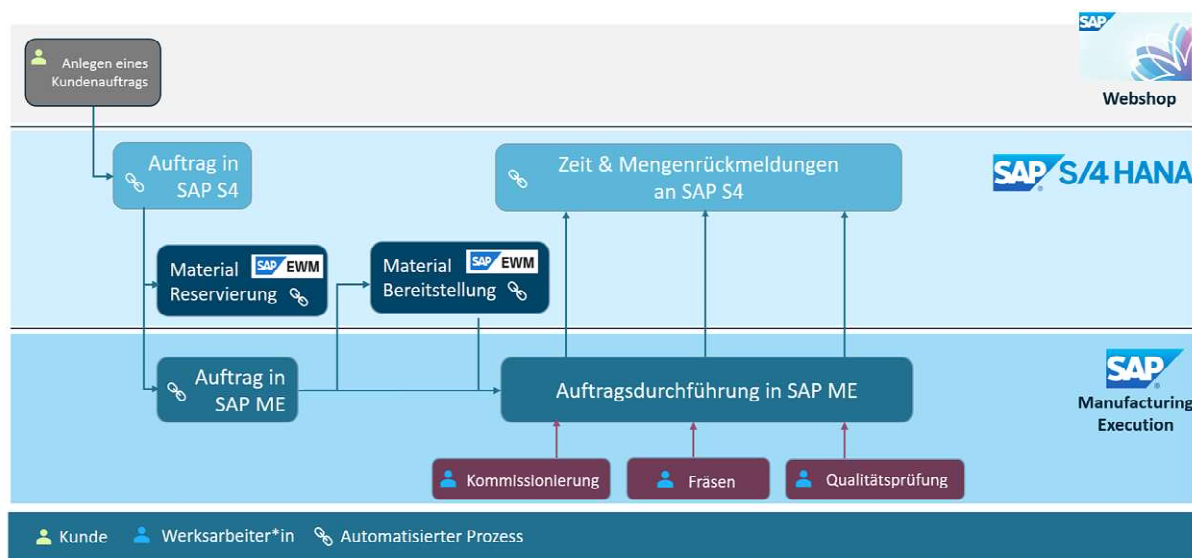


Abbildung 15: Prozessdiagramm Showcase Produktion [21]

Maschinen und Anlagen:

- AGV
- Voreinstellgerät inkl. Software
- (Industrie)Roboter
- CNC-Fräse (Zelle)
- Sicherheitskameras

Derzeitige Konfiguration in SAP ME spezifisch für den Produktionsprozess:

- Qualitätskontrolle durch Integration der Prüfmerkmale aus S4, sowie Rückmeldung der Ergebnisse an S4
- Maschinenintegration (über Webservices, keine PCo-Anbindung)
 - Prüfen der Werkzeugverfügbarkeit über Voreinstellgerät (Tool Availability)

Sobald das AGV bei der Kommissionierstation losfährt, wird der gesamte Fertigungsprozess im Hintergrund von der externen Produktions-Steuerungssoftware ‚Centurio‘ gesteuert (siehe Abbildung 16). Das AGV fährt Richtung Zelle; sobald diese bereit zur Fertigung ist, hebt der Industrieroboter die Palette mit dem Rohteil vom AGV und platziert sie in der Zelle. Diese lädt das in der Software hinterlegte CNC-Programm, welches mit Schließen der Türen startet. Nach Abschluss des Fertigungsvorgangs wird die Palette mit dem fertigen Teil wieder vom Roboter auf dem AGV platziert und dieses weiter zur Qualitätskontrolle geschickt., hier erfolgt nun eine Rückmeldung an SAP ME. Die Sicherheitskameras dienen zur Überwachung von AGV und Industrie-Roboter, welche bei Überschreiten gewisser Grenzen durch Werker*innen zur Verlangsamung oder Stopp der Bewegung führen. Abbildung 17 auf Seite 22 veranschaulicht den gesamten Prozess.

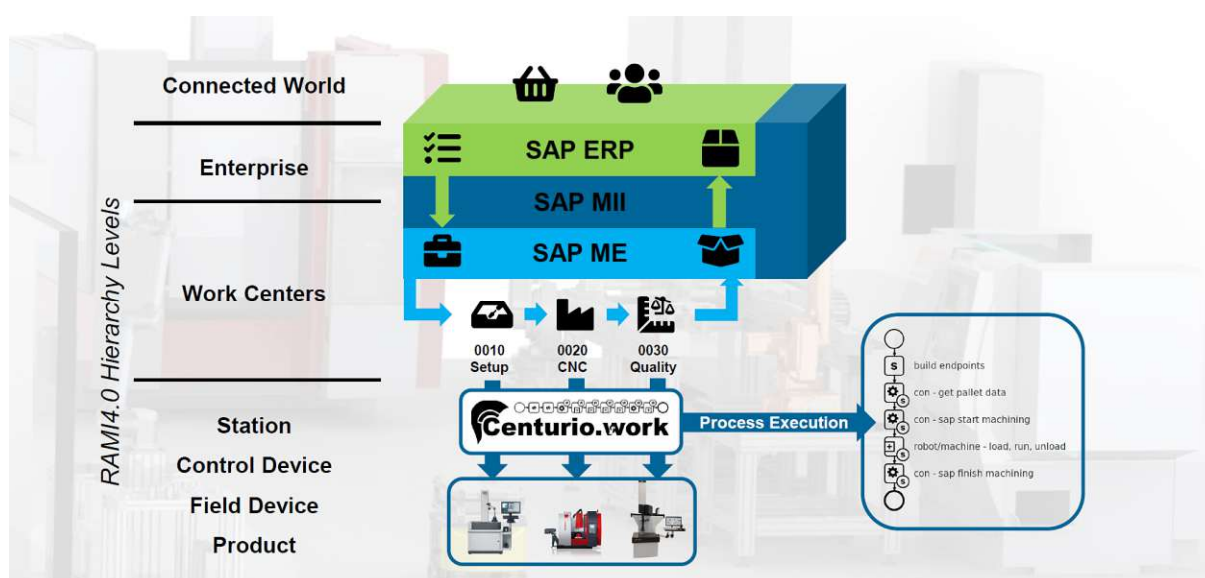


Abbildung 16: vertikale Integration des Produktionsprozesses in der TU Wien Pilotfabrik [24]

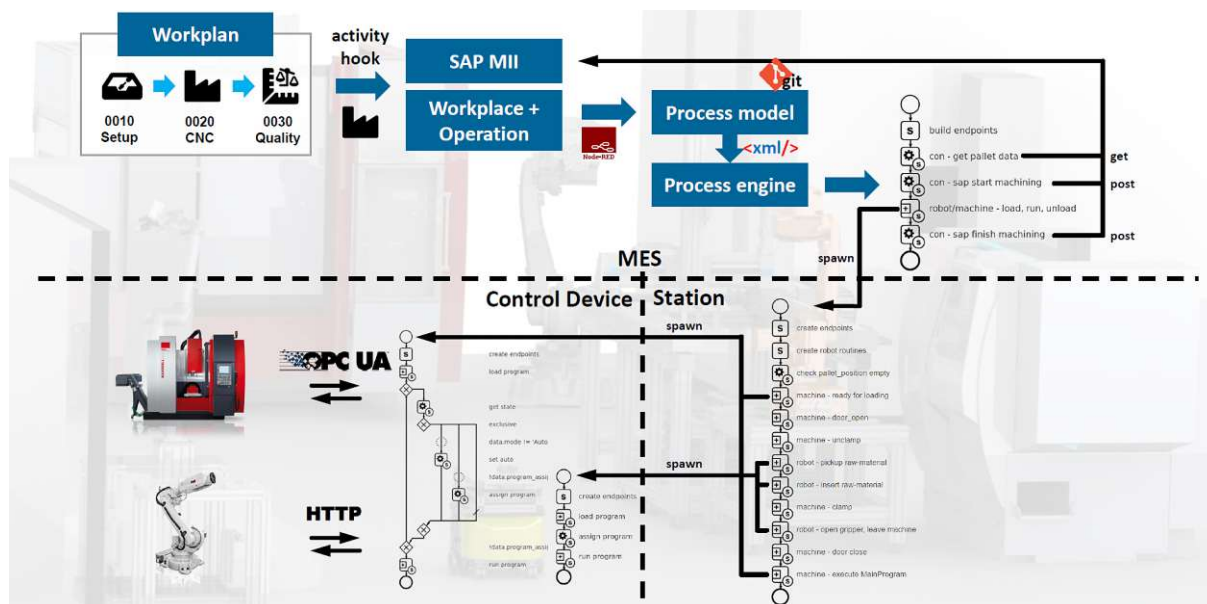


Abbildung 17: Maschinenebene des Produktionsprozesses in der TU Wien Pilotfabrik [24]

4.3 Showcase Montage ‚3D-DRUCKER‘

Als Showcase für den Montageprozess wird das Endprodukt ‚3D-Drucker‘ gefertigt. Das Prozessdiagramm in Abbildung 18 veranschaulicht die durchlaufenen Prozessschritte auf den einzelnen Leitebenen.

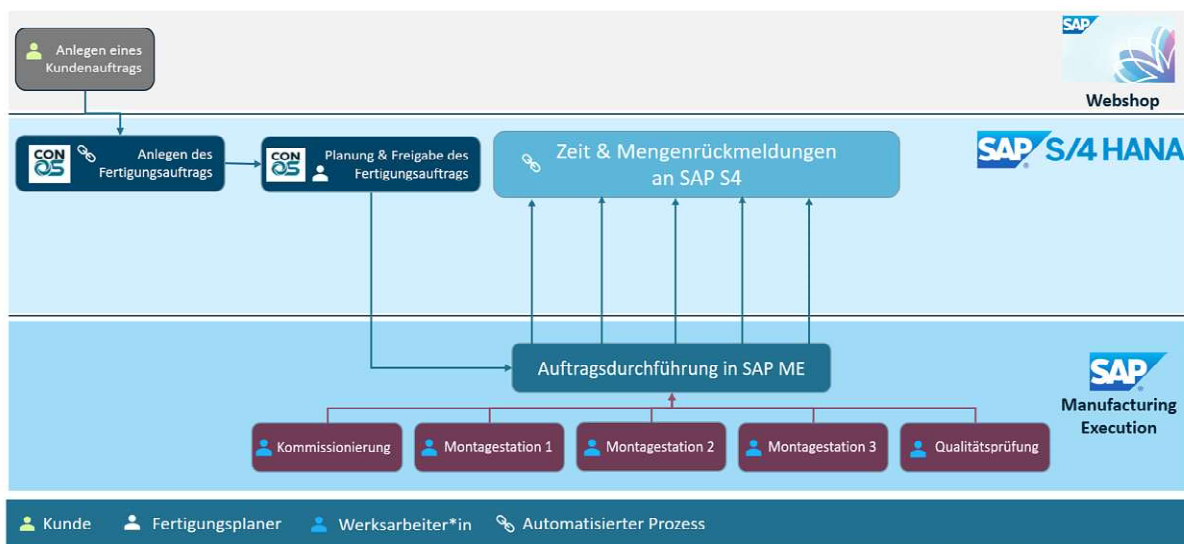


Abbildung 18: Prozessdiagramm Showcase Montage [21]

Gestartet wird der Prozess durch eine Bestellung des Produkts (Anlegen eines Kundenauftrags) im Concircle Webshop, dadurch wird automatisch ein Fertigungsauftrag in S4 angelegt und freigegeben. Der Auftrag wird an das von Concircle entwickelte Planungstool und S4-Add-On conOperationScheduling (conOS) weitergeleitet, dort auf Ressourcenebene eingeplant und schließlich an SAP ME distribuiert. Nun beginnt die Auftragsdurchführung auf Fertigungsleitebene. Die Produktion erstreckt sich über die fünf Arbeitsplätze

Kommissionierung, Montagestationen 1-3 und Qualitätskontrolle. Das Concircle eigene Planungstool conOS wird später in die Evaluierung des SAP-Planungstool REO mit einbezogen und daraus ebenfalls ein Vergleich gezogen.

Maschine und Anlagen:

- AGV
- Cobot
- Sicherheitskameras

Derzeitige Konfiguration SAP ME für den Montageprozess

- POD-Erweiterung ‚Kommissionierliste‘ als Checkliste für die Kommissionierung
- Maschinenintegration (über Webservices, keine PCo-Anbindung)
 - Cobot-Steuerung (Robot Trigger)
- Qualitätskontrolle durch Datenerfassung in ME

Die Arbeitsanweisungen wurden als Dateien in der MII-Datenbank gespeichert, in S4 wurden die URLs jeweils als Dokument angelegt und als Fertigungshilfsmittel (FHM) vom Typ Dokument (D) im Arbeitsplan dem jeweiligen Vorgang angehängt (siehe Abbildung 19).

Normalarbeitsplan Anzeigen: FHM Übersicht

Detail FHM

Vorgang: 0020 Montage Rahmenteile PIGrZähler: 3

Folge: 0

Fertigungshilfsmittel-Zuordnungen zum Vorgang

Pos.	A	FertHilfsmittel	Bezeichnung	Werk	FH...	La...	Menge	Ei...
0010	M	FHM_TU_INBUS_2MM		1220	1	<input type="checkbox"/>		1ST
0020	M	FHM_TU_INBUS_3MM		1220	1	<input type="checkbox"/>		1ST
0030	M	FHM_TU_INBUS_5MM		1220	1	<input type="checkbox"/>		1ST
0040	D	FHM_MS1_STEP01_0020_TEST DRF 000 00	Schritt 1 Foto Vorgang 0020_Test		1	<input type="checkbox"/>		1%
0050	D	FHM_MS1_STEP02_0020 DRF 000 01	Schritt 2 Foto Vorgang 0020		1	<input type="checkbox"/>		1%
0060	D	FHM_MS1_STEP03_0020 DRF 000 02	Schritt 3 Foto Vorgang 0020		1	<input type="checkbox"/>		1%
0070	D	FHM_MS1_STEP04.1_0020 DRF 000 01	Schritt 4.1 Foto Vorgang 0020		1	<input type="checkbox"/>		1%
0080	D	FHM_MS1_STEP04.2_0020 DRF 000 03	Schritt 4.2 Foto Vorgang 0020		1	<input type="checkbox"/>		1%
0090	D	FHM_MS1_STEP05_0020 DRF 000 01	Schritt 5 Foto Vorgang 0020		1	<input type="checkbox"/>		1%
0100	D	FHM_MS1_STEP06_0020 DRF 000 01	Schritt 6 Foto Vorgang 0020		1	<input type="checkbox"/>		1%
0110	D	FHM_MS1_STEP07_0020 DRF 000 01	Schritt 7 Foto Vorgang 0020		1	<input type="checkbox"/>		1%
0120	D	FHM_MS1_STEP08_0020 DRF 000 01	Schritt 8 Foto Vorgang 0020		1	<input type="checkbox"/>		1%
0130	D	FHM_MS1_STEP09_0020 DRF 000 01	Schritt 9 Foto Vorgang 0020		1	<input type="checkbox"/>		1%
0140	D	FHM_MS1_STEP10_0020 DRF 000 01	Schritt 10 Foto Vorgang 0020		1	<input type="checkbox"/>		1%
0150	D	FHM_MS4_STEP46_3D_0050 DRF 000 03	3D Model		1	<input type="checkbox"/>		1%

Abbildung 19: ERP – im Arbeitsplan angehängte FHMs [25]

5 Implementierung der SAP Digital Manufacturing Cloud in der Pilotfabrik

Bei der DMC handelt es sich um eine wenig bekannte, am Markt recht neue Software-Lösung, die sich bisher nur geringfügig im kommerziellen Einsatz befindet. Um die nötige Expertise aufzubauen, startet Concircle hierzu das Implementierungs-Projekt in der Pilotfabrik.

Gestartet wird mit dem On-Boarding Prozess, der nach Erwerb der Lizenz durchgeführt wird, um die Online-Plattformen für die Organisation und das Projekt vorzubereiten, dieser wird in Kapitel 5.1 erläutert. Kapitel 5.2 zeigt einen ersten Einblick in die Benutzeroberfläche der neuen Software DMC. Um die vertikale Integration zu ermöglichen, müssen die Schnittstellen zu DMC eingerichtet werden (Kapitel 5.3). Gestartet wird hier mit der Anbindung von S4 und anschließender Übertragung der Stammdaten, gefolgt von der Maschinenanbindung. Nach Einrichten der Schnittstellen, wird die Implementierung der beiden Prozesse vorgenommen (Kapitel 5.4). Hierzu wird zunächst ein Konzept aus der bisherigen Implementierung abgeleitet und nach Abgleich der Funktionen der neuen Software in dieser konfiguriert, sowie auch die neuen Funktionen REO und insights werden eingerichtet. Zum Schluss finden sich in Kapitel 5.5 noch zwei Überblicks-Grafiken zum Datenaustausch zwischen den Leitebenen (siehe Abbildung 112 auf Seite 82 und Abbildung 113 auf Seite 83). Anschließend an die Implementierungsphase folgt der Test eines End-To-End-Prozesses (Kapitel 6). Der gesamte Implementierungs-Prozess wird im Folgenden grob dargestellt, eine detaillierte Dokumentation [26] mit Schritt für Schritt Anleitung erfolgt separat.

Zum Projektstart wurde gemeinsam mit dem Betreuer bei Concircle folgende Timeline ausgearbeitet:

1. MES-Schiene von SAP (SAP ME) verstehen → 1. Monat
2. Implementierung in der Pilotfabrik verinnerlichen → 1. Monat
3. Literatur Recherche → 2. Monat
4. DMC-Implementierung richtig verstehen → 2. Monat
5. DMC-Implementierung → 3.-6. Monat
6. End-to-End-Test und Evaluierungsphase → 7.-8. Monat
7. Auswertung und Zusammenfassung → 9. Monat

5.1 On-Boarding-Prozess der DMC

Beim On-Boarding Prozess geht es darum, die Online-Plattform SAP BTP einzurichten. Über diese wird die Software abonniert und so zur Nutzung verfügbar gemacht, Stichwort SaaS. Dafür müssen die richtigen Konten und Nutzer angelegt und die entsprechenden Berechtigungen zugewiesen werden.

Eine Organisation besitzt hier ein globales Konto, englisch Global Account, in diesem können wiederum Unterkonten, englisch Subaccounts, angelegt werden. Zu Subaccounts können z.B. einzelne Regionen oder Werke zusammengefasst werden. Lizenzen werden über den Global Account erworben und können in Eigenregie in den Subaccounts als Services abonniert werden.

Zunächst wird der Subaccount ‚Concircle Cloud Testing‘ angelegt, unter dem der Service ‚Digital Manufacturing Cloud‘ abonniert wird. Dies löst einen ca. 2-tägigen Prozess zur Provisionierung bei SAP aus, wonach der Zugriff auf die DMC-Applikation funktioniert. Beim Erstellen des Subaccounts muss bereits ein Provider für den Cloud Service gewählt werden, zur Auswahl stehen Microsoft Azure, Amazon Web Services (AWS) und Google Cloud Platform. Die Wahl fällt auf Microsoft Azure, da dies zurzeit (Stand 03/2023) der einzige Provider ist, der die Erweiterung um das SAP Edge Device unterstützt.

Es können Einstellungen, wie die Rollenzuweisung für die DMC-Applikation, getätigt werden, später können hier Erweiterungen, wie externe Applikationen oder Services, integriert werden. Ein weiterer Subaccount ‚Integration Platform‘ (Name, ID), der für die Einstellungen der Cloud Integration dient, wurde automatisch von SAP angelegt. Dieser ist relevant für die Einrichtung der Schnittstelle zu dem ERP-System S/4HANA.

5.2 DMC-Applikation

Abbildung 20 zeigt die Startseite der DMC-Applikation im SAP Fiori Design. Die einzelnen Funktionen/Aktivitäten werden hier als Kacheln dargestellt, welche nach Belieben verschoben werden können. Übergreifend gibt es vordefinierte Themen, diese können ebenfalls neu erstellt werden.

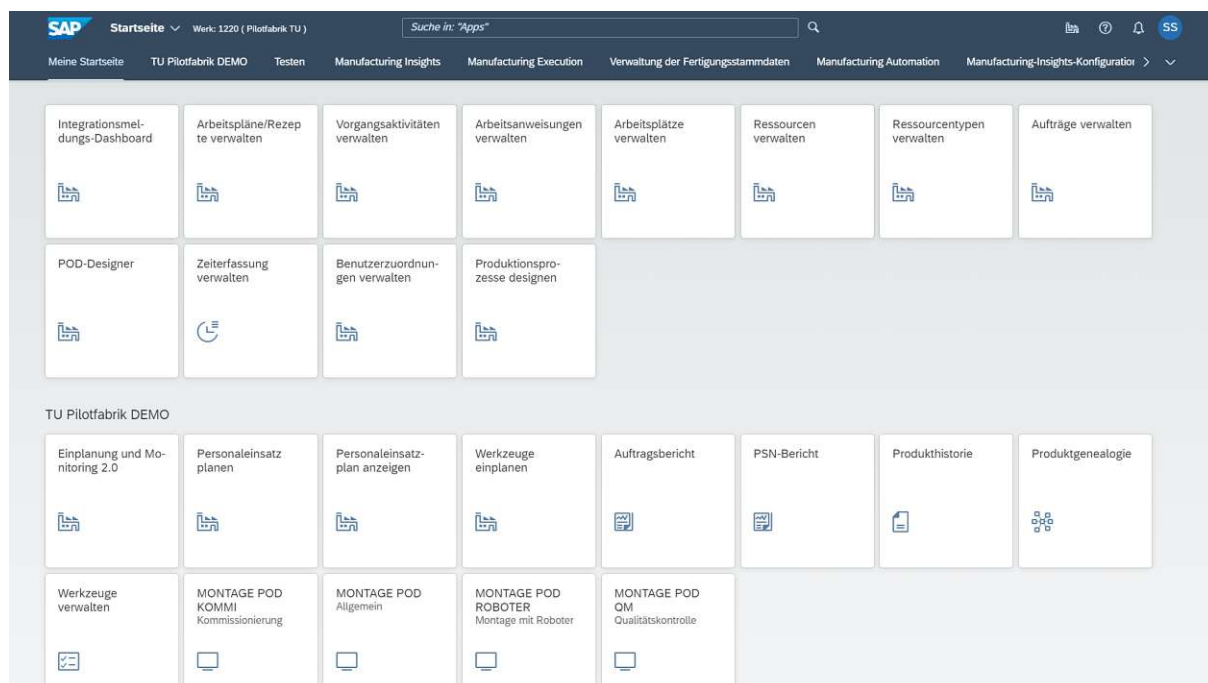


Abbildung 20: DMC – Startseite im SAP Fiori-Design [27]

Durch Auswahl des kleinen Fabrik-Symbols oben rechts in der Leiste, lässt sich das Werk ein-/umstellen (siehe Abbildung 21). Über die Initialen sind Einstellungen wie Sprache und Zeitzone möglich, zudem lässt sich die Startseite für jeden Benutzer individuell gestalten (siehe Abbildung 22).

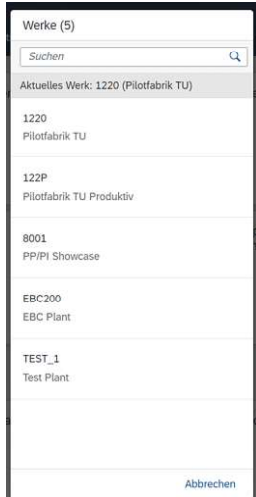


Abbildung 21: DMC – Werke auswählen [27]

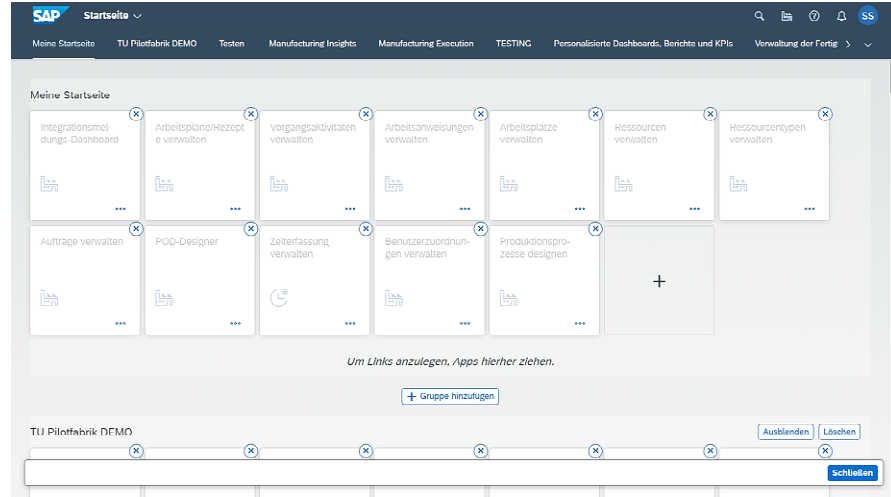


Abbildung 22: DMC – Individuelle Gestaltungsmöglichkeit der Startseite [27]

5.3 Schnittstellenaufbau und Integration

Da die DMC eine umfassende Softwarelösung mit zusätzlichen Features ist, gibt es hier mehrere Integrationsszenarien, wie in Abbildung 23 ersichtlich, die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

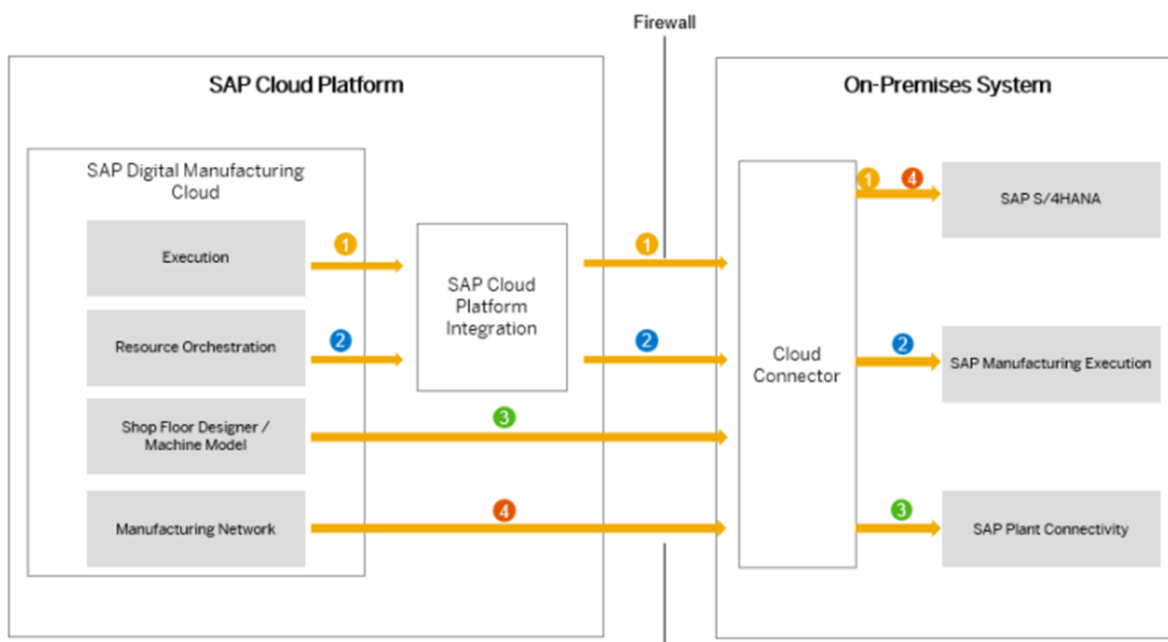


Abbildung 23: Integrationsszenarien DMC zu SAP On-Premises-Systemen [16]

Rechts sind die die On-Premises-Systeme zu sehen, die angebunden werden können. Diese sind immer an einen Cloud Connector angeschlossen, welcher als Reverse Proxy arbeitet und für den Datentransfer Richtung DMC benötigt wird.

In Szenario 1 wird das ERP-System SAP S/4HANA angebunden, damit kann das gesamte MES DMC inkl. REO und insights genutzt werden. Zwischen Cloud Connector und DMC wird die CPI zwischengeschaltet, um die Datenformate zu übersetzen.

Szenario 2 verbindet ein vorhandenes SAP ME-System mit DMC und macht somit die Ergänzung um die Zusatzfunktionen REO bzw. insights möglich.

Bei Szenario 3 handelt es sich um die Maschinenanbindung, für die eine Anbindung über SAP PCo benötigt wird. Dadurch können die Funktionen Shop Floor Designer und Machine Model in DMC verwendet werden.

Bei Szenario 4 handelt es sich um die neue Funktion der DMC ‚Manufacturing Network‘, die in der Applikation aktiviert werden kann. Voraussetzung ist hier die Nutzung von DMCE und eine Anbindung über einen Cloud Connector an das System von Kunde/Lieferant.

5.3.1 Einrichten der Schnittstelle ERP – DMC

Im ersten Schritt wird die Schnittstelle zwischen ERP (in diesem Fall dem S4-System ‚S4H‘) und DMC eingerichtet, Abbildung 24 veranschaulicht den groben Aufbau dieser Schnittstelle. In weiterer Folge ist mit ERP immer besagtes S4-System gemeint.

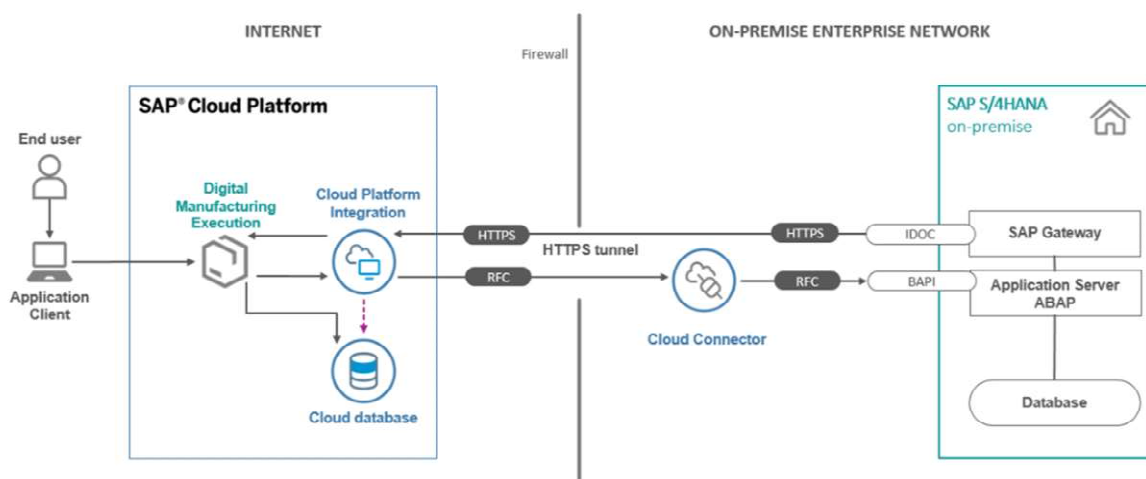


Abbildung 24: Kommunikation zwischen SAP S/4HANA und DMC [16]

Im ERP-System befinden sich die Stammdaten, wie Materialstamm, Arbeitsplätze, Stücklisten, Arbeitspläne, die in DMC zu übertragen sind. Des Weiteren sollen auch in der Anwendungsphase Produktionsaufträge automatisch von ERP nach DMC geschickt werden können. Um dies zu ermöglichen, muss eine Verbindung von ERP nach DMC aufgebaut werden. Da es sich bei DMC um einen Cloud-Service handelt, die Software sich also im

Gegensatz zu dem ERP-System nicht im internen Netzwerk befindet, muss für diese Kommunikationsrichtung ein Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS) Tunnel aufgebaut werden. Dies ist eine gesicherte Form des Übertragungsprotokolls Hypertext Transfer Protocol (HTTP), bei dem die Kommunikation zwischen Client und Server verschlüsselt stattfindet. [28] Durch diesen Tunnel werden Daten des SAP-Standard-Formats IDoc in das neue System transportiert. Bevor diese in der DMC verarbeitet werden können, durchlaufen sie eine Zwischeninstanz, die CPI, wo das Datenformat IDoc übersetzt wird. Zu dieser wird in ERP eine ALE-Verbindung eingerichtet. Dazu werden Logische Systeme und mit dem Distributionsmodell die IDocs definiert (Näheres hierzu in [26]). Mit dem Datenreplikations-Framework (DRF) wird dann das Replikationsmodell festgelegt. Dieses definiert, welche Daten nach DMC transferiert werden. So kann CPI die Daten richtig verarbeiten und diese kommen 1:1 im Ziel-System an. In CPI muss weiters festgelegt werden, wie diese Daten weitergeschickt werden. Dazu müssen sogenannte ‚Integration Flows‘ (iFlows) generiert werden. Diese kommen in einem vorgefertigten Integrationspaket von SAP und müssen bis auf einige Basiseinstellungen nicht weiter konfiguriert werden. Bei den ‚Initial Parameters‘ muss das Zielsystem gepflegt werden (siehe Abbildung 25), außerdem müssen in der Plattform selbst einige Sicherheitseinstellung und Zertifikate hochgeladen werden, um den beiden Systemen die Kommunikation zu ermöglichen. Es besteht hier die Möglichkeit, die iFlows zu kopieren und anzupassen, um so Custom Lösungen zu implementieren.

Configure "Initial Parameters"

[More](#)

Type:	All Parameters
COMMON_DMC_REO_ME...	
COMMON_DMC_REO_ME...	
COMMON_DME_IDENTITY...	concirclecloudtesting
COMMON_DME_INT_URL:	https://dm-prod-az-quality-dme-integration-ms.cfapps.eu20.hana.ondemand....
COMMON_DME_SB_URL:	https://concirclecloudtesting.authentication.eu20.hana.ondemand.com
ENABLE_PLANT_CONVER...	TRUE
PID:	DME_Generic_Processing_00
TENANT_CREDENTIALS:	PD_DEPLOYER_USER
TENANT_URL:	https://p700232-tmn.hci.eu2.hana.ondemand.com

Abbildung 25: CPI – Konfiguration der ‚Initial Parameters‘ [27]

Um die Kommunikation in die andere Richtung von DMC zu ERP zu ermöglichen, muss ein Cloud Connector installiert werden. Dies ist eine gesonderte Software, die im eigenen Netzwerk installiert werden muss. Sie dient als Reverse Proxy, da Daten aus der Cloud auf ein lokales System geschickt werden sollen. Ein Reverse Proxy ermöglicht den sicheren Zugriff aus dem Internet auf ein lokales Netzwerk. Für diese Verbindung wird die, bereits zuvor in Kapitel 3.2 erklärte, RFC-Methode verwendet.

In allen Systemen und Plattformen müssen Einstellungen getätigt werden, um eine sichere Verbindung herzustellen. Nach anfänglichen Schwierigkeiten bzw. Problemen bzgl. Servernutzung und Usern, wurden hierfür permanente Lösungen gefunden. Um die Authentifizierungseinstellung durchzuführen, wird ein Technical User angelegt. Denn ändert sich das Passwort des Users, funktioniert die Verbindung nicht mehr. Auch muss der Cloud Connector auf einem lokalen Server installiert werden. Hierfür wurde zuvor ein eigener Server angelegt, der für solche Dienste genutzt wird. Die Einstellungen des Cloud Connector lassen sich problemlos ex- und importieren.

Damit DMC weiß, ob und wie gewisse Informationen rückgemeldet bzw. angefragt werden sollen, müssen in der DMC-Applikation unter ‚Collaboration Links verwalten‘ die Collaboration Directives verknüpft werden. Abbildung 26 zeigt so eine Verknüpfung am Beispiel der ‚Order Complete‘-Rückmeldung. In dem Fall, dass hier keine Einstellungen vorgenommen werden, wird keine Information an das ERP-System rückgemeldet. Die Verknüpfungen müssen laut Tabelle 2 gesetzt werden.

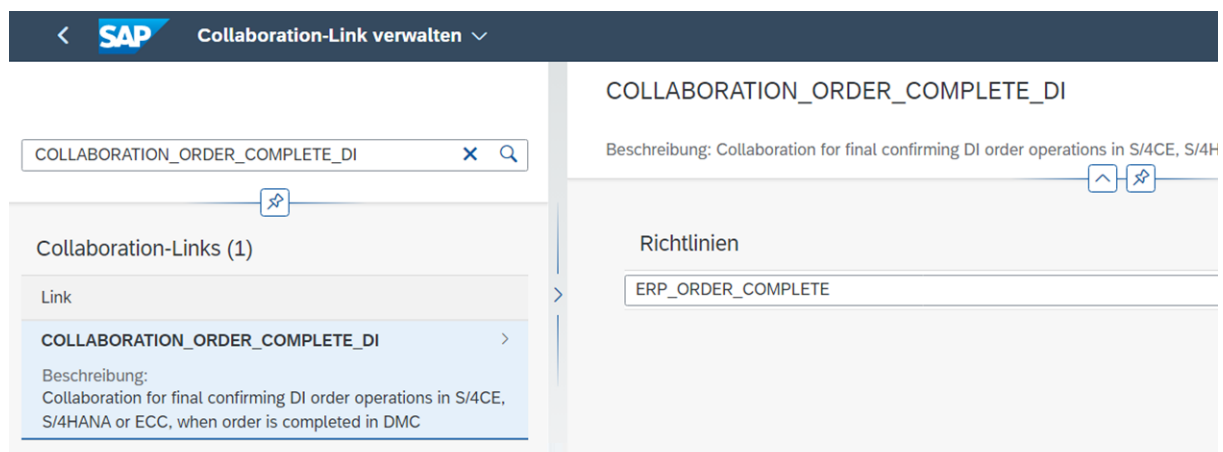


Abbildung 26: DMC – ‚Collaboration Link verwalten‘ – Collaboration Link Verknüpfung ‚Order Complete DI‘ [27]

Tabelle 2: Collaboration Links vs. Collaboration Directives, in Anlehnung an [16]

Collaboration Link	Collaboration Richtlinie
COLLABORATION_ORDER_COMPLETE_DI	ERP_ORDER_COMPLETE
COLLABORATION_ERP_YIELD_CONFIRMATION	ERP_YIELD_CONFIRMATION
COLLABORATION_ERP_SCRAP_CONFIRMATION	ERP_SCRAP_CONFIRMATION
COLLABORATION_PRT_ASSIGNMENT_GET	ERP_PRT_ASSIGNMENT_GET
COLLABORATION_INSPECTION_LOT	INSPECTION_LOT
COLLABORATION_UPDATE_REO_BACK_SCHEDULE	ERP_UPDATE_REO_BACK_SCHEDULE

Der Collaboration Link ‚Order Complete DI‘ meldet einen fertigen Auftrag zurück an ERP, ‚Yield Confirmation‘ die Gutmenge nach jeder durchgeführten Operation und ‚Scrap Confirmation‘ den Ausschuss. Ist ‚PRT Assignment Get‘ aktiviert, sendet DMC bei Erhalt eines Fertigungsauftrags eine Anfrage an ERP, um sich die angehängten FHMs, englisch Production Resources & Tools (PRT), zu holen. Sind dem Auftrag keine FHMs angehängt, wird die Anfrage trotzdem durchgeführt und bleibt ohne Ergebnis. ‚Inspection Lot‘ wird benötigt um die Inspektionsergebnisse der mit dem Auftrag aus ERP integrierten Prüfmerkmale (Inspection Characteristics) zurückzumelden, dies passiert, nachdem ein Auftrag komplett abgeschlossen wurde. Mit dem Collaboration Link ‚Update REO Back Schedule‘ können seit Release 02/23 Auftragsfreigaben sowie geänderte Einplanungszeiten in REO an ERP zurückgemeldet werden. Da hierzu jedoch eine neue Schnittstelle, nämlich eine direkt Verbindung zu ERP (Open Data Protocol – OData), hergestellt werden muss, wird in dieser Arbeit darauf verzichtet.

Im SAP Customizing Einführungsleitfaden (SAP-Referenz-IMG) kann unter ‚Produktion‘ → ‚Integration mit einem Manufacturing-Execution-System‘ → ‚Logisches System für die Verteilung von Fertigungsaufträgen pflegen‘ (siehe Abbildung 27) für einen Auftragsstyp festgelegt werden, nach welcher Methode dieser an ein MES verteilt wird (siehe Abbildung 28).

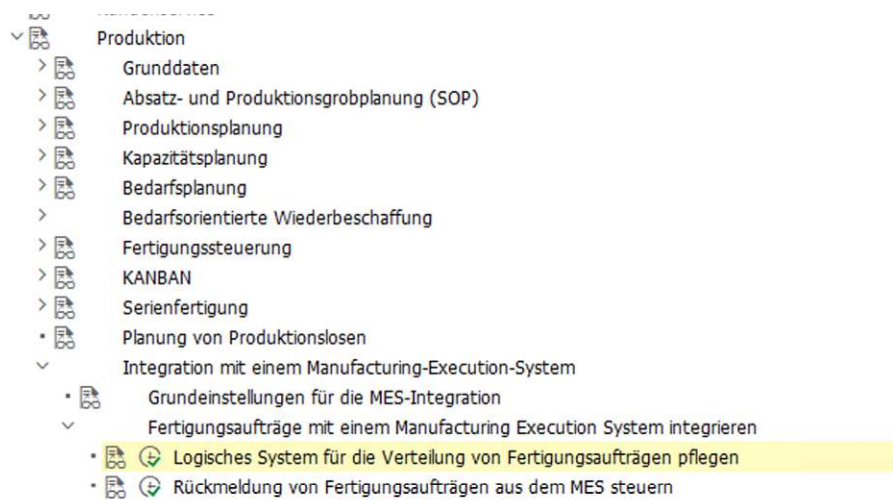


Abbildung 27: ERP – Ausschnitt SAP Referenz-IMG [25]

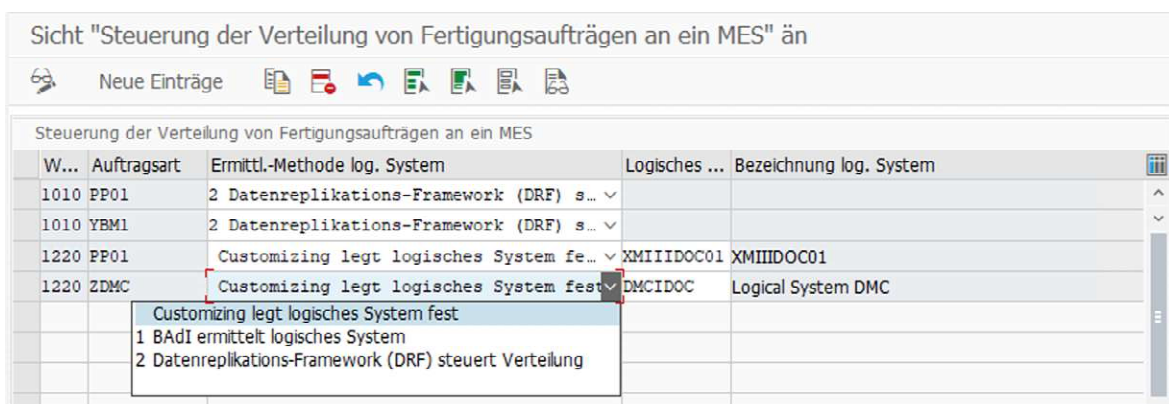


Abbildung 28: ERP – Steuerung der Verteilung von Fertigungsaufträgen an ein MES [25]

Hier gibt es einerseits die Auswahl ‚Customizing legt logisches System fest‘, Aufträge des hinterlegten Werks und der Auftragsart werden immer an das hier gepflegte Logische System verteilt. Es wird die Auftragsart ‚ZDMC‘ eigens für DMC angelegt, so bleibt es weiterhin möglich, Aufträge mit ‚PP01‘ an das alte MES zu schicken.

Alternativ kann die Auswahl ‚2 Datenreplikations-Framework (DRF) steuert Verteilung‘ gewählt werden, das Logische System wird dann nach Definition in dem DRF-Filter ausgewählt (siehe nächster Absatz). Variante 1 bietet sich für einfache Strukturen an, mit Variante 2 können auch feinere Unterscheidungen, z.B. nach Material, getroffen werden.

Abbildung 29 zeigt die möglichen DRF-Filtereinstellungen für das Replikationsmodell der DMC ‚DMEMODEL‘. Werden Aufträge nach Variante 2 verteilt, veranschaulicht Abbildung 30 die notwendigen Filtereinstellungen. Es werden nur jene Aufträge an die DMC geschickt, die für Werk ‚1220‘ und mit dem Auftragstyp ‚ZDMC‘ angelegt werden. Aufträge des Typs ‚PP01‘ und ‚ZPEO‘ werden exkludiert, diese werden wiederum an andere Systeme distribuiert, ‚PP01‘ an SAP ME und ‚ZPEO‘ an SAP PEO.

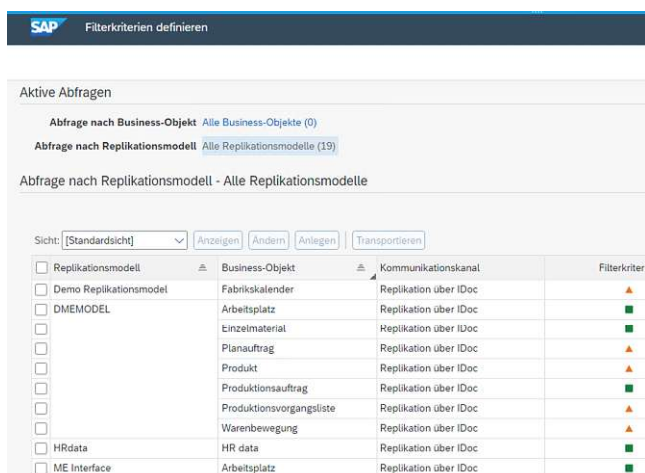


Abbildung 29: ERP – Transaktion DRFF – Filterkriterien definieren [25]

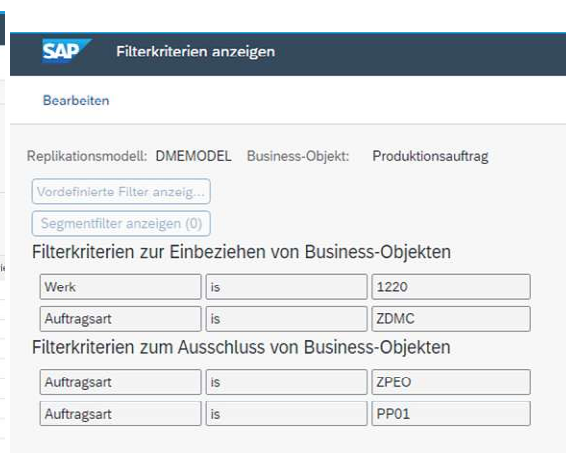


Abbildung 30: ERP – Transaktion DRFF – Filterkriterien für Produktionsaufträge [25]

5.3.2 Integration von Daten

Stammdaten

Die Stammdaten sind bereits im ERP-System hinterlegt, hier gilt es zuvor, zu überprüfen, ob diese auch gepflegt wurden. Im Laufe der Implementierung wird sich zeigen, dass gewisse Stammdaten, die in SAP ME integriert werden konnten, angepasst werden müssen, um auch in die DMC integriert werden zu können. Aus diesem Grund werden die Stammdaten in ERP dupliziert und in der Bezeichnung mit dem Präfix ‚DMC_‘ ausgestattet (Beispiel: das Material und Endprodukt ‚DRUCKER_TU‘ bekommt die neue Bezeichnung ‚DMC_DRUCKER_TU‘).

Bevor die Daten in die DMC übertragen werden können, muss die Pilotfabrik dort als Werk angelegt werden; der Name ‚1220‘ leitet sich ab von der Postleitzahl des Standorts.

Dies erfolgt unter ‚Werke verwalten‘ → ‚Anlegen‘ (siehe Abbildung 31), es werden Daten für Werksname, Beschreibung, Fertigungsterminologie (Diskret oder Prozess) und Zeitzone gepflegt, außer dem Werksnamen lassen sich im Nachhinein alle Einstellungen ändern.

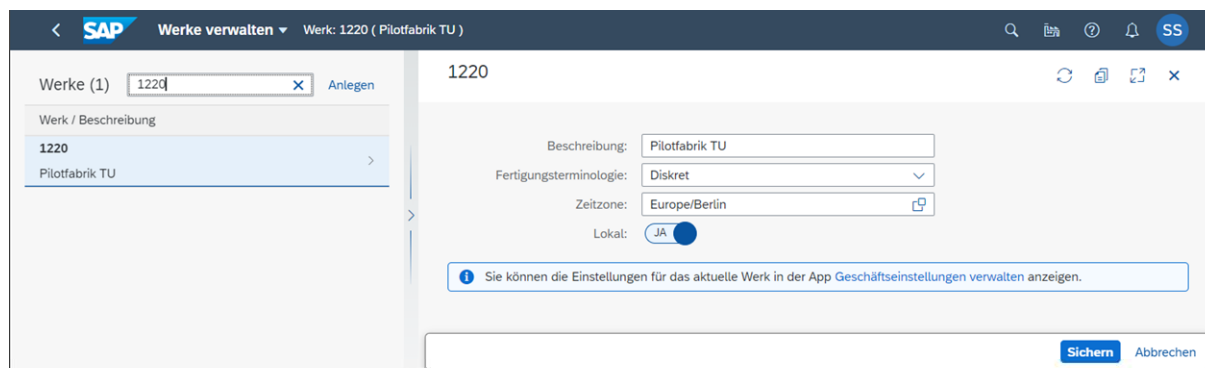


Abbildung 31: DMC – ‚Werke verwalten‘ – Werk anlegen [27]

Weitere Einstellungen sind unter ‚Geschäftseinstellungen verwalten‘ möglich. Für die ERP-Integration kann unter ‚Integration‘ (siehe Abbildung 32) zwischen S/4HANA oder S/4HANA Cloud gewählt werden. Außerdem kann die ERP-Zeitzone und Sprache festgelegt werden, diese Einstellung legt fest, in welcher Sprache die Beschreibung importiert wird. Bei ERP-Destination wird der Destinationsname eingetragen, der in der SAP Cloud Integration unter ‚Konnektivität‘ → ‚Destination‘ eingestellt wurde, außerdem wird hier auch das System für eine EWM-Integration definiert.

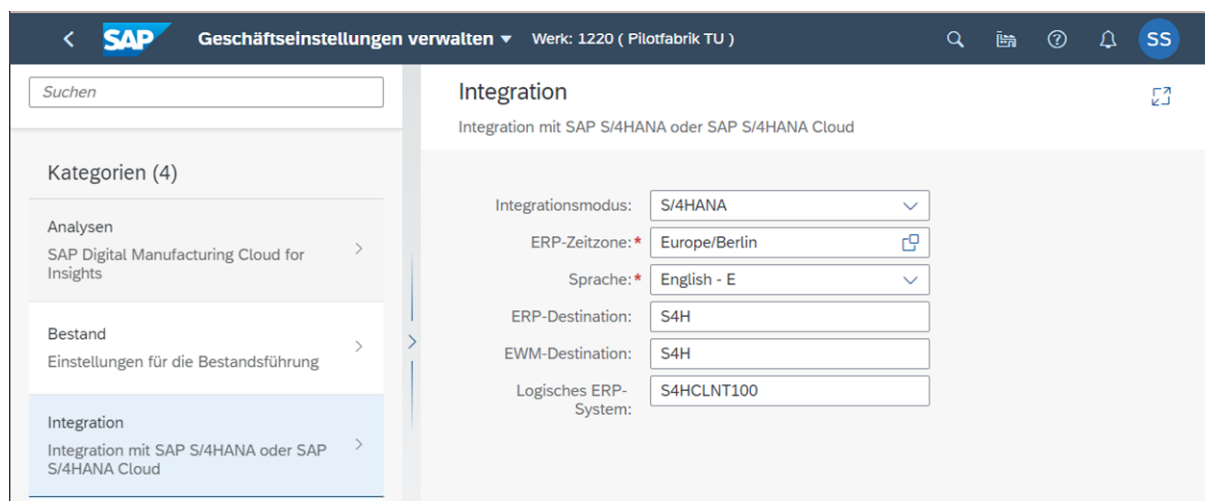


Abbildung 32: DMC – ‚Geschäftseinstellungen verwalten‘ – Integration [27]

Nachdem alle nötigen Voreinstellungen für die Integration der Stammdaten getätigt wurden, wird diese nun durchgeführt. Begonnen wird mit den Material- oder Arbeitsplatz-Stammdaten, da diese keine Abhängigkeiten aufweisen. Die Stücklisten- oder Arbeitsplandaten stehen immer in Beziehung zu anderen Stammdaten.

Die Datenreplikation erfolgt in ERP mit dem Transaktionscode ‚DRFOUT‘. Das zuvor eingerichtete Replikationsmodell ‚DMEMODEL‘ wird ausgewählt und bleibt für alle Transfers gleich.

Das Feld ‚Outbound-Implementierung‘ definiert welcher Stammdaten-Typ als IDoc übertragen wird (siehe Abbildung 33, Abbildung 34). Für die Material-Stammdaten wird ‚194_1‘ ausgewählt, um ein MATMAS-IDoc zu generieren. Zum Testen und zur Veranschaulichung wird zunächst das Material ‚DMC_DRUCKER_TU‘ repliziert (siehe Abbildung 35).

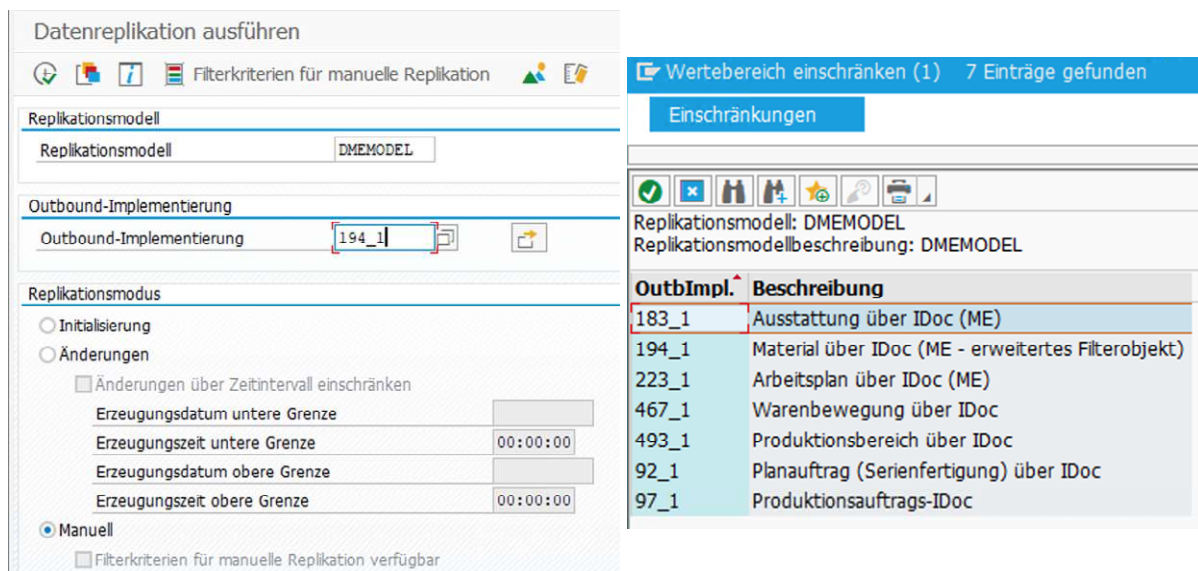


Abbildung 33: ERP – Transaktion DRFOUT – Datenreplikation ausführen [25] Abbildung 34: ERP – für Replikationsmodell ‚DMEMODEL‘ definierten IDocs [25]

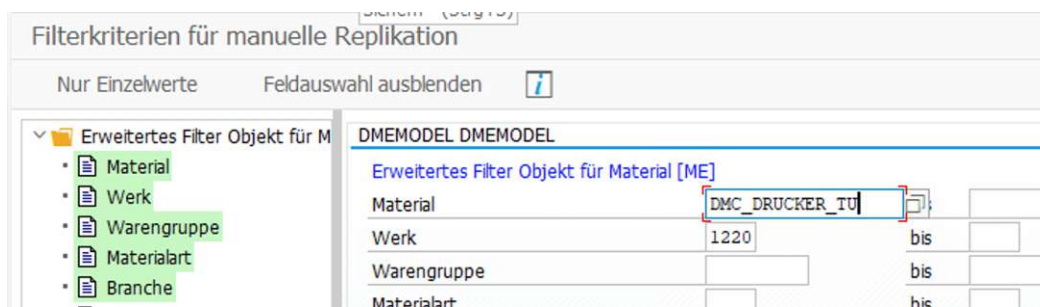


Abbildung 35: ERP – Filterkriterien für manuelle Replikation [25]

Abbildung 36 (Seite 34) zeigt das Übertragungs-Protokoll in ERP, hiermit kann überprüft werden, ob die Übertragung funktioniert hat und falls nicht, hilft es bei der Problembhebung. Auf DMC-Seite wird das übertragene Material als Material-Download im ‚Integrationsmeldungs-Dashboard‘ angezeigt (siehe Abbildung 37). Hier gibt der Gesamtstatus Aufschluss über eine erfolgreiche Integration, ggfs. hilft der Antwort-Payload bei der Problembhebung.

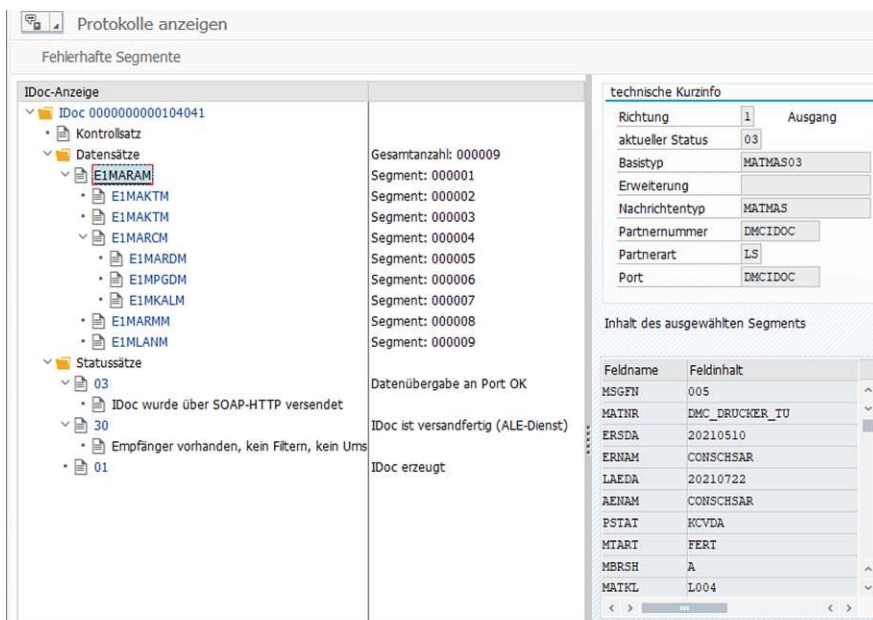


Abbildung 36: ERP – generiertes MATMAS IDoc, Aufruf über Transaktion WE02 [25]

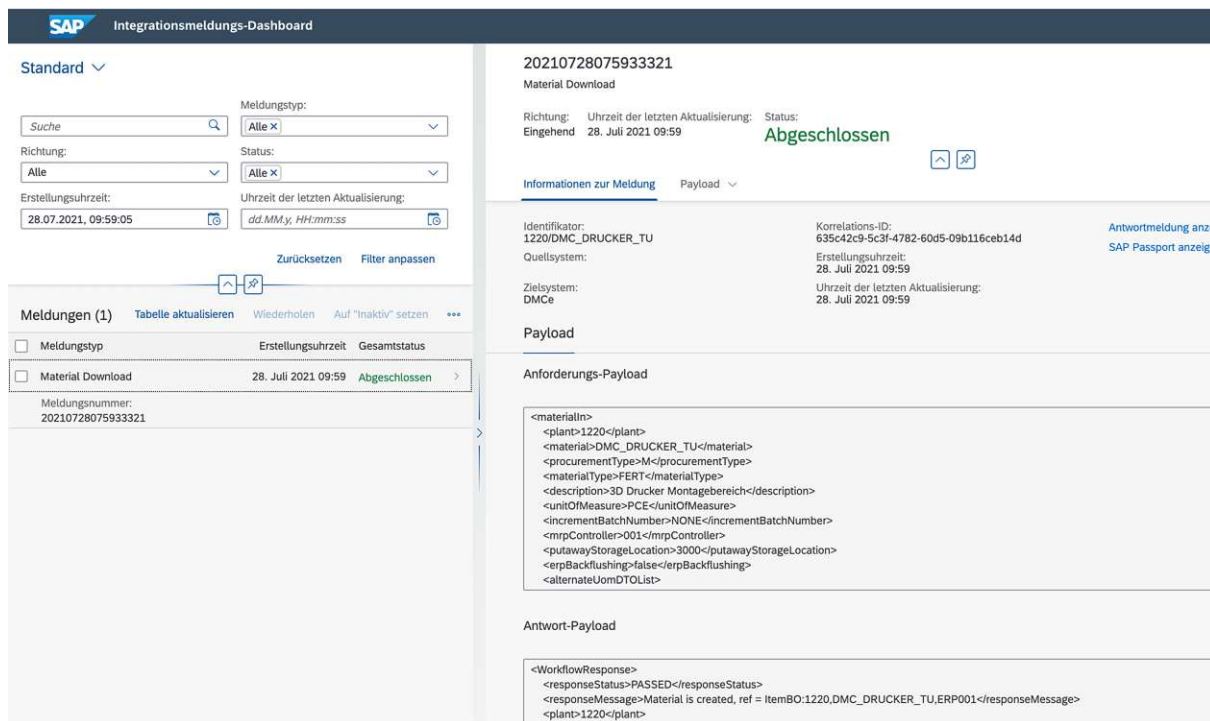


Abbildung 37: DMC – ‚Integrationsmeldungs-Dashboard‘ – Material Download ‚DMC_DRUCKER_TU‘ [27]

Nach erfolgreichem Transfer des ersten Materials werden die Materialien aus der Stückliste ebenso übertragen (vgl. [26]). Analog zu den Material-Stammdaten werden die Arbeitsplatz-Stammdaten (Work Center) übertragen. Das Feld ‚Outbound-Implementierung‘ muss auf ‚493_1‘ gesetzt werden, um ein LOIWCS-IDoc zu generieren. Hier kam es zunächst zu einer Fehlermeldung, weil in der ERP-Stammdaten eine Beschreibung unter ‚Individual Capacities‘ fehlte. Außerdem gab es anfangs Probleme, da der Work Center Download einen BAPI-Aufruf an ERP auslöst, um noch zusätzliche Informationen abzufragen. Daher muss bereits eine

funktionierende Verbindung von DMC zu ERP sichergestellt sein. Auch diesmal wurden neue Arbeitsplatz-Stammdaten in ERP erstellt, z.B. bekommt die Montagestation 1 die Bezeichnung ‚DMC_MS1‘. Beide Prozesse haben mit ‚DMC_KOMM‘ dieselbe Kommissionierstation, die Qualitätsprüfung der Montage findet bei ‚DMC_MS4QM‘ und die der Produktion bei ‚DMC_QUAL‘ statt. Der erfolgreiche Transfer kann wieder im ‚Integrationsmeldungs-Dashboard‘ der DMC überprüft werden (siehe Abbildung 38).

<input type="checkbox"/> Meldungsnummer	Meldungstyp	Werk	Identifikator	Erstellungszeit	Uhrzeit der letzten Aktualisierung	Gesamtstatus
<input type="checkbox"/> 20221206103427618	Work Center Download	1220 Pilotfabrik TU	1220/DMC_ZELL	06.12.2022, 11:34:27	06.12.2022, 11:34:27	Abgeschlossen >
<input type="checkbox"/> 20221205152555327	Work Center Download	1220 Pilotfabrik TU	1220/DMC_MS4Q	05.12.2022, 16:25:55	05.12.2022, 16:25:55	Abgeschlossen >
<input type="checkbox"/> 20221205152555199	Work Center Download	1220 Pilotfabrik TU	1220/DMC_MS1	05.12.2022, 16:25:55	05.12.2022, 16:25:55	Abgeschlossen >
<input type="checkbox"/> 20221205152555173	Work Center Download	1220 Pilotfabrik TU	1220/DMC_MS3	05.12.2022, 16:25:55	05.12.2022, 16:25:55	Abgeschlossen >
<input type="checkbox"/> 20221205152555134	Work Center Download	1220 Pilotfabrik TU	1220/DMC_MS2	05.12.2022, 16:25:55	05.12.2022, 16:25:55	Abgeschlossen >
<input type="checkbox"/> 20221205152555044	Work Center Download	1220 Pilotfabrik TU	1220/DMC_KOMM	05.12.2022, 16:25:55	05.12.2022, 16:25:55	Abgeschlossen >

Abbildung 38: DMC – ‚Integrationsmeldungs-Dashboard‘ – Work Center Download der ‚3D-Drucker‘-relevanten Arbeitsplätze [27]

Es ist zudem möglich, den Arbeitsplan als Stammdatei zu transferieren, allerdings wird mit jedem Fertigungsauftrag ein auftragspezifischer Arbeitsplan übertragen.

Der Arbeitsplan enthält folgende Informationen:

- Arbeitsschritte (Vorgangsaktivitäten):
 - Arbeitsplatz
 - Rüstzeit, Maschinenzeit, Personenzeit
 - Optional:*
 - Prüfmerkmale (QM-Modul)
 - Werkzeuge/FHM vom Typ Material, Equipment
 - Arbeitsanweisungen/FHM vom Typ Dokument

Arbeitsplatz und Zeitangaben werden beim Stammdaten-Transfer an DMC übertragen, die in ERP hinterlegten Prüfmerkmale werden erst mit den auftragspezifischen Arbeitsplänen (LOIPRO-IDoc) nach DMC geschickt.

Für den Import der FHMs (PRT Download) ist ein BAPI-Aufruf von DMC an ERP notwendig, hierfür muss der Collaboration Link ‚COLLABORATION_GET_PRT‘ aktiviert sein. FHMs vom Typ Material oder Equipment müssen zuvor als solche aus ERP importiert werden.

Änderungen am Produktions-Arbeitsplan in DMC werden auf nachfolgende auftragspezifische Arbeitspläne übertragen, somit können FHMs auch erst in DMC zugeordnet werden, mehr hierzu später in Kapitel 5.4.1 – ‚Arbeitspläne/Vorgangsaktivitäten verwalten‘.

Da bereits neue Materialien und Arbeitsplätze für die DMC angelegt wurden, wird ein neuer Arbeitsplan für den ‚3D-Drucker‘ erstellt, dargestellt in Abbildung 39. Aus Plangruppe und -Zähler (PlnGrZähler) ergibt sich die Bezeichnung des Arbeitsplans in DMC (50000143-1).

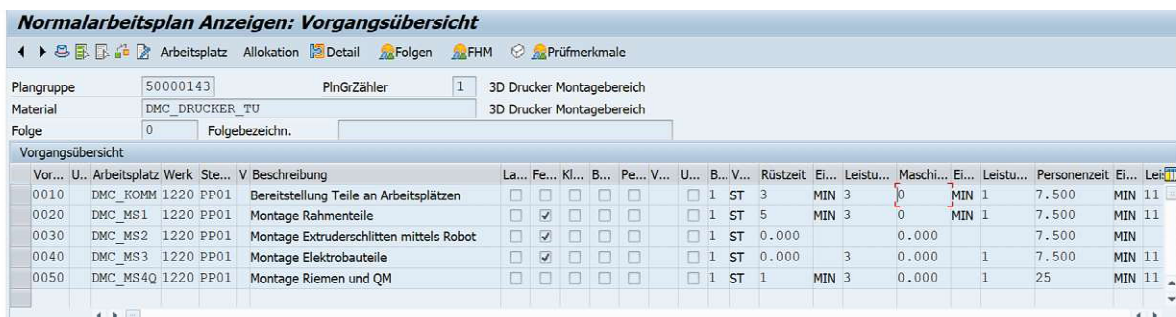


Abbildung 39: ERP – Arbeitsplan ‚3D-Drucker‘ [25]

Es werden hier jeder Operation die benötigten Werkzeuge als FHM vom Typ M (Material) angehängt (siehe Abbildung 40), jedoch werden keine Arbeitsanweisungen als FHMs angehängt, da in der DMC keine vergleichbare Vorgehensweise wie in SAP ME unterstützt wird. Diese werden daher direkt in DMC angelegt (siehe nächstes Kapitel 5.4.1 – „Arbeitsanweisungen verwalten“).

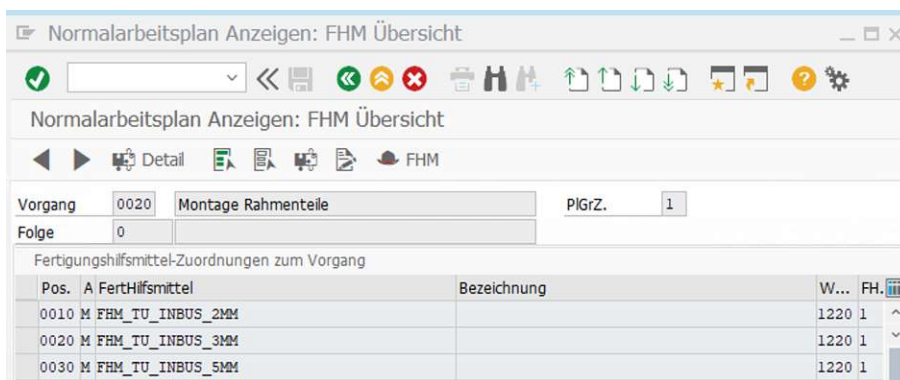


Abbildung 40: ERP – im Arbeitsplan angehängte FHMs DMC [25]

Abbildung 41 zeigt den Arbeitsplan für die Münze ConCoin (50000199-1), hier wird bei Vorgang 0030 ein anderer Steuerschlüssel verwendet. ‚PP04‘ dient dazu, dass Prüfmerkmale angehängt werden können (siehe Abbildung 42, Seite 37)



Abbildung 41: ERP – Arbeitsplan ConCoin [25]



Abbildung 42: ERP – Arbeitsplan ConCoin Vorgang 0030 – Prüfmerkmale [25]

Nun können die Arbeitspläne mit Hilfe des LOIROU-IDocs (Outbound Implementierung = 223_1) an die DMC transferiert werden. Die Stückliste wird nicht als Stammdatei benötigt und daher nicht transferiert.

Um später die Funktion der Werkzeugverwaltung nutzen zu können, werden die für den ‚3D-Drucker‘ relevanten Werkzeuge als FHMs nach DMC transferiert. Da diese alle vom Typ Material sind, geschieht dies über das MATMAS-IDoc (siehe Abbildung 43).

<input type="checkbox"/>	Meldungsnummer	Meldungstyp	Identifikator	Erstellungszeit	Uhrzeit der letzten Aktualisierung	Gesamtstatus
<input type="checkbox"/>	20210924112257071	Material Download	1220/FHM_TU_INBUS_5MM	24 Sep. 2021 13:22:57	24 Sep. 2021 13:22:57	Abgeschlossen >
<input type="checkbox"/>	20210924112257030	Material Download	1220/FHM_TU_INBUS_4MM	24 Sep. 2021 13:22:57	24 Sep. 2021 13:22:57	Abgeschlossen >
<input type="checkbox"/>	20210924112257010	Material Download	1220/FHM_TU_TX25	24 Sep. 2021 13:22:57	24 Sep. 2021 13:22:57	Abgeschlossen >
<input type="checkbox"/>	20210924112256936	Material Download	1220/FHM_TU_INBUS_3MM	24 Sep. 2021 13:22:56	24 Sep. 2021 13:22:57	Abgeschlossen >
<input type="checkbox"/>	20210924112256840	Material Download	1220/FHM_TU_INBUS_2MM	24 Sep. 2021 13:22:56	24 Sep. 2021 13:22:57	Abgeschlossen >

Abbildung 43: DMC – ‚Integrationsmeldungs-Dashboard‘ – Material Download der Werkzeuge [27]

Transaktionsdaten

Die Integration der Produktionsaufträge in das DMC-System erfolgt automatisch, sobald in ERP ein Fertigungsauftrag vom Typ ‚ZDMC‘ angelegt und freigegeben wird. Abbildung 44 zeigt den erfolgreichen Order Download, welcher auf Grund der zuvor beschriebenen Collaboration Link Verknüpfung auch mit einem PRT-Download einhergeht. Es werden für den jeweiligen Auftrag somit direkt die FHMs abgerufen. Prüfmerkmale, die im ERP-Arbeitsplan hinterlegt sind, werden automatisch mit dem LOIPRO importiert.

<input type="checkbox"/>	Meldungsnummer	Meldungstyp	Werk	Identifikator	Angelegt am	Zuletzt aktualisiert am	Gesamtstatus
<input type="checkbox"/>	20230217105045271	Production Order PRT Download	1220 Pilotfabrik TU	1220/1014540	17.02.2023, 11:50:45	17.02.2023, 11:50:48	Abgeschlossen >
<input type="checkbox"/>	20230217105021921	Staging Method Download	1220 Pilotfabrik TU	1220/1014540/12 2	17.02.2023, 11:50:21	17.02.2023, 11:50:56	Abgeschlossen >
<input type="checkbox"/>	20230217105019635	Order Download	1220 Pilotfabrik TU	1220/1014540	17.02.2023, 11:50:19	17.02.2023, 11:50:42	Abgeschlossen >

Abbildung 44: DMC – ‚Integrationsmeldungs-Dashboard‘ – Order/PRT Download [27]

Rückmeldedaten

An das ERP-System wird während der Produktion pro abgeschlossenem/r Arbeitsschritt /Vorgangsaktivität eine ‚Yield Confirmation‘ mit der Gutmenge rückgemeldet; wird der gesamte Auftrag abgeschlossen, kommt es zu einer ‚Production Order Confirmation‘. Wird Ausschuss protokolliert, löst dies eine ‚Scrap Confirmation‘ aus. Die Inspektions-Ergebnisse werden nach Abschluss des gesamten Auftrags als ‚Inspection Results Recording‘ rückgemeldet. Abbildung 45 zeigt alle eben genannten Produktionsrückmeldungen im ‚Integrationsmeldungs-Dashboard‘.

Positionen (1605)							
Tabelle aktualisieren Wiederholen Einstellungen für automatische Wiederholung Auf "Inaktiv" setzen Integrationskonfiguration prüfen ...							
<input type="checkbox"/>	Meldungsnummer	Meldungstyp	Werk	Identifikator	Angelegt am	Zuletzt aktualisiert am	Gesamtstatus
<input type="checkbox"/>	20230217105846562	Inspection Results Recording	1220 Pilotfabrik TU	1220/1014540/030000001650/0030	17.02.2023, 11:58:46	17.02.2023, 11:58:49	Abgeschlossen >
<input type="checkbox"/>	20230217105846467	Order Complete	1220 Pilotfabrik TU	1220/1014540	17.02.2023, 11:58:46	17.02.2023, 11:58:50	Abgeschlossen >
<input type="checkbox"/>	20230217105846004	Production Order Yield Confirmation	1220 Pilotfabrik TU	1220/12201644	17.02.2023, 11:58:46	17.02.2023, 11:58:47	Abgeschlossen >
<input type="checkbox"/>	20230216101049060	Production Order Scrap Confirmation	1220 Pilotfabrik TU	1220/12201639	16.02.2023, 11:10:49	16.02.2023, 11:10:50	Abgeschlossen >

Abbildung 45: DMC – Rückmeldungen an ERP [27]

In der ‚Yield Confirmation‘ sind Informationen zu Start- und Endzeitpunkt des Vorgangs enthalten, Personalarbeitszeiten werden nicht rückgemeldet.

Integrations-Workflows

Integrations-Workflows haben das Format XSLT, dies ist eine Programmiersprache zur Transformation von XML auf XHTML. In DMC gibt es unter ‚Integrations-Workflows verwalten‘ die Möglichkeit, diese so anzupassen, dass mit der Integration der Stammdaten automatisch bestimmte Felder für diese festgelegt werden. Meist sind die möglichen Anpassungen bereits als Code im ‚Standard-XSLT‘ vorhanden und lediglich auskommentiert

Im Zuge der Implementierung wird der Integrations-Workflow ‚LOIPRO05 V2‘ für den Fertigungsauftrag (Production Order) angepasst. Dazu wird der ‚Standard-XSLT‘ kopiert, bearbeitet und unter ‚Benutzerdefinierte XSLT‘ eingefügt (siehe Abbildung 46, Seite 39).

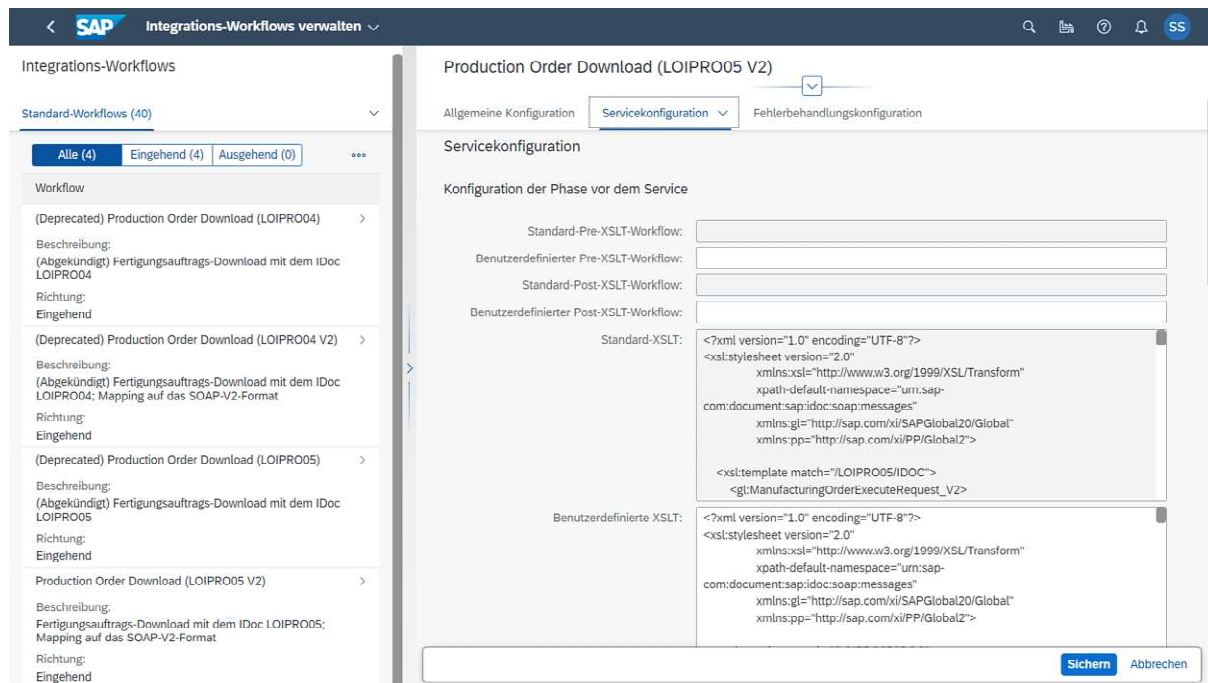


Abbildung 46: DMC – ‚Integrations-Workflows verwalten‘ [27]

5.3.3 Maschinenintegration und Erweiterungen

Angelehnt an die bereits implementierte Konfiguration in der Pilotfabrik, erfolgt die Maschinenintegration über Webservices (Maschinenkommunikation über das Internet). Eine Anbindung über SAP PCo ist derzeit nicht möglich bzw. sinnvoll, da die TU Pilotfabrik, wie bereits in Kapitel 4 erwähnt, die eigene Produktionssteuerungssoftware ‚Centurio‘ verwendet.

Zu bemerken ist, dass nur Aktionen durchgeführt werden können, wie z.B. ‚AGV fährt los‘, ‚Roboter startet Bewegung‘. Rückmeldungen sind nur in Form solcher Aktionen möglich: ‚Aktion gestartet‘, ‚Aktion durchgeführt‘, ‚Aktion fehlgeschlagen‘. Die darüber hinaus möglichen Funktionen der Maschinenanbindung, wie das Auslesen von Maschinendaten, z.B. Maschinen-Temperatur, Roboterarm-Geschwindigkeit, sind nicht gegeben. Zu Demonstrationszwecken wird hierzu eine Maschinenanbindung über PCo zu einem künstlich angelegten OPC-UA-Server angelegt.

Die Webservices müssen als Erweiterungen bzw. Applikationen in SAP BTP integriert werden. Der Aufruf dieser Webservices erfolgt über ‚Produktionsprozesse‘, die unter ‚Produktionsprozesse designen‘ in DMC angelegt und in den PODs aufgerufen werden. Es ist außerdem möglich, zusätzliche Erweiterungen im POD zu integrieren, so können eigens entwickelte POD Plugins (Custom POD Plugins) oder mit Transaktionen eigene Applikationen bzw. Drittsysteme hinzugefügt werden.

Erweiterungen über SAP Business Technology Platform (Erweiterte POD-Funktionen)

Um alle Anforderungen an die Prozesse in der Pilotfabrik zu erfüllen, werden zum einen folgende Custom POD Plugins implementiert:

- ‚Kommissionierliste‘ als Checkliste für die Kommissionierung
- ‚Work Instruction View Plugin‘ zur Darstellung von Arbeitsanweisungen des Formats Video direkt im POD

Zum anderen werden ‚Produktionsprozesse‘ erstellt, um folgende Funktionen zu ermöglichen:

- Steuerung des AGVs
- Steuerung des Cobots (nur Montageprozess)
- Prüfen der Werkzeugverfügbarkeit für die CNC-Fräse
- Start des Fertigungsprozesses (Steuerung erfolgt durch ‚Centurio‘; alternativ möglich über PCo und ‚Produktionsprozesse‘, in naher Zukunft aber unwahrscheinlich)

Die komplette Implementierung dieser Erweiterungen wurde von Concircle durchgeführt.

Damit die Erweiterungen laufen können, wird ‚SAP BTP Runtime‘ benötigt. Die erworbene ‚Runtime‘ ist eine Art Datenvolumen, welches gebraucht wird, um die ‚Produktionsprozesse‘ und Custom POD Plugins/Apps auszuführen.

In SAP BTP werden die Spaces ‚con_dnc_cloud‘ für die Webservices und ‚PODPlugins‘ für die Custom POD Plugins angelegt (siehe Abbildung 47), Spaces sind vergleichbar mit Projekten, wie sie von SAP MII bekannt sind.

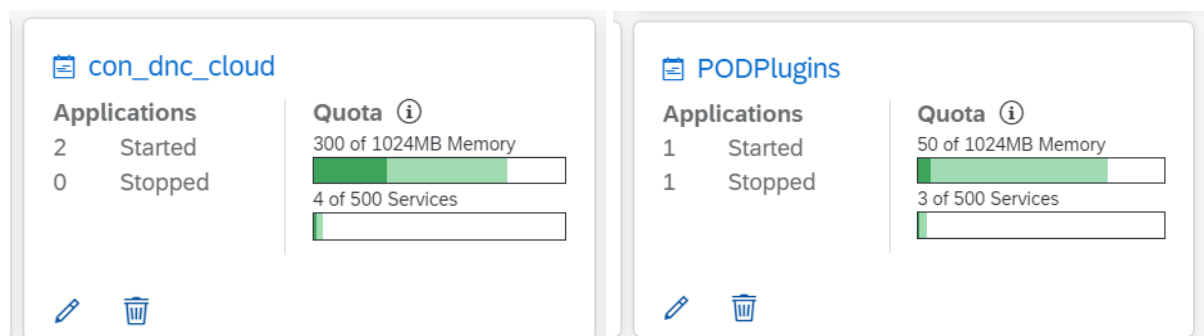


Abbildung 47: BTP –Spaces ‚con_dnc_cloud‘ und ‚PODPlugins‘ [27]

In den Spaces müssen jeweils Services festgelegt werden, um die Applikationen ausführen zu können. Je nach App sind unterschiedliche Services notwendig, z.B. gibt es Services bzgl. Datenbank, Destination, Konnektivität oder Authentifizierungs-Management. Externe Apps können in allen möglichen Programmiersprachen hochgeladen oder mit SAP Business Application Suite (UI5-basiert) direkt entwickelt werden.

„Produktionsprozesse“

Mit dem neuen DMC-Tool Shopfloor-Designer lassen sich „Produktionsprozesse“ designen, mit denen z.B. Webservices aufgerufen werden können. Da davon einige genutzt werden, wurde hier zur besseren Übersichtlichkeit ein node.js-Code geschrieben, der alle Webservices in Form von Methoden beinhaltet. Alternativ müsste für jedes aufzurufende Webservice ein Webserver erstellt werden. Der Code wird als Applikation „machine_connector“ in die BTP-Space „con_dnc_cloud“ geladen (siehe Abbildung 48).

Der „Application Routes“-Link dieser Applikation muss in DMC unter „Webserver verwalten“ verknüpft werden. Hierzu wird der Webserver „MachineIntegration3“ angelegt und der Link als Host-URL eingefügt (siehe Abbildung 49).

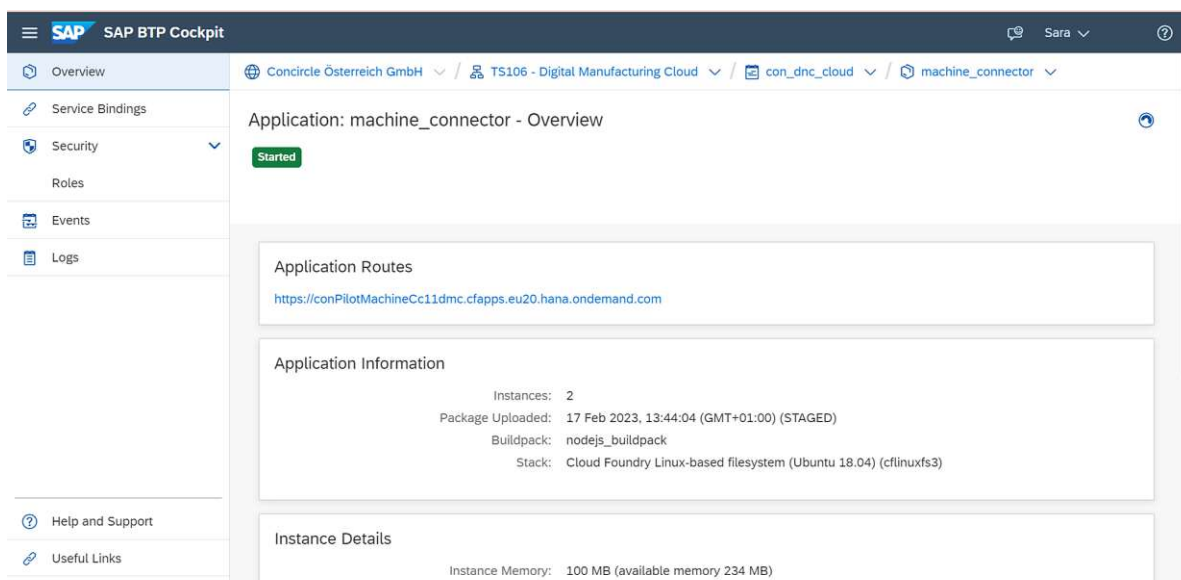


Abbildung 48: BTP – Application „machine_connector“ in Space „con_dnc_cloud“ [27]

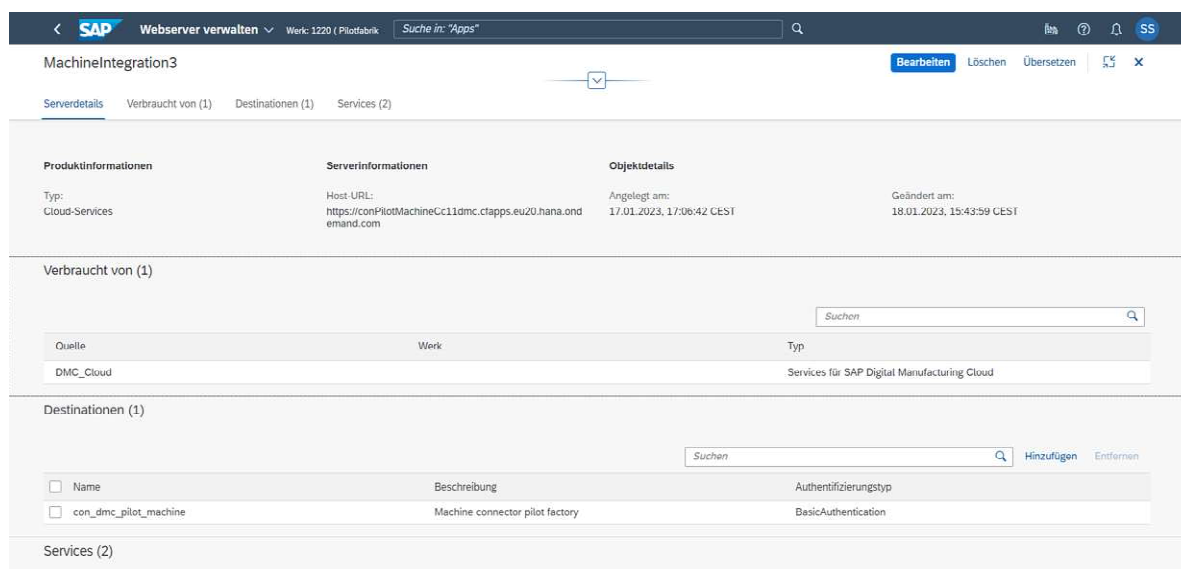


Abbildung 49: DMC – „Webserver anlegen“ [27]

Zusätzlich werden unter ‚Service-Registrierung verwalten‘ zwei Services (jeweils für die Methode ‚GET‘ und ‚POST‘) erstellt und die Parameter definiert, die an den Webserver geschickt werden dürfen. Nun kann für jede gewünschte Aktion ein ‚Produktionsprozess‘ gebaut werden, im Feld ‚path‘ wird die Methode definiert, die im node.js-Programm aufgerufen werden soll. Abbildung 50 zeigt diesen Vorgang am Beispiel des Webservice-Aufrufs ‚Call AGV‘, der das AGV zur Kommissionier-Station ruft.

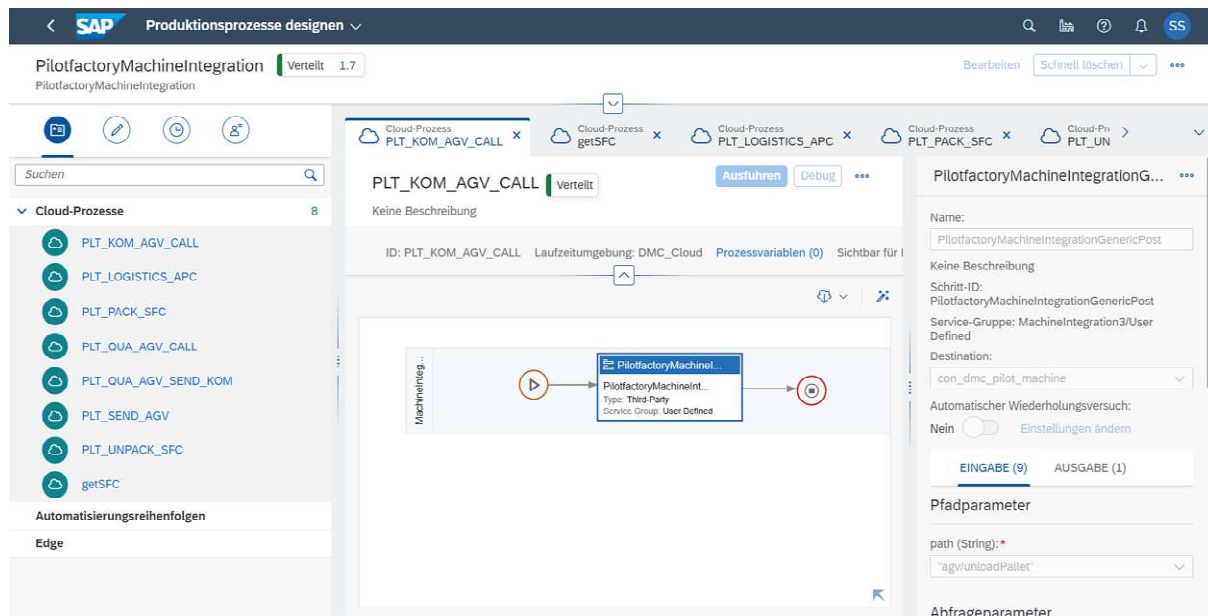


Abbildung 50: DMC – ‚Produktionsprozess designen‘ – ‚Call AGV‘ [27]

Custom POD Plugins

Von SAP steht mit Business Application Studio eine Entwicklungsumgebung zur Verfügung, mit der eigene POD Plugins in Form von Apps auf UI5-Basis erstellt werden können und dann durch Ausführen direkt in die BTP importiert werden. Nach dem Ausführen der App in BTP, können diese in DMC unter ‚Service-Registrierung verwalten‘ → ‚UI-Erweiterungen‘ angelegt und bearbeitet werden (siehe Abbildung 51). Ist der Status auf ‚aktiv‘ gesetzt, sind die Custom POD Plugins im ‚POD-Designer‘ zu sehen, dort werden sie mit einem blauen Streifen auf der linken Seite erkenntlich gemacht.

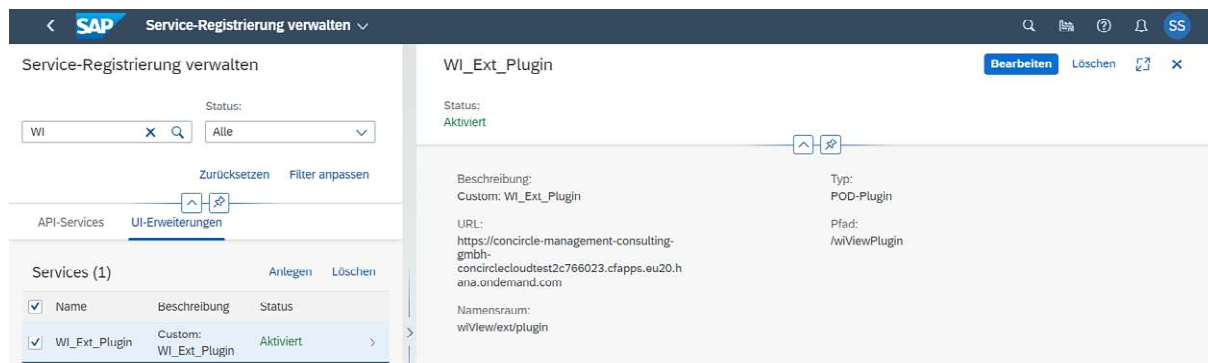


Abbildung 51: DMC – ‚Service-Registrierung verwalten‘ [27]

Maschinenanbindung über SAP Plant Connectivity

Um die Anbindung über PCo zu testen, wurde von Concircle ein ‚künstlicher‘ OPC-UA-Server angelegt, der vergangene Maschinendaten der MaxxMill500 liefert. PCo kann standardmäßig mit OPC-UA kommunizieren. Für die Integration mit DMC ist erneut der Zwischenschritt über den Cloud Connector notwendig, da PCo im lokalen Netzwerk läuft. Dieser wird auf einem anderen Server installiert als der Cloud Connector für die ERP-Anbindung (da andere Einstellungen wie Zertifikate & Authentifizierungen nötig sind, diese lassen sich aber nur übergreifend anpassen).

5.4 Implementierung und Konfiguration von Montage- und Produktionsprozess

Dieses Kapitel befasst sich mit der Implementierung der DMC, es werden die notwendigen Einstellungen auf Fertigungsebene getätigt, um die Anforderungen an die beiden Prozesse zu erfüllen. Die Stammdaten werden aufbereitet, die PODs konfiguriert und die Zusatzfunktionen REO und insights eingerichtet. Die Unterkapitel sind nach den Kategorien in der DMC unterteilt.

5.4.1 Verwaltung der Fertigungsstammdaten

Nachdem die Stammdaten aus ERP integriert wurden, können diese über die Aktivitäten der Kategorie ‚Verwaltung der Fertigungsstammdaten‘ (siehe Abbildung 52) angepasst bzw. erweitert werden. Außerdem lassen sich hier noch weitere Fertigungsstammdaten anlegen, die in ERP nicht gepflegt werden oder gar nicht existieren. Im Folgenden wird eine kurze Übersicht der relevanten, einstellbaren Parameter für einzelne Stammdaten gegeben.

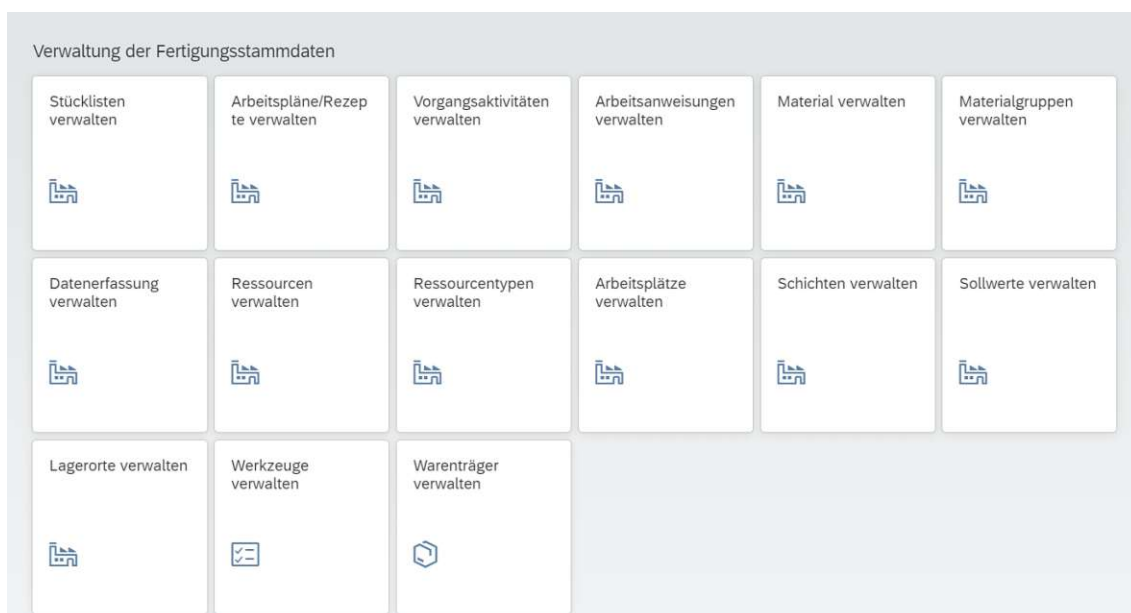


Abbildung 52: DMC – Verwaltung der Fertigungsstammdaten [27]

Material verwalten

Unter ‚Material verwalten‘ können für die aus ERP importierten Materialien zusätzliche Einstellungen vorgenommen werden. Zudem ist es hier möglich, neue Materialien direkt in der DMC anzulegen und zu bearbeiten.

Abbildung 53 zeigt am Beispiel des Endprodukts ‚DMC_Drucker_TU‘ die möglichen Bearbeitungsfelder des Materials. Zusätzlich zu dem Materialnamen wird jedes Material mit einer Version gekennzeichnet, daran lässt sich auch erkennen, ob das Material aus dem ERP-System stammt. Zu den Kopffdaten zählen Beschreibung, Status, Materialart, Beschaffungsart und Losgröße, welche alle aus ERP importiert werden. Arbeitsplan und Stückliste können manuell verknüpft werden, dazu müssen beide Stammdaten bereits in DMC existieren.

Unter dem Reiter ‚Build‘ kann bestimmt werden, ob während des Prozesses Daten erfasst, wie Chargen nummeriert und welche Lagerorte verwendet werden sollen. Unter Dateianlagen können Daten angehängt werden, als Beispiel hier das Produktfoto.

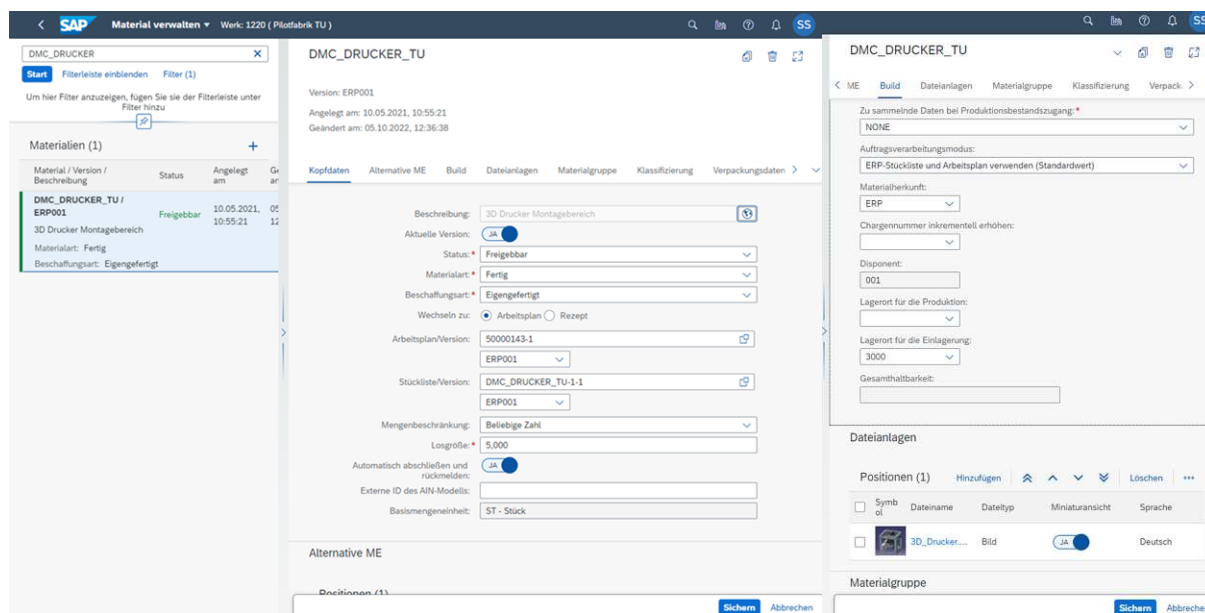


Abbildung 53: DMC – ‚Material verwalten‘ mit relevanten Parametern [27]

Abbildung 54 auf Seite 45 zeigt die Funktion für ein Halbfabrikat, hier soll bei der Montage die ‚External-ID‘ erfasst werden. Dazu wird das Feld ‚zu sammelnde Daten bei der Montage‘ definiert, diese Daten existieren in ERP so nicht und müssen zunächst in DMC angelegt werden (siehe Datenfelder und -typen). Später kann im POD beim Einbau des Teils die ID erfasst und somit in der ‚Produktgenealogie‘ gespeichert werden.

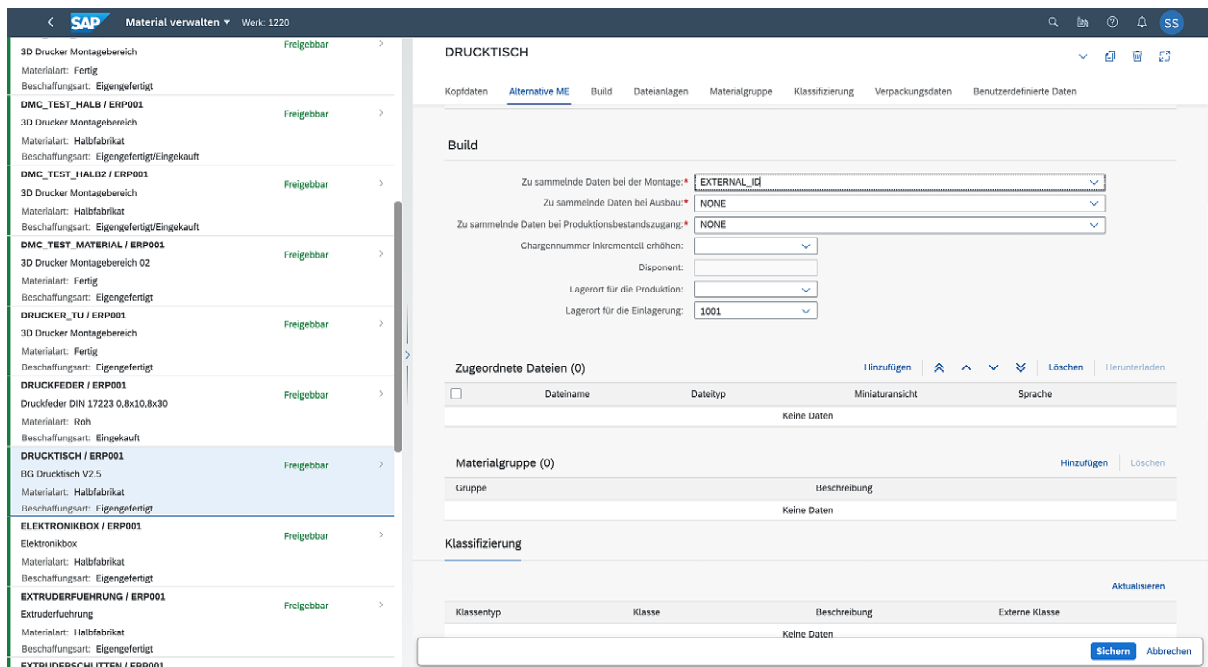


Abbildung 54: DMC – ‚Material verwalten‘ – ‚zu sammelnde Daten bei Montage‘ [27]

Stückliste verwalten

Unter ‚Stückliste verwalten‘ finden sich die auftragsspezifischen Stücklisten, die wichtigsten Information sind hier die Montagemeenge sowie die zugeordnete Montagevorgangsaktivität (siehe Abbildung 55), diese besagt bei welcher Vorgangsaktivität die Stücklistenkomponente eingebaut wird. So kann später im POD die Montage-Funktion verwendet werden, welche relevant für die Produktgenealogie ist.

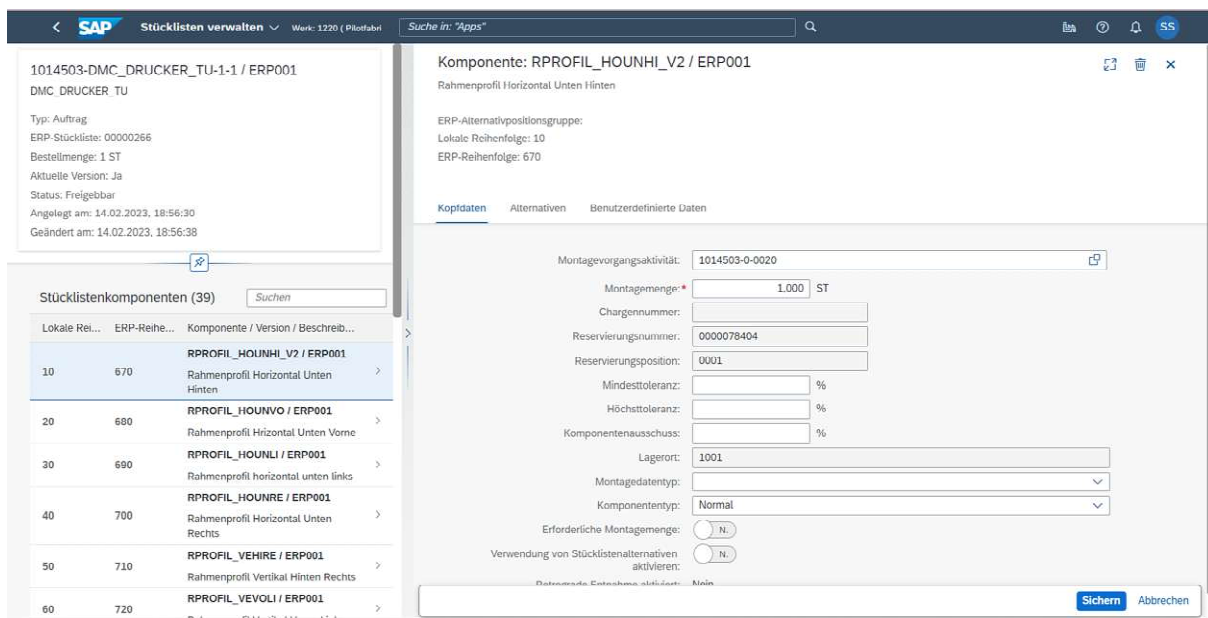


Abbildung 55: DMC – ‚Stückliste verwalten‘ Übersicht [27]

Unter ‚Benutzerdefinierte Daten verwalten‘ wird für die Stücklistenkomponenten („BOM Component“) das Datenfeld ‚kommissioniert‘ („Commissioned“) angelegt (Abbildung 56). Dies dient dazu, später das Ergebnis der Erweiterung ‚Kommissionierliste‘ zu speichern.

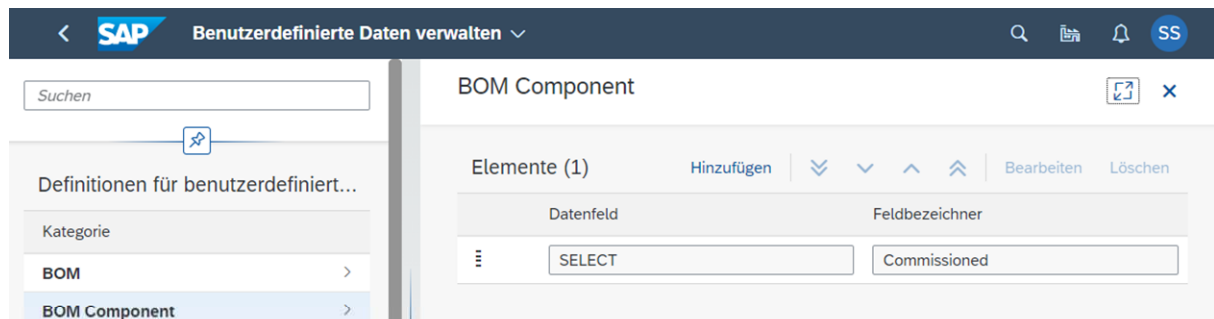


Abbildung 56: DMC – ‚Benutzerdefinierte Daten verwalten‘ – ‚BOM Component‘ [27]

Arbeitsplätze/Ressourcen/Ressourcentypen verwalten

Unter ‚Arbeitsplätze verwalten‘ können Arbeitsplätze angelegt und bearbeitet bzw. importierte Arbeitsplätze bearbeitet werden (siehe Abbildung 57). Ressourcen können den Arbeitsplätzen zugeordnet und als für ‚Planung und OEE relevant‘ sowie für ‚Monitoring relevant‘ markiert werden. Dies ist wichtig, damit sie später in der REO-Funktion ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ angezeigt werden. Außerdem können Mindest- und maximale Anzahl an Personen definiert werden, die später in der Personaleinsatzplanung zugeordnet werden können.

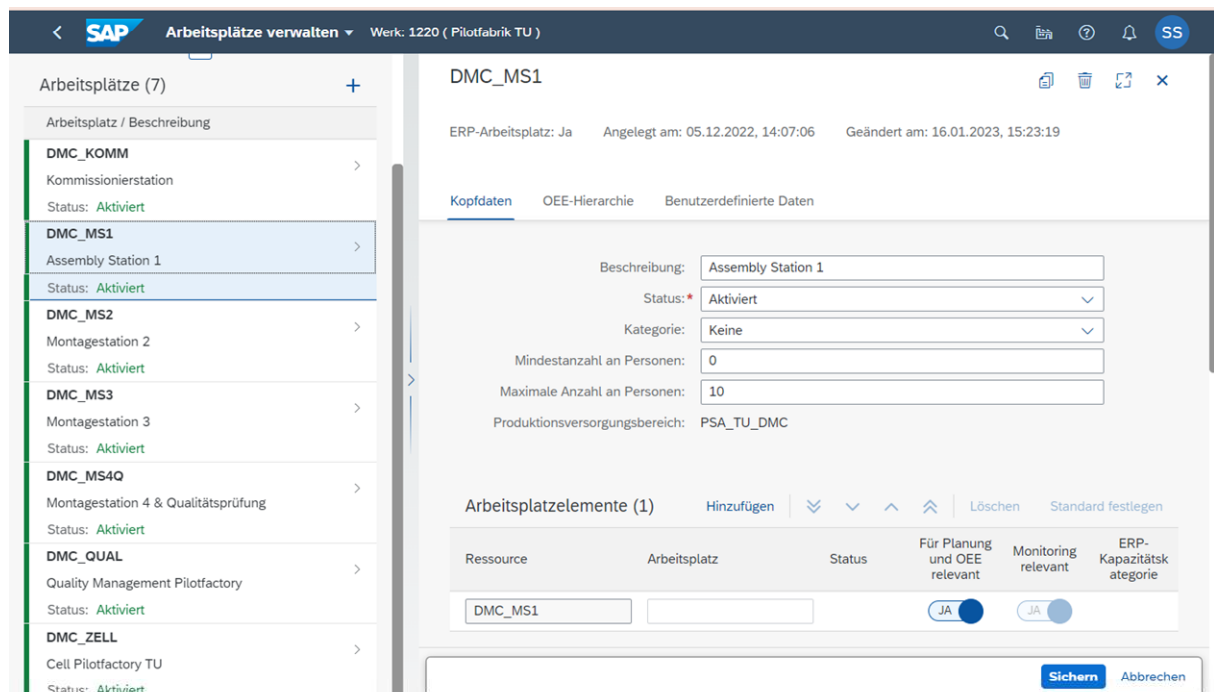


Abbildung 57: DMC – ‚Arbeitsplätze verwalten‘ [27]

Unter ‚Ressourcen verwalten‘ werden Ressourcen manuell bzw. automatisch mit jedem aus ERP importierten Arbeitsplatz angelegt. Sind in ERP mehrere ‚Individual Capacities‘ definiert, wird hier für jede entsprechend eine Ressource in DMC angelegt. Den Ressourcen können hier

ebenfalls Ressourcentypen (Resource Types) zugeordnet werden (siehe Abbildung 58). Diese müssen wiederum zuvor unter ‚Ressourcentypen verwalten‘ händisch angelegt werden (siehe Abbildung 59), da sie in ERP gar nicht existieren. Dies ist erneut Voraussetzung, um die REO-Funktionen optimal nutzen zu können, hierauf wird in Kapitel 5.4.3 – ‚Resource Orchestration‘ noch im Detail eingegangen.

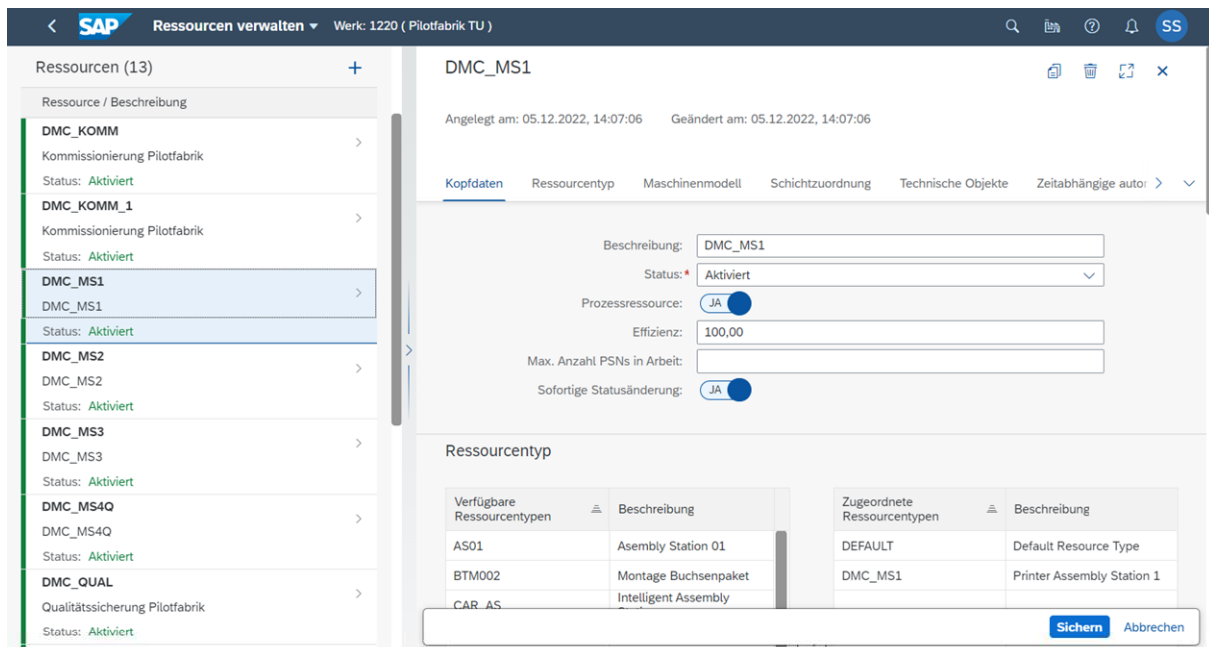


Abbildung 58: DMC – ‚Ressourcen verwalten‘ [27]

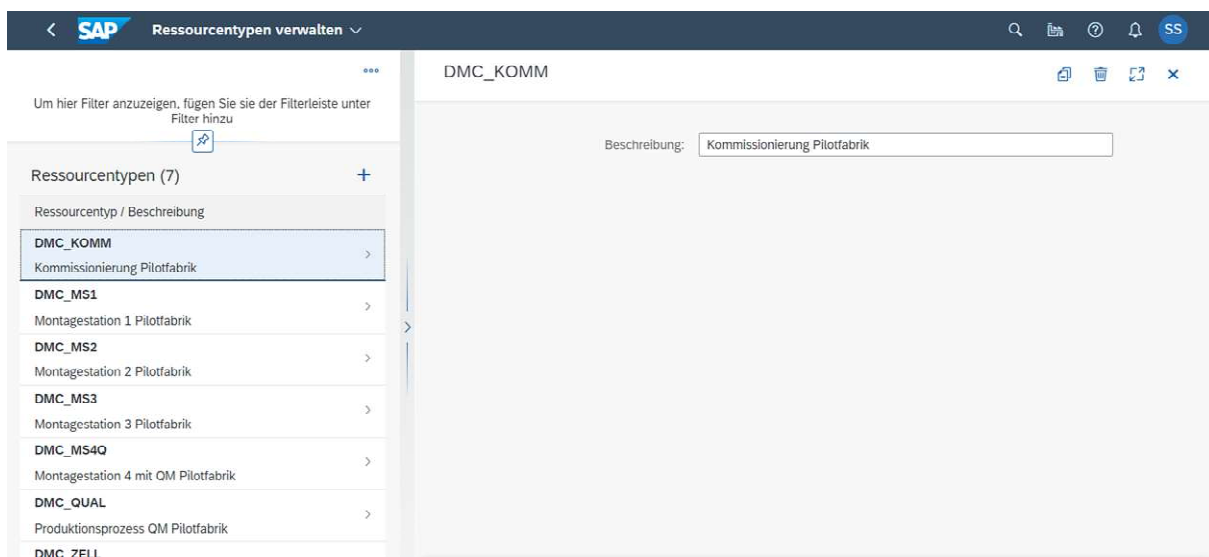


Abbildung 59: DMC – ‚Ressourcentypen verwalten‘ [27]

Arbeitspläne/Vorgangsaktivitäten verwalten

Arbeitspläne lassen sich (seit Release 02/23) mit der App ‚Arbeitspläne/Rezepte verwalten‘ erstellen, anzeigen und bearbeiten. Unterschieden wird zwischen fünf Arbeitsplan-Typen:

- Produktion (Stamm)

- Auftragspezifisch
- Spezial
- Abweichung (AB)
- Verwendungsentscheid (z.B. Scrap)

Abbildung 60 zeigt die App am Beispiel des Produktionsarbeitsplans für den ‚3D-Drucker‘.

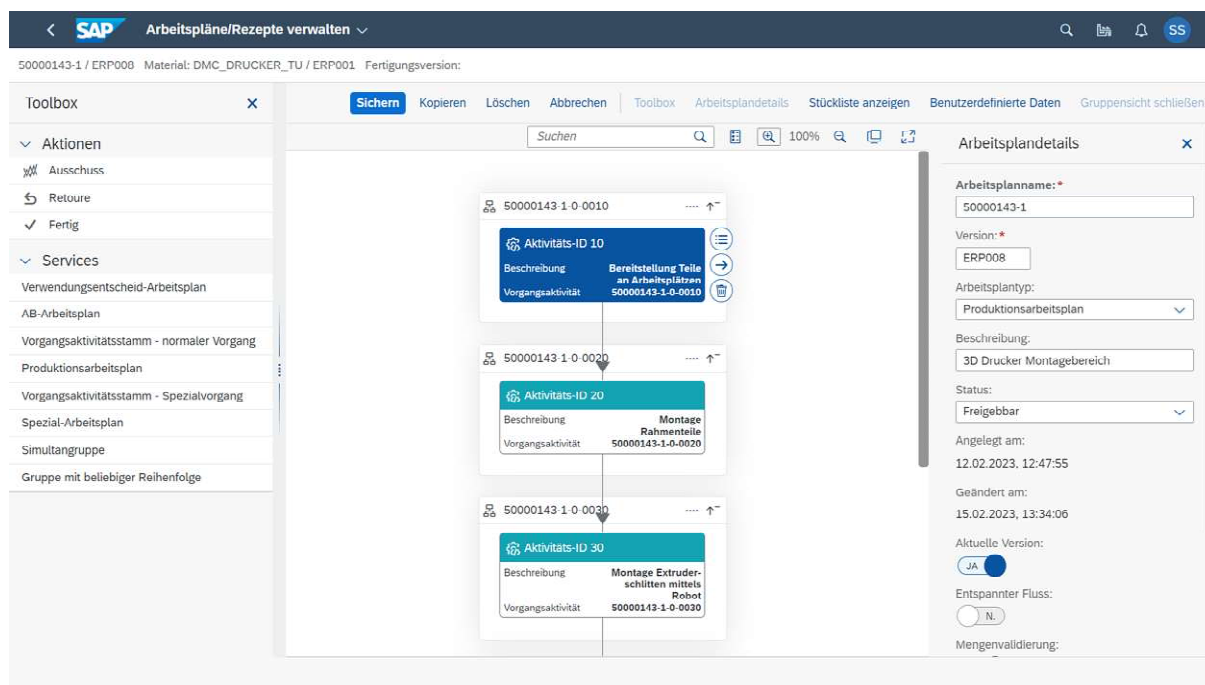


Abbildung 60: DMC – ‚Arbeitspläne/Rezepte verwalten‘ [27]
Beispiel: Produktionsarbeitsplan ‚3D-Drucker‘

Für gewöhnlich besteht ein Arbeitsplan aus einer oder mehrerer Vorgangsaktivität(en), Verwendungsentscheid-Arbeitspläne bestehen nur aus einer Aktion.

Dem Arbeitsplan können folgende Informationen entweder allgemein oder auf Vorgangsebene (siehe Abbildung 61, Seite 49) zugeordnet werden:

- FHMs
- Arbeitsanweisungen
- Materialverbrauch
- Datenerfassung

FHMs, Arbeitsanweisungen und Datenerfassung können hier direkt manuell hinzugefügt werden, diese müssen zuvor in DMC angelegt oder importiert werden.

Der Materialverbrauch ergibt sich durch die in der zugehörigen Stückliste zugeordneten Montagevorgangsaktivitäten.

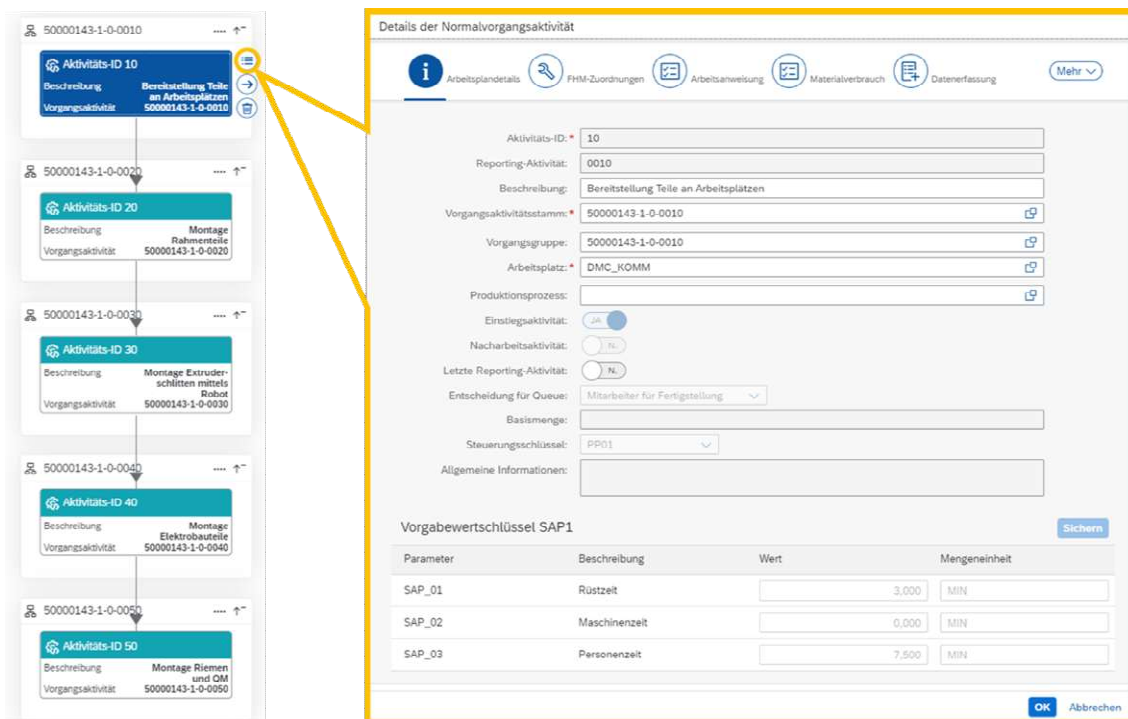


Abbildung 61: DMC – ‚Arbeitspläne/Rezepte verwalten‘ – Details der Normalvorgangsaktivität [27]
 Beispiel: Produktionsarbeitsplan ‚3D-Drucker‘

Unter ‚Vorgangsaktivitäten verwalten‘ können Vorgangsaktivitäten vom Typ ‚Normal‘ oder ‚Spezial‘ angelegt werden. Es muss jeder Aktivität ein Ressourcentyp und es können Standardressource und Arbeitsplatz zugeordnet werden (siehe Abbildung 62).

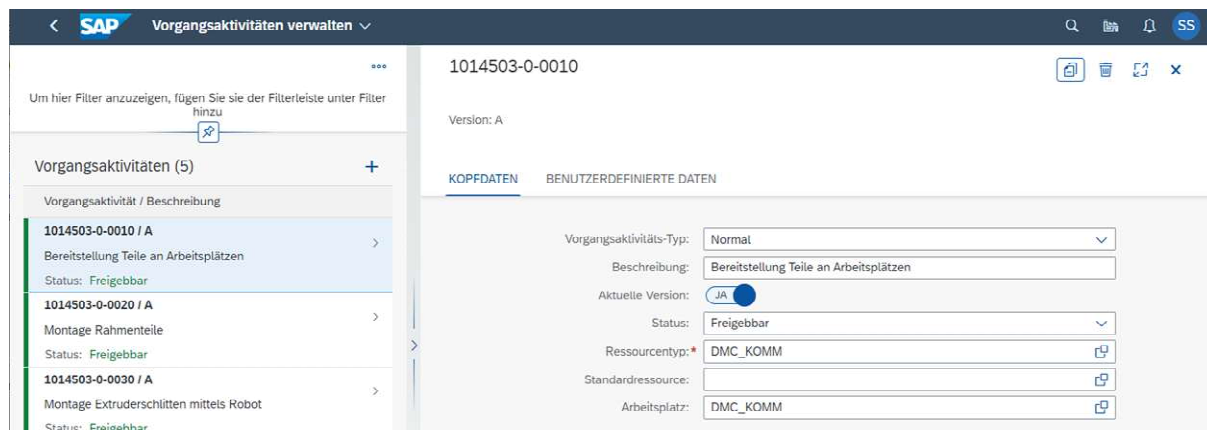


Abbildung 62: DMC – Vorgangsaktivität vom Typ ‚Normal‘ / Ressourcentypen automatisch zugeordnet [27]

Beim Erstellen von Arbeitsplänen in DMC müssen zunächst die Vorgangsaktivitäten angelegt werden, die dann im Arbeitsplan verwendet werden können. Wird ein Produktions-Arbeitsplan aus ERP geschickt, werden automatisch die Vorgänge als Vorgangsaktivitäten vom Typ ‚Normal‘ und ein Produktionsarbeitsplan ohne Zuordnungen angelegt (zur Wiederholung: Die Bezeichnung entspricht der Plangruppennummer und -zähler aus ERP). Erfolgt ein erneuter Stammdaten-Transfer wird die Versionsnummer um 1 erhöht. Wird ein Fertigungsauftrag in

ERP freigegeben, werden in DMC wieder Vorgangsaktivitäten vom Typ ‚Normal‘ und ein auftragspezifischer Arbeitsplan angelegt, mit der Bezeichnung entsprechend der Auftragsnummer. Dieser kann entweder Zuordnungen von FHMs und Arbeitsanweisungen aus ERP enthalten oder Zuordnungen aus dem Produktionsarbeitsplan in DMC übernehmen. Nachträgliche Änderungen in diesem werden immer nur auf die nachfolgenden Aufträge übertragen. Dasselbe gilt für die Datenerfassung, diese kann aber nur in DMC zugeordnet werden. Jedoch ist es möglich, Prüfmerkmale aus ERP zu integrieren, in DMC zu erfassen und rückzumelden. Letztere werden jedoch nicht in DMC dargestellt.

In dem hier dargestellten Fall (siehe Abbildung 63) werden die FHMs in ERP angehängt, während die Arbeitsanweisungen in DMC zugeordnet werden, vgl. nächstes Unterkapitel „Arbeitsanweisungen verwalten“. Für den Drucker erfolgt eine DMC-seitige Datenerfassung im letzten Vorgang, für die Münze werden die Prüfmerkmale aus ERP QM integriert.

The image shows two screenshots from the SAP S/4HANA interface. The left screenshot displays a list of activities for a production order (1014503-0-0010). The activity 1014503-0-0020 is selected, showing its description 'Montage Rahmentelle' and 'Vorgangaktivität 1014503-0-0020'. A yellow arrow points from this activity to the right screenshot. The right screenshot shows the 'Details der Normalvorgangsaktivität' for activity 0020. It includes fields for 'Aktivitäts-ID', 'Reporting-Aktivität', 'Beschreibung', and 'Vorgangspaktivitätsstamm'. Below this, there is a table for 'FHM (3)' with columns for 'FHM-Nummer', 'Art', and 'Beschreibung'. The table lists three FHM entries: 'FHM_TU_INBUS_2MM', 'FHM_TU_INBUS_3MM', and 'FHM_TU_INBUS_5MM', all of type 'Material-FHM'. At the bottom, there is a table for 'Materialverbrauch (21)' with columns for 'Material', 'Beschreibung', 'Menge', 'Unterer Schwellenwert', and 'Oberer Schwellenwert'. The table lists three material consumption entries: 'RPROFIL_HOUNHI_V2', 'RPROFIL_HOUNVD', and 'RPROFIL_VEIHE'.

Abbildung 63: DMC – Auftragspezifischer Arbeitsplan [27]

Für den Fall, dass ein Auftrag einer Nacharbeit bedarf, wird für die Montagestationen 1-3 jeweils ein Spezial-Vorgang angelegt, wodurch automatisch ein Spezial-Arbeitsplan erstellt wird. Es können auch AB-Arbeitspläne genutzt werden, da hier die Nacharbeitsaktivität auf ‚Ja‘ gesetzt werden kann, womit der Zeitaufwand für diese Aktivität theoretisch als Nacharbeit gilt. Zurzeit wird dies aber noch nicht unterstützt, evtl. mit einem zukünftigen Release.

Scrap existiert per Standard als Verwendungsentscheid-Arbeitsplan. Hier wird kein Vorgang zugeordnet, sondern lediglich die Aktion ‚Scrap‘. Andere Aktionen sind ‚Fertig‘ oder ‚Retoure‘.

Tabelle 3 zeigt einen Überblick der verwendeten Arbeitspläne, ihrer Bezeichnungen und zugehörigen Vorgangsaktivitäten.

Tabelle 3: Übersicht Bezeichnung und Typ der Arbeitspläne und Vorgangsaktivitäten

Bezeichnung Vorgangsaktivität	Vorgangs- aktivitäts-Typ	Bezeichnung Arbeitsplan	Vor- gang	Arbeitsplan-Typ
50000199-1-0010	Normal	50000199-1	1/3	Produktion
50000199-1-0020	Normal	50000199-1	2/3	Produktion
50000199-1-0030	Normal	50000199-1	3/3	Produktion
50000143-1-0010	Normal	50000143-1	1/5	Produktion
...
50000143-1-0050	Normal	50000143-1	5/5	Produktion
1014503-0-0010	Normal	1014503-0	1/5	Auftragsspezifisch
...
1014503-0-0050	Normal	1014503-0	5/5	Auftragsspezifisch
REWORK-MS1	Spezial	REWORK-MS1	1/1	Spezial / AB
REWORK-MS2	Spezial	REWORK-MS2	1/1	Spezial / AB
REWORK-MS3	Spezial	REWORK-MS3	1/1	Spezial / AB
-	-	Scrap	1/1	Verwendungsentscheid

Da die Ressourcentypen in ERP, wie bereits erwähnt, nicht existieren, werden diese per Standard auf ‚Default‘ gesetzt. Um den Ressourcentyp mit einem bestimmten Wert zu füllen, muss dies im Integrations-Workflow ‚LOIPRO05 V2‘ spezifiziert werden. Zu diesem Zweck werden die Ressourcentypen so gewählt, dass sie denselben Namen wie die Arbeitsplätze erhalten. Der XSLT-Code wird um folgende Zeile ergänzt:

```
<ZResourceType><xsl:value-of select="ARBPL" /></ZResourceType>
```

Der Befehl wird auf Vorgangsebene ausgeführt, die Variable „ARBPL“ ist in dem IDoc enthalten und ihr Wert entspricht dem Arbeitsplatz aus ERP.

Arbeitsanweisungen verwalten

Abbildung 64 auf Seite 52 zeigt die ‚Arbeitsanweisungen verwalten‘ App. Arbeitsanweisungen können hier erstellt bzw. bearbeitet werden. Zum einen können Dateien vom Format URL, Text oder Datei (z.B. PDF, Foto, Video) als Arbeitsanweisungselemente angehängt werden. Zum anderen können Zuordnungen zu Material, Arbeitsplatz, Arbeitsplan und/oder

Vorgangsaktivität vorgenommen werden. Durch die Zuordnung zum Produktions-Arbeitsplan werden die Arbeitsanweisungen auch allen folgenden auftragspezifischen Arbeitsplänen zugeordnet. Wird zudem eine neue Version des Arbeitsplans transferiert, erfolgt die erneute Zuordnung ebenfalls automatisch. Abbildung 65 zeigt die hergestellte Verknüpfung der Arbeitsanweisungen auf Vorgangsebene im Arbeitsplan.

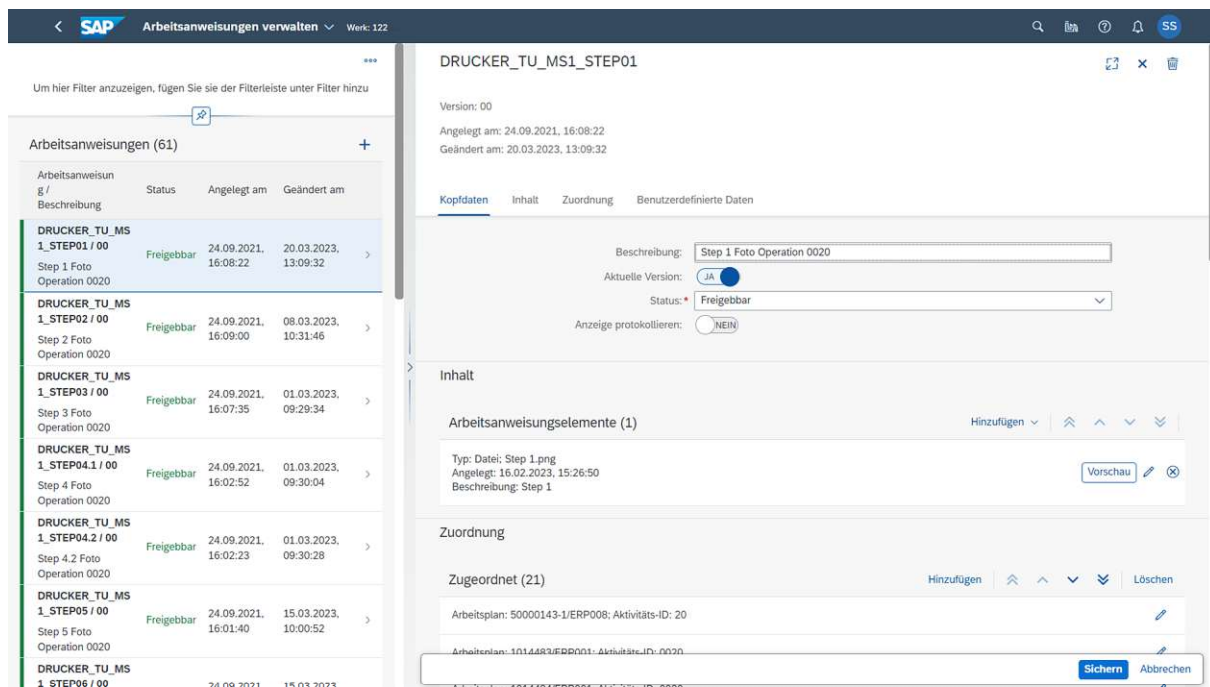


Abbildung 64: DMC – ‚Arbeitsanweisungen verwalten‘ [27]

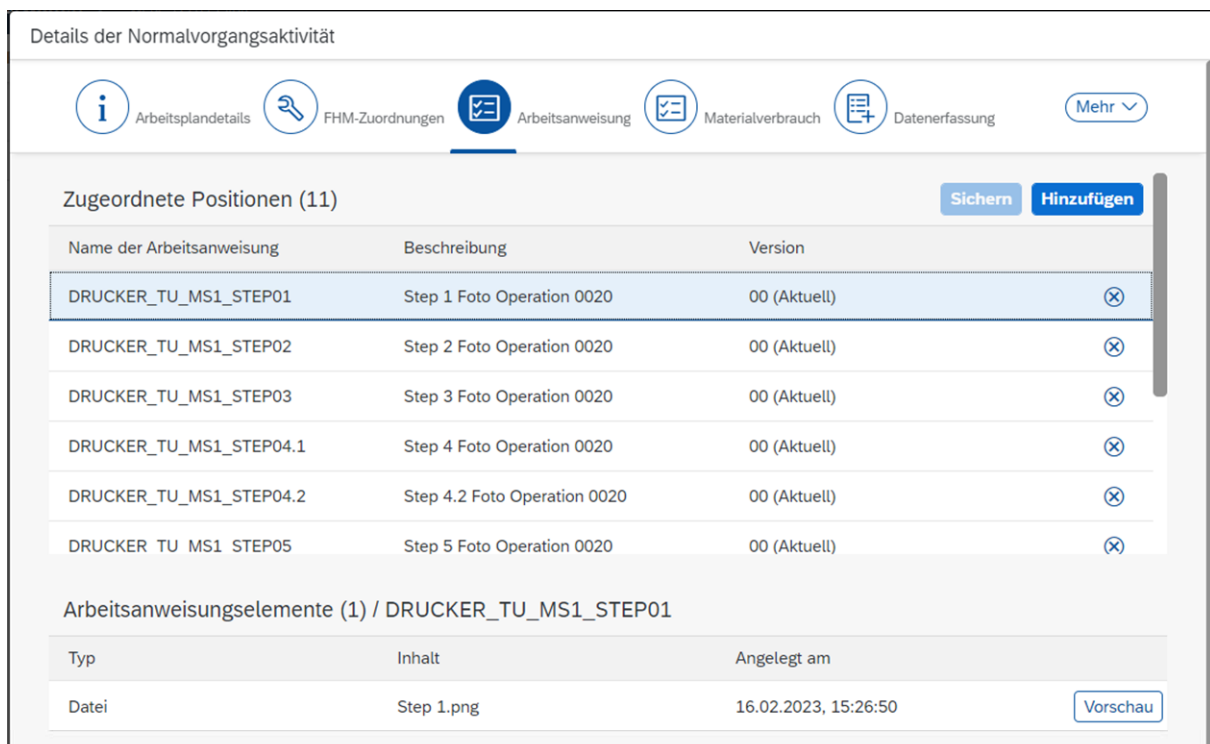


Abbildung 65: DMC – ‚Arbeitspläne/Rezepte verwalten‘ – zugeordnete Arbeitsanweisungen [27]

Datenerfassung verwalten

Mit der Aktivität ‚Datenerfassung verwalten‘ können mit Datenerfassungsgruppen DMC-seitige Prüfmerkmale erstellt, bearbeitet und mit mehreren Parametern vom Typ Text (per Default), numerisch oder boolesch befüllt werden.

Jede Datenerfassungsgruppe kann folgenden Stammdaten zugewiesen werden:

- Material
- Arbeitsplan
- Vorgangsaktivität
- Arbeitsplatz
- Ressource
- Auftrag

Für jeden Parameter muss in der Parameterinformation ein Parametername definiert werden, optionale Einträge sind Werte wie Beschreibung, Status, Einheit. Es kann festgelegt werden, ob ein Eintrag erforderlich ist, zudem gibt es vom Parametertyp abhängige Werte (z.B. Wert für True/False bei boolesch).

Für den Montageprozess wird die Datenerfassungsgruppe ‚DMC_QM_MONTAGE‘ erstellt (siehe Abbildung 66), die der letzten Vorgangsaktivität (‚50000143-1-0050‘) zugeordnet wird.

The screenshot shows the SAP S/4HANA 'Datenerfassung verwalten' (Manage Data Collection) interface for the group 'DMC_QM_MONTAGE'. The interface is divided into several sections:

- Kopfdaten (Header Data):** Includes fields for 'Beschreibung' (Description) set to 'Test', 'Aktuelle Version' (Current Version) set to 'JA', 'Status' (Status) set to 'Freigebbar', 'PASS/FAIL-Gruppe' (PASS/FAIL Group) set to 'JA', and 'Anzahl der fehlgeschlagenen/abgelehnten Elemente' (Number of failed/rejected elements) set to 0. There is also a 'Mehrfacherfassung zulassen' (Allow multiple entries) toggle set to 'N'.
- Parameter (Parameters):** A table listing parameters with columns for Parametername, Beschreibung, Status, Typ, and Einheit.

Parametername	Beschreibung	Status	Typ	Einheit
TESTDRUCK	Testdruck ok?	Aktiviert	Boolesch	h
JUSTIERUNG	Korrekte Justierung des Drucktisches?	Aktiviert	Boolesch	h
MONTAGE	Korrekte Montage des 3D Druckers?	Aktiviert	Boolesch	h
- Zuordnung (Assignment):** Shows 'Zugeordnet (4)' (Assigned (4)) with a list of assignments, including 'Arbeitsplan: 50000143-1/ERP008; Aktivitäts-ID: 50'.

Abbildung 66: DMC – ‚Datenerfassung verwalten‘ [27]

Es werden die drei boolesch Parameter TESTDRUCK, JUSTIERUNG und MONTAGE angehängt und jeweils als Wert für True ‚OK‘ und als Wert für False ‚NICHT OK‘ festgelegt (siehe Abbildung 67).

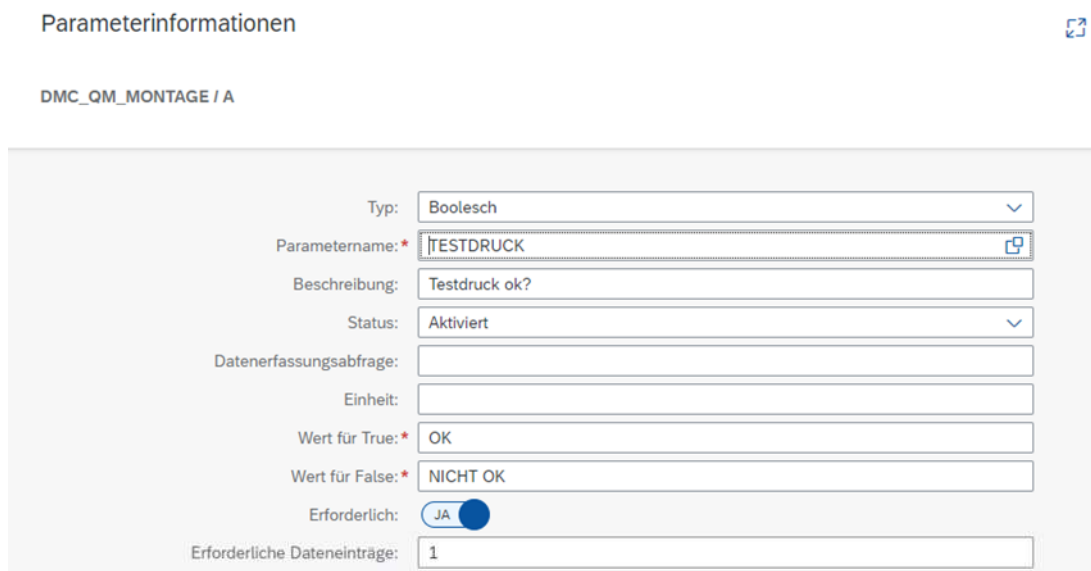


Abbildung 67: DMC – ‚Datenerfassung verwalten‘ – Parameterinformation [27]

Schichten verwalten

Voraussetzung für die REO-Funktion ‚Personaleinsatzplanung‘ ist das Anlegen von Schichten unter ‚Schichten verwalten‘ (siehe Abbildung 68). Bei Schichtintervalle lassen sich Schichtbeginn und -ende, sowie Pausenzeit und -länge festlegen. Es wird eine Früh- und Spätschicht mit je einer halben Stunde Pause erstellt. Unter Kalenderregeln können Produktionstage – Produktion/Nicht-Produktion – und Tagesklassen – Normal/Wochenende/Feiertag – definiert werden.

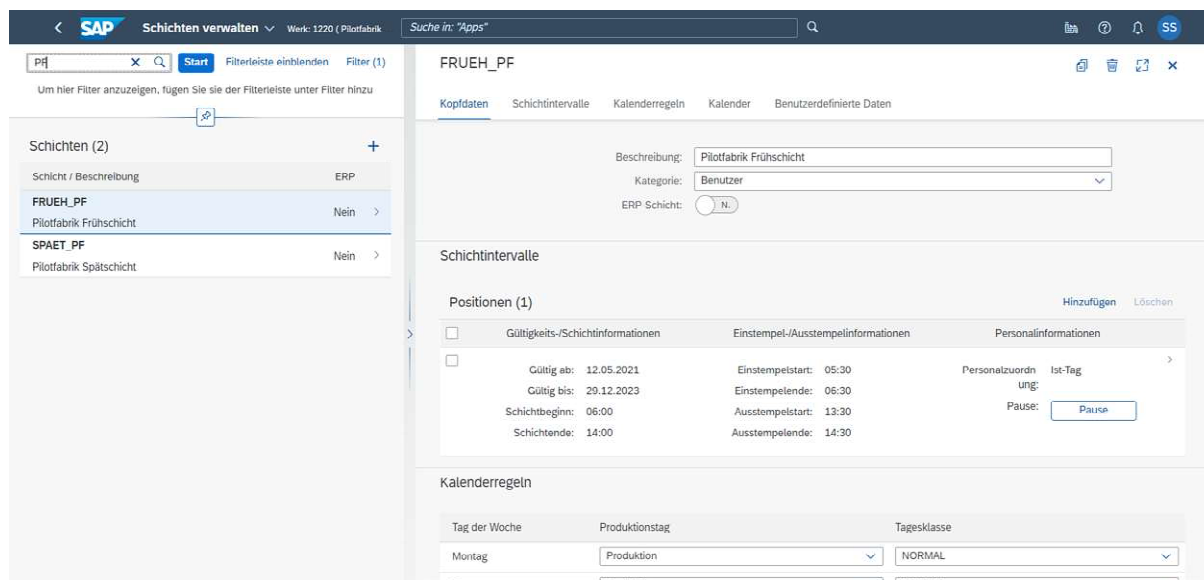


Abbildung 68: DMC – ‚Schichten verwalten‘ [27]

Die so erstellten Schichten können anschließend noch Ressourcen zugeordnet werden (siehe Abbildung 69), um bei der Ressourcenorchestrierung berücksichtigt zu werden.

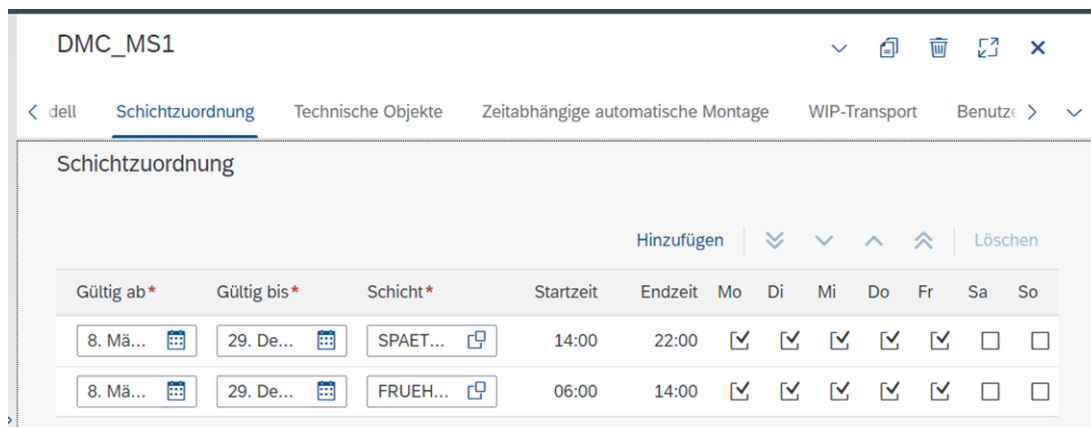


Abbildung 69: DMC – ‚Ressourcen verwalten‘ – Schichtzuordnung [27]

Werkzeuge verwalten

Unter ‚Werkzeuge verwalten‘ können Werkzeuge erstellt und bearbeitet werden. Dies geschieht, indem einem bereits vorhandenen Material oder Equipment eine Werkzeugnummer zugeordnet wird (siehe Abbildung 70a). Für das Werkzeug können Allgemeine Informationen – Seriennummer, Lagerort, Lieferant, etc. – sowie Einstellungen für die Protokollierung – Methode: nicht verfolgt, automatisch, manuell; Verwendungszähler, Verwendete Zeit – angepasst werden. Für jeden Arbeitsplatz des Montageprozesses werden die benötigten Werkzeuge eigens angelegt, die Nummerierung erfolgt aufsteigend beginnend bei 1, mit dem Präfix „TL“ und dem Kürzel des Arbeitsplatzes als Suffix, z.B. „TL1_MS1“. Zudem wird die manuelle Protokollierung mit Verwendungszähler gewählt (siehe Abbildung 70b). Die Werkzeugprotokollierung kann auch mit Hilfe eines ‚Produktionsprozesses‘ automatisch erfolgen. Abbildung 71 auf Seite 56 zeigt die angelegten Werkzeuge.

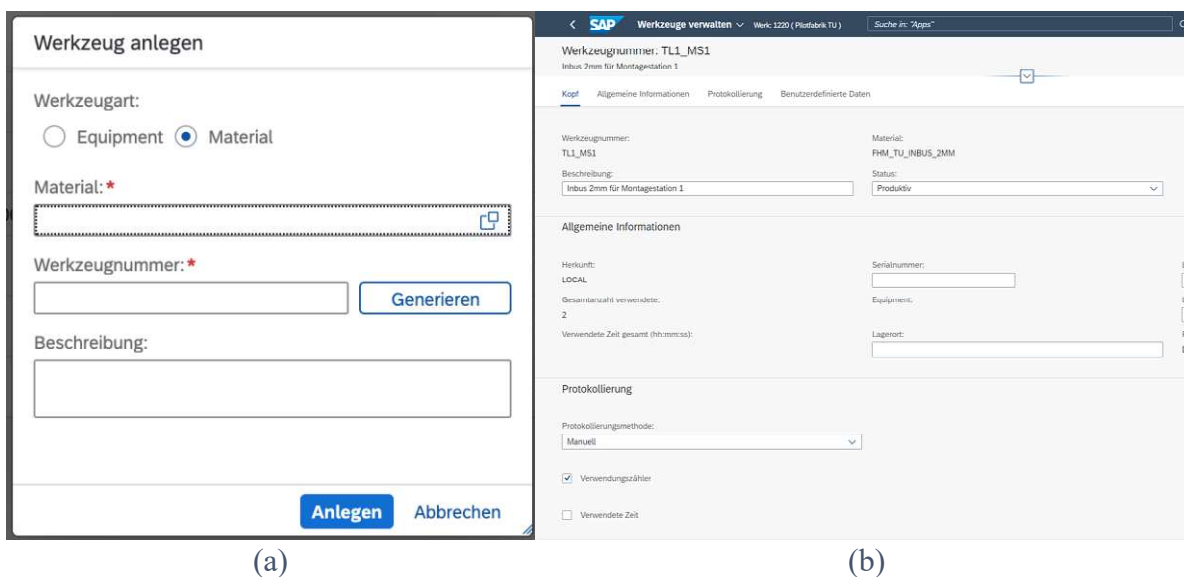


Abbildung 70: DMC – ‚Werkzeuge verwalten‘ – Anlegen (a), – Bearbeiten (b) [27]

Werkzeugnummer	Beschreibung	Material/Version	Equipmentnummer	FHM-Nummer	Status	Werkzeugart	Gesamtanzahl verwendete	Verwendete Zeit gesamt (hh:mm:ss)	Angelegt am	Geändert am
TL2_MS3	Inbus 4mm für Montagestation 3	FHM_TU_INBUS_4 MM / ERP001		FHM_TU_INBUS_4 MM	Produktiv	Material	0		28.02.2023, 19:17:38	28.02.2023, 18:19:39
TL1_MS3	Inbus 3mm für Montagestation 3	FHM_TU_INBUS_3 MM / ERP001		FHM_TU_INBUS_3 MM	Produktiv	Material	0		28.02.2023, 10:17:02	28.02.2023, 10:10:25
TL3_MS2	Torx TX25 für Montagestation 2	FHM_TU_TX25 / ERP001		FHM_TU_TX25	Produktiv	Material	0		21.02.2023, 18:53:05	28.02.2023, 17:27:22
TL2_MS2	Inbus 3mm für Montagestation 2	FHM_TU_INBUS_3 MM / ERP001		FHM_TU_INBUS_3 MM	Produktiv	Material	0		21.02.2023, 18:50:49	28.02.2023, 17:27:19
TL1_MS2	Inbus 3mm für Montagestation 2	FHM_TU_INBUS_2 MM / ERP001		FHM_TU_INBUS_2 MM	Produktiv	Material	0		21.02.2023, 18:50:20	28.02.2023, 17:27:16
TL3_MS1	Inbus 5mm für Montagestation 1	FHM_TU_INBUS_5 MM / ERP001		FHM_TU_INBUS_5 MM	Produktiv	Material	0		21.02.2023, 18:49:28	28.02.2023, 17:28:28
TL2_MS1	Inbus 2mm für Montagestation 1	FHM_TU_INBUS_3 MM / ERP001		FHM_TU_INBUS_3 MM	Produktiv	Material	0		21.02.2023, 18:48:43	28.02.2023, 17:28:26
TL1_MS1	Inbus 2mm für Montagestation 1	FHM_TU_INBUS_2 MM / ERP001		FHM_TU_INBUS_2 MM	Produktiv	Material	0		21.02.2023, 18:47:34	28.02.2023, 17:28:19

Abbildung 71: DMC – ‚Werkzeuge verwalten‘ – Übersicht [27]

Werden die Werkzeuge den jeweiligen Ressourcen zugeordnet, bekommen sie den Status ‚Produktiv‘ und können während des Fertigungsprozesses protokolliert werden. Hierzu muss das POD Plugin ‚Werkzeugzuordnung‘ verwendet werden. Der POD wird erst im Kapitel 5.4.2 – ‚POD-Konfiguration‘ konfiguriert, hier sei aber die Zuordnung der Werkzeugnummern zu den Ressourcen laut Tabelle 4 über dieses POD Plugin vorweggenommen (siehe Abbildung 72, Seite 57).

Tabelle 4: Zuordnung Werkzeugnummer zum FHM-Nummer und Ressource

Werkzeugnummer	Vorgangs-ID	Ressource	FHM-Nummer
TL_1_MS1	0010	DMC_MS1	FHM_TU_INBUS_2MM
TL_2_MS1	0010	DMC_MS1	FHM_TU_INBUS_3MM
TL_3_MS2	0010	DMC_MS1	FHM_TU_INBUS_5MM
TL_1_MS2	0020	DMC_MS2	FHM_TU_INBUS_2MM
TL_2_MS2	0020	DMC_MS3	FHM_TU_INBUS_3MM
TL_3_MS2	0020	DMC_MS3	FHM_TU_TX25
TL_1_MS3	0030	DMC_MS3	FHM_TU_INBUS_3MM
TL_2_MS3	0030	DMC_MS3	FHM_TU_INBUS_4MM

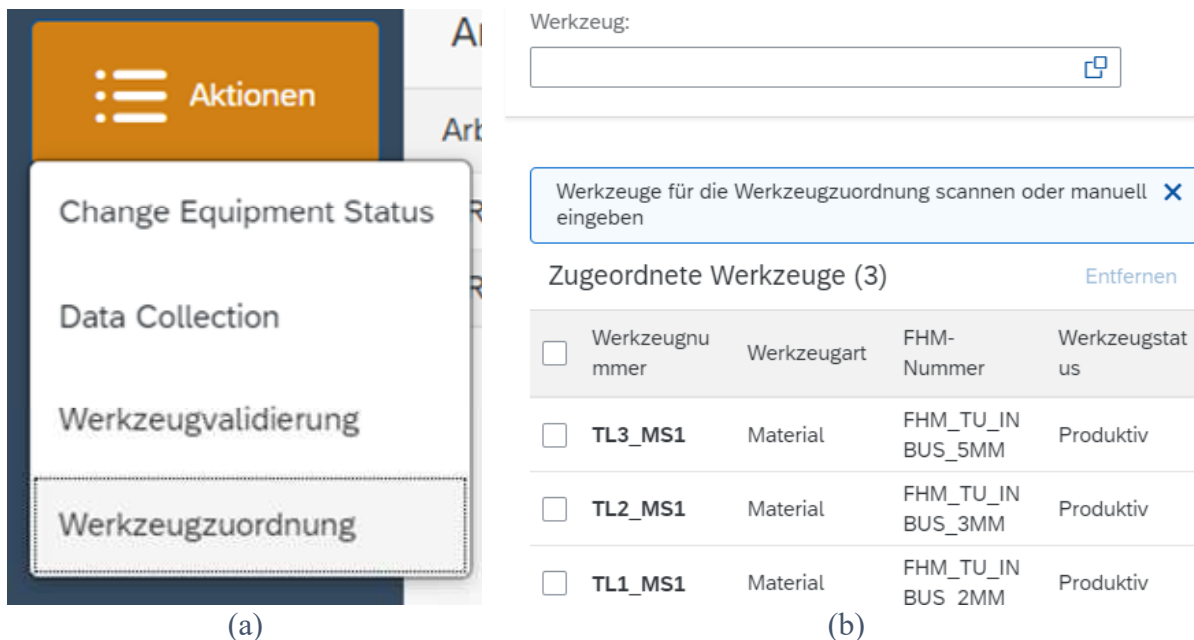


Abbildung 72: DMC – Arbeitsplatz-POD – ‚Werkzeugzuordnung‘ (a), – Übersicht der zugeordneten Werkzeuge (b) [27]

Warenträger verwalten

Hier werden die wiederverwendbaren Warenträger, die später zur bereits erwähnten Palettierung und somit zur Identifikation der PSNs während der Fertigung dienen, angelegt. Dazu muss zuvor das Material ‚Palette‘ angelegt oder aus ERP importiert werden. Dann kann dieses unter ‚Warenträger verwalten‘ mit einer Warenträger-ID verknüpft werden (siehe Abbildung 73). Diese können später im POD-Plugin ‚Packliste‘ ausgewählt werden.

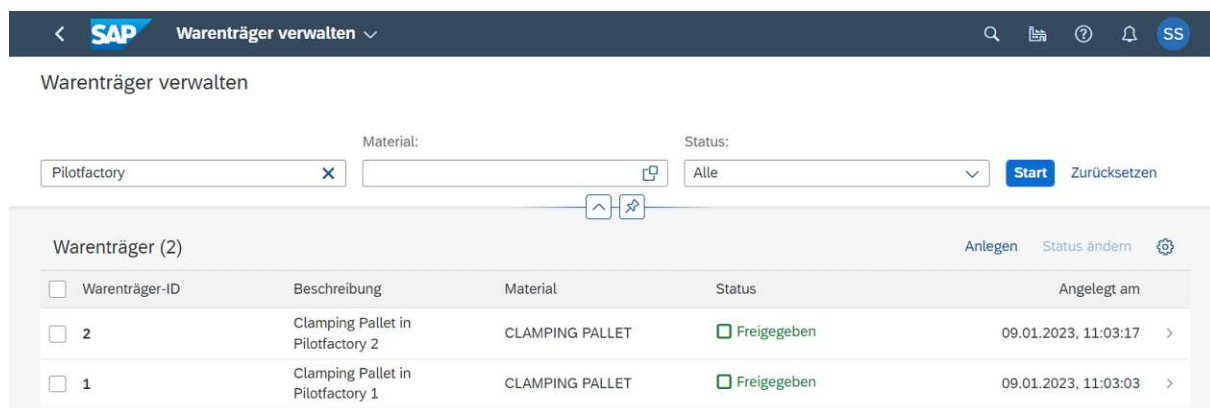


Abbildung 73: DMC – ‚Warenträger verwalten‘ [27]

5.4.2 Fertigungskonfiguration

Neben den Fertigungsstammdaten gibt es noch weitere Einstellungen, die zur Fertigungskonfiguration (siehe Abbildung 74) getätigt werden müssen, wie die Abweichungscodes, Datenfelder, Zertifizierungen, Benutzerzuordnungen und besonders wichtig das Erstellen der PODs.

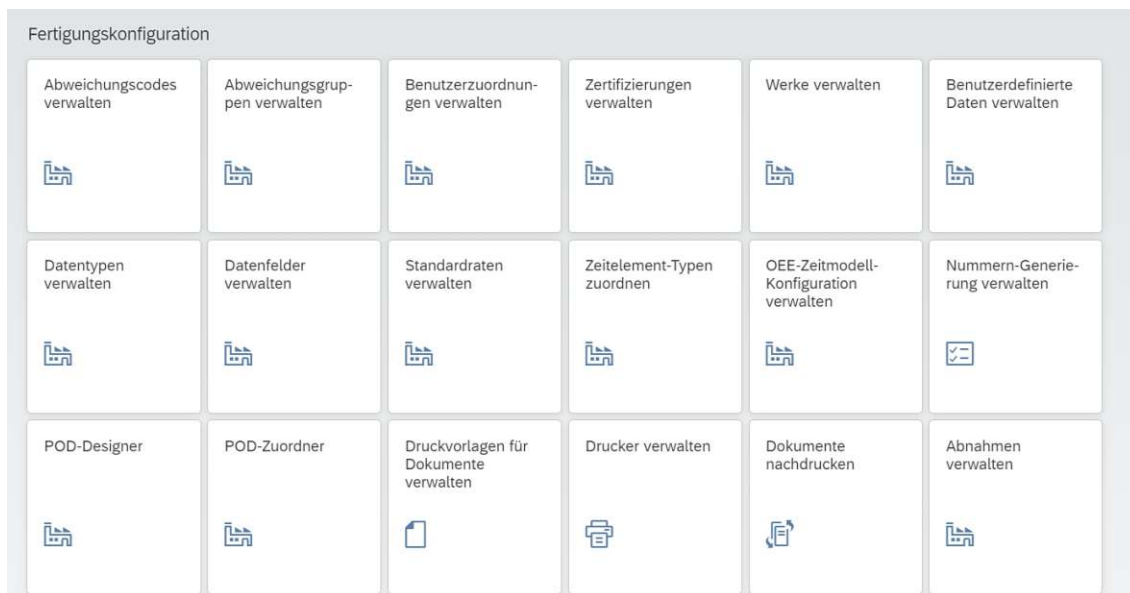


Abbildung 74: DMC – Fertigungskonfiguration [27]

Abweichungscodes und -arbeitspläne verwalten

Die Abweichungscodes (AB-Codes), englisch Nonconformance Codes (NC-Codes), werden verwendet, um ein Produkt als ‚nicht in Ordnung‘ zu kennzeichnen. Hier können unterschiedliche Fälle, wie z.B. fehlende oder beschädigte Komponenten, Nacharbeit oder Verschrottung definiert werden. Mit dem AB-Code kann ein AB-Arbeitsplan (NC-Routing) verknüpft werden, welcher automatisch gestartet wird, wenn während der Produktion eine Abweichung protokolliert wird. Die AB-Arbeitspläne wurden bereits im vorigen Kapitel 5.4.1 erstellt und werden nun den AB-Codes zugeordnet (siehe Abbildung 75, Seite 59). Neben den AB-Codes REWORK_MS1-3 für Montagestationen 1-3 werden die AB-Codes SCRAP_MONTAGE und SCRAP_PROD angelegt.

Abbildung 75: DMC – ‚Abweichungscodes verwalten‘ [27]

Datenfelder und -typen verwalten

Um Daten zur Produktgenealogie zu erfassen, wie z.B. Externe Seriennummern, müssen Datenfelder und Datentypen gepflegt werden. Ein Datenfeld entspricht dabei einem Parameter, der vom Typ Text, Textbereich, Nummer, Datum, Ankreuzfeld, Liste und Formel sein kann. Einem Datentyp können ein oder mehrere Datenfelder zugeordnet werden, hier lässt sich zudem bestimmen, welche Parameter zwingend erfasst werden müssen (Haken bei ‚erforderlich‘). Abbildung 76 und Abbildung 77 auf Seite 60 verdeutlichen diese Vorgehensweise am Beispiel der ‚EXTERNAL_ID‘.

Es gibt zwei Kategorien von Datentypen, die festlegen, an welcher Stelle die Daten erfasst werden; entweder bei Montage, wie im genannten Beispiel, oder bei Abweichung (AB).

Anmerkung: Datenfelder sind nicht zu verwechseln mit den oben erwähnten Parametern der Datenerfassung. Bei den Datenerfassungsgruppen handelt es sich um DMC-seitige Prüfmerkmale zur Qualitätskontrolle, die Datentypen dienen der Rückverfolgbarkeit (Genealogie) von Produkten und deren eingebauten Teile bzw. Abweichungen.

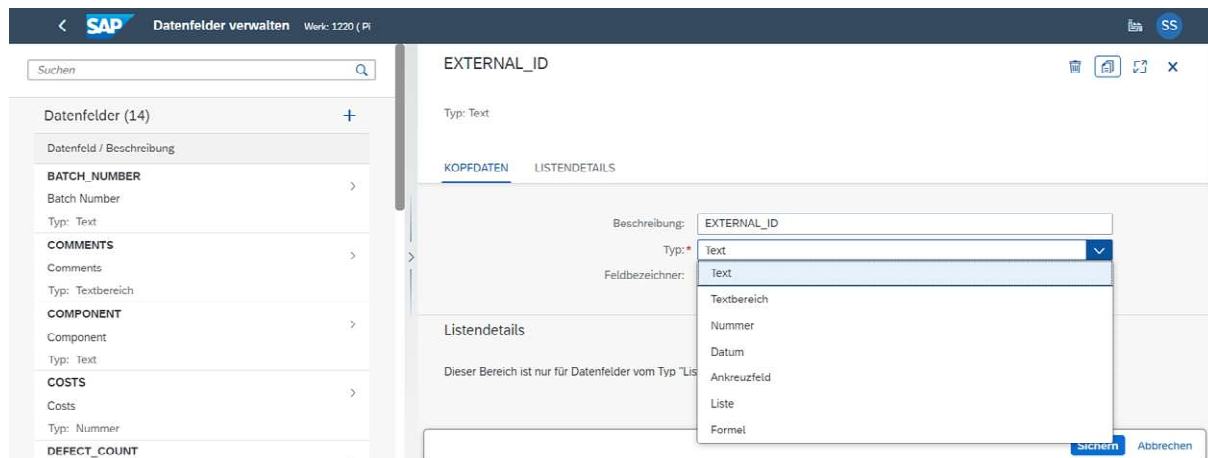


Abbildung 76: DMC – ‚Datenfelder verwalten‘ [27]

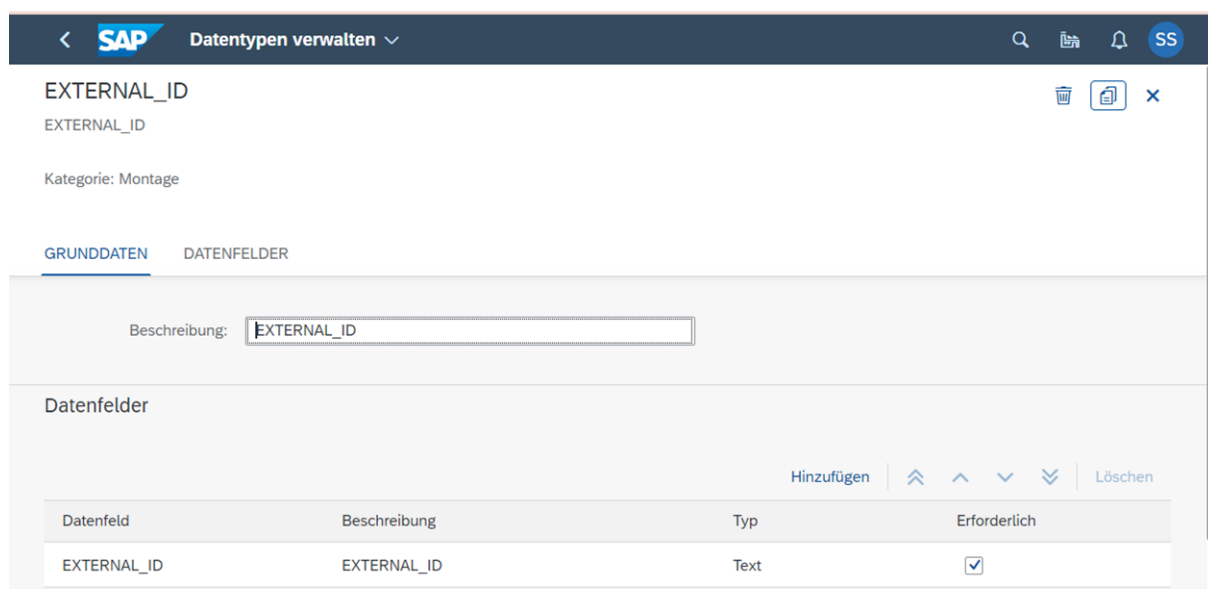


Abbildung 77: DMC – ‚Datentypen verwalten‘ [27]

Zertifizierungen verwalten

Werker*innen benötigen Zertifizierungen, um bestimmte Arbeiten durchzuführen. Diese können hier angelegt werden und entweder Material, Ressource oder Vorgangsaktivität zugeordnet werden. In der Produktion wird dann im POD überprüft, ob die Werker*innen die benötigte Qualifizierung haben.

Für die Zertifizierung können Status, Dauerart, ggfs. Dauer und Einstellungen zur Verlängerung bestimmt werden. Es wird ein Zertifikat für das Qualitätsmanagement von permanenter Dauer angelegt und den Ressourcen ‚DMC_MS4QM‘ und ‚DMC_QUALI‘ zugeordnet (siehe Abbildung 78, Seite 61). Die Zuordnung der Zertifizierung zum Benutzer selbst erfolgt im nächsten Schritt.

The screenshot shows the SAP 'Zertifizierungen verwalten' (Manage Certifications) interface. The main view is for the certification 'MONTAGE_QM'. The interface is divided into several sections:

- Suchen (Search):** Includes a search bar and filters for 'Status' (Aktiviert) and 'Anlegezeitraum' (dd.MM.y - dd.MM.y).
- Zertifizierungen (1):** A list showing one certification: 'MONTAGE_QM' with status 'Aktiviert'.
- Kopfdaten (Header Data):**
 - Beschreibung: MONTAGE_QM
 - Status: Aktiviert
 - Dauerart: Permanent
 - Dauer: 0 Monate
 - Maximale Anzahl der Verlängerungen: 0
 - Maximale Verlängerungsdauer: 0 Monate
- Zuordnung (Assignment):** A table listing assigned resources:

Art	Name/Version
Ressource	DMC_MS4Q
Ressource	DMC_QUAL
- Benutzerdefinierte Daten (User-defined Data):** A section for additional data, currently empty.

Abbildung 78: DMC – ‚Zertifizierungen verwalten‘ [27]

Benutzerzuordnungen verwalten

Voraussetzung für die Ausführung von Arbeiten an einem bestimmten Arbeitsplatz mit dem POD sowie die Nutzung der REO-Funktion ‚Personaleinsatzplanung‘ ist das Anlegen bzw. Bearbeiten von Benutzern unter ‚Benutzerzuordnungen verwalten‘. Beim Erstellen müssen Vorname, Nachname und eine individuelle ID angegeben werden, diese lassen sich im Nachhinein nicht mehr ändern. Personen mit S-User (SAP-Benutzer), denen über BTP eine Berechtigung für DMC erteilt wurde, werden hier automatisch als Benutzer angelegt. In diesem Fall entspricht die ID der Email-Adresse. Diese Benutzer haben einen eigenen Log-In für die DMC-Applikation, während in DMC angelegte Benutzer keine eigenen Zugangsdaten erhalten.

Dem Benutzer müssen Arbeitsplätze zugeordnet werden, damit an diesen gearbeitet werden kann, außerdem können hier zuvor erstellte Zertifizierungen hinzugefügt werden.

Es werden in Summe neun Werker*innen angelegt, Tabelle 5 zeigt dazu eine Übersicht mit jeweiliger Benutzer-ID, zugeordneten Zertifizierungen und Arbeitsplätzen.

Tabelle 5: Werker*innen und ihre Benutzer-IDs, Zertifizierungen und Arbeitsplätze

Benutzer-ID	Zertifizierung	Arbeitsplätze
MONT_03, MONT_07		DMC_KOMM
MONT_01, MONT_02, MONT_06, MONT_08		DMC_KOMM, DMC_MS1, DMC_MS2, DMC_MS3
MONT_04, MONT_05, MONT_09	MONTAGE_QM	DMC_KOMM, DMC_MS1, DMC_MS2, DMC_MS3, DMC_MS4QM, DMC_QUAL

Abbildung 79 zeigt ein Beispiel in DMC anhand des angelegten Benutzers ‚MONT_04‘.

The screenshot shows the SAP DMC 'Benutzerzuordnungen' (User Assignments) interface. On the left, a list of users is shown, with 'WERKERIN, MONTAGE-QM MONT_04' selected. The right pane displays details for this user, including a 'Zertifizierungen' (Certifications) table and an 'Arbeitsplatz' (Workstation) table.

Zertifizierung	Beschreibung	Status	Zertifizierungsdatum	Ablaufdatum	Verlängerung
MONTAGE_OM	MONTAGE_QM	Aktiviert	31.05.2021		

Arbeitsplatz	Beschreibung	
DMC_KOMM	Kommissionierstation	X
DMC_MS1	Assembly Station 1	X
DMC_MS2	Montagestation 2	X
DMC_MS3	Montagestation 3	X
DMC_MS4Q	Montagestation 4 & Qualitätsprüfung	X

Abbildung 79: DMC – ‚Benutzerzuordnungen verwalten‘ [27]

Der eigene Benutzer ‚sara.schieck@concircle.com‘ ist bereits vorhanden und wird in diesem Showcase als sogenannter Supervisor (Produktionsleiter*in) eingesetzt. Unter Überwachte Benutzer werden dem Supervisor seine Mitarbeiter*innen zugeordnet (siehe Abbildung 80), damit dieser deren Schichten planen kann. Im Kalender der Benutzer können vom Supervisor die protokollierten Arbeitsstunden eingesehen, nachgetragen oder bearbeitet werden.

The screenshot shows the SAP DMC 'Benutzerzuordnungen verwalten' (Manage User Assignments) interface for user 'SCHIECK, SARA'. The 'Überwachte Benutzer' (Supervised Users) section is active, displaying a table of assigned users.

Benutzer-ID	Vorname	Nachname	
MONT_01	Montage	Werkerin	X
MONT_02	Montage	Werker	X
MONT_03	Kommi	Werker	X
MONT_04	Montage-QM	Werkerin	X
MONT_05	MONTAGE_QM	WERKER	X
MONT_06	MONTAGE	WERKERIN	X
MONT_07	KOMMI	WERKERIN	X
MONT_08	MONTAGE	WERKER	X
MONT_09	MONTAGE-QM	WERKER	X

Abbildung 80: DMC – ‚Benutzerzuordnungen verwalten‘ – Überwachte Benutzer [27]

POD-Konfiguration

Der POD ist ein Tool, das bereits aus SAP ME bekannt ist und mit einer grafischen Oberfläche die Werker*innen durch die manuellen Arbeitsschritte führt. Daten, die zur Montage oder Nacharbeit benötigt werden, können hier sichtbar gemacht werden. Es kann mit verschiedenen Standard-Funktionen aber auch mit Custom-Funktionen ausgestattet werden, die über die sogenannten ‚Buttons‘ gesteuert werden. [17, S. 142]

In der Kategorie ‚Manufacturing Execution‘ finden sich einige Standard-PODs, in der DMC lässt sich der POD aber auch einfach mit dem ‚POD-Designer‘ (zu finden in der Kategorie ‚Fertigungskonfiguration‘) bauen. Neu ist hierbei das moderne Design mit grafischer Oberfläche, die die POD-Konfiguration visualisiert und somit eine unmittelbare Vorschau des Designs liefert.

Im Folgenden wird das Erstellen und Konfigurieren eines PODs am Beispiel des Kommissionier-PODs für den Produktionsprozess grob demonstriert, eine detailliertere Darstellung der Konfiguration aller PODs erfolgt in der Dokumentation (vgl. [26]).

Zunächst wird ein neuer POD angelegt, hierbei müssen Name und Typ definiert werden, welche sich im Nachhinein nicht ändern lassen (siehe Abbildung 81). Beschreibung, Anzeigemodus und Sitzungs-Timeout können ebenfalls bestimmt werden.

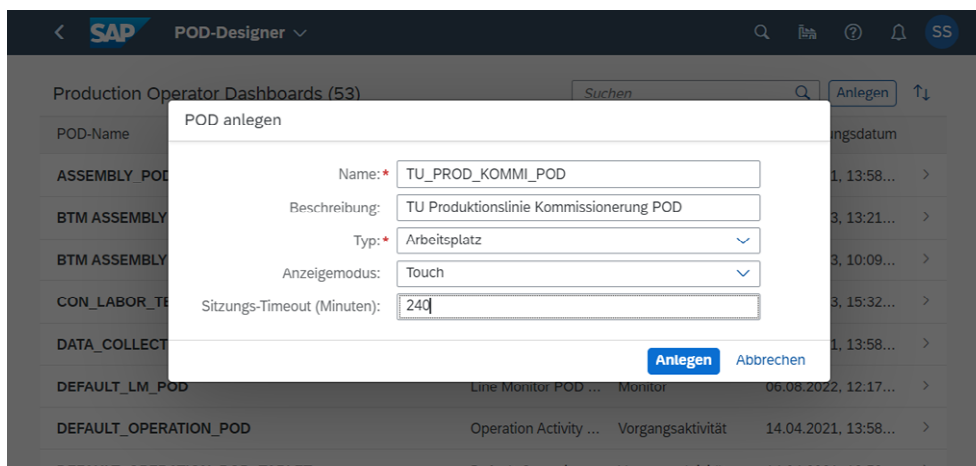


Abbildung 81: DMC – ‚POD-Designer‘ – Neuen POD anlegen [27]
Beispiel: Kommissionier-POD Produktionslinie

Folgende POD-Typen stehen zur Auswahl:

- Arbeitsplatz
- Auftrag
- Monitor
- Vorgangsaktivitäten
- Benutzerdefiniert

Es werden für die Pilotfabrik ausschließlich Arbeitsplatz-PODs erstellt. Im Anschluss erscheint die grafische Oberfläche zur Bearbeitung des PODs (siehe Abbildung 82). Mittig ist das Bearbeitungsfeld für den POD dargestellt. Auf der linken Seite kann die ‚Toolbox‘ eingeblendet werden, hier können unter ‚Controls‘ die unterschiedlichen Layouts und Plugins ausgewählt werden und per Drag and Drop in das Bearbeitungsfeld gezogen werden. Unter ‚Seiten‘ wird die Bearbeitungshierarchie angezeigt, diese kann angepasst und einzelne Layouts verschoben werden. Ein POD kann auch aus mehreren Seiten zusammengebaut werden, je nach Verwendungszweck ist dies sinnvoll, für die Pilotfabrik wird diese Funktionalität nicht verwendet. Auf der rechten Seite lässt sich die ‚Konfiguration‘ einblenden, mit der die Layouts und Plugins individuell angepasst werden können. Mit Plugins sind in diesem Abschnitt immer die bereits erwähnten POD Plugins gemeint.

Über die Funktionsleiste (orange markiert) können folgende Funktionen aufgerufen werden:

- URL anzeigen/kopieren
- POD-Vorschau anzeigen (Brille)
- Bereich ‚Toolbox‘ (Schraubenschlüssel) einblenden
- Bereich ‚Konfiguration‘ (Zahnrad) einblenden
- POD-Details anzeigen/bearbeiten
- POD-Benachrichtigungen
- POD kopieren

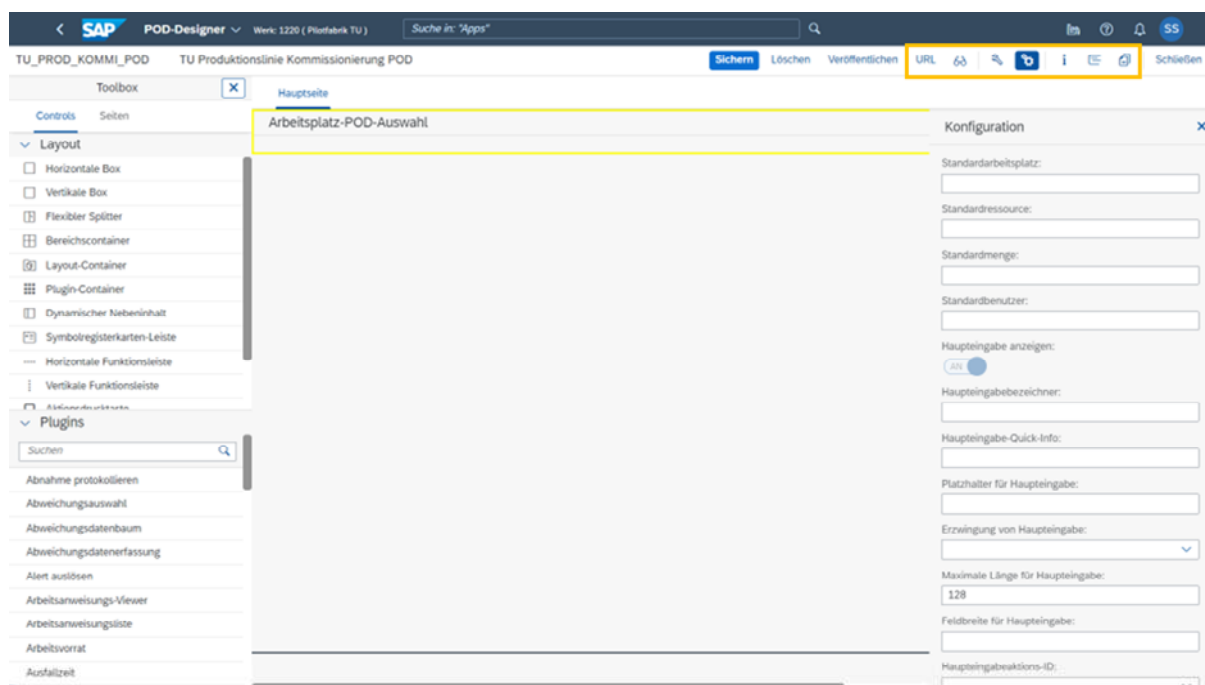


Abbildung 82: DMC – ‚POD-Designer‘ – Übersicht Konfiguration Arbeitsplatz-POD [27]
Beispiel: Kommissionier-POD Produktionslinie

Abbildung 83 zeigt das konfigurierte Layout, verwendet werden Plugin-Container (im Bereich oben und rechts unten), eine Symbolregisterkarten-Leiste (unten links) und eine Funktionsleiste (dunkler Bereich links) mit Aktionsdrucktasten (,Buttons‘). Diesen werden nun die benötigten bzw. verwendeten Plugins zugeordnet. Zudem können allgemeine Konfigurationen für die Startseite des PODs vorgenommen werden, wie Standardarbeitsplatz und -ressource.

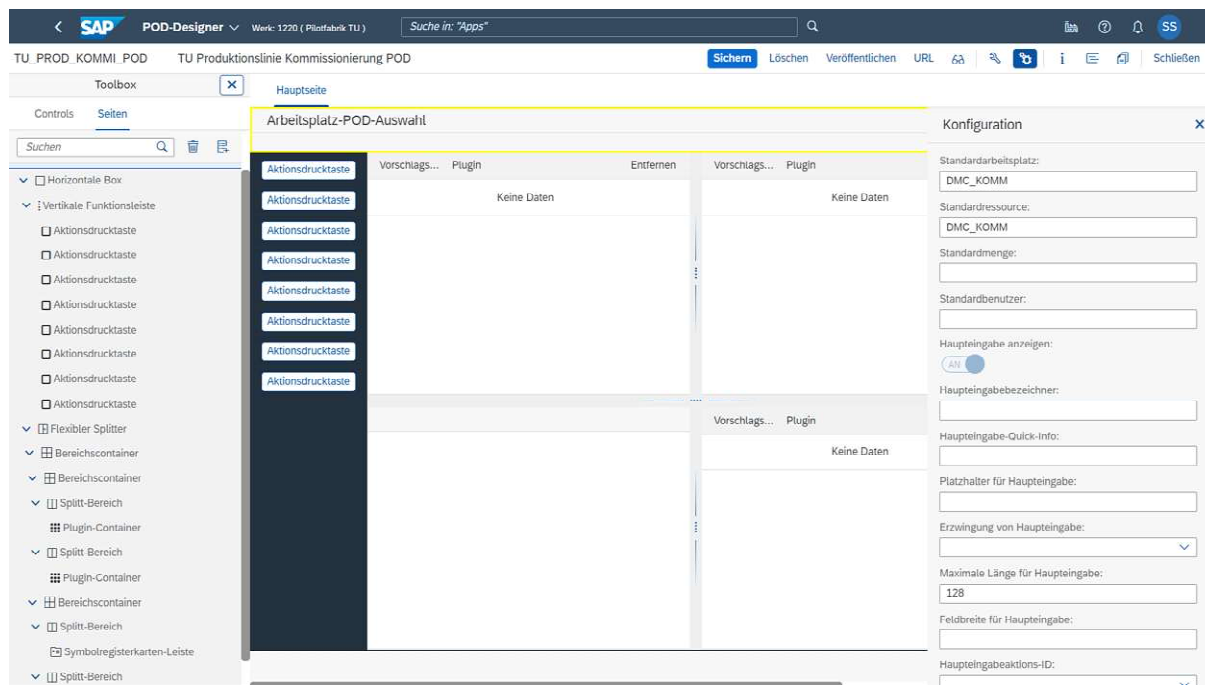


Abbildung 83: DMC – ,POD-Designer‘ – Erstelltes Grundlayout [27]
Beispiel: Kommissionier-POD Produktionslinie

In den Plugin-Container oben links wird der Arbeitsvorrat eingefügt. Dem Arbeitsvorrat wird in der Konfiguration eine Liste zugeordnet (siehe Abbildung 84), die festlegt, welche Informationen zur PSN in welcher Reihenfolge dargestellt werden. Für die PODs der Pilotfabrik wird die Liste ,TU_M_WORKLIST‘ mit dem ,Listenspalteneditor‘ (im ,POD-Designer‘) angelegt, nur für den Kommissionier-POD der Montagelinie wird noch eine andere Liste verwendet (,TU_M_KOMMI_WORKLIST‘).

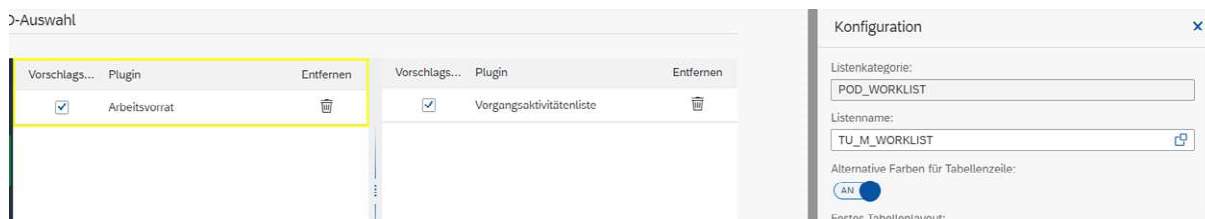


Abbildung 84: DMC – ,POD-Designer‘ – Konfiguration Arbeitsvorrat [27]
Beispiel: Kommissionier-POD Produktionslinie

Bei Auswahl einer PSN wird im Plugin-Container oben rechts die zugehörige Vorgangsaktivitätenliste und unten rechts die PSN-Karte angezeigt. Links unten wird die Symbolregisterkarten-Leiste mit der Arbeitsanweisungsliste und der Komponentenliste gefüllt.

Abbildung 85 zeigt den fertig konfigurierten POD im ‚POD-Designer‘ und Abbildung 86 zur Veranschaulichung der weiteren Konfiguration eine Vorschau des aktiven POD.

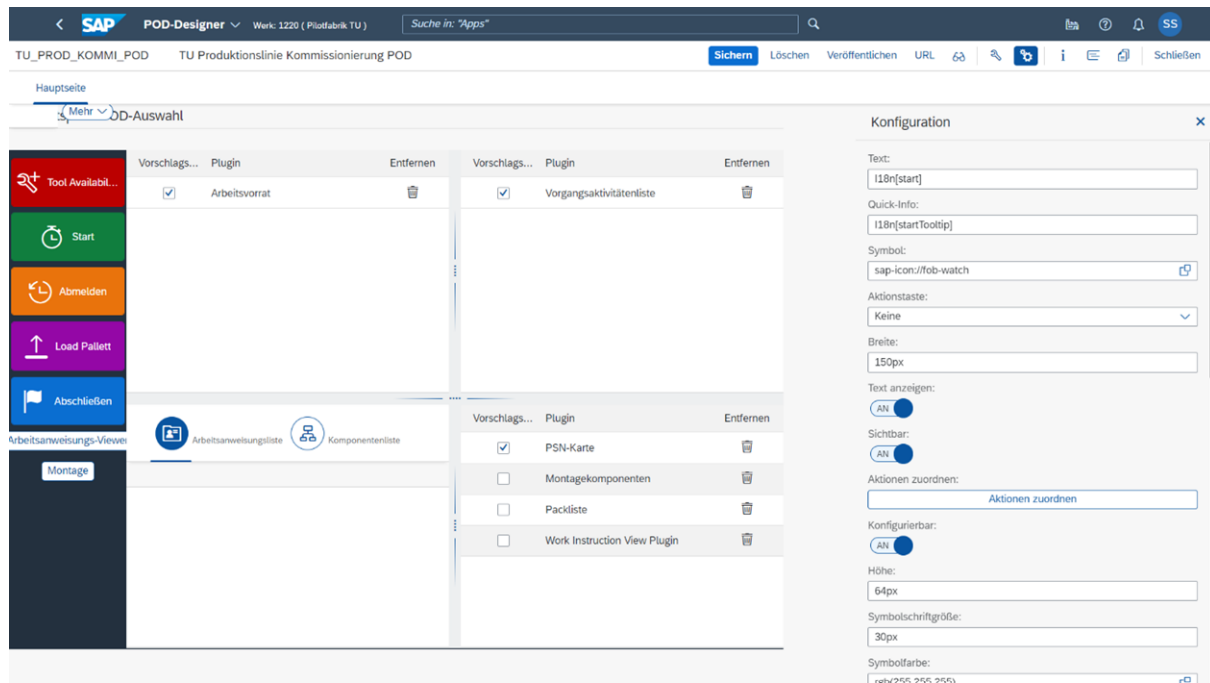


Abbildung 85: DMC – ‚POD-Designer‘ – fertige Konfiguration – Kommissionier-POD Produktionslinie [27]

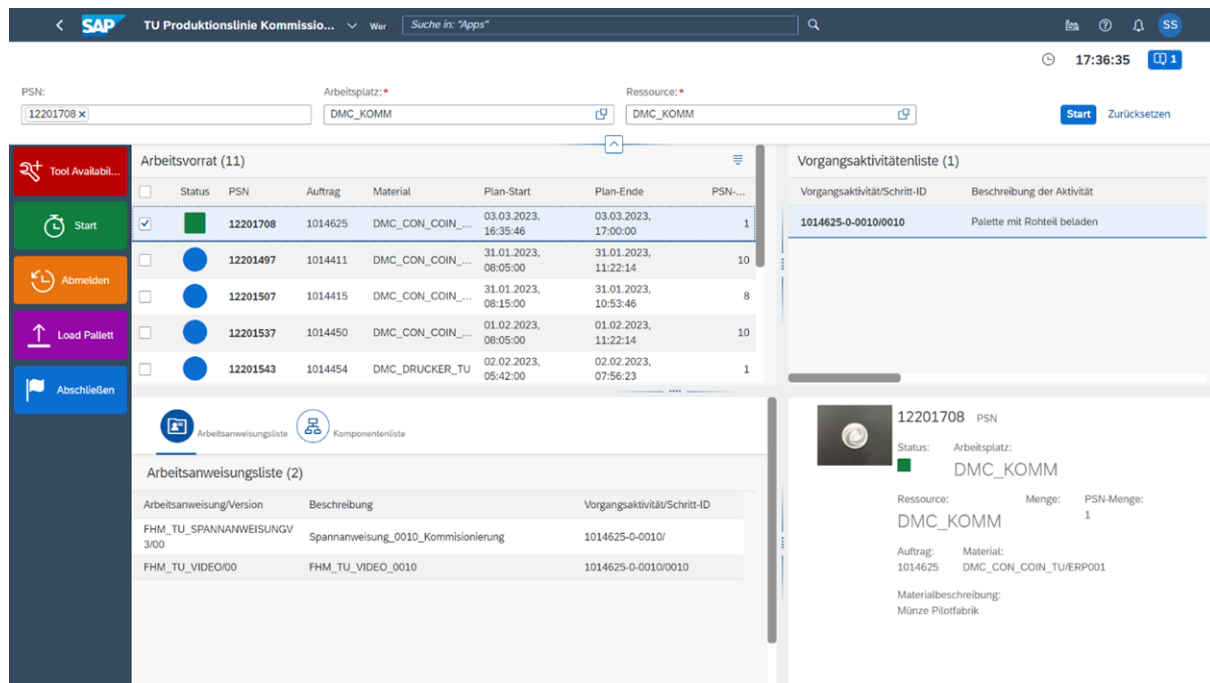


Abbildung 86: DMC – Aktiver POD – Kommissionier-POD Produktionslinie [27]

Abbildung 85 auf Seite 66 zeigt ganz links die Funktionsleiste mit den Aktionsdrucktasten und ganz rechts deren Konfigurationsmöglichkeit am Beispiel der ‚Start‘-Taste. Es können Symbole, Schrift-/Symbolgröße und Farben konfiguriert werden, sowie Aktionen in Form von Plugins, ‚Produktionsprozessen‘ und Transaktionen zugeordnet werden (siehe Abbildung 87). Diese Aktionen werden ausgelöst, wenn die Aktionsdrucktaste im POD betätigt wird. Der Start-Taste werden die Plugins ‚Start‘ und ‚Istzeiterfassung Ein‘ zugeordnet (siehe Abbildung 88), wodurch der Status der PSN auf ‚aktiv‘ gesetzt und somit die Bearbeitung der PSN im POD, sowie die Zeiterfassung der PSN und die Arbeitszeiterfassung der Werker*innen gestartet wird. Außerdem wird der ‚Produktionsprozess‘ hinzugefügt, welcher das AGV zur Kommissionier-Station ruft.

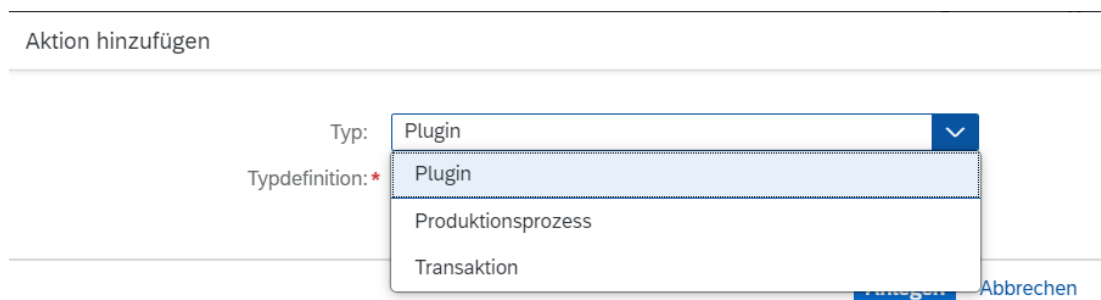


Abbildung 87 DMC – ‚POD-Designer‘ – Aktionstypen

Aktionsdrucktaste konfigurieren

Aktionen		^	v	Hinzufügen
Typ	Typdefinition	Konfiguration		
Plugin	Start	⚙️	⊗	
Produktionsprozess	P_PilotfactoryMachineIntegration_PLT_KOM_AGV_CALL	⚙️	⊗	
Plugin	Istzeiterfassung ein mit Benutzer-ID	⚙️	⊗	

Abbildung 88: DMC – ‚POD-Designer‘ – Aktionsdrucktaste ‚Start‘ – Aktionen zuordnen [27]
Beispiel: Kommissionier-POD Produktionslinie

Einzig für diesen Prozess kommt die Taste ‚Tool Availability‘ zum Einsatz, hiermit wird mit Hilfe eines ‚Produktionsprozesses‘ die Werkzeugverfügbarkeit überprüft.

Die Aktionsdrucktaste ‚Abmelden‘ setzt den Status der PSN zurück und ‚Abschließen‘ schließt den Vorgang ab; bei beiden Tasten wird die Istzeiterfassung beendet. Die Taste ‚Load Pallet‘ öffnet die Packliste im Plugin-Container (vgl. Abbildung 85, Seite 66), mit der sich die PSN auf eine Palette verpacken lässt (Palettierung).

Zum anderen kann eine Aktionsdrucktaste auch dazu dienen, ein verknüpftes Plugin zu öffnen. Wird in der Arbeitsanweisungsliste eine Arbeitsanweisung ausgewählt, wird diese unten rechts in dem zuvor unsichtbaren Custom POD Plugin ‚Work Instruction View Plugin‘ dargestellt, welches zur Darstellung von Arbeitsanweisungen des Formats Video direkt im POD dient.

Wie in Abbildung 89 ersichtlich, wird zunächst die unsichtbare Aktionsdrucktaste ‚Arbeitsanweisungs-Viewer‘ erstellt und mit der Arbeitsanweisungsliste als Aktionsdrucktasten-ID verknüpft. Der Aktionsdrucktaste wiederum wird das Plugin ‚Work Instruction View Plugin‘ zugeordnet (siehe Abbildung 90), was schließlich dafür sorgt, dass sich dieses unten rechts öffnet.

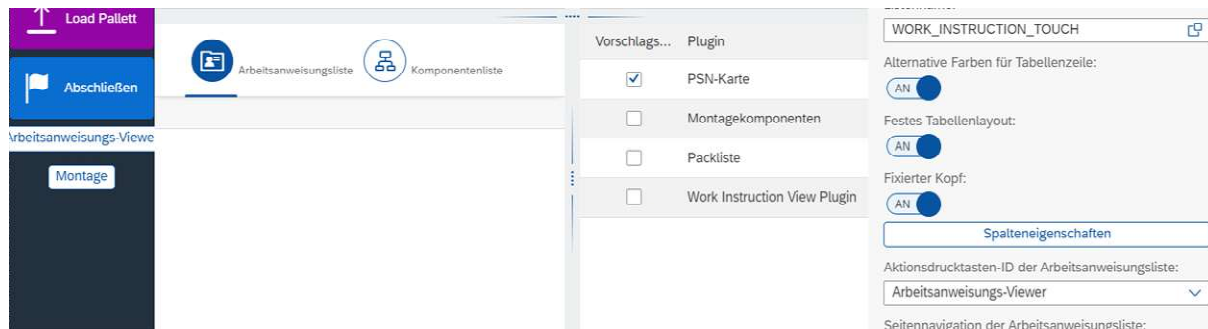


Abbildung 89: DMC – ‚POD-Designer‘ – Konfiguration Arbeitsanweisungsliste [27]
Beispiel: Kommissionier-POD Produktionslinie

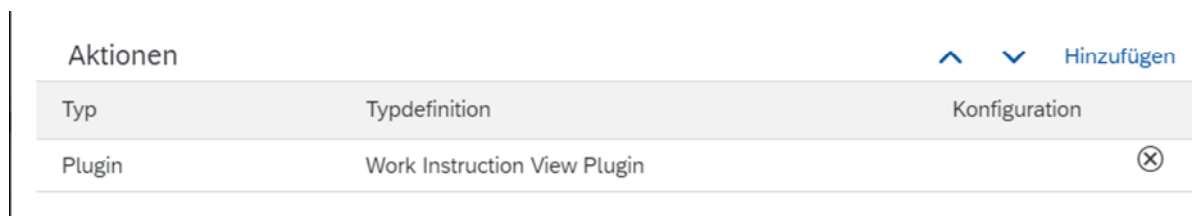


Abbildung 90: DMC – ‚POD-Designer‘ – Aktionsdrucktaste ‚Arbeitsanweisungs-Viewer‘ –
Aktionen zuordnen – Custom POD Plugin [27]
Beispiel: Kommissionier-POD Produktionslinie

Wird die Komponentenliste ausgewählt, öffnet sich automatisch über die versteckte Aktionsdrucktaste ‚Montage‘ unten rechts das zuvor unsichtbare Plugin Montagekomponenten, mit dem der Komponenteneinbau protokolliert werden kann (Montagefunktion). Für dieses Plugin können die Montagemodi ‚Auswählen, Automatisch fortsetzen, Reihenfolge‘ eingestellt werden (siehe Abbildung 91).

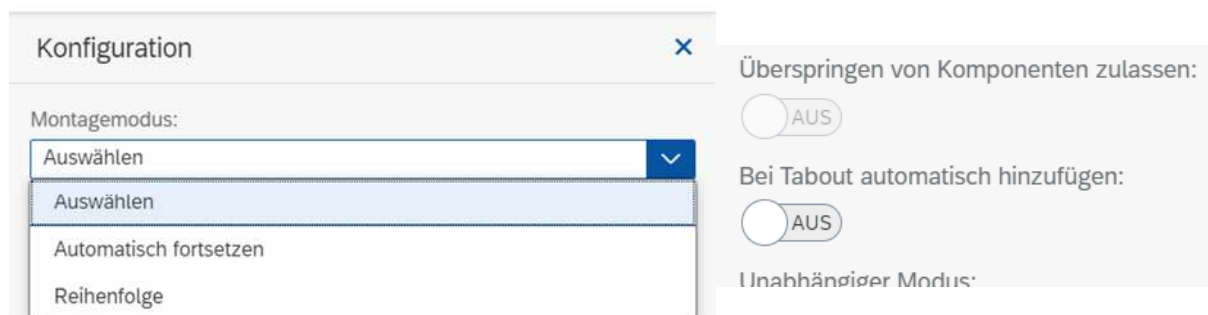


Abbildung 91: DMC – ‚POD-Designer‘ – Konfiguration Plugin ‚Montagekomponenten‘ [27]
Beispiel: Kommissionier-POD Produktionslinie

Der fertig konfigurierte POD kann veröffentlicht werden, um diesen auf der eigenen DMC-Startseite als Kachel zu verknüpfen (siehe Abbildung 92). Alternativ lässt sich die URL des PODs anzeigen und kopieren, damit kann der POD ohne Umweg über die Startseite aufgerufen werden (siehe Abbildung 93). Meistens wird die letzte Variante gewählt, damit Benutzer mit eingeschränkten Berechtigungen den POD aufrufen können bzw. da an einer fixen Station für gewöhnlich immer derselbe POD genutzt wird.

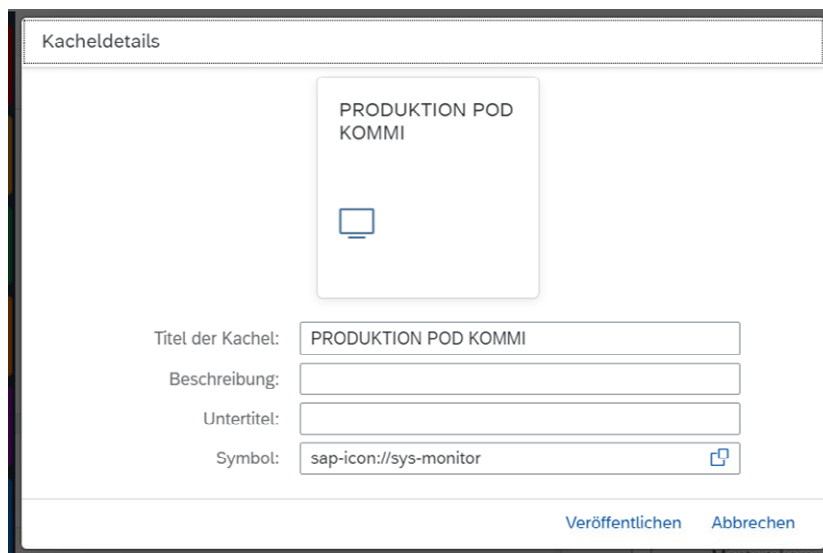


Abbildung 92: DMC – ‚POD-Designer‘ – POD veröffentlichen [27]
Beispiel: Kommissionier-POD Montagelinie

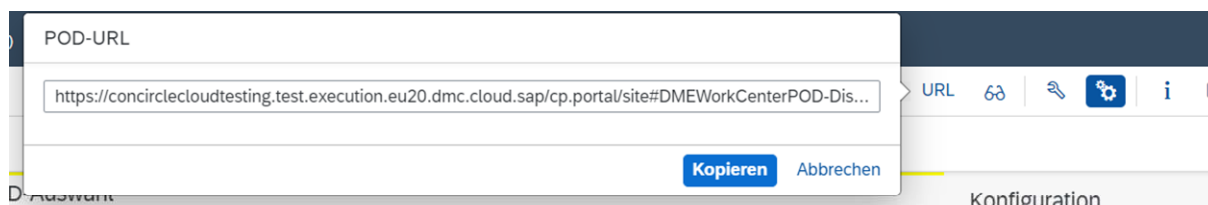


Abbildung 93: DMC – ‚POD-Designer‘ – URL anzeigen [27]
Beispiel: Kommissionier-POD Produktionslinie

Im Folgenden eine Übersicht der angelegten PODs, die zudem als aktive PODs abgebildet werden:

- Kommissionier-POD Produktionslinie ‚TU_PROD_KOMMI_POD‘
- Qualitätsmanagement-POD Produktionslinie ‚TU_PROD_QM_POD‘
- Kommissionier-POD Montagelinie ‚TU_MONT_KOMMI_POD‘
- Allgemeiner Montage-POD ‚TU_MONT_MS_POD‘
- Montage-POD mit Roboter-Unterstützung ‚TU_MONT_ROBO_POD‘
- Montage-/Qualitätsmanagement-POD ‚TU_MONT_QM_POD‘

Für alle PODs werden die Tasten ‚Start‘, ‚Abmelden‘ und ‚Abschließen‘ in gleicher Ausführung verwendet.

Im Qualitätsmanagement-POD der Produktionslinie (siehe Abbildung 94, Seite 71), wird mit der Taste ‚Unload Pallet‘ das Endprodukt zur Qualitätskontrolle von der Palette entnommen. Zudem kann über die rote Taste ‚Abweichung‘ eine Abweichung protokolliert werden. Im Plugin-Container wird zusätzlich zur Arbeitsanweisungsliste die Liste der Qualitätsprüfmerkmale positioniert.

Der Kommissionier-POD der Montagelinie (siehe Abbildung 95, Seite 71) hat als einziger POD ein etwas anderes Layout, da hier keine Arbeitsanweisungen benötigt werden und keine Montage erfolgt. Hier wird zusätzlich nur das Custom POD Plugin ‚Kommissionierliste‘ integriert, welches als Checkliste für die kommissionierten Teile dient.

Der Allgemeine Montage-POD und der Montage-POD mit Roboter-Unterstützung (siehe Abbildung 96, Seite 72) sind vom Layout fast ident und beide mit jeweils einer Taste zur Werkzeug- sowie Abweichungsprotokollierung ausgestattet. Letzterer enthält lediglich eine weitere Aktionsdrucktaste ‚Roboter‘, mit der eine Roboterarmbewegung ausgelöst wird. Auch sind beide PODs wieder mit Arbeitsanweisungs- und Komponentenliste ausgestattet, die Darstellung erfolgt wie zuvor bereits erklärt.

Der Allgemeine Montage-POD wird für Montagestation 1 (DMC_MS1) sowie für Montagestation 3 (DMC_MS3) verwendet, hier erfolgt die Anpassung der URL und somit der direkte Aufruf des PODs mit den korrekt befüllten Feldern ‚Arbeitsplatz‘ und ‚Ressource‘ wie folgt:

- URL + „&WORKCENTER=DMC_MS1&RESOURCE=DMC_MS1“
- URL + „&WORKCENTER=DMC_MS3&RESOURCE=DMC_MS3“

Der Montage-POD mit Roboter-Unterstützung kommt bei Montagestation 2 (DMC_MS2) zum Einsatz.

Im Montage-/Qualitätsmanagement-POD (siehe Abbildung 97, Seite 72) für Montagestation 4 (DMC_MS4QM) kann über die Taste ‚Abweichung‘ eine Abweichung protokolliert werden und im Plugin-Container die Datenerfassung durchgeführt, sowie Arbeitsanweisungs- und Komponentenliste angezeigt werden.

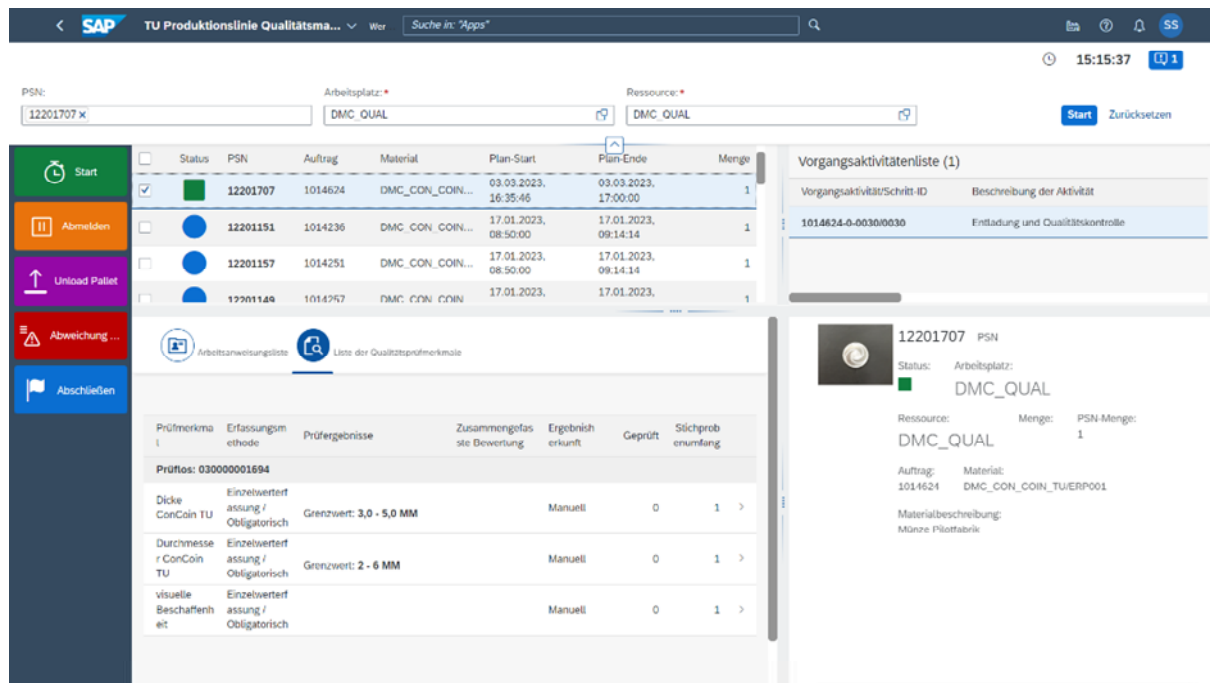


Abbildung 94: Qualitätsmanagement-POD Produktion [27]

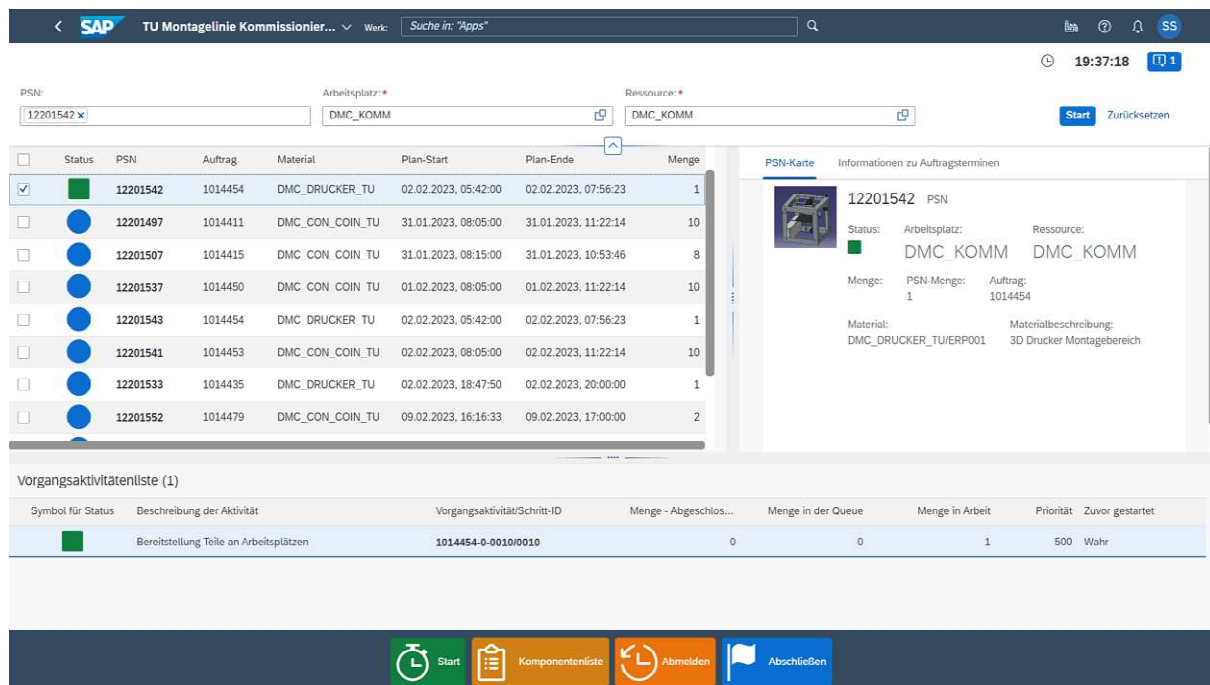


Abbildung 95: Kommissionier-POD Montage [27]

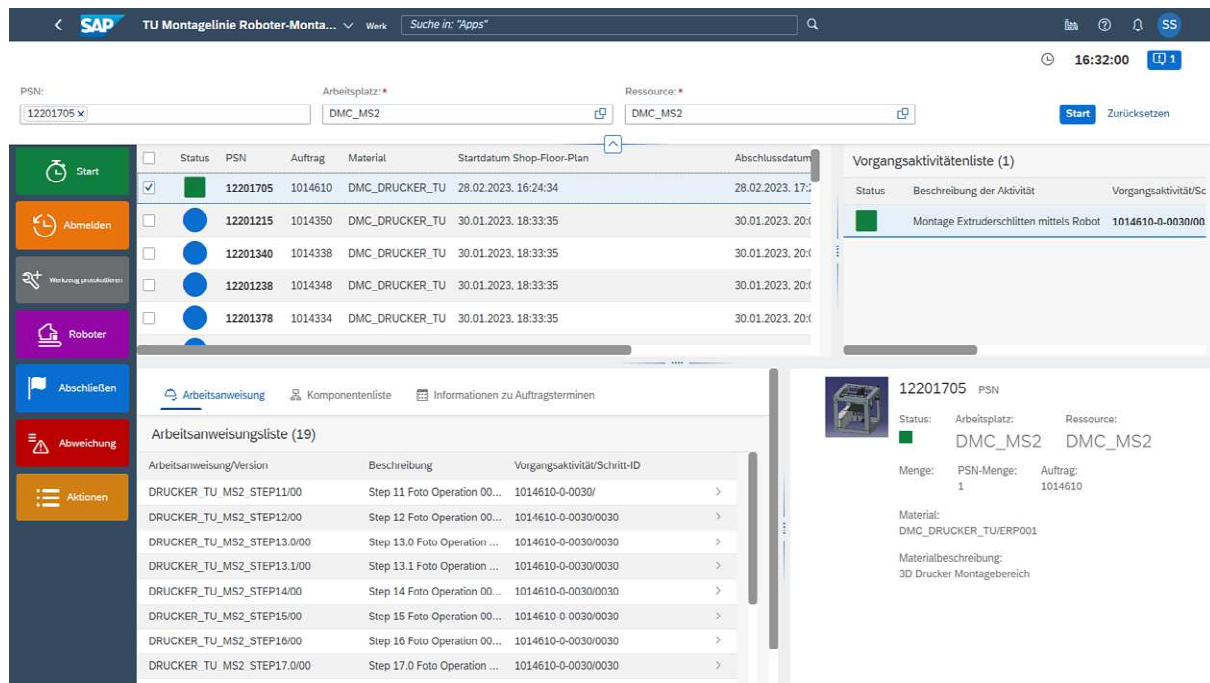


Abbildung 96: Montage-POD mit Roboter-Unterstützung [27]

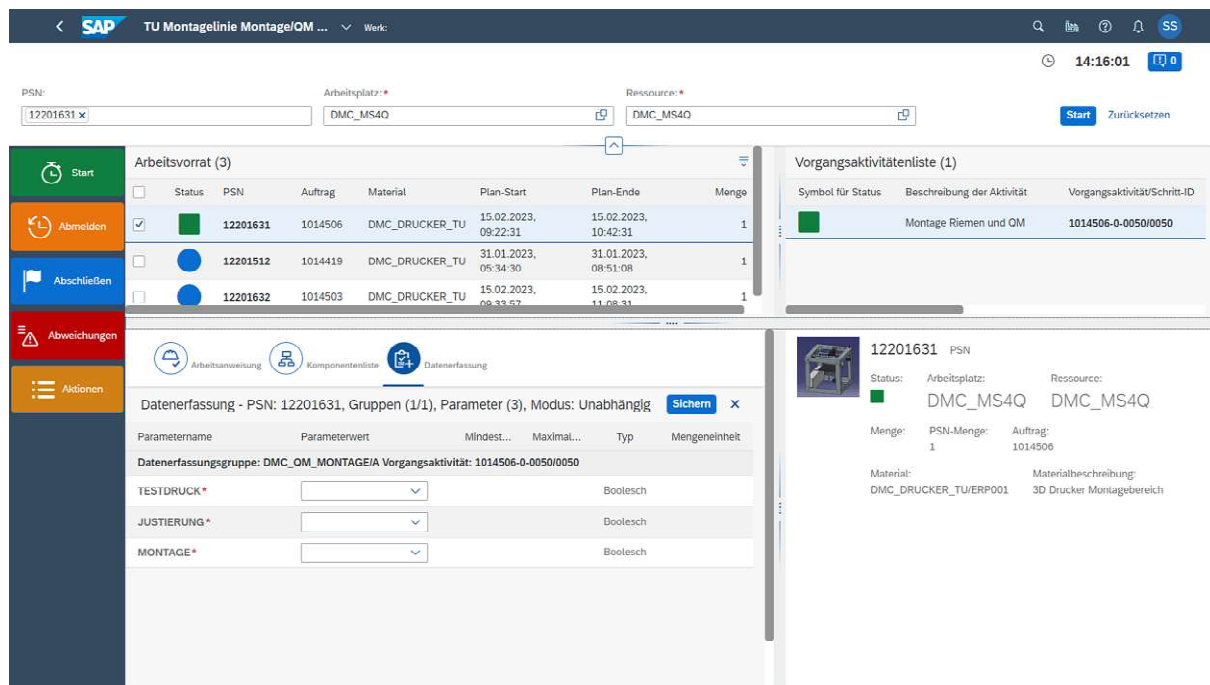


Abbildung 97: Montage-/ Qualitätsmanagement-POD [27]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Zeiterfassung verwalten

Personalzeiten in Form von Anwesenheit (Time Confirmation, Kommen/Gehen) und Arbeitszeiten (Labor Confirmation, Istzeiterfassung) auf Vorgangs- und PSN-Ebene können DMC-seitig erfasst werden. Die Erfassung erfolgt im POD, hier können die POD Plugins ‚Kommen/Gehen‘ und ‚Istzeiterfassung Ein/Aus‘ integriert werden.

Unter ‚Geschäftseinstellung verwalten‘ können Basis-Einstellungen für die Zeiterfassung eingestellt werden (siehe Abbildung 98). Aktiviert werden hier die folgenden Funktionen:

- Arbeitszeiterfassung stoppen, wenn Mitarbeiter gehen
- Mitarbeitern die Arbeitszeiterfassung für inaktive PSNs erlauben

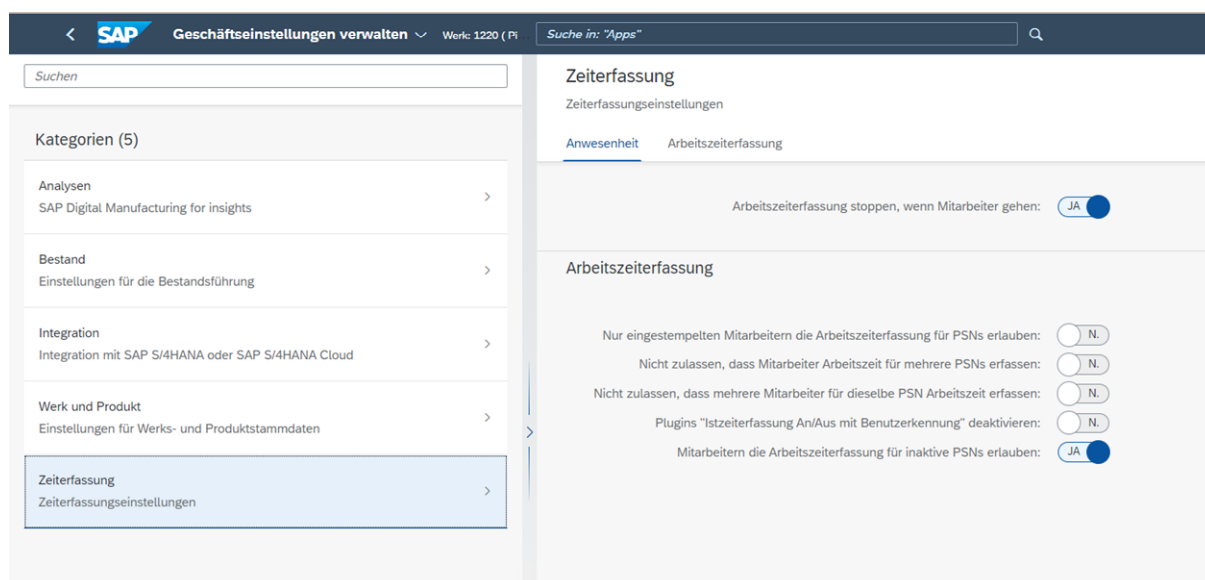


Abbildung 98: DMC – ‚Geschäftseinstellungen verwalten‘ – Zeiterfassung [27]

5.4.3 Resource Orchestration

In der Kategorie ‚Manufacturing Execution‘ finden sich die folgenden REO-Funktionen, auf die in diesem Kapitel eingegangen wird:

- ‚Personaleinsatz planen‘ zur Personaleinsatzplanung
- ‚Werkzeuge einplanen‘ zur Werkzeugeinplanung
- ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ zur zeitlichen Ein- und Umplanung, sowie Freigabe der Aufträge

Es folgt eine Zusammenfassung der Einstellungen, die zuvor für die Nutzung der REO-Funktionen getätigt werden müssen:

1. Ressourcen ‚Für Planung und OEE relevant‘ markieren (‚Arbeitsplätze verwalten‘)
2. Ressourcentypen anlegen (‚Ressourcentypen verwalten‘) und den Ressourcen zuordnen (‚Ressourcen verwalten‘)

3. Integrations-Workflow ‚LOIPRO05‘ anpassen (‚Integrations-Workflows verwalten‘), um automatisierte Zuordnung der Ressourcentypen zu den Vorgangsaktivitäten zu aktivieren
4. Schichten anlegen (‚Schichten verwalten‘)
5. Ressourcentypen und Schichten den Ressourcen zuordnen (‚Ressourcen verwalten‘)
6. Werkzeuge anlegen und nach Anforderung Protokollierung aktivieren (‚Werkzeuge verwalten‘)
7. Anlegen von Werker*innen (je 1 Werker*in pro Arbeitsplatz) und Zuordnen zu einem Supervisor unter ‚Benutzerzuordnungen verwalten‘

Personaleinsatzplanung

Hier kann der Supervisor den Schichtplan für die ihm zugeordneten Mitarbeiter*innen erstellen (siehe Abbildung 99). Den Arbeitsplätzen können vorher die min. oder max. erforderliche Anzahl an Werker*innen zugeordnet werden. Dies ist keine verpflichtende Angabe; führt jedoch dazu, dass am Ende eine Überprüfung durchgeführt wird.

Zunächst wird den Werker*innen eine Schicht oder Nichtverfügbarkeit (Urlaub, Krankheit, etc.) zugeordnet. Die Schichten wurden zuvor angelegt und müssen der Kategorie ‚Benutzer‘ entsprechen, damit diese zur Einplanung verfügbar sind. Verschiedene Schichten werden mit unterschiedlichen Farben gekennzeichnet (Blau = Frühschicht, Grün = Spätschicht, Grau = Nichtverfügbarkeit).

Nachfolgend wird den Werker*innen ein Arbeitsplatz zugeordnet, was dann in ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ bei der jeweiligen Ressource unter ‚Personaleinsätze‘ ersichtlich ist.

The screenshot shows the SAP 'Personaleinsatzplanen' (Personnel Deployment Planning) interface for 'Werk: 1220 (Pilotfabrik TU)'. At the top, there are summary statistics: Kapazität (320 Std.), Bedarfstunden (0 Std.), Arbeitsplatzzuordnung (320 Std.), FRUEH (240 Std.), SPAET (80 Std.), Abwesend (40 Std.), and Mehrarbeit (0 Std.). Below this is a navigation bar with filters for 'Alle Schichten' and 'Alle Arbeitsplätze'. The main area is a grid for 'Schichtplan für KW 11 - 2023' showing assignments for workers from Monday (Mo 13) to Saturday (Sa 18). Workers listed include MONT_01 to MONT_09. Shifts are color-coded: blue for 'FRUEH' (e.g., DMC_MS1, DMC_KOMM, DMC_MS4Q, DMC_QUAL, DMC_MS3), green for 'SPAET' (e.g., DMC_KOMM, DMC_MS2, DMC_QUAL), and grey for 'Nicht verfügbar'.

Abbildung 99: DMC – ‚Personaleinsatzplanung‘ [27]

Werkzeugeinplanung

Die Werkzeuge können einem Arbeitsplatz zugeordnet werden (siehe Abbildung 100), was dann in ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ bei der jeweiligen Ressource unter ‚Werkzeuge‘ ersichtlich ist. Diese Zuordnung hat keinen Einfluss auf die Werkzeugprotokollierung, hierzu müssen die Werkzeuge, wie bereits beschrieben, im POD der Ressource zugeordnet werden.



Abbildung 100: DMC – ‚Werkzeugeinplanung‘ [27]

Einplanung und Monitoring

Die App ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ ermöglicht die zeitliche Einlastung der Aufträge auf die einzelnen Ressourcen (Ressourcenorchestrierung) sowie deren Umplanung und Freigabe. Die App bietet einen Überblick über die Ressourcen (Einlastbereich) und deren Auslastung bzw. Verfügbarkeit (siehe Abbildung 101 oben), sowie über alle einzuplanenden Aufträge im Arbeitsvorrat für den gewählten Planungshorizont (siehe Abbildung 101 unten).

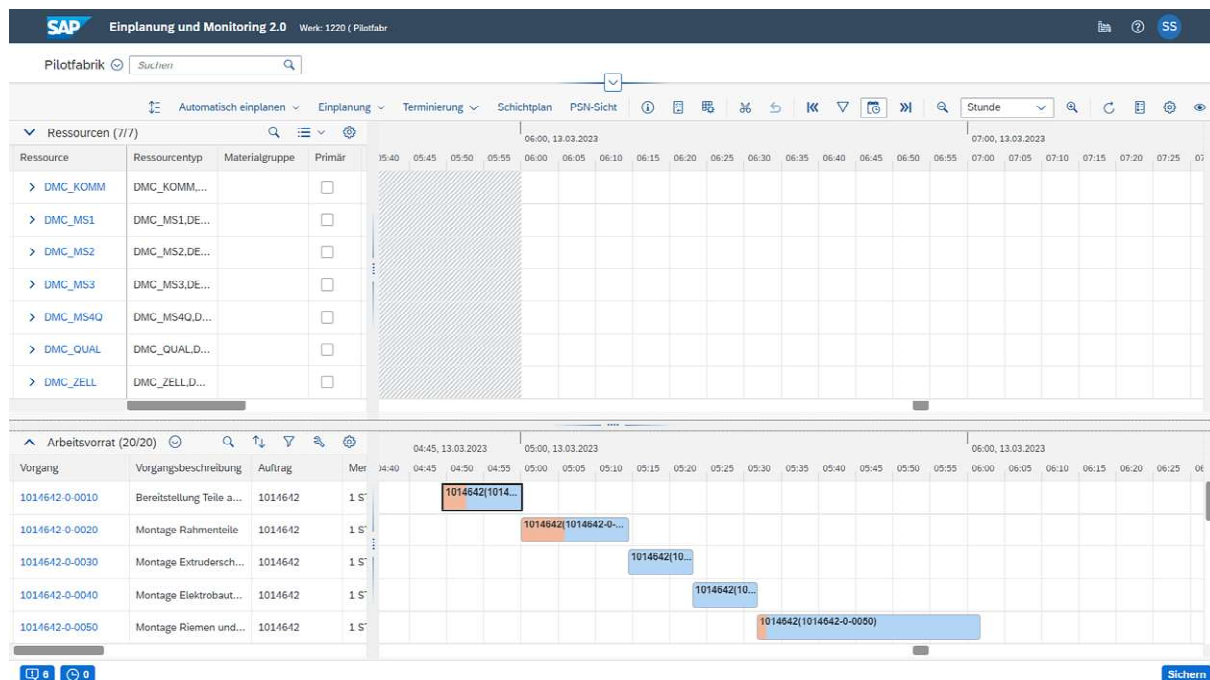


Abbildung 101: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ [27]

Filtereinstellungen können als Varianten gespeichert werden, so wird in unserem Fall die Variante ‚Pilotfabrik‘ angelegt, die die relevanten Ressourcen und Materialien filtert. Der Planungshorizont wird auf +/- 10 Tage gesetzt.

Der Einlastbereich zeigt alle ‚für Planung & OEE relevanten‘ Ressourcen an. Zusätzlich kann in der ausblendbaren Filterleiste, ein Filter nach Arbeitsplatz bzw. Ressource eingestellt werden. Dieser bestimmt, welche Ressourcen im oberen Abschnitt angezeigt werden.

Der Arbeitsvorrat zeigt die Vorgänge aller Aufträge an, deren (in ERP) gewähltes Start- bzw. Enddatum sich im gewählten Planungshorizont befindet. Außerdem kann wieder mit einem Filter nach Aufträgen, Material oder Planungshorizont (2 Modi, max. 180 Tage) bestimmt werden, welche Aufträge im Arbeitsvorrat angezeigt werden. In der Zeitleiste werden die Vorgänge zur geplanten Zeit und mit der geplanten Vorgangsdauer dargestellt, farblich unterschieden wird Rüsten (orange), Bearbeiten (blau), Abrüsten (grün, hier nicht verwendet).

Wurde einer Ressource eine Schicht zugeordnet, wird diese im Einlastbereich bei der jeweiligen Ressource angezeigt, indem Schichtzeiten weiß bleiben und Pausen und Nicht-Schichtzeiten grau hinterlegt werden. Wird keine Schicht zugeordnet, bleibt die gesamte Zeile leer (weiß), es kann zu jeder Zeit orchestriert werden. Durch Ausklappen der Ressourcen werden zwei zusätzliche Zeilen eingeblendet. Unter Personaleinsätze werden die Schichten vom Typ Benutzer, sowie Informationen über das zuvor eingeplante Personal angezeigt. Unter Werkzeuge sind die zuvor reservierten Werkzeuge ersichtlich (siehe Abbildung 102).

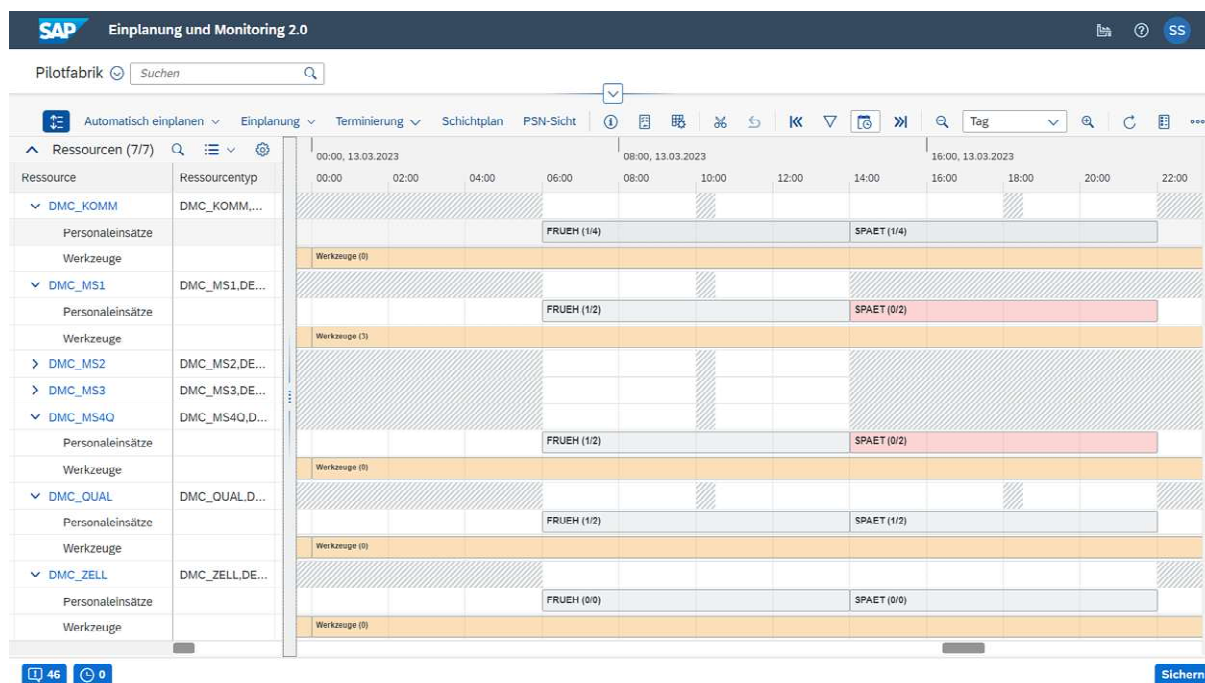


Abbildung 102: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ [27]

In der Funktionsleiste oben können unterschiedliche Einstellungen der Benutzeroberfläche, sowie zur Einplanung und Terminierung (siehe Abbildung 103a) vorgenommen werden, aber auch die Bedienung der Automatischen Einplanung (siehe Abbildung 103b) erfolgt hier. Zudem können Schichtplan, PSN-Sicht, weitere Informationen, Auftragssicht und Werkzeugsicht, sowie die Legende aufgerufen werden. Ganz unten links werden Benachrichtigungen und Planungsfehlerprotokolle angezeigt.

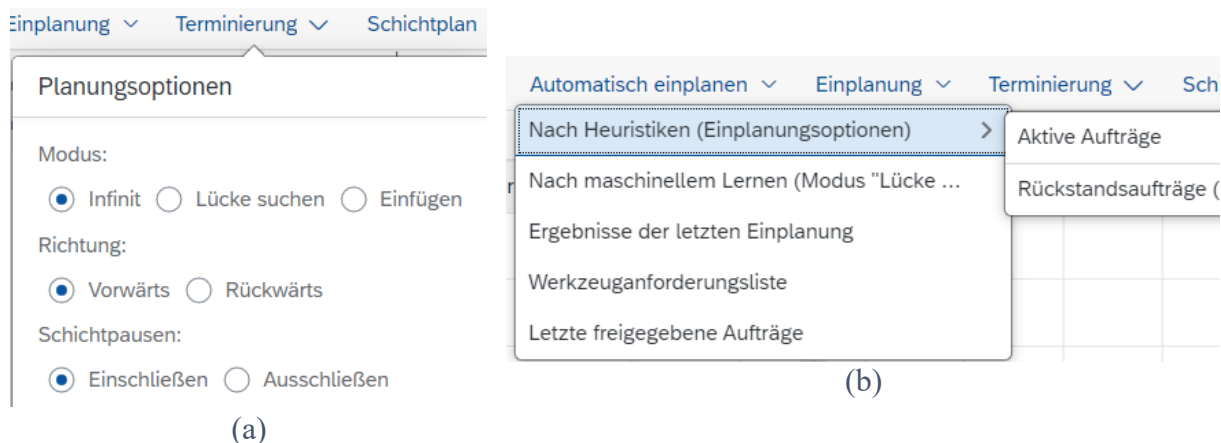


Abbildung 103: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ – Optionen unter ‚Terminierung‘ (a) und ‚Automatisch einplanen‘ (b) [27]

Im Folgenden werden die Einstellmöglichkeiten für die Terminierung aufgelistet und kurz erklärt:

- Modus
 - Infinit → Ressourcen können doppelt belegt werden (siehe Abbildung 104a, Seite 78)
 - Lücke Suchen → Ressourcen können nicht doppelt belegt werden; wird dies versucht, wird der Anfang des Vorgangs automatisch an das Ende des bereits eingeplanten Vorgangs verschoben (siehe Abbildung 104b)
 - Einfügen → nur beim Manuellen Einplanen (Drag and Drop), Vorgang kann zwischen zwei bereits eingeplanten Vorgängen eingefügt werden, welche ggfs. verschoben werden
- Richtung
 - Vorwärts → Planung ausgehend von Startdatum (funktioniert in allen Modi)
 - Rückwärts → Planung ausgehend von Enddatum (funktioniert nur für Planung mit Drag and Drop und für Vorgänge auf derselben Ressource, nur im Modus ‚Lücke suchen‘)
- Schichtpause
 - Einschließen/Ausschließen → Schichtpausen werden bei Einplanung berücksichtigt/nicht berücksichtigt

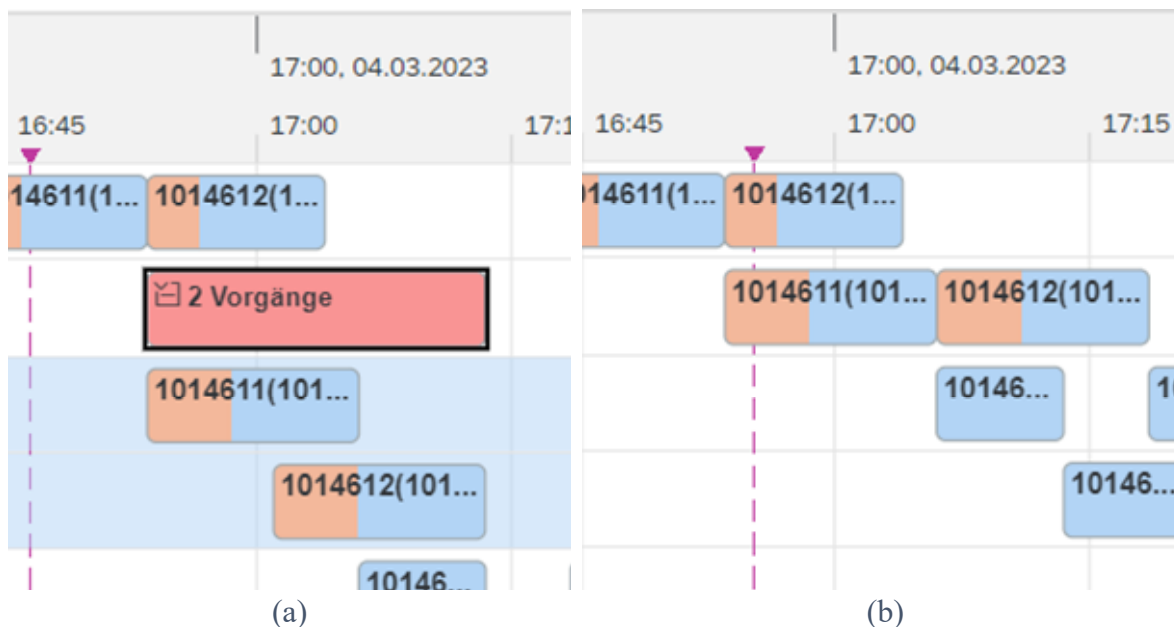


Abbildung 104: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ – Modus ‚Infinite‘ (a) vs. Modus ‚Lücke suchen‘ (b) [27]

Sonstige nützliche Einstellungen:

- Zeitleiste synchronisieren
- Terminierung
 - Rückwärts-Update aktivieren → Rückmeldung an ERP
 - Ressourcenstatusprüfung bei Einplanung aktivieren
 - Offset für automatische Einplanung/Planung aktivieren/bestimmen

Im Folgenden wird noch kurz auf die verschiedenen Planungsfunktionen eingegangen, die entweder über die Funktionsleiste oder durch direkte Auswahl des Vorgangs erfolgen. (Aktion X → Ergebnis Y)

- einzelnen Vorgang per Drag and Drop einplanen → mögliche Ressourcen werden grün hervorgehoben, Auftragszeitraum wird mit strichlierten Linien dargestellt, Schichtpausen werden je nach gewähltem Modus berücksichtigt (siehe Abbildung 105, Seite 79)
- Vorgang/Vorgänge aus Auftragsansicht auswählen, Rechtsklick & einplanen auswählen → gesamter Auftrag/gesamte Aufträge werden automatisch eingeplant
- Auswahl ‚Automatisches Einplanen‘ (Funktionsleiste)
 - Nach Heuristiken
 - aktive Aufträge → alle aktiven Aufträge im Arbeitsvorrat, bedeutet in der Zukunft liegende Aufträge werden zu geplantem Datum und Uhrzeit eingeplant (siehe Abbildung 106, Seite 79)
 - Rücksendeaufträge (überfällige Aufträge) → alle in Vergangenheit liegende Aufträge im Arbeitsvorrat werden zum jetzigen Zeitpunkt eingeplant

- Nach Maschinellern Lernen (Modus ‚Lücke suchen‘) → Alle in Zukunft liegende Aufträge im Arbeitsvorrat werden zu geplantem Datum und Uhrzeit und auf geplanter Ressource eingeplant
- Ergebnisse der letzten Einplanung → zeigt Übersicht der zuletzt eingeplanten Aufträge inklusive Informationen über genutzten Planungsmodus
- Werkzeuganforderungsliste → nicht verwendet
- Letzte freigegebene Aufträge → Übersicht der zuletzt freigegebenen Aufträge
- Einplanung
 - Ausplanen → Ausgewählte, eingeplante Vorgänge wieder in den Arbeitsvorrat verschieben (auch über Rechtsklick auf Vorgang möglich)
 - fixieren → eingeplanten Vorgang fixieren
 - Fixierung aufheben
 - Aufträge freigeben → ausgewählte Aufträge werden freigegeben

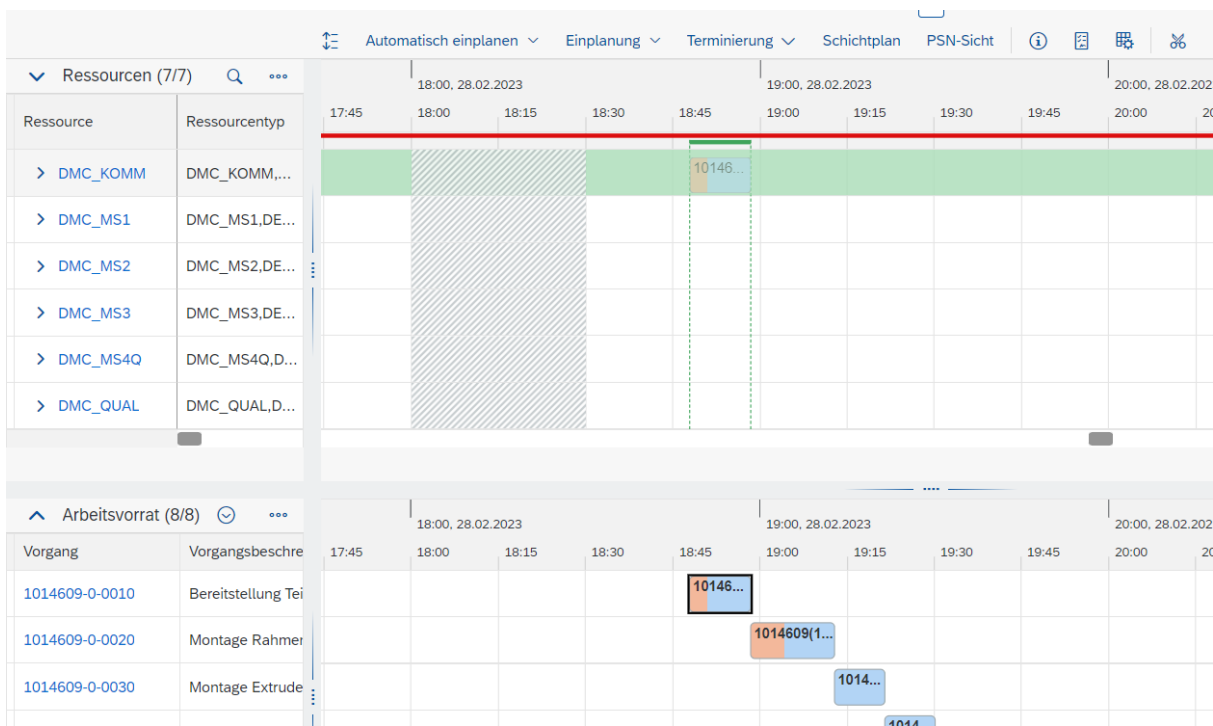


Abbildung 105: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ – Manuelle Einplanung per Drag and Drop [27]

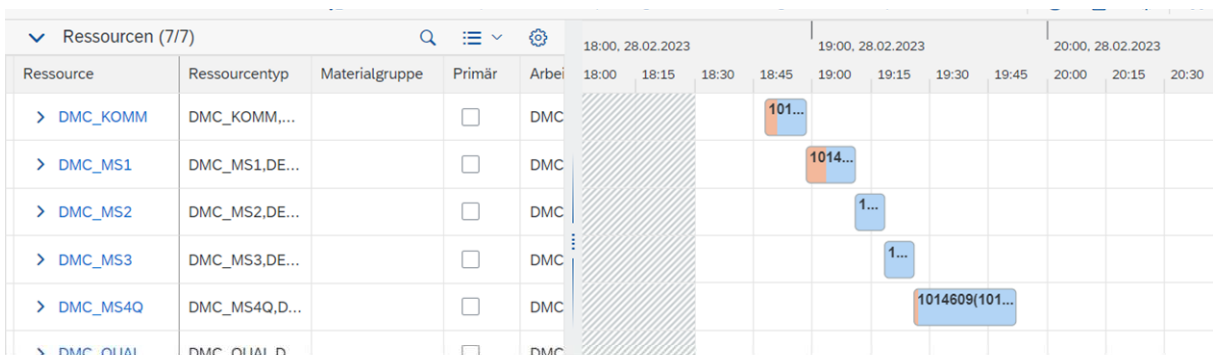


Abbildung 106: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ – Automatische Einplanung [27]

Werkzeuge könnten auch hier über Rechtsklick auf den Vorgang reserviert (siehe Abbildung 107, links) und dann unter ‚Weitere Informationen‘ angezeigt werden (siehe Abbildung 107, rechts). Die Reservierung ist dann in der ‚Werkzeugeinplanung‘ ersichtlich. Auf die Werkzeugprotokollierung im POD hat dies keinen Einfluss, diese funktioniert generell ohne Werkzeugreservierung.

Werkzeuge reservieren					Weitere Informationen	
Auftrag: 1014612 Vorgang: 1014612-0-0020					1014612-0-0020	
Werkzeuge(3/15) MS1					WERKZEUGE RESERVIERT (3)	
Werkzeug-ID	FHM-Material	Status	Reservieren	Reserviert von	Werkzeuge reserviert (3)	
TL1_MS1 Inbus 2mm für Montagestation 1	FHM_TU_INBUS_2MM	Verfügbar	<input checked="" type="checkbox"/>		FHM-Material	Werkzeug-ID
TL2_MS1 Inbus 3mm für Montagestation 1	FHM_TU_INBUS_3MM	Verfügbar	<input checked="" type="checkbox"/>		FHM_TU_INBUS_2MM	TL1_MS1
TL3_MS1 Inbus 5mm für Montagestation 1	FHM_TU_INBUS_5MM	Verfügbar	<input checked="" type="checkbox"/>		FHM_TU_INBUS_3MM	TL2_MS1
					FHM_TU_INBUS_5MM	TL3_MS1

Abbildung 107: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ – Werkzeuge reservieren [27]

Sonstige Funktionen der Funktionsleiste sind:

- Schichtplan anzeigen
- PSN-Sicht → nach Freigabe
- Auftragssicht → Gantt-Diagramm für eingeplanten Auftrag anzeigen

5.4.4 Insights

Insights in seiner ursprünglichen Form mit ‚Global/Plant/OEE Insights, KPI Analytics, Custom KPIs‘ wird nicht mehr unterstützt, es gibt nun noch folgende Apps (siehe Abbildung 108):

- ‚Auftragsbericht‘
- ‚PSN-Bericht‘
- ‚Dashboards verwalten‘ (SAC-Dashboards)

Für Nutzung von SAC wird keine extra Lizenz und keine weitere Schnittstelle benötigt. Die personalisierten Dashboards lassen sich ebenso nicht mehr in DMC erstellen, die ‚Produktgeschichte‘ und ‚Produktgenealogie‘ sind jedoch noch vorhanden (siehe Abbildung 109).

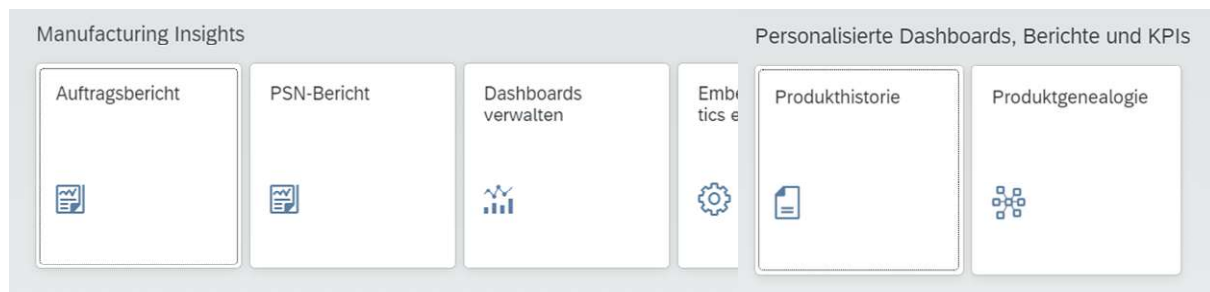


Abbildung 108: DMC – Manufacturing Insights [27]

Abbildung 109: DMC – ‚Produktgeschichte und -genealogie‘ [27]

Abbildung 110 zeigt ein Beispiel eines, von einer IT-Beraterin bei Concircle, fertig konfiguriertes SAC-Dashboard im Bearbeitungsmodus.

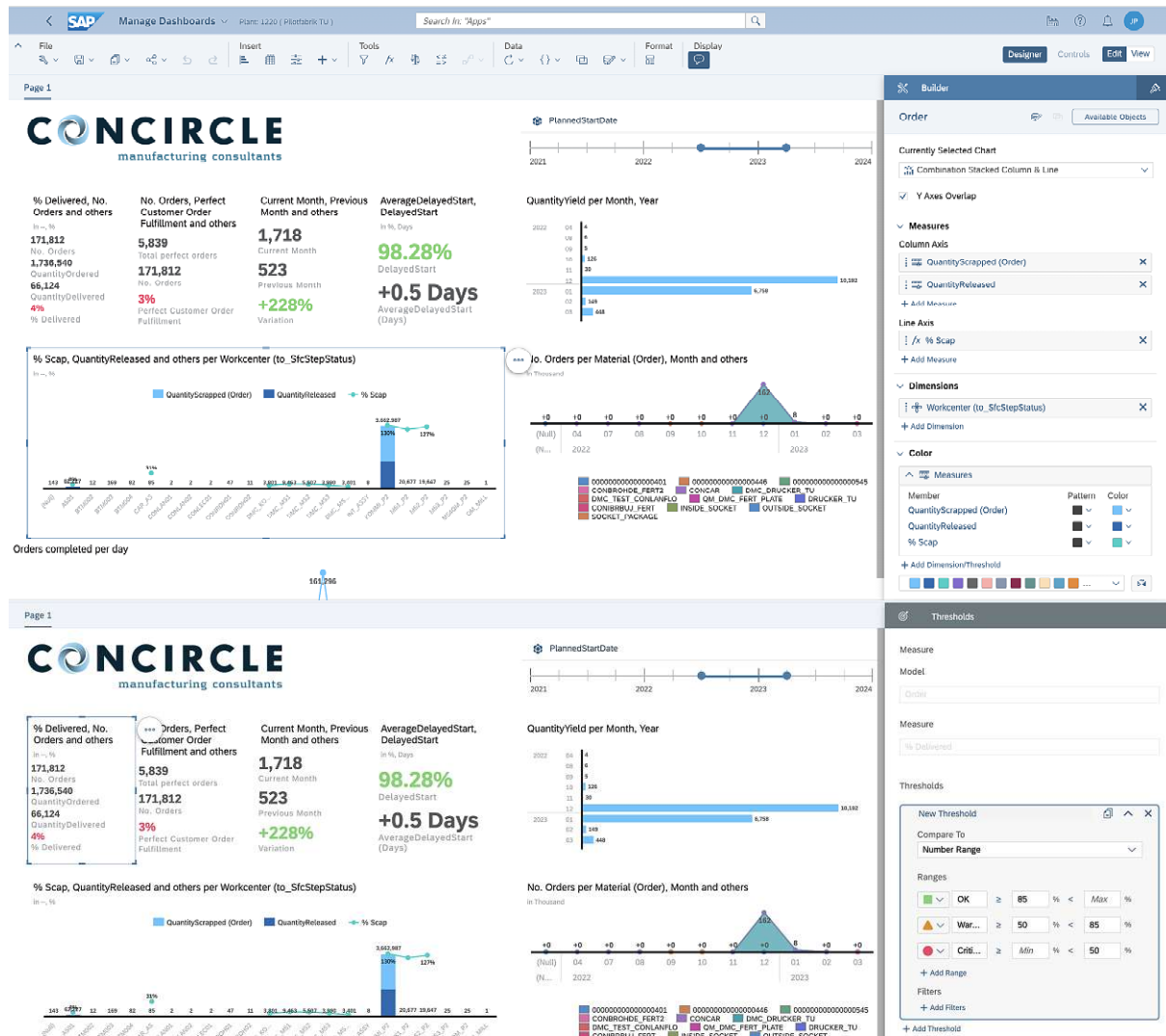


Abbildung 110: DMC – ‚Dashboards verwalten‘ – Dashboard anlegen/bearbeiten [21]

Damit die Daten für insights bereitgestellt werden, muss ‚DMCe‘ unter ‚Geschäftseinstellungen verwalten‘ als Integrationssystem für ‚Analysen‘ ausgewählt werden (siehe Abbildung 111).

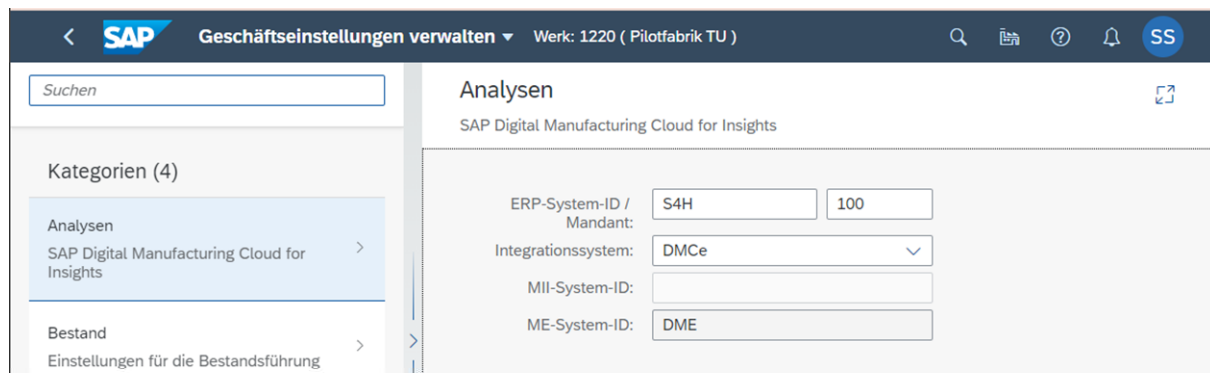


Abbildung 111: DMC – ‚Geschäftseinstellungen verwalten‘ – Analysen [27]

5.5 Überblick Datenaustausch zwischen den Leitebenen

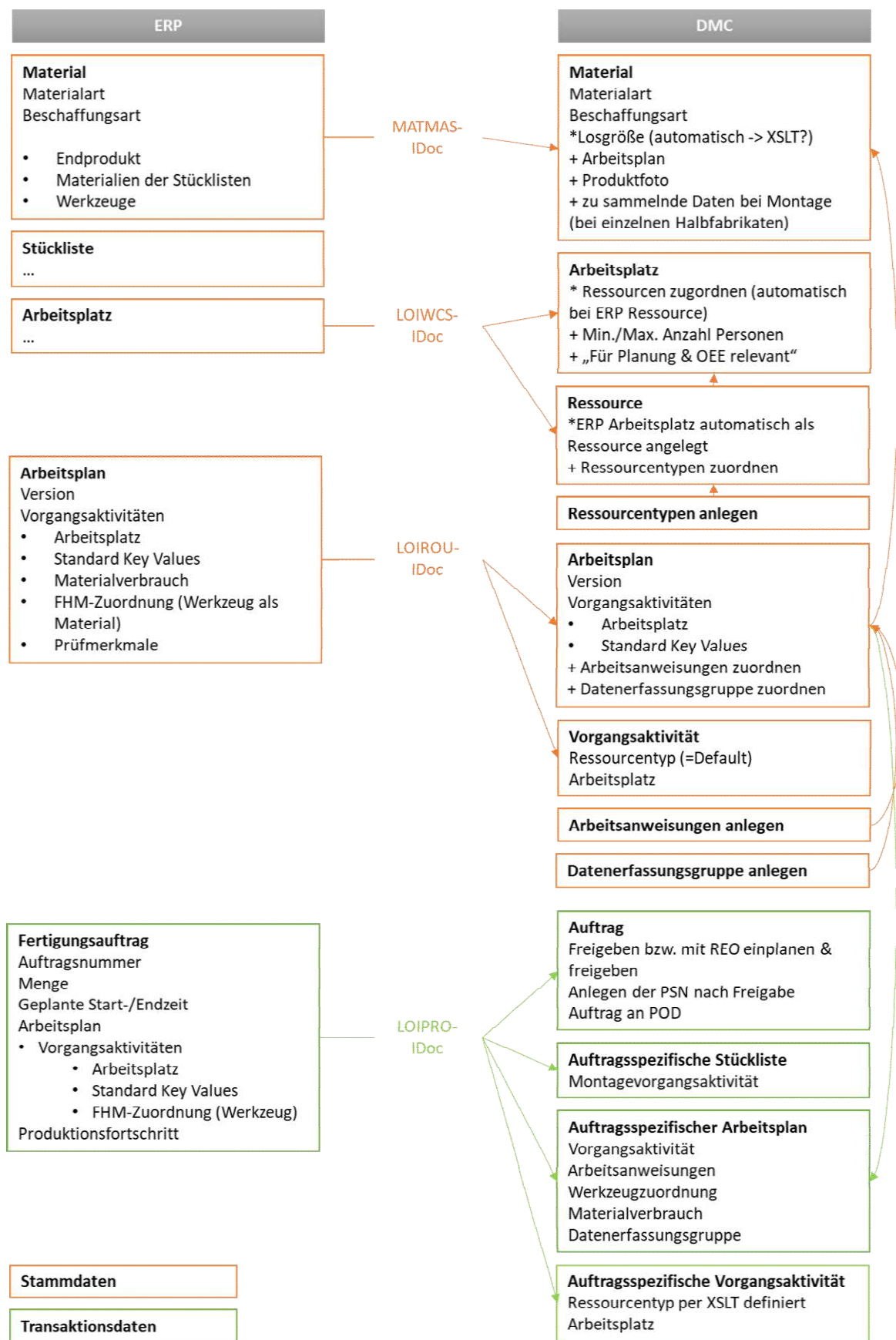


Abbildung 112: ERP – DMC – Datentransfer

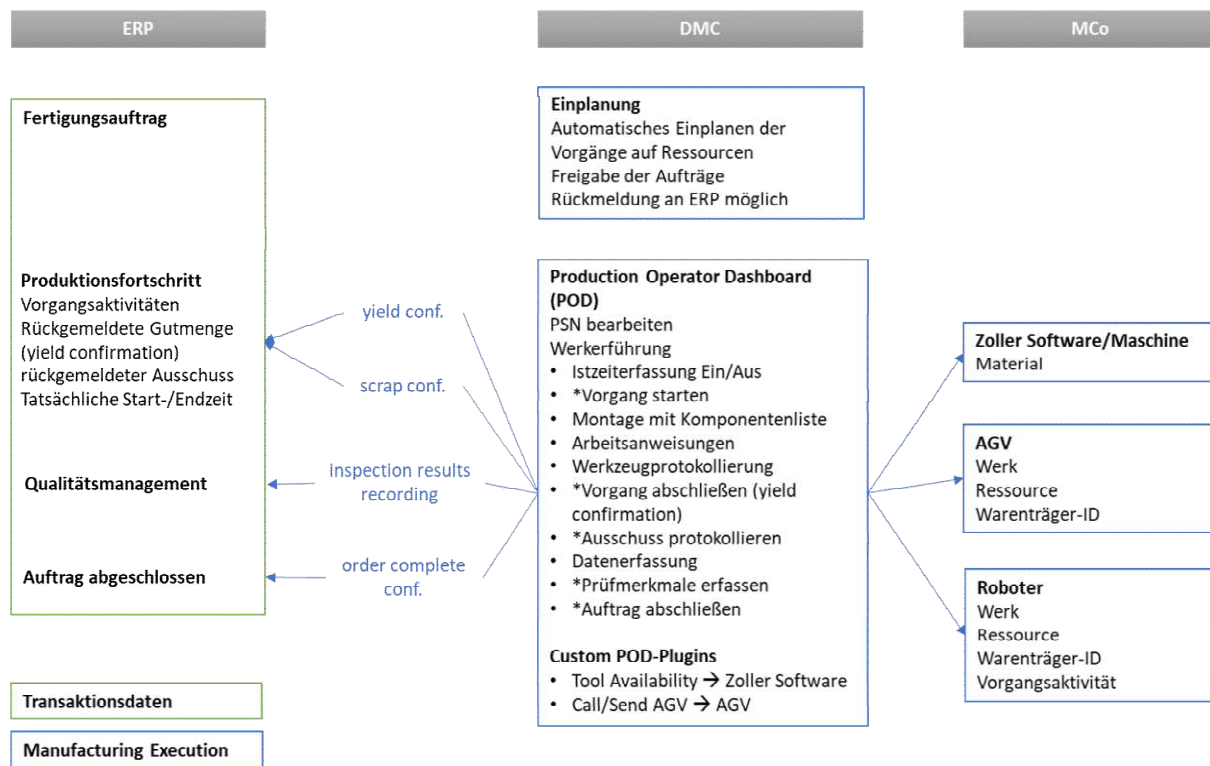


Abbildung 113: ERP – DMC – Machine Connectivity (MCo) – Datentransfer

6 End-To-End Test und Ergebnisse

Nachdem die Implementierung komplett abgeschlossen ist, wird ein umfangreicher End-to-End-Test durchgeführt. Im Folgenden wird kurz das Testszenario vorgestellt; um die Arbeit jedoch zu kürzen, erfolgt die Protokollierung des eigentlichen Tests separat und es werden in dieser Arbeit nur die Ergebnisse zusammengetragen.

6.1 Vorgehensweise

1. Integration von ERP nach DMC
 - Aufträge anlegen und freigeben → ‚Integrationsmeldungs-Dashboard‘
2. DMC Resource Orchestration
 - Personaleinsatzplanung
 - Werkzeugeinplanung
 - ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘
 - i. Schichtplan anzeigen, Filter über Variante ‚Pilotfabrik‘
 - ii. Standard-Planungsszenario → Aktive Aufträge automatisch einplanen → Sichern
 - iii. weitere Planungsszenarien testen
 - iv. Werkzeugreservierung
 - v. Aufträge freigeben
3. DMC Auftragsdurchführung (Manufacturing Execution)
 - Produktionsprozess
 - i. DMC_KOMM: Tool Availability, Load Pallet
 - ii. DMC_QUAL: Prüfmerkmale erfassen
 - iii. 1 Auftrag → Ausschuss
 - Montageprozess
 - i. DMC_KOMM: Kommissionieren (‚Kommissionierliste‘)
 - ii. DMC_MS1: Alle Komponenten einbauen, Drucktisch → External ID erfassen
 - iii. DMC_MS4QM: Datenerfassung
 - iv. 1 Auftrag → Nacharbeit
 - Zeiterfassung
4. ERP Rückmeldungen überprüfen
 - Gutmenge, Ausschuss, Auftragsabschluss, Inspektionsergebnisse
5. DMC Rückverfolgbarkeit
 - ‚Produktgeschichte‘
 - ‚Produktgenealogie‘
6. DMC insights
 - ‚PSN-Bericht‘
 - ‚Auftragsbericht‘
 - SAC-Dashboard

6.2 Ergebnisse des End-To-End-Tests

Der End-to-End-Test wurde am 15.03.2023 erfolgreich durchgeführt. Die Ergebnisse werden entsprechend der zuvor gelisteten Vorgehensweise in sechs Unterkapiteln vorgestellt.

6.2.1 Integration von ERP nach DMC

Die Integration der Fertigungsaufträge nach DMC funktioniert einwandfrei. Alle Aufträge inkl. FHMs werden übertragen, auftragspezifische Stammdaten korrekt angelegt und die in DMC eingestellten Zuordnungen von Arbeitsanweisungen übernommen, sowie die Ressourcentypen durch den Integrations-Workflow richtig zugeordnet.

6.2.2 DMC Resource Orchestration

Die Personaleinsatzplanung ist eine praktische Funktion der DMC, die im Test noch einige Fehler aufzeigt. So werden beim Zuordnen eines Mitarbeiters zum Arbeitsplatz nicht die Zertifikate überprüft, dies passiert erst später im POD.

Der Montageprozess wird nur in der Frühschicht betrieben, während der Produktionsprozess in der Früh- und Spätschicht läuft. Im Arbeitsplatz-Alert (siehe Abbildung 114) wird dies nicht berücksichtigt, für die Personaleinsatzplanung können auf Arbeitsplatz-Ebene keine Benutzer-Schichten zugeordnet werden. Somit kann einem Werker trotzdem eine Spätschicht im Montageprozess zugeordnet werden, es kommt sogar zu einer Fehlermeldung, wenn die Spätschicht nicht zugeordnet wurde und der Arbeitsplatz eine Mindestpersonenzahl enthält.

Alert-Monitor für Arbeitsplatz (Min.-Max.)											
Positionen(14/14)			Arbeitsplatz und Schicht suchen							<input type="checkbox"/> Sicht für Personalmangel/-überschuss	
Arbeitsplatz	Minimum-Maximum	Schicht	13.03.2023	14.03.2023	15.03.2023	16.03.2023	17.03.2023	18.03.2023	19.03.2023		
DMC_KOMM	1-4	FRUEH	✓	✓	✓	✓	✓	-	-		
		SPAET	✓	✓	✓	✓	✓	-	-		
DMC_MS1	0-2	FRUEH	✓	✓	✓	✓	✓	-	-		
		SPAET	✓	✓	✓	✓	✓	-	-		
DMC_MS2	1-2	FRUEH	✓	✓	✓	✓	✓	-	-		
		SPAET	✗ Minimum (0/1)	✗ Minimum (0/1)	✗ Minimum (0/1)	✗ Minimum (0/1)	✗ Minimum (0/1)	-	-		
DMC_MS3	1-2	FRUEH	✓	✓	✓	✓	✓	-	-		
		SPAET	✗ Minimum (0/1)	✗ Minimum (0/1)	✗ Minimum (0/1)	✗ Minimum (0/1)	✗ Minimum (0/1)	-	-		
DMC_MS40	1-2	FRUEH	✓	✓	✓	✓	✓	-	-		
		SPAET	✗ Minimum (0/1)	✗ Minimum (0/1)	✗ Minimum (0/1)	✗ Minimum (0/1)	✗ Minimum (0/1)	-	-		
DMC_QUAL	1-7	FRUEH	✓	✓	✓	✓	✓	-	-		
		SPAET	✓	✓	✓	✓	✓	-	-		
DMC_ZELL	0-0	FRUEH	✓	✓	✓	✓	✓	-	-		
		SPAET	✓	✓	✓	✓	✓	-	-		

Abbildung 114: DMC – ‚Personaleinsatz planen‘ – Arbeitsplatz-Alert [27]

In der Werkzeugeinplanung reservierte Werkzeuge werden in ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ auch bei der jeweiligen Ressource angezeigt (siehe Abbildung 115, Seite 86), können dort allerdings trotzdem erneut für einen Vorgang und auch für eine andere Ressource, also doppelt reserviert werden. Abbildung 116 veranschaulicht dies, die reservierten Werkzeuge werden hier als verfügbar angezeigt. Zusätzlich ist die Werkzeug-Reservierung in ‚Einplanung und

Monitoring 2.0‘ eher unhandlich, da diese immer nur einzeln für jeden Vorgang möglich ist. Es fehlt die Funktion, die zuvor in der ‚Werkzeugeinplanung‘ reservierten Werkzeuge allen in ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ eingeplanten Aufträgen zuzuordnen.

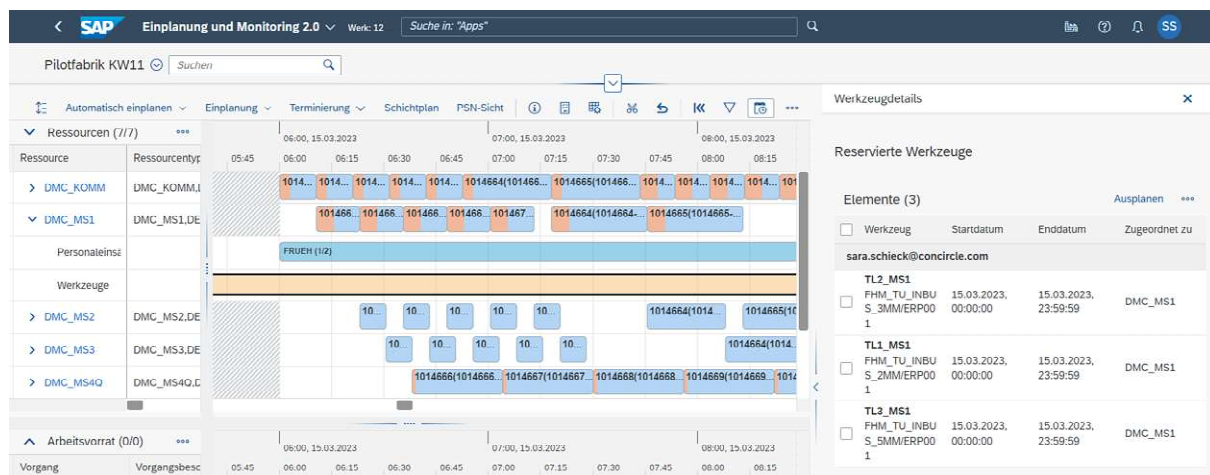


Abbildung 115: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ – Werkzeuge [27]

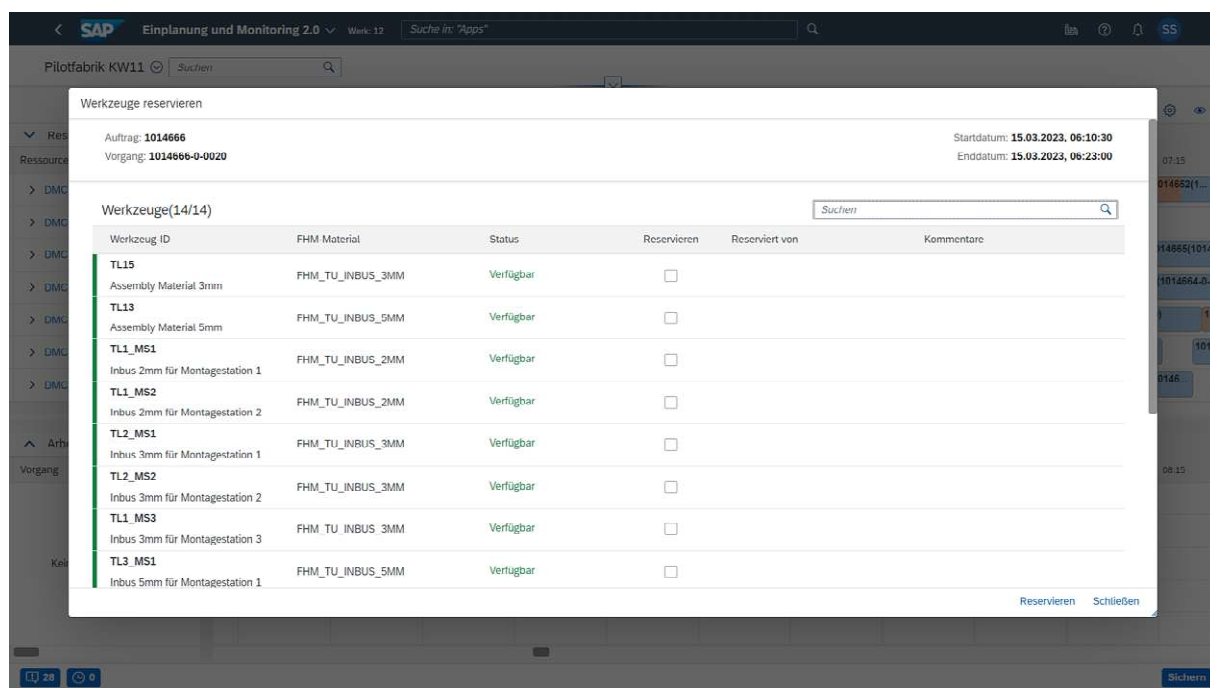


Abbildung 116: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ – Werkzeuge reservieren [27]

Prinzipiell lässt sich die ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ App einfach und größtenteils selbsterklärend bedienen, negativ aufgefallen sind jedoch folgende Punkte:

- Die Auswahl von Vorgangsaktivitäten ist nur einzeln bzw. eine Mehrfachauswahl nur durch gedrückt Halten der STRG-Taste möglich.
- Das Scrollen entlang der Zeitleiste ist unsensibel und somit nicht bedienerfreundlich.
- Zwischen jedem automatischen Planungs-Vorgang ist ein Sicherungs-Vorgang notwendig.

Abbildung 117 veranschaulicht das Ergebnis des automatischen Einplanens im Modus ‚Lücke suchen‘. Hier lässt sich sofort erkennen, dass die Ressourcen nicht optimal genutzt/ausgelastet werden. REO selbst bietet kein Optimierungstool; ein Test verschiedener Optimierungsszenarien erfolgt in der Dokumentation, ist jedoch nicht Teil dieser Arbeit. Der Modus ‚Lücke suchen‘ scheint für das automatische Einplanen am praktikabelsten, wobei es bei der Einplanung nach Maschinellen Lernen keinen erkennbaren Algorithmus gab. Der Modus Infinit scheint nur sinnvoll beim manuellen Einplanen, z.B. wenn Rüstzeiten bekanntermaßen abweichen und Überlappungen von Vorgängen gewünscht sind.

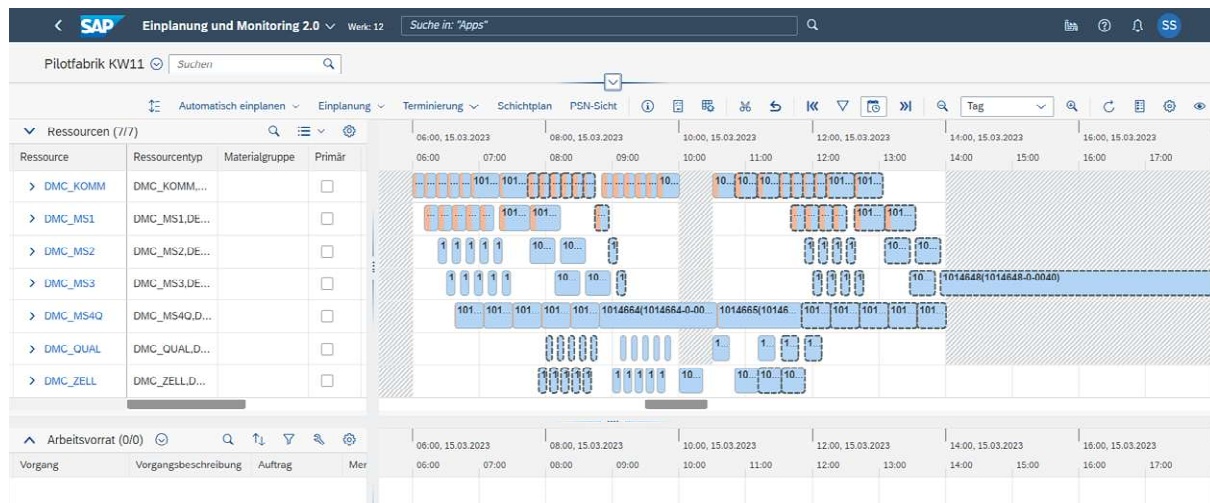


Abbildung 117: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ – Ergebnis des automatischen Einplanens aller Aufträge nach Modus ‚Lücke suchen‘ [27]

Abbildung 118 zeigt den Freigabevorgang der eingeplanten Aufträge. Hierzu müssen alle einzeln (zumindest ein Vorgang des Auftrags) ausgewählt werden; es wird keine Möglichkeit geboten, alle eingeplanten Aufträge automatisch freizugeben.

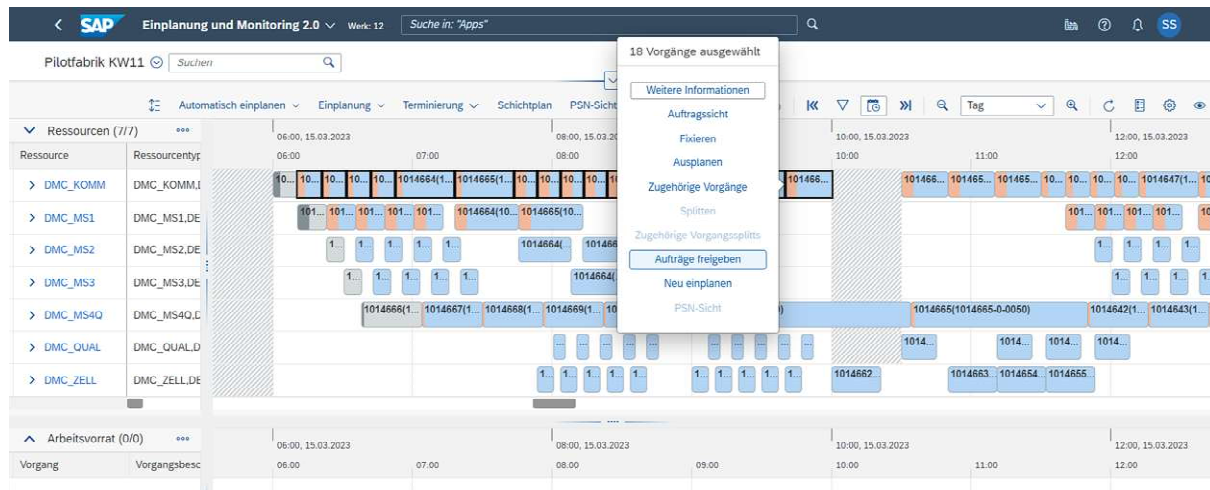


Abbildung 118: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ – Aufträge freigeben [27]

Weiters ist zu erwähnen, dass vergangene Aufträge, die nicht abgeschlossen wurden oder sich in Nacharbeit befinden, nur im POD angezeigt werden, nicht aber unter ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘. Dem Supervisor wird somit keine Übersicht und vor allem keine Einplanungsmöglichkeit geboten.

Außerdem gibt es keine Integrationsmöglichkeit für Instandhaltungsaufträge (Maintenance Orders) aus dem ERP Plant Maintenance (PM)-Modul, somit ist eine Berücksichtigung in REO durch den Ressourcenstatus ‚Geplante Ausfallzeit‘ nicht möglich.

Weitere verschiedenste Einplanungsszenarien werden mit ihren Ergebnissen in Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Testergebnisse der ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ App

Szenario	Ergebnis
Alle offenen Aufträge (überfällig/aktiv) automatisch einplanen	Überfällige und aktive Aufträge können nur nacheinander, aber nicht auf einmal eingeplant werden (auch nicht über Maschinelles Lernen)
Automatisches Neu-Einplanen, wenn eingeplanter Auftrag überfällig (nicht gestartet/nicht abgeschlossen)	Nicht möglich, auch keine Möglichkeit, übrig gebliebene Aufträge anzuzeigen, außer im POD bzw. unter ‚Aufträge verwalten‘/‘Auftragsbericht‘
Manuelles Verschieben eines Vorgangs bei Reihenfolge-Abhängigkeit von anderen Vorgängen	Reihenfolge/Abhängigkeit wird nicht überprüft, Vorgänge lassen sich nach hinten verschieben, abhängige Vorgänge werden nicht automatisch verschoben/neu eingeplant, keine Fehlermeldung
Automatisches Neu-Einplanen aller Aufträge, bei denen eine Vorgangsaktivität verschoben wurde	Nicht möglich, Vorgänge müssen händisch ausgeplant und können dann automatisch neu eingeplant werden
PSN-basierte Einplanung: Überlappung bei Auftragsmenge größer eins (Losgröße > 1)	Nicht möglich, PSN-Split erst nach Freigabe; in REO werden nur Aufträge, nicht PSNs eingeplant; Start des Folgevorgangs nach Abschluss der gesamten Menge beim vorherigen Vorgang
Max. Planungshorizont = 180 Tage	Überfällige Aufträge, die weiter zurück liegen, werden nicht angezeigt
Drag & Drop Einplanung eines Vorgangs auf falscher Ressource	Wird unterbunden, Fehlermeldung
Drag & Drop Einplanung eines Vorgangs in falscher Reihenfolge	Wird zugelassen, keine Überprüfungsmöglichkeit

Szenario	Ergebnis
Drag & Drop Einplanung eines Vorgangs während der Schichtpause	Wird automatisch an Ende der Pause angehängt
Automatisches Einplanen der zukünftigen Aufträge zum jetzigen Zeitpunkt	Nicht möglich, min. 1 Vorgang muss händisch eingeplant werden, dann ist automatisches Einplanen auch zum jetzigen Zeitpunkt möglich
Ausplanen und Neu-Einplanen nicht freigegebener Aufträge/freigegebener, nicht gestarteter Aufträge	Ausplanen aller Vorgänge möglich, automatisches Neu-Einplanen möglich
Ausplanen und Neu-Einplanen freigegebener Aufträge und gestarteter bzw. teilweise/komplett abgeschlossener Vorgänge	Ausplanen aller Folgevorgänge, die noch nie gestartet wurden, möglich; kein automatisches Neu-Einplanen über Funktionsleiste, nur über Rechtsklick (Auftrag bzw. min. 1 Vorgang muss explizit aus Arbeitsvorrat ausgewählt werden)

6.2.3 Auftragsdurchführung/Manufacturing Execution

Produktionsprozess

- AGV-Steuerung funktioniert (vor Ort getestet)
- Tool Availability, Palettierung funktionieren im POD
- Ausschuss wird erfolgreich protokolliert, Auftragsstatus ändert sich
- Erfassen der Prüfmerkmale aus ERP im POD (siehe Abbildung 119), erst danach Abschluss des Auftrags möglich, in DMC selbst derzeit keine Möglichkeit diese nachträglich einzusehen

Prüfmerkmal	Erfassungsmethode	Prüfergebnisse	Zusammenfassende Bewertung	Ergebnisherkunft	Geprüft	Stichprobenumfang
Prüflos: 030000001699						
Dicke ConCoin TU	Einzelwertfassung / Obligatorisch	4,0 MM Grenzwert: 3,0 - 5,0 MM	✓ innerhalb des Bereichs	Manuell	1	1 >
Durchmesser ConCoin TU	Einzelwertfassung / Obligatorisch	4 MM Grenzwert: 2 - 6 MM	✓ innerhalb des Bereichs	Manuell	1	1 >
visuelle Beschaffenheit	Einzelwertfassung / Obligatorisch		✓ innerhalb des Bereichs	Manuell	1	1 >

Abbildung 119: DMC POD – DMC_QUALI [27]

Montageprozess

- Custom POD Plugin – ‚Kommissionierliste‘ funktioniert (siehe Abbildung 120)
- Erfassen der ‚External-ID‘ bei Montage funktioniert (siehe Abbildung 121)
- Custom POD Plugin – ‚Work Instruction View Plugin‘/Darstellung der Videos funktioniert (siehe Abbildung 122)
- Datenerfassung in DMC funktioniert
- Nacharbeits-Aufträge bleiben im POD hängen, da es, wie bereits erwähnt, keine Möglichkeit für die Einplanung gibt. Nacharbeit wird nur DMC-seitig erfasst.

COMPONENTS	MATERIAL	REQUIRED_QTY	OPERATION
10	RPROFIL_HO UNHI_V2	1	1016056-0-0020
20	RPROFIL_HO UNVO	1	1016056-0-0020
30	RPROFIL_HO UNLI	1	1016056-0-0020
40	RPROFIL_HO UNRE	1	1016056-0-0020
50	RPROFIL_VE HIRE	1	1016056-0-0020
60	RPROFIL_VE VOLI	1	1016056-0-0020
70	RPROFIL_VE VORE	1	1016056-0-0020
80	SENKSCHRAUBE	13	1016056-0-0020
90	RIEMENUML ENKUNG 2	1	1016056-0-0020
100	KALTGERAET ERICHSE	1	1016056-0-0020

Abbildung 120: DMC POD – DMC_KOMM – ‚Kommissionierliste‘ [27]

Montagekomponenten Modus: Automatisch fortsetzen

0 von 1 Komponenten montiert

Komponente suchen: DRUCKTISCH

Komponentendetails

Komponentenname: DRUCKTISCH Version: ERP001

Beschreibung: BG Drucktisch V2.5 Menge: 1

Montagedaten

EXTERNAL_ID: PF_635288

Hinzufügen

Abbildung 121: DMC POD – DMC_MS1 – Erfassen der ‚External-ID‘ [27]

Arbeitsvorrat (35)

Status	PSN	Auftrag	Material	Plan-Start	Plan-Ende	Menge
✓	12201719	1014666	DMC_DRUCKER_TU	15.03.2023, 06:00:00	15.03.2023, 07:04:00	1
○	12201237	1014348	DMC_DRUCKER_TU	30.01.2023, 18:33:35	30.01.2023, 20:00:00	1
○	12201340	1014338	DMC_DRUCKER_TU	30.01.2023, 18:33:35	30.01.2023, 20:00:00	1
○	12201238	1014348	DMC_DRUCKER_TU	30.01.2023, 18:33:35	30.01.2023, 20:00:00	1

Vorgangsaktivitätenliste (1)

Status	Beschreibung der Aktivität	Vorgangsaktivität/Sc
✓	Montage Extruderschlitzen mittels Robot	1014666-0-0030/00

Arbeitsanweisungsliste (19)

Arbeitsanweisung/Version	Beschreibung	Vorgangsaktivität/Schritt-ID
DRUCKER_TU_MS2_STEP17.0/00	Step 17.0 Foto Operation ...	1014666-0-0030/0030
DRUCKER_TU_MS2_STEP17.1/00	Step 17.1 Foto Operation ...	1014666-0-0030/0030
DRUCKER_TU_MS2_STEP18/00	Step 18 Foto Operation 00...	1014666-0-0030/0030
DRUCKER_TU_MS2_STEP19/00	Step 19 Foto Operation 00...	1014666-0-0030/0030
DRUCKER_TU_MS2_STEP20/00	Step 20 Foto Operation 00...	1014666-0-0030/0030
DRUCKER_TU_MS2_STEP21/00	Step 21 Foto Operation 00...	1014666-0-0030/0030
DRUCKER_TU_MS2_STEP22/00	Step 22 Video Operation 0...	1014666-0-0030/0030
DRUCKER_TU_MS2_STEP23.1/00	Step 23.1 Video Operation...	1014666-0-0030/0030

Video Player: STP 22, 0:06 / 0:16

Abbildung 122: DMC POD – DMC_MS2 – ‚Work Instruction View Plugin‘ [27]

6.2.4 Rückmeldungen an ERP

Abbildung 123 zeigt einen Ausschnitt des ‚Integrationsmeldungs-Dashboards‘ mit den Rückmeldungen an ERP. Einige Meldungen wurden zunächst nicht durchgeführt, entweder fehlten diese komplett oder behielten den Status ‚in Bearbeitung‘. Am Folgetag (16.03.2023) wurden jedoch alle fehlenden Meldungen gesendet.

Positionen (110)	Meldungstyp	Werk	Identifikator	Angelegt am	Zuletzt aktualisiert am	Gesamtstatus
<input type="checkbox"/> 20230315152557504	Production Order Yield Confirmation	1220 Pilotfabrik TU	1220/12201740	15.03.2023, 16:25:57	15.03.2023, 16:25:43	Abgeschlossen
<input type="checkbox"/> 20230315152548365	Inspection Results Recording	1220 Pilotfabrik TU	1220/1014661/03000000171/0030	15.03.2023, 16:25:43	15.03.2023, 16:25:45	Abgeschlossen
<input type="checkbox"/> 20230315152547866	Order Complete	1220 Pilotfabrik TU	1220/1014661	15.03.2023, 16:25:43	15.03.2023, 16:25:46	In Bearbeitung
<input type="checkbox"/> 20230315152510899	Order Complete	1220 Pilotfabrik TU	1220/1014660	15.03.2023, 16:24:54	15.03.2023, 16:24:50	Abgeschlossen
<input type="checkbox"/> 20230215152400965	Production Order Yield Confirmation	1220 Pilotfabrik TU	1220/12201741	15.03.2023, 16:24:00	15.03.2023, 16:23:48	Abgeschlossen
<input type="checkbox"/> 20230315152332865	Production Order Yield Confirmation	1220 Pilotfabrik TU	1220/12201738	15.03.2023, 16:23:32	15.03.2023, 16:23:28	Abgeschlossen
<input type="checkbox"/> 20230315152335257	Inspection Results Recording	1220 Pilotfabrik TU	1220/1014659/03000000170/90030	15.03.2023, 16:23:29	15.03.2023, 16:23:31	Abgeschlossen
<input type="checkbox"/> 20230315152337475	Order Complete	1220 Pilotfabrik TU	1220/1014659	15.03.2023, 16:23:29	15.03.2023, 16:23:31	In Bearbeitung
<input type="checkbox"/> 20230315152254106	Production Order Yield Confirmation	1220 Pilotfabrik TU	1220/12201739	15.03.2023, 16:22:54	15.03.2023, 16:22:51	Abgeschlossen
<input type="checkbox"/> 20230315152127524	Production Order Yield Confirmation	1220 Pilotfabrik TU	1220/12201735	15.03.2023, 16:21:27	15.03.2023, 16:21:25	Abgeschlossen
<input type="checkbox"/> 20230315152128187	Order Complete	1220 Pilotfabrik TU	1220/1014642	15.03.2023, 16:21:24	15.03.2023, 16:21:30	Abgeschlossen
<input type="checkbox"/> 20230315152011672	Order Complete	1220 Pilotfabrik TU	1220/1014665	15.03.2023, 16:20:11	15.03.2023, 16:20:20	Abgeschlossen
<input type="checkbox"/> 20230315151719384	Production Order Yield Confirmation	1220 Pilotfabrik TU	1220/12201735	15.03.2023, 16:17:19	15.03.2023, 16:17:17	Abgeschlossen

Abbildung 123: DMC – ‚Integrationsmeldungs-Dashboard‘ [27]

Eine protokollierte Abweichung ‚Scrap‘ (Ausschuss) wird mit einer Scrap Confirmation an ERP rückgemeldet. Eine beim Vorgang protokollierte Abweichung ‚Nacharbeit‘ wird nicht an ERP rückgemeldet, auch nicht nach Abschluss des Nacharbeits-Vorgangs. Das Feld in ERP bleibt in diesem Fall leer, erst für folgende Vorgänge kommt es wieder zu Rückmeldungen. Die Qualitäts-Rückmeldung an ERP ist laut einer SAP-Partnerfirma für den Release Q3/23 geplant. Die Inspektionsergebnisse werden mit ‚Inspection Results Recording‘ erfolgreich rückgemeldet und sind in ERP mit dem Transaktionscode ‚QE51N‘ im jeweiligen Prüflos ersichtlich.

Nach Abschluss des Auftrags in DMC, wird im ERP-Auftrag unter ‚Allgemein‘ keine gelieferte Menge aber auch kein Ausschuss angezeigt, dies ist auf die EWM-Integration und die dort notwendige Wareneingangsbuchung zurückzuführen. Im Reiter ‚Termine/Mengen‘ wird die gefertigte Menge im Feld ‚Mengen‘ → ‚Bestätigt‘ angezeigt. Der Ausschuss fehlt allerdings auch hier. Nur in der ‚Vorgangsübersicht‘ (in der Kopfzeile unter ‚Vorgänge‘) wird meistens alles richtig rückgemeldet. Abbildung 124 und Abbildung 125 auf Seite 92 veranschaulichen diese Ergebnisse anhand des Auftrags mit der Nummer ‚1014667‘; Vorgang 1 (DMC_KOMM) wird regulär abgeschlossen, bei Vorgang 2 (DMC_MS1) erfolgt Nacharbeit und bei Vorgang 3 (DMC_MS2) wird Ausschuss protokolliert.

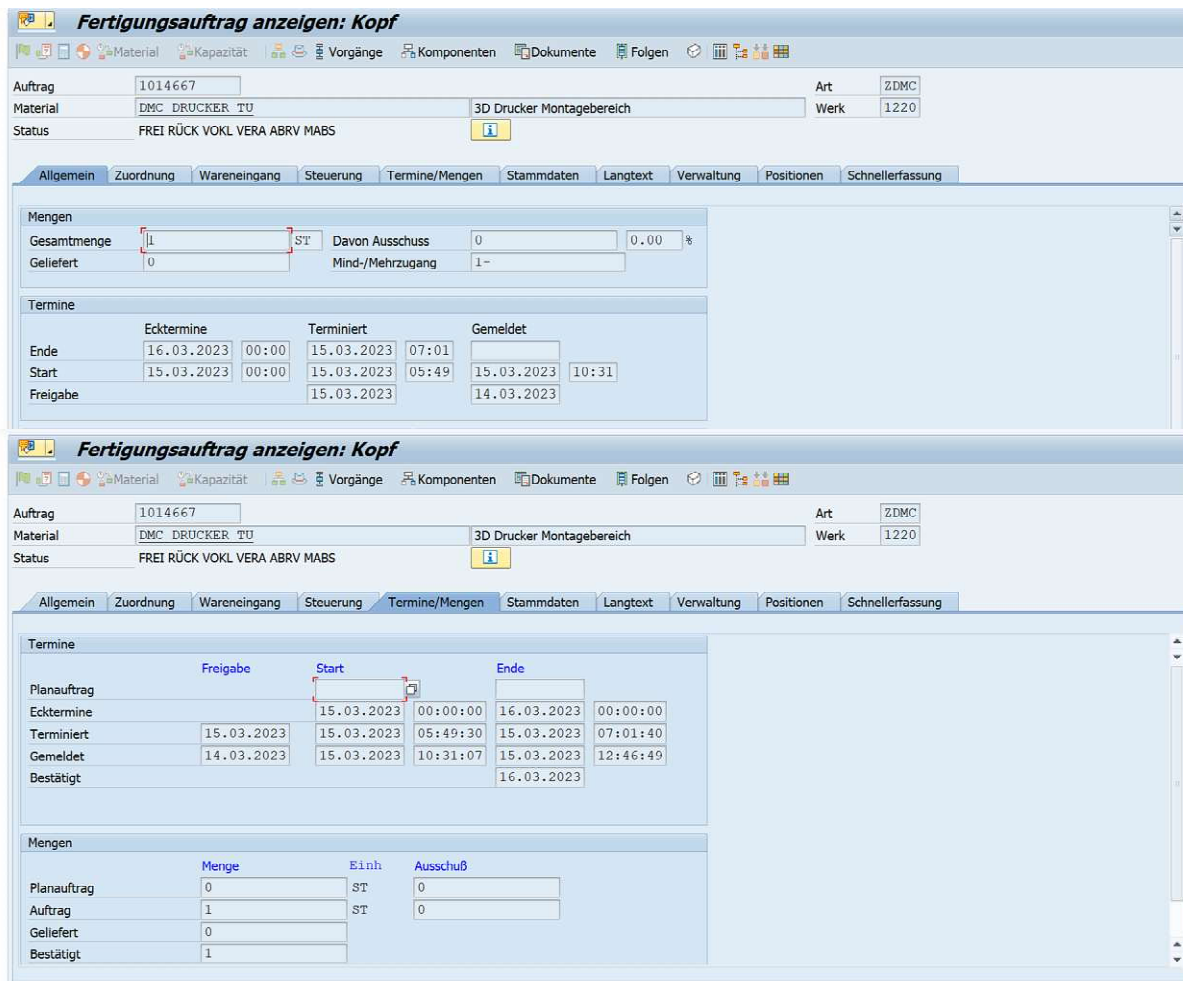


Abbildung 124: ERP – Fertigungsauftrag Kopf [25]

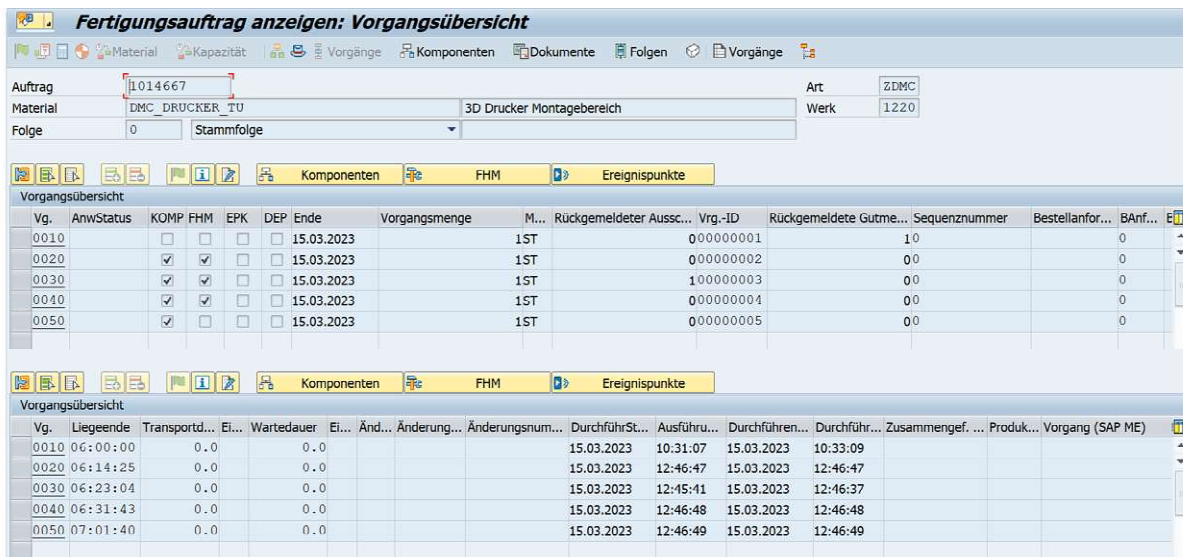


Abbildung 125: ERP – Fertigungsauftrag Vorgangsübersicht [25]

6.2.5 Rückverfolgbarkeit

Die ‚Produkthistorie‘ gibt einen guten Überblick über alle gesammelten Auftragsdaten/-informationen, die im Folgenden aufgelistet werden:

- Aktivitätenprotokoll (siehe Abbildung 126) → alle Bearbeitungsschritte im POD mit zeitlicher Einordnung
- Datenerfassung → alle im POD erfassten Daten (siehe Abbildung 127)
- Werkzeug → im POD protokollierte Werkzeuge (siehe Abbildung 128, Seite 94)
- Abweichung → protokollierte Abweichungen (siehe Abbildung 129, Seite 94)

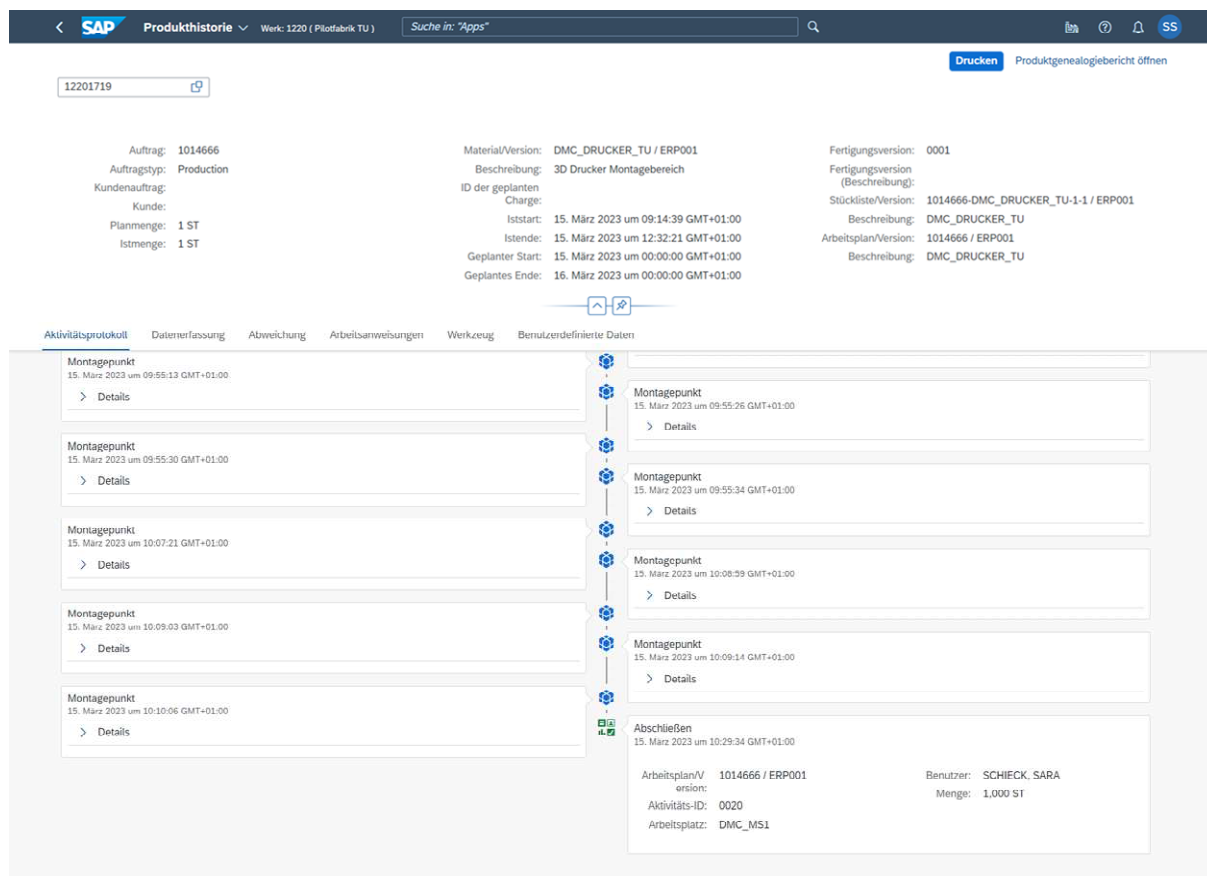


Abbildung 126: DMC – ‚Produkthistorie‘ – Aktivitätenprotokoll [27]

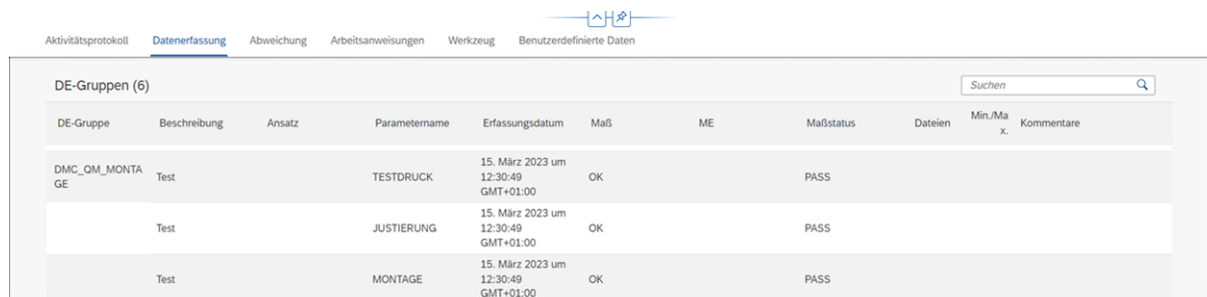


Abbildung 127: DMC – ‚Produkthistorie‘ – Datenerfassung [27]

Ressource	Werkzeugnummer	Werkzeugbeschreibung	Werkzeugart	FHM-Nummer	Verwendungszähler	Verwendete Zeit	Datum/Uhrzeit
Vorgangsaktivität 1014666-0-0020, Version A, Beschreibung Montage Rahmenteile							
DMC_MS1	TL1_MS1	Inbus 2mm für Montagestation 1	Material	FHM_TU_INBUS_2MM	1.000		15. März 2023 um 09:44:52 GMT+01:00
	TL2_MS1	Inbus 3mm für Montagestation 1	Material	FHM_TU_INBUS_3MM	1.000		15. März 2023 um 09:44:52 GMT+01:00
	TL3_MS1	Inbus 5mm für Montagestation 1	Material	FHM_TU_INBUS_5MM	1.000		15. März 2023 um 09:44:52 GMT+01:00
Vorgangsaktivität 1014666-0-0030, Version A, Beschreibung Montage Extruderschlitzen mittels Robot							
DMC_MS2	TL1_MS2	Inbus 2mm für Montagestation 2	Material	FHM_TU_INBUS_2MM	1.000		15. März 2023 um 11:07:32 GMT+01:00
	TL2_MS2	Inbus 3mm für Montagestation 2	Material	FHM_TU_INBUS_3MM	1.000		15. März 2023 um 11:07:32 GMT+01:00
	TL3_MS2	Torx TX25 für Montagestation 2	Material	FHM_TU_TX25	1.000		15. März 2023 um 11:07:32 GMT+01:00

Abbildung 128: DMC – ‚Produktgeschichte‘ – Werkzeug [27]

Ressource	Abweichungscode/Beschreibung	Kommentare	Status	Datelen	Datum/Uhrzeit
Vorgangsaktivität 1014667-0-0020, Version A, Beschreibung Montage Rahmenteile					
DMC_MS1	REWORK_MS1	Rework at Assembly Station 1	Offen		15. März 2023 um 12:41:56 GMT+01:00
Vorgangsaktivität 1014667-0-0030, Version A, Beschreibung Montage Extruderschlitzen mittels Robot					
DMC_MS2	SCRAP_MONTAGE	Scrap Assembly	Offen		15. März 2023 um 12:46:34 GMT+01:00

Abbildung 129: DMC – ‚Produktgeschichte‘ – Abweichung [27]

Über die eigene Kachel oder direkt über die ‚Produktgeschichte‘ lässt sich die ‚Produktgenealogie‘ aufrufen, welche einwandfrei funktioniert. Alle montierten Teile werden als solche markiert, im Komponentendetail wird ggfs. die erfasste ‚External-ID‘ angezeigt (siehe Abbildung 130)

Reihenfolge	Stücklistenkomponenten	Komponententyp	Alternativpositiongruppe	Istmenge/erforderliche Menge	Vorgangsaktivität
10	RPROFIL_HOUN... Beschreibung: Rahmenprofil. Horizontal Unten Hinten	Normal		1 ST / 1 ST	1014666-0-0020 Beschreibung: Montage Rahmenteile
100	KALTGERAETEB... Beschreibung: Kaltgeraetebuchse mit Schalter	Normal		1 ST / 1 ST	1014666-0-0020 Beschreibung: Montage Rahmenteile
110	SENKTSCHRAUBE... Beschreibung: Senktschraube DIN 7991 M3x6	Normal		2 ST / 2 ST	1014666-0-0020 Beschreibung: Montage Rahmenteile
120	FILAMENTHALTE... Beschreibung: Filamenthalterung	Normal		2 ST / 2 ST	1014666-0-0020 Beschreibung: Montage Rahmenteile
130	US 6.4MM Beschreibung: Unterlegscheibe DIN 9021 6.4mm	Normal		2 ST / 2 ST	1014666-0-0020 Beschreibung: Montage Rahmenteile
140	ZYLSCHRAUBE... Beschreibung: Zylinderschraube DIN 912 M6x75	Normal		2 ST / 2 ST	1014666-0-0020 Beschreibung: Montage Rahmenteile
	MHALTERUNG B... Beschreibung:				1014666-0-0020 Beschreibung:

Komponentendetails	
DRUCKTISCH / ERP001	
Allgemeine Informationen	Montagedaten
Ist-Komponente: DRUCKTISCH	EXTERNAL_ID: PF_635288
Version: ERP001	
Komponentenbeschreibung: BG Drucktisch V2.5	
Ist-Charge: 1 PC	
Erforderliche Menge: 1 PC	
Vorgangsaktivität: 1014666-0-0020	
Vorgangsbeschreibung: Montage Rahmenteile	
Status: Aktiv	
Montagedatum: 15. März 2023, 10:10:06	
Benutzer: sara.schieck@concircle.com	

Abbildung 130: DMC – ‚Produktgenealogie‘ [27]

Die Ergebnisse der Zeiterfassung sind unter ‚Zeiterfassung verwalten‘ ersichtlich (siehe Abbildung 131), es erfolgt jedoch keine Rückmeldung an ERP. Kommen/Gehen erfasst die Anwesenheit des Mitarbeiters und ist derzeit nur für den in DMC eingeloggten Benutzer möglich, nicht mit Benutzer-ID. Die Istzeiterfassung erfasst die Arbeitszeiten für eine PSN, diese ist sowohl für den eingeloggten Benutzer als auch mit Benutzer-ID möglich.

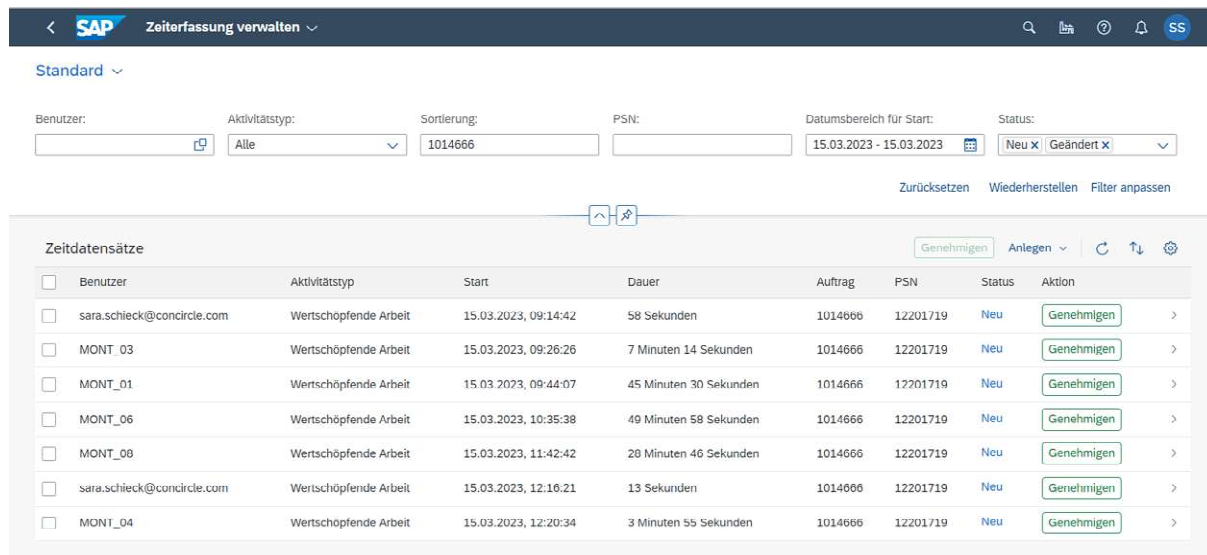


Abbildung 131: DMC – ‚Zeiterfassung verwalten‘ [27]

6.2.6 Insights

‚Auftrags- und PSN-Berichte‘ können die Erwartungen nicht erfüllen bzw. bringen diese derzeit keinen Mehrwert. Aktuell ist die Verwendung der Apps ‚Aufträge verwalten‘ bzw. ‚Produktgeschichte‘ vorzuziehen. Es ist hier allerdings mit zusätzlichen Funktionen in zukünftigen Releases zu rechnen. [29] Abbildung 132 auf Seite 96 zeigt ein Beispiel für ein integriertes SAC-Dashboard.



Abbildung 132: DMC – SAC-Dashboard Pilotfabrik [27]

7 Systemvergleich

Da MES nicht neu am Markt sind, es sich bei der Cloud-Lösung allerdings um eine Weiterentwicklung des Systems handelt, soll die DMC nun mit der bisherigen On-Premises-Lösung SAP ME verglichen und gleichzeitig die Stärken und Schwächen des Systems ausgewertet werden. Ziel ist es, somit in Zukunft feststellen zu können, welche Software-Lösung für ein Unternehmen am zielführendsten bzw. wann ein Umstieg auf die Cloud sinnvoll ist. Es lässt sich bereits jetzt aus der steigenden Anzahl an DMC-Projekten bei Concircle ableiten, dass sich die Einstellung der Kunden gegenüber der Cloud zum Positiven ändert bzw. die Bereitschaft für einen Umstieg wächst.

Allgemein

Vor allem zu Beginn haben sich die Problemlösungsprozesse in der DMC lange hingezogen; was zum einen auf die fehlende Erfahrung, aber auch auf den noch sporadischen Support durch SAP zurückzuführen ist. Das Knowhow konnte jedoch schnell aufgebaut werden. Durch den langfristigen Fokus von SAP auf Cloud Computing ist der fehlende Support nur eine temporäre Schwäche. Zudem ist laut SAP [Information von SAP-Mitarbeiter bei Messebesuch] mit einem baldigen Wegfall (im Jahr 2030) des SAP ME-Supports zu rechnen, da die JAVA-Wartung aufgekündigt wurde.

Das Konzept SaaS bietet allerdings eine gute Basis für die Zukunft, da sich nicht nur bei SAP, sondern generell immer mehr auf Cloud-Systeme konzentriert wird. Ob dies als Stärke oder Schwäche zählt, hängt vom Unternehmen selbst ab. Zum einen ist das Pay as you go Preismodell der DMC für größere Unternehmen attraktiver, da laut Concircle die Preise vergleichsweise günstiger sind, je größer das gewählte Datenvolumen. [Feedback im Gespräch] Zum anderen bedeutet eine bereits funktionierende und ausreichend große IT-Infrastruktur eine getätigte Investition, die nicht ohne Verluste rückgängig gemacht werden kann. Die Kosten-/Nutzungsrechnung ist hier also individuell durchzuführen.

Seit Beginn der DMC-Implementierung gibt es seitens SAP einmal pro Quartal ein Release mit Funktions-Updates für die DMC. Dieser regelmäßige Release-Zyklus wird bei SAP ME nicht geboten.

Implementierung / Erweiterungen

Die Installation von SAP ME gestaltet sich laut SAP-Guide [30] etwas komplexer, da verschiedene einzelne Softwares (SAP ME, SAP MII, SAP MEINT, CTC) installiert und eingerichtet werden müssen. Für DMC ist bis auf den Cloud Connector keine Installation von zusätzlichen Programmen nötig. Das Vorhandensein eines S/4HANA-Systems sei in beiden Fällen vorausgesetzt.

Beim Herstellen der Schnittstellen ERP – MES gibt es zum einen Parallelen, da RFC- und ALE-Verbindungen sowohl für SAP ME als für DMC angelegt werden müssen. Für DMC wird

zusätzlich ein HTTPS-Tunnel benötigt, dieser Schritt war in der Implementierung allerdings schnell erledigt. Während für die Integration und Erweiterung von SAP ME zusätzliche Anwendungen, wie SAP NetWeaver und SAP MII, benötigt werden; werden alle Funktionalitäten für DMC in SAP BTP vereint. Die Custom POD Plugins funktionieren in beiden Systemen, hier hat DMC den Vorteil der eigenen Entwicklungsumgebung SAP Business Application Suite. Die Anbindung von Drittsystemen ist, wie bereits in SAP ME, auch in DMC theoretisch möglich; z.B., um von dort Arbeitsanweisungen abzurufen, was bei Concircle häufig eine Kunden-Anforderung ist.

Die direkte Maschinenanbindung, z.B. über einen OPC-UA-Server, lässt sich weiterhin nur über PCo lösen. Laut eines Software-Entwicklers bei Concircle [Feedback im Gespräch] funktioniert die Anbindung an SAP ME zwar etwas angenehmer als die an DMC, was primär dem zwischengeschalteten Cloud Connector geschuldet ist. Allerdings gibt es in DMC dafür die Möglichkeit einen Digitalen Zwilling anzulegen, was die Integration der einzelnen Maschinen erheblich vereinfacht und das Equipment direkt in die DMC bringt. Webservices funktionieren ihm zufolge wie in SAP ME bzw. sogar besser. Während SAP MII nur JAVA als Programmiersprache unterstützt, welche für eine gewisse Komplexität sorgt; bietet DMC mehr Flexibilität, da sich Programme in den meisten Programmiersprachen integrieren lassen. Über ‚Produktionsprozesse‘ lassen sich in DMC einfache Prozesse bzw. ganze Programme als Apps in SAP BTP aufrufen.

Bei der Integration der Stammdaten fällt auf, dass sich die Voraussetzungen der beiden Systeme manchmal unterscheiden. Während SAP ME gewisse Stammdaten akzeptiert, kommt es bei DMC zu Fehlermeldungen, weil gewisse Einstellungen nicht passen oder ausreichen. Als Beispiel wird hier ein Problem angeführt, welches bei der Implementierung eintrat. Die Beschreibung der ‚Individual Capacities‘ in ERP, also die Ressourcen, die den Arbeitsplätzen mit angehängt sind, waren nicht gepflegt. Das leere Feld führte bei DMC zu einem Fehler, während es bei der Übertragung nach SAP ME keine Probleme verursachte.

Es lässt sich beobachten, dass der Datentransfer bei DMC schneller (Echtzeit) von statten geht als bei SAP ME.

Datenbank/Zugriff auf Hintergrunddaten

Es fällt auf, dass es sich bei DMC bezüglich der Rohdaten um eine Blackbox handelt, auf die sich nicht zugreifen lässt. Es kann nur begrenzt Einblick in die Daten erlangt werden, da diese bereits vorbereitet/verarbeitet wurden. Dies ist eine Limitation von DMC gegenüber SAP ME, da SAP MII den Zugriff auf Rohdaten gewährt. Hier gilt es abzuwarten, ob dies in Zukunft zu Problemen führen wird. Treten Probleme bei der Übertragung auf oder soll ein Customizing durchgeführt werden, ist es nicht möglich dies zu testen, da hier der Einblick fehlt. [Feedback eines Software-Entwicklers bei Concircle]

Funktionen/Aktivitäten

Abbildung 133 veranschaulicht die JAVA-basierte grafische Benutzeroberfläche (GUI/Frontend) von SAP ME. Für das Frontend der DMC (vgl. Abbildung 20, Seite 25) wird das modernere UI5-basierte FIORI-Design verwendet, was im Vergleich bei der Konfiguration einige Annehmlichkeiten mit sich bringt. Im Laufe der Implementierung wurde jedoch vor allem zu Beginn festgestellt, dass das Frontend manchmal auch noch fehlerhaft ist.

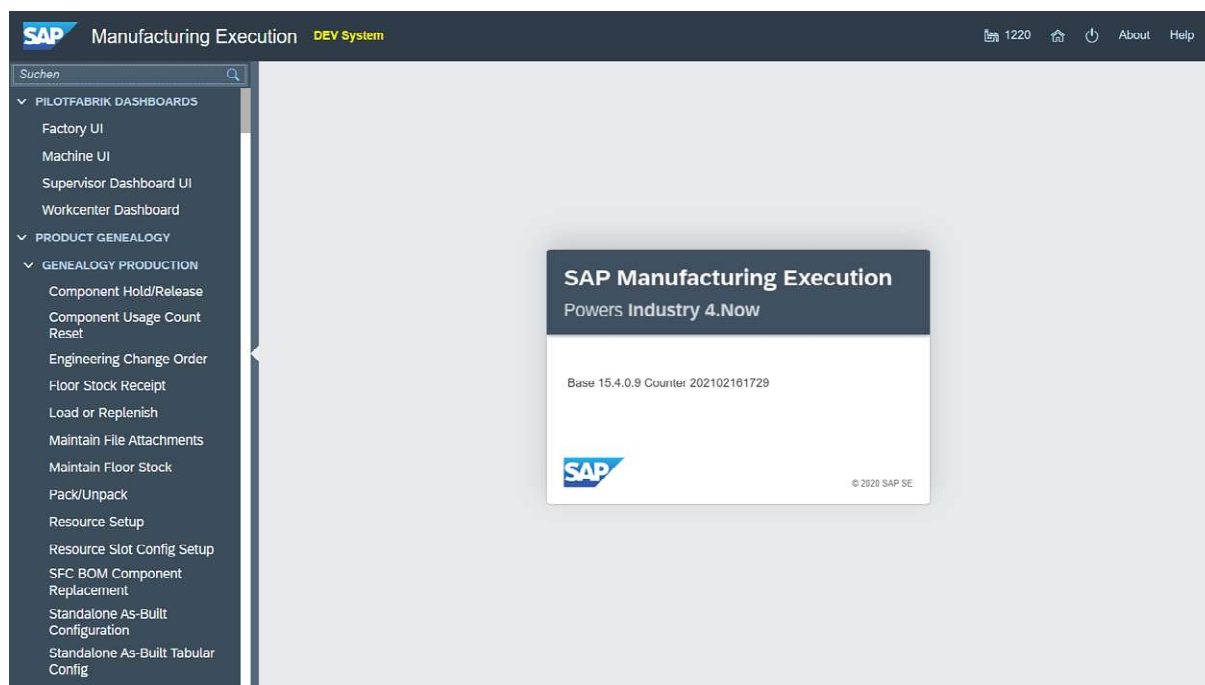


Abbildung 133: SAP ME Startseite [31]

Nach VDI5600 sind die meisten typischen Aufgaben eines MES bei beiden Systemen erfüllt. Die Feinplanung ist bei SAP ME jedoch nicht gegeben und bei beiden Systemen wird das Energiemanagement nicht direkt unterstützt.

Die Aufteilung der Funktionen und Kategorien erfolgt sehr unterschiedlich, ein Umstieg von SAP ME auf DMC fällt recht einfach, umgekehrt wäre der Umstieg wohl etwas schwieriger. Die bekannten Funktionen zur Verwaltung der Stammdaten bleiben überwiegend gleich; einige Funktionen fallen in DMC auch komplett weg, wie z.B. ‚Systemregeln pflegen‘ oder ‚Aktivitäten pflegen‘. Unter letzterer konnten in SAP ME gewisse Einstellungen und Regeln für Aktivitäten (wie z.B. ‚Material pflegen‘) definiert werden; womöglich wird DMC in Zukunft um diese Funktion erweitert. Dafür sind in DMC manche Funktionen direkt integriert in andere Funktionen. Als kurzes Beispiel hierfür sei der ‚Listenspalteneditor‘ im ‚POD-Designer‘ genannt: In SAP ME werden die Listen in einer eigenen Aktivität (‚Listen pflegen‘) angelegt, während die Listen in DMC direkt im ‚POD-Designer‘ erstellt werden können.

Generell gestaltet sich das Erstellen der PODs durch den ‚POD-Designer‘ (vgl. Abbildung 85, Seite 66) viel angenehmer und individueller als noch in SAP ME mit ‚POD Maintenance‘ (siehe Abbildung 134, Seite 100). Abbildung 135 zeigt einen aktiven POD in SAP ME. In DMC steht

zudem der klassische PSN-POD nicht mehr zur Auswahl, der häufig bei Kunden zum Einsatz kommt. Hierbei handelt es sich um die einfachste Möglichkeit, sich an einem Arbeitsplatz alle offenen Aufträge anzeigen zu lassen. Laut SAP [Feedback eines SAP-Entwicklers im Expert-Meeting] ist dies in naher Zukunft nicht vorgesehen.

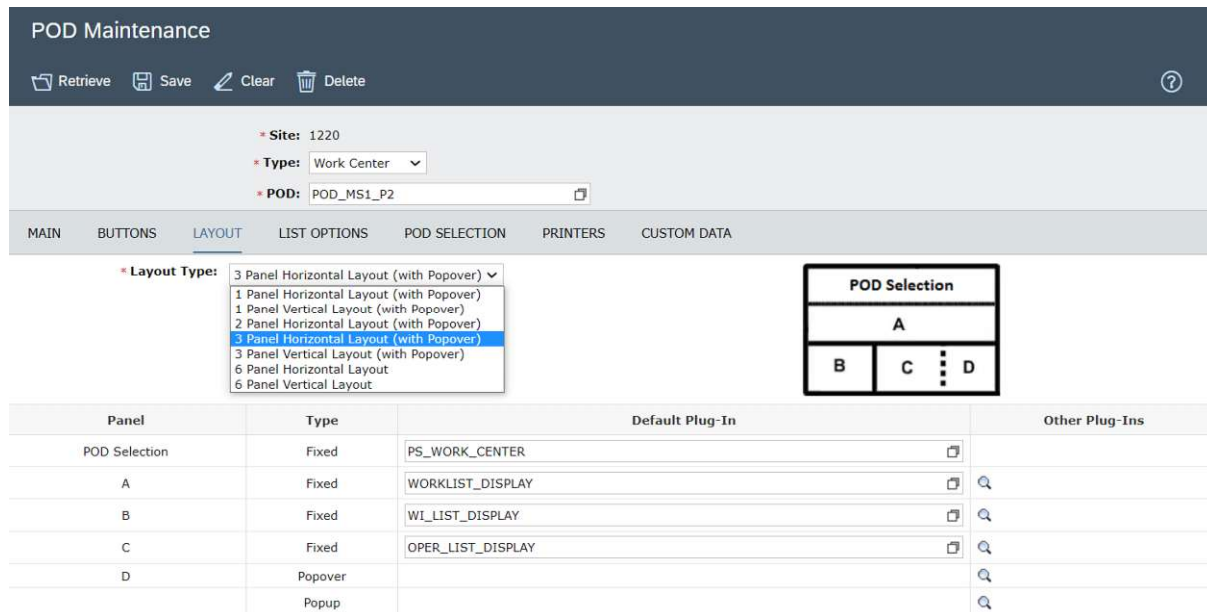


Abbildung 134: SAP ME – ‚POD Maintenance‘ – Layouterstellung [31]
Beispiel: POD für Montagestation 1

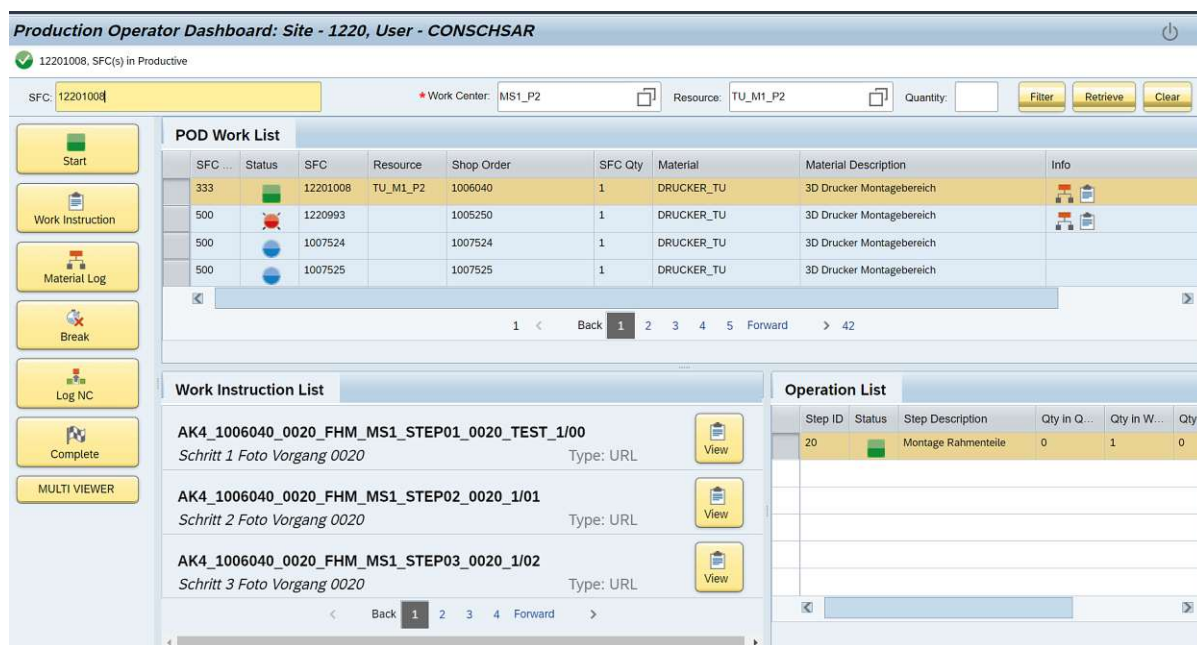


Abbildung 135: SAP ME – POD Montage-Station 1 [31]

Baukastenstücklisten werden in beiden Systemen nicht dargestellt (Multi-Level-Darstellung). Für das Verwalten von Arbeitsplänen ist in SAP ME die Installation eines JAVA-Programms notwendig, was das Ganze etwas komplizierter macht als in DMC, wo die Funktion in der App integriert und einfach bedienbar ist. Arbeitsanweisungen können in DMC als PDF, Foto, Video

und URL hochgeladen werden, URLs und Videos werden allerdings immer in einem neuen Fenster geöffnet. Bei SAP ME war es nicht möglich, Videos hochzuladen; URLs konnten ebenfalls in einem neuen Fenster geöffnet werden.

Mit jedem Fertigungsauftrag wird in DMC immer automatisch ein ‚Auftragspezifischer Arbeitsplan‘ angelegt, in SAP ME ist dies abhängig von der Einstellung im Integrations-Workflow (XSLT) und erfolgt nicht zwingend. Der Ressourcentyp wird automatisch auf ‚Default‘ gesetzt. Um dies anzupassen, muss der Integrations-Workflow für den Fertigungsauftrag geändert werden. Es gibt keine Möglichkeit dies über Stammdaten (Arbeitsplan/Vorgangsaktivität) zu steuern. Der Integrations-Workflow gilt für das gesamte System, also alle vorhandenen Werke; dies ist in SAP ME auch der Fall.

Bei den POD-Funktionen (POD Plugins) zur Produktionsüberwachung haben sich im Zuge der Implementierungen keine signifikanten Unterschiede aufgezeigt. Im POD selbst sind in DMC sowie SAP ME nur die PSNs ersichtlich, die sich bereits in der Warteschlange befinden, also freigegeben und ggfs. im vorherigen Vorgang abgeschlossen wurden. Eingeplante Aufträge werden nicht dargestellt, z.B. zur Arbeitsvorbereitung.

SAP MIIs bekannte ‚Intelligence‘ fällt bei DMC bisher weg, es gibt derzeit keine vergleichbaren Möglichkeiten z.B. Reports anzulegen, Abbildung 136 zeigt ein Beispiel für so einen Report. Ob diese Funktion in DMC noch ergänzt wird, ist derzeit nicht bekannt.

DC Group/Vers.	Parameter	Description	Value	SFC	Date/Time	Material/Vers.	Operation/Vers.	Step ID	Substep
DC_QM_P2/A	MONTAGE	Korrekte Montage des 3D Druckers?	OK	12201272	Feb 27, 2023 3:15:30 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0030/A	30	
DC_QM_P2/A	MONTAGE	Korrekte Montage des 3D Druckers?	OK	12201272	Feb 27, 2023 3:18:54 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0030/A	30	
DC_QM_P2/A	MONTAGE	Korrekte Montage des 3D Druckers?	OK	12201272	Feb 27, 2023 3:19:43 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0030/A	30	
DC_QM_P2/A	MONTAGE	Korrekte Montage des 3D Druckers?	OK	12201272	Feb 27, 2023 3:44:21 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0030/A	30	
DC_QM_P2/A	MONTAGE	Korrekte Montage des 3D Druckers?	OK	12201272	Feb 27, 2023 3:44:30 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0030/A	30	
DC_QM_P2/A	MONTAGE	Korrekte Montage des 3D Druckers?	OK	12201272	Feb 27, 2023 3:45:37 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0030/A	30	
	DC_TEST		1	12201272	Feb 27, 2023 3:45:37 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0030/A	30	
DC_QM_P2/A	MONTAGE	Korrekte Montage des 3D Druckers?	OK	12201272	Feb 27, 2023 3:46:25 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0030/A	30	
	DC_TEST	DC_TEST	1	12201272	Feb 27, 2023 3:46:25 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0030/A	30	
DC_QM_P2/A	DC_TEST	DC_TEST	1	12201272	Feb 27, 2023 3:46:43 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0030/A	30	
DC_QM_P2/A	MONTAGE	Korrekte Montage des 3D Druckers?	OK	12201272	Feb 27, 2023 3:47:13 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0030/A	30	
	DC_TEST	DC_TEST	1	12201272	Feb 27, 2023 3:47:13 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0030/A	30	
DC_QM_P2/A	MONTAGE	Korrekte Montage des 3D Druckers?	OK	12201272	Feb 27, 2023 5:20:58 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0030/A	30	
	DC_TEST	DC_TEST	1	12201272	Feb 27, 2023 5:20:58 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0030/A	30	
DC_QM_P2/A	MONTAGE	Korrekte Montage des 3D Druckers?	OK	12201272	Feb 27, 2023 5:21:43 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0030/A	30	
	DC_TEST	DC_TEST	1	12201272	Feb 27, 2023 5:21:43 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0030/A	30	
DC_QM_P2/A	MONTAGE	Korrekte Montage des 3D Druckers?	OK	12201272	Feb 27, 2023 5:21:55 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0030/A	30	
	DC_TEST	DC_TEST	1	12201272	Feb 27, 2023 5:21:55 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0030/A	30	
DC_QM_P2/A	MONTAGE	Korrekte Montage des 3D Druckers?	NOT OK	1220329	Mar 23, 2023 6:42:09 PM	DRUCKER_TU/A	50000035-3-0-0050/A	50	

Abbildung 136: SAP ME – ‚Data Collection Results Report‘ – Beispiel [31]

Tabelle 7 auf Seite 102 zeigt einen direkten Vergleich der beiden Systeme anhand typischer Anforderungsmerkmale für ein MES, die Tabelle lehnt sich an den Referenzkatalog von Concircle an und wurde geringfügig z.B. um neue Funktionen erweitert. In der Tabelle wird nur kenntlich gemacht, welche Anforderungen/Funktionen von den Systemen erfüllt (‚ja‘), nicht erfüllt (‚nein‘) bzw. für zukünftige Releases (‚Quartal/Jahr‘) angekündigt wurden.

Tabelle 7: Vergleich zwischen SAP ME und DMC anhand typischer MES-Funktionen (in Anlehnung an Referenz-Katalog von Concircle)

ME	Funktion	DMC	ME	Funktion	DMC
	Zeiterfassung		ja	Datenerfassung im MES	ja
ja	Anwesenheit (Ein-/Ausstempeln)	ja	ja	AB protokollieren	ja
ja	Wertschöpfende Arbeit	ja	ja	Montagefunktion	ja
	Integration aus ERP		ja	Palettierung	ja
ja	Stammdaten	ja	ja	Vorgabewertschlüssel - Zeit erfassen	nein
ja	Transaktionsdaten	ja	nein	Werkzeugprotokollierung (manuell/automatisch)	ja
ja	Qualitätsprüfmerkmale	ja	ja	Lagerort	ja
ja	Arbeitsanweisungen	ja	ja	Schichtverwaltung	ja
ja	FHMs mit Auftrag	ja	nein	Personalplanung	ja
ja	Vorgabewertschlüssel	ja	nein	Ressourcen-Orchestrierung	ja
	(Teil)Rückmeldung		ja	OEE POD	ja
ja	Vorgang gestartet	nein	nein	SAC-Dashboard	ja
ja	Gutmenge	ja	nein	Shop Floor Designer	ja
ja	Ausschuss	ja	ja	Custom Plugins	ja
ja	Auftrag abgeschlossen	ja	ja	API-Integration	ja
ja	Ergebnisse Qualitätsprüfung	ja	nein	Visuelle Inspektion	ja
	Freigabe von Aufträgen		ja	Aktivitäten pflegen/Regeln	nein
ja	Manuell	ja	ja	Systemregeln	nein
ja	Automatisch (Custom XSLT)	ja	nein	Prozessaufträge bzw. PI	ja
	Arbeitsanweisung		ja	Fertigungsaufträge bzw. DI	ja
ja	als PDF	ja	ja	PSN-POD	nein
ja	als Foto	ja	ja	As-built-Report	Q3/23
ja	als URL	ja	ja	Qualitätsregelkarte (SPC)	Q2/24
nein	als Video	ja	ja	(Intelligence) Reports	nein
ja	3D Modell	ja			

Ein Plus der DMC ist das Zusatz-Feature REO, da SAP ME kein Planungstool enthält. Dass REO noch Schwächen hat, haben bereits die Ergebnisse in Kapitel 6.2.2 gezeigt; dies wird aber auch nachfolgend beim Vergleich mit dem Planungstool conOS deutlich.

REO ist zwar bedienerfreundlich, aber teilweise doch unhandlich. Wichtige Anforderungen der Produktionsplanung können nicht erfüllt werden. Es werden im Gegensatz zu conOS keine Instandhaltungsaufträge („Geplante Ausfallzeit“) unterstützt; bei Ausfall einer Ressource, fehlt die Möglichkeit alle Aufträge automatisch umzuplanen (von SAP angekündigt); die Reihenfolgeabhängigkeit von Vorgängen wird beim Verschieben nicht berücksichtigt (von SAP angekündigt für Release Q4/23) und Nacharbeits- bzw. vergessene Aufträge sind nicht planbar. Zudem fehlen Optimierungs-Algorithmen, um Ressourcen möglichst sinnvoll zu nutzen und die Kapazitäten auszulasten.

Tabelle 8 auf Seite 105 zeigt einen Vergleich zwischen REO und conOS anhand der relevantesten Planungsfunktionen. Wie zuvor wird in der Tabelle kenntlich gemacht, welche Funktionen erfüllt („ja“), teilweise („tlw.“) oder nicht („nein“) erfüllt bzw. für zukünftige Releases angekündigt wurden. Vor allem bezüglich Frontend bringt conOS mehr Vielfalt. Abbildung 137 zeigt das Gantt-Diagramm in conOS, wie es auch aus REO bekannt ist (vgl. Abbildung 117, Seite 87); zusätzlich noch mit einer extra Zeile für die Auslastung pro Kapazität (Ressource). Diese Zeilen lassen sich zudem individuell anpassen (Anzahl und Typ). Andere Darstellungsmöglichkeiten in conOS sind in Abbildung 138 (Kalender-Darstellung) und Abbildung 139 (Tabellarische Darstellung) auf Seite 104 dargestellt.

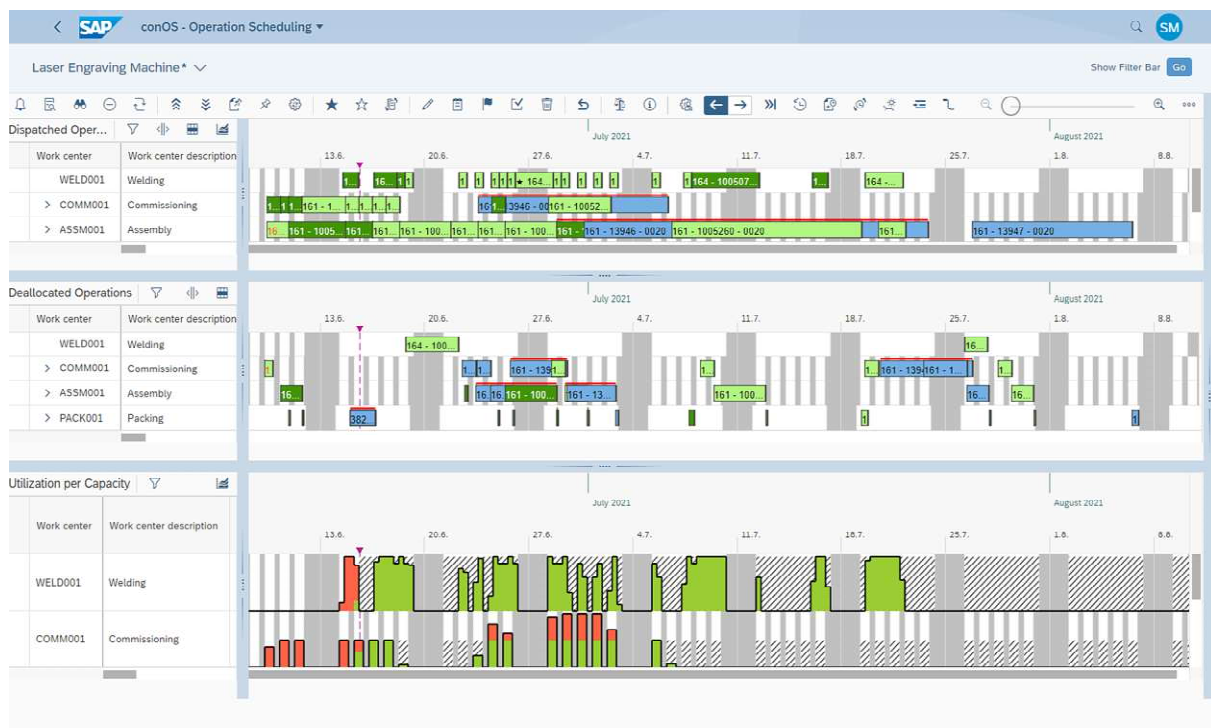


Abbildung 137: conOS – Plantafel Beispiel [21]

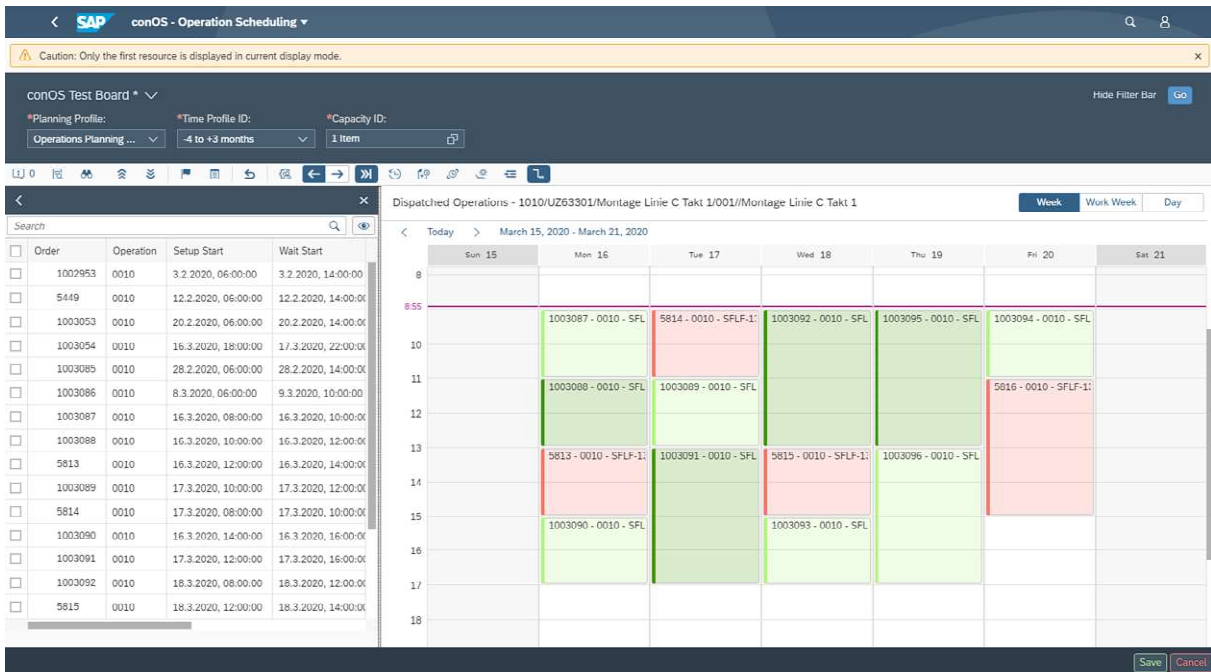


Abbildung 138: conOS – Kalender-Darstellung Beispiel [21]

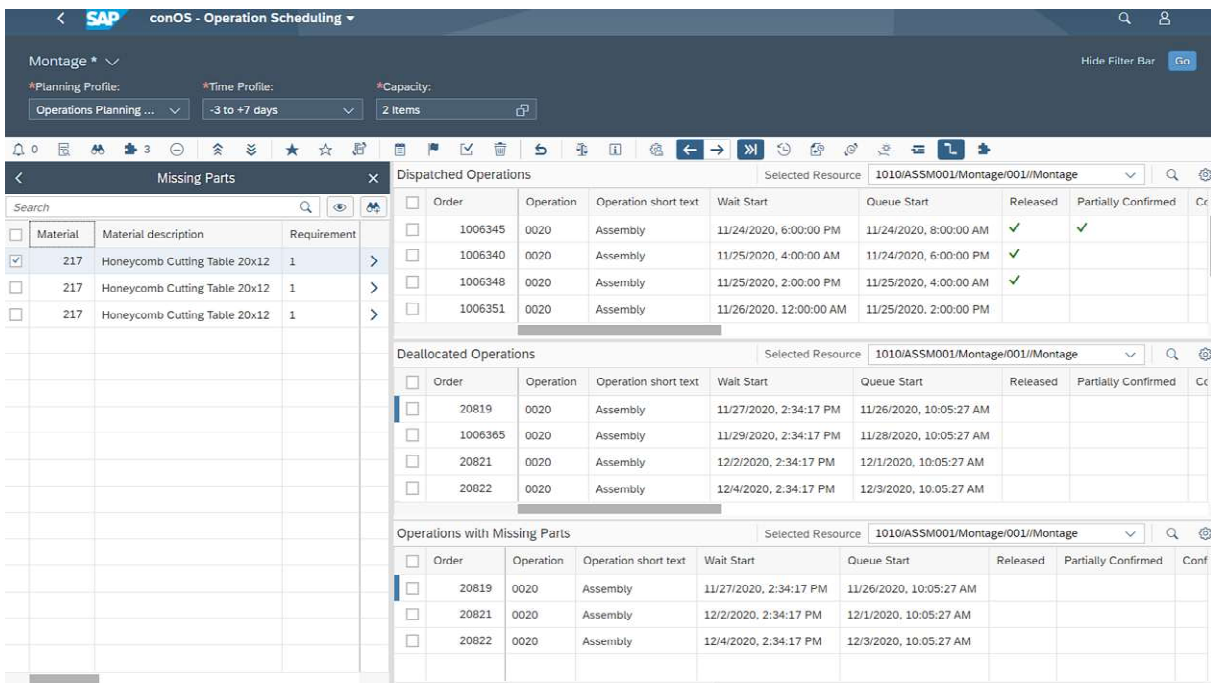


Abbildung 139: conOS – Tabellarische Darstellung Beispiel [21]

Somit lässt sich zusammenfassen, dass REO als Stärke der DMC anzusehen ist. Im Vergleich zu conOS zeigt das Tool jedoch mehr Schwächen; es hat aber den Vorteil, dass es keine weitere Schnittstelle benötigt.

Tabelle 8: Vergleich zwischen conOS und DMC REO anhand typischer Planungstool-Funktionen (in Zusammenarbeit mit IT-Beraterin bei Concircle)

conOS	Funktion	REO	conOS	Funktion	REO
nein	PSN-basierte Einplanung	nein	ja	Instandhaltungsaufträge	nein
ja	Automatisches Einplanen	ja	ja	Slot-Planung/Slot blockieren	nein
ja	Individuelle Kapazitäten (ERP) als Ressourcen	ja	nein	Werker-Qualifikation überprüfen	nein
ja	Schichten der Individuelle Kapazitäten aus ERP	nein	ja	Push-Technologie	nein
nein	Schichten der Ressourcen aus MES anzeigen	ja	ja	Such-/Filterfunktion in Ressourcen & Arbeitsvorrat	ja
ja	Schichtpausen anzeigen	ja	ja	Beziehungen zw. Vorgängen anzeigen	nein
ja	Schichtwechsel anzeigen	nein	ja	Kombinierte Vorwärts-/Rückwärtsplanung	nein
ja	Schichtpausen bei Planung berücksichtigen	ja	ja	Teilbestätigungen: Vorgang abgeschlossen	ja
ja	direkte Integration in ERP	02/23	ja	Auftragsstatus anzeigen (auch abgeschlossen)	ja
nein	direkte Integration in MES	ja	ja	Auftrag-Infos	ja
ja	Teil-Rückmeldungen	ja	ja	Material-, Status-, Komponenteninfo	nein
ja	Darstellung der Planzeiten im MES-POD	ja	ja	Überprüfung auf fehlende Komponenten	nein
nein	Ressourcentypen / alternative Ressourcen	ja	ja	Planungsreihenfolge festlegen	ja
ja	Gantt-Diagramm	ja	ja	Auslastung pro Kapazität	nein
ja	Kalender-Darstellung (siehe Abbildung oben)	nein	ja	Vorgang fixieren	ja
ja	Tabellarische Darstellung	nein	ja	Planmenge ändern	nein
ja	konfigurierbare Ansichten	nein	ja	Planungsstrategien	
ja	konfigurierbare Farben/Daten	tlw.	ja	Rüstzeiten-Optimierung	nein
nein	Personalplanung	ja	nein	Vorgang splitten	ja
nein	Werkzeugeinplanung/-reservierung	ja			

DMC bringt einige weitere neue Funktionen mit, welche an dieser Stelle nur erwähnt seien. Im Zuge dieser Arbeit wurden sie nicht implementiert oder getestet.

- ‚Logistikaufträge verwalten‘
- ‚Transportsysteme verwalten‘
- ‚Produktionsbestände verwalten‘

Logistikaufträge dienen der Nachverfolgbarkeit des Materialtransports im Werk, entweder auf Basis der PSN oder der Verpackungseinheit (Warenträger) und können direkt im POD erstellt werden. Hierzu könnten auch direkt Transportsysteme unter ‚Transportsysteme verwalten‘ angelegt werden, um so z.B. Drittsysteme wie AGVs anzubinden.

Die EWM-Integration war bereits bei SAP ME möglich, wurde in DMC nun aber tatsächlich durchgeführt. EWM dient zur Lagersteuerung, durch Anlegen eines Fertigungsauftrags in ERP wird eine Anforderung für Produktionsmaterial (Production Material Request – PMR) an EWM geschickt. Daraus wird, durch eine von DMC gesendete Anforderung für Materialbereitstellung (Material Stage Request), automatisch ein Lagerauftrag erzeugt. Im Lager werden die notwendigen Schritte durchgeführt und nach Abschluss das Material im Produktionsversorgungsbereich (Production Supply Area – PSA) als Inventar und somit auch in DMC unter ‚Produktionsbestände verwalten‘ als Bestand erfasst. Wird in DMC die Montagefunktion (Komponente einbauen/entfernen) verwendet, wird eine Meldung über Warenbewegung (Goods Movement) an EWM und von dort weiter an ERP geschickt. Nach Abschluss eines Auftrags kann dieser verpackt und somit automatisch, oder händisch über den Auftrags-POD, ein Wareneingang (Goods Receipt) in DMC gebucht werden. Dies löst eine Wareneingangsbuchung in EWM aus.

8 Fazit mit Ausblick in die Zukunft

Es lässt sich festhalten, dass ein Umstieg auf Cloud sowieso passieren wird; die Frage ist nicht, ob, sondern wann. Die DMC befindet sich noch „in den Kinderschuhen“, wird aber stetig weiterentwickelt; was sich in den letzten zwei Jahren gezeigt hat, die die Software bereits bei Concircle getestet wird.

Abschließend lässt sich nicht klar sagen, dass die eine Software der anderen im funktionellen Aspekt eines MES überlegen ist. Vielmehr kommt es individuell auf die Anforderungen eines Produktionsunternehmens an. Faktoren wie Größe, Produktionsmethode, Endprodukt, Automatisierungsgrad spielen in die Auswahl mit hinein. Prinzipiell lässt sich schlussfolgern, dass beide Software-Angebote im technischen Rahmen ähnliche Funktionen des MES erfüllen.

Lediglich das moderne Design der DMC hebt diese klar von SAP ME ab, dies spielt primär bei der Konfiguration eine Rolle und ist zudem abhängig vom eigenen Knowhow. Für Neueinsteiger gestaltet sich der Einstieg in DMC nach Erfahrung bei Concircle einfacher als in SAP ME, da die Software in Summe bedienerfreundlicher ist. Durch den erstellten Systemvergleich lässt sich bezüglich der Funktionalitäten nun recht einfach bestimmen, welche Software mehr Anforderungen erfüllen kann; oftmals ist dies jedoch keine einfache „Ja“-/„Nein“-Entscheidung und erfordert trotzdem viel zusätzliches Testen.

Bei REO sind Funktionen, die besonders auf Fertigungsebene wichtig sind, nicht gegeben; laut Concircle nutzen hier jedoch viele Kunden bereits andere Systeme.

Zudem spielt laut Concircle die Auslagerung der IT-Infrastruktur eine wichtige Rolle, da es einen großen Mehrwert für produzierende Unternehmen bringt; unter anderem wegen des vorherrschenden Fachkräftemangels, aber auch des fehlenden Knowhows bezüglich digitaler Sicherheit.

Der Fokus von SAP auf Cloud Computing kann in Zukunft einen besseren Support bedeuten; mit dem angekündigten Wegfall des SAP ME-Supports im Jahr 2030 scheint in der SAP-Welt lediglich die DMC als MES in Frage zu kommen.

SAP kann durch die quartalsweisen Updates dem agilen Kulturwandel, der mit kürzeren Release-Zyklen einhergeht, gerecht werden. Zudem legen laut Concircle immer mehr Unternehmen Wert auf Nähe zum Standard. Auch dies kann die DMC mit ihren standardisierten Prozessen und Schnittstellen zu anderen (eigenen) Systemen erfüllen.

Erfahrungsgemäß [Pilotprojekte bei SAP-Partner] führt die flexible Skalierbarkeit zu einer schnelleren Rollout-Fähigkeit.

Zukünftige Technologien für Analytik, Künstliche Intelligenz und andere Dienste, die die Produktivität steigern können, lassen sich voraussichtlich gut integrieren, da Cloud Computing

hierfür eine gute und notwendige Basis darstellt. Im Gegensatz zu SAP ME bietet DMC bereits jetzt ein Zusatz-Tool zur visuellen Inspektion mit Hilfe eines KI-Modells (‚KI/ML-Szenarien-Verwaltung‘). Derzeit muss hier ein eigenes Modell hochgeladen werden; für das Jahr 2025 kündigt SAP [29] jedoch an, dass dieses Modell direkt in DMC trainiert werden kann. Wie bereits erwähnt, ist das DMC-System in Summe nicht so transparent wie SAP ME; die Zugriffsmöglichkeit auf Hintergrunddaten kann laut Concircle jedoch eine Kundenanforderung sein.

Da die DMC als Cloud-Lösung implementiert wurde, würde es sich auch anbieten, in Zukunft das ERP-System über die Cloud zu beziehen. Eine Implementierung der S/4HANA Cloud in der Pilotfabrik würde hier die Möglichkeit bieten, die gesamte Produktion in der Cloud abzuwickeln. Die Installation/Implementierung und Schnittstellen-Herstellung würden sich dadurch noch weiter vereinfachen.

Die EWM-Integration wurde bereits von Concircle durchgeführt, dadurch bietet sich eine standardmäßige Lösung zur Lagerverwaltung. Allerdings gestaltete sich die Integration des Systems kompliziert und bedurfte einiger Support-Meetings mit SAP-Experten.

Zum SAP Edge Device gibt es zurzeit noch keine Erfahrungswerte, aber wie bereits in Kapitel 5.1 erwähnt, wurde die DMC so aufgesetzt, dass bereits alle notwendigen Voraussetzungen für eine Implementierung des Edge Devices erfüllt sind.

Des Weiteren verfügt DMC über die Network-Funktion, mit der eine Netzwerk-Verbindung zwischen Kunde und Lieferant hergestellt werden kann.

Das Concircle eigene Produkt ‚conDNC‘ kann als App in SAP BTP importiert und über eine Transaktion als eigenes UI im POD integriert werden. Das Tool stellt Funktionen wie ‚Prüfen der Werkzeugverfügbarkeit‘ und ‚Abfrage des CNC-Programms‘ bereit. Weiters arbeitet Concircle gerade daran, die eigenen Entwicklungen conLabor und conOS in DMC zu integrieren.

Literaturverzeichnis

- [1] Innovexa Solutions | Digital Cloud Platform, „10 Digital Transformation Quotes that will Change the Way you View it“, 21. Oktober 2019.
<https://medium.com/@InnovexaSolutions/10-digital-transformation-quotes-that-will-change-the-way-you-view-it-c57fcc5fcd80> (zugegriffen 7. Mai 2021).
- [2] SAP News, „SAP Introduces SAP Digital Manufacturing Cloud“, *SAP News Center*, 23. April 2018. <https://news.sap.com/2018/04/sap-introduces-sap-digital-manufacturing-cloud/> (zugegriffen 25. Mai 2023).
- [3] J. Kletti, *MES - Manufacturing Execution System*, 2. Aufl. Springer Vieweg, 2015.
- [4] Instrumentation, Systems, and Automation Society (ISA) und American National Standards Institute (ANSI), *DIN EN 62264-1: Modelle und Terminologie*, Juli 2014.
- [5] M. Åkerman, „Implementing Shop Floor IT for Industry 4.0“, Chalmers University of Technology, Göteborg, Schweden, 2018.
- [6] J. Kletti und R. Deisenroth, *Lehrbuch für digitales Fertigungsmanagement*. Springer Vieweg, 2021.
- [7] T. Wochinger, A. Kluth, und R. Kipp, *Marktspiegel Business Software – MES - Fertigungssteuerung 2015/2016*, 5. überarb. Auflage. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, 2015.
- [8] Verein Deutscher Ingenieure, *VDI-Richtlinie 5600 Blatt 1: Fertigungsmanagementsysteme - Manufacturing Execution Systems (MES)*. 2016.
- [9] Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), „Energie in Österreich 2022 - Zahlen, Daten, Fakten“. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:3820f7e7-4abb-4324-b8e0-aa090325eb4a/Energie_in_OE2022_UA.pdf
- [10] Ladwig, Markus, „Was ist eine Cloud und wie funktioniert sie? - Cloud Computing Definition“, 2. Juni 2017. <https://www.cloudplan.net/blogdetail/Was-ist-eine-Cloud-und-wie-funktioniert-sie> (zugegriffen 8. Mai 2021).
- [11] Cloudflare, Inc., „Was ist die Cloud? | Cloud-Definition“. <https://www.cloudflare.com/de-de/learning/cloud/what-is-the-cloud/> (zugegriffen 18. Mai 2021).

- [12] Führungskräfte BWV Bildungsverband, „Motor der Digitalisierung: Cloud Computing“, 15. Februar 2021. <https://www.discoverdigital.de/motor-der-digitalisierung-cloud-computing/> (zugegriffen 23. Februar 2023).
- [13] Microsoft Corporation, „Vertrauen in die eigene Cloud“, *Azure*. <https://azure.microsoft.com/de-de/explore/trusted-cloud> (zugegriffen 11. April 2023).
- [14] SAP Help Portal, „Setup and Operations Guide for SAP Digital Manufacturing for edge computing“. <https://help.sap.com/docs/sap-digital-manufacturing/setup-and-operations-guide-for-sap-digital-manufacturing-for-edge-computing/basic-concepts?locale=en-US> (zugegriffen 11. April 2023).
- [15] D. Chou, „Cloud Service Models (IaaS, PaaS, SaaS) Diagram“, 28. September 2018. <https://dachou.github.io/2018/09/28/cloud-service-models.html> (zugegriffen 18. Mai 2021).
- [16] SAP Help Portal, „SAP Digital Manufacturing Cloud Integration Guide, Version: 2105“. 22. Mai 2021. Zugegriffen: 23. Mai 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://help.sap.com/docs/SAP_DIGITAL_MANUFACTURING_CLOUD?locale=en-US&task=integrate_task
- [17] O. Schell, V. Schmid-Lutz, K.-O. Schocke, V. Stockrahm, und J. Zinovieva, *Industrie 4.0 mit SAP*. Rheinwerk Publishing, 2017.
- [18] SAP Help Portal, „SAP S/4HANA“. https://help.sap.com/docs/SAP_S4HANA_ON-PREMISE/8308e6d301d54584a33cd04a9861bc52/2c0e7c571fbeb576e10000000a4450e5.html (zugegriffen 30. Januar 2023).
- [19] SERKEM GmbH, „7 Antworten zu SAP S/4HANA und S/4HANA Cloud“, *SERKEM*, 5. September 2017. <https://www.serkem.de/7-antworten-zu-sap-s4hana-und-s4hana-cloud/> (zugegriffen 22. Mai 2023).
- [20] IGZ Ingenieurgesellschaft für logistische Informationssysteme mbH, „SAP Manufacturing Integration and Intelligence (SAP MII)“. <https://www.igz.com/sap-manufacturing/sap-module/sap-mii/> (zugegriffen 27. Februar 2023).
- [21] Concircle, „interne Dokumentationen“.
- [22] P. Liegl, „Unterschied zwischen IDocs, ALE, RFC und EDI im SAP ERP-System“, *ecosio*, 11. Mai 2018. <https://ecosio.com/de/blog/unterschied-zwischen-idocs-ale-rfc-und-edi-in-einem-sap-erp-system/> (zugegriffen 26. Januar 2023).
- [23] SAP Help Portal, „SAP-Bibliothek - BAPI-Benutzerhandbuch (CA-BFA)“. https://help.sap.com/saphelp_gbt10/helpdata/DE/4d/c89000ebfc5a9ee10000000a42189b/frameeset.htm (zugegriffen 12. April 2023).

- [24] IFT TU Wien, „Ringvorlesung Digital Production 2021W“. 25. November 2021.
- [25] Eigene Bildschirmaufnahme, „SAP S/4HANA“.
- [26] S. J. Schieck, „Dokumentation: Implementierung der SAP Digital Manufacturing Cloud in der TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0“. 2023.
- [27] Eigene Bildschirmaufnahme, „SAP DMC“.
- [28] IONOS SE, „HTTPS: Was es bedeutet und warum es wichtig ist“, *IONOS Digital Guide*, 20. Juli 2020. <https://www.ionos.at/digitalguide/hosting/hosting-technik/was-ist-https/> (zugegriffen 31. Januar 2023).
- [29] SAP SE, „SAP Road Map Explorer“.
<https://roadmaps.sap.com/board?PRODUCT=73555000100800001492&range=2024Q1-2025Q4#2025> (zugegriffen 22. Mai 2023).
- [30] SAP Help Portal, „Installation Guide for SAP Manufacturing Execution“.
https://help.sap.com/docs/SAP_MANUFACTURING_EXECUTION/a7953ef96530450191cd25aa5c916591/962fd787831e4e5c86895f25c3eb5f62.html?locale=en-US (zugegriffen 27. Februar 2023).
- [31] Eigene Bildschirmaufnahme, „SAP ME“.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Automatisierungs-Pyramide gemäß ISA 95 Model [5, S. 2]	4
Abbildung 2: Regelkreis Datenaustausch ERP-MES [6, S. 5].....	4
Abbildung 3: Schalenmodell der MES Aufgaben [7]	5
Abbildung 4: Die Cloud [11]	9
Abbildung 5: Cloud Service Models [15]	10
Abbildung 6: Beispiel einer hybriden digitalen Produktions-Landschaft in SAP [16].....	11
Abbildung 7: vertikale Integration [17, S. 137]	12
Abbildung 8: S/4HANA Bereiche und Detailansicht des Bereichs Manufacturing [18].....	13
Abbildung 9: vertikale Integration mit SAP MII [20].....	14
Abbildung 10: SAP PEO Prozessdiagramm [21].....	15
Abbildung 11: Unterschied ALE zu EDI [22]	17
Abbildung 12: IT-Features in der Pilotfabrik [21]	18
Abbildung 13: Produktfoto ConCoin [21]	19
Abbildung 14: Produktfoto ‚3D-Drucker‘ [21].....	19
Abbildung 15: Prozessdiagramm Showcase Produktion [21].....	20
Abbildung 16: vertikale Integration des Produktionsprozesses in der TU Wien Pilotfabrik [24]	21
Abbildung 17: Maschinenebene des Produktionsprozesses in der TU Wien Pilotfabrik [24].	22
Abbildung 18: Prozessdiagramm Showcase Montage [21]	22
Abbildung 19: ERP – im Arbeitsplan angehängte FHMs [25]	23
Abbildung 20: DMC – Startseite im SAP Fiori-Design [27].....	25
Abbildung 21: DMC – Werke auswählen [27]	26
Abbildung 22: DMC – Individuelle Gestaltungsmöglichkeit der Startseite [27].....	26
Abbildung 23: Integrationsszenarien DMC zu SAP On-Premises-Systemen [16].....	26
Abbildung 24: Kommunikation zwischen SAP S/4HANA und DMC [16].....	27
Abbildung 25: CPI – Konfiguration der ‚Initial Parameters‘ [27]	28
Abbildung 26: DMC – ‚Collaboration Link verwalten‘ – Collaboration Link Verknüpfung ‚Order Complete DI‘ [27]	29
Abbildung 27: ERP – Ausschnitt SAP Referenz-IMG [25].....	30
Abbildung 28: ERP – Steuerung der Verteilung von Fertigungsaufträgen an ein MES [25].	30

Abbildung 29: ERP – Transaktion DRFF – Filterkriterien definieren [25]	31
Abbildung 30: ERP – Transaktion DRFF – Filterkriterien für Produktionsaufträge [25]	31
Abbildung 31: DMC – ‚Werke verwalten‘ – Werk anlegen [27]	32
Abbildung 32: DMC – ‚Geschäftseinstellungen verwalten‘ – Integration [27].....	32
Abbildung 33: ERP – Transaktion DRFOUT – Datenreplikation ausführen [25].....	33
Abbildung 34: ERP – für Replikationsmodell ‚DMEMODEL‘ definierten IDocs [25].....	33
Abbildung 35: ERP – Filterkriterien für manuelle Replikation [25]	33
Abbildung 36: ERP – generiertes MATMAS IDoc, Aufruf über Transaktion WE02 [25]	34
Abbildung 37: DMC – ‚Integrationsmeldungs-Dashboard‘ – Material Download ‚DMC_DRUCKER_TU‘ [27].....	34
Abbildung 38: DMC – ‚Integrationsmeldungs-Dashboard‘ – Work Center Download der ‚3D- Drucker‘-relevanten Arbeitsplätze [27]	35
Abbildung 39: ERP – Arbeitsplan ‚3D-Drucker‘ [25].....	36
Abbildung 40: ERP – im Arbeitsplan angehängte FHMs DMC [25]	36
Abbildung 41: ERP – Arbeitsplan ConCoin [25].....	36
Abbildung 42: ERP – Arbeitsplan ConCoin Vorgang 0030 – Prüfmerkmale [25].....	37
Abbildung 43: DMC – ‚Integrationsmeldungs-Dashboard‘ – Material Download der Werkzeuge [27].....	37
Abbildung 44: DMC – ‚Integrationsmeldungs-Dashboard‘ – Order/PRT Download [27]	37
Abbildung 45: DMC – Rückmeldungen an ERP [27].....	38
Abbildung 46: DMC – ‚Integrations-Workflows verwalten‘ [27].....	39
Abbildung 47: BTP – Spaces ‚con_dnc_cloud‘ und ‚PODPlugins‘ [27].....	40
Abbildung 48: BTP – Application ‚machine_connector‘ in Space ‚con_dnc_cloud‘ [27].....	41
Abbildung 49: DMC – ‚Webserver anlegen‘ [27]	41
Abbildung 50: DMC – ‚Produktionsprozess designen‘ – ‚Call AGV‘ [27].....	42
Abbildung 51: DMC – ‚Service-Registrierung verwalten‘ [27]	42
Abbildung 52: DMC – Verwaltung der Fertigungsstammdaten [27]	43
Abbildung 53: DMC – ‚Material verwalten‘ mit relevanten Parametern [27].....	44
Abbildung 54: DMC – ‚Material verwalten‘ – ‚zu sammelnde Daten bei Montage‘ [27].....	45
Abbildung 55: DMC – ‚Stückliste verwalten‘ Übersicht [27]	45
Abbildung 56: DMC – ‚Benutzerdefinierte Daten verwalten‘ – ‚BOM Component‘ [27].....	46

Abbildung 57: DMC – ‚Arbeitsplätze verwalten‘ [27]	46
Abbildung 58: DMC – ‚Ressourcen verwalten‘ [27]	47
Abbildung 59: DMC – ‚Ressourcentypen verwalten‘ [27]	47
Abbildung 60: DMC – ‚Arbeitspläne/Rezepte verwalten‘ [27]	48
Abbildung 61: DMC – ‚Arbeitspläne/Rezepte verwalten‘ – Details der Normalvorgangsaktivität [27]	49
Abbildung 62: DMC – Vorgangsaktivität vom Typ ‚Normal‘ / Ressourcentypen automatisch zugeordnet [27]	49
Abbildung 63: DMC – Auftragspezifischer Arbeitsplan [27]	50
Abbildung 64: DMC – ‚Arbeitsanweisungen verwalten‘ [27]	52
Abbildung 65: DMC – ‚Arbeitspläne/Rezepte verwalten‘ – zugeordnete Arbeitsanweisungen [27]	52
Abbildung 66: DMC – ‚Datenerfassung verwalten‘ [27]	53
Abbildung 67: DMC – ‚Datenerfassung verwalten‘ – Parameterinformation [27]	54
Abbildung 68: DMC – ‚Schichten verwalten‘ [27]	54
Abbildung 69: DMC – ‚Ressourcen verwalten‘ – Schichtzuordnung [27]	55
Abbildung 70: DMC – ‚Werkzeuge verwalten‘ – Anlegen (a), – Bearbeiten (b) [27]	55
Abbildung 71: DMC – ‚Werkzeuge verwalten‘ – Übersicht [27]	56
Abbildung 72: DMC – Arbeitsplatz-POD – ‚Werkzeugzuordnung‘ (a), – Übersicht der zugeordneten Werkzeuge (b) [27]	57
Abbildung 73: DMC – ‚Warenträger verwalten‘ [27]	57
Abbildung 74: DMC – Fertigungskonfiguration [27]	58
Abbildung 75: DMC – ‚Abweichungscodes verwalten‘ [27]	59
Abbildung 76: DMC – ‚Datenfelder verwalten‘ [27]	60
Abbildung 77: DMC – ‚Datentypen verwalten‘ [27]	60
Abbildung 78: DMC – ‚Zertifizierungen verwalten‘ [27]	61
Abbildung 79: DMC – ‚Benutzerzuordnungen verwalten‘ [27]	62
Abbildung 80: DMC – ‚Benutzerzuordnungen verwalten‘ – Überwachte Benutzer [27]	62
Abbildung 81: DMC – ‚POD-Designer‘ – Neuen POD anlegen [27]	63
Abbildung 82: DMC – ‚POD-Designer‘ – Übersicht Konfiguration Arbeitsplatz-POD [27]	64
Abbildung 83: DMC – ‚POD-Designer‘ – Erstelltes Grundlayout [27]	65
Abbildung 84: DMC – ‚POD-Designer‘ – Konfiguration Arbeitsvorrat [27]	65

Abbildung 85: DMC – ‚POD-Designer‘ – fertige Konfiguration – Kommissionier-POD Produktionslinie [27].....	66
Abbildung 86: DMC – Aktiver POD – Kommissionier-POD Produktionslinie [27]	66
Abbildung 87 DMC – ‚POD-Designer‘ – Aktionstypen.....	67
Abbildung 88: DMC – ‚POD-Designer‘ – Aktionsdrucktaste ‚Start‘ – Aktionen zuordnen [27]	67
Abbildung 89: DMC – ‚POD-Designer‘ – Konfiguration Arbeitsanweisungsliste [27].....	68
Abbildung 90: DMC – ‚POD-Designer‘ – Aktionsdrucktaste ‚Arbeitsanweisungs-Viewer‘ – Aktionen zuordnen – Custom POD Plugin [27].....	68
Abbildung 91: DMC – ‚POD-Designer‘ – Konfiguration Plugin ‚Montagekomponenten‘ [27]	68
Abbildung 92: DMC – ‚POD-Designer‘ – POD veröffentlichen [27].....	69
Abbildung 93: DMC – ‚POD-Designer‘ – URL anzeigen [27]	69
Abbildung 94: Qualitätsmanagement-POD Produktion [27].....	71
Abbildung 95: Kommissionier-POD Montage [27].....	71
Abbildung 96: Montage-POD mit Roboter-Unterstützung [27]	72
Abbildung 97: Montage-/ Qualitätsmanagement-POD [27]	72
Abbildung 98: DMC – ‚Geschäftseinstellungen verwalten‘ – Zeiterfassung [27].....	73
Abbildung 99: DMC – ‚Personaleinsatzplanung‘ [27]	74
Abbildung 100: DMC – ‚Werkzeugeinplanung‘ [27].....	75
Abbildung 101: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ [27].....	75
Abbildung 102: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ [27].....	76
Abbildung 103: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ – Optionen unter ‚Terminierung‘ (a) und ‚Automatisch einplanen‘ (b) [27]	77
Abbildung 104: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ – Modus ‚Infini‘(a) vs. Modus ‚Lücke suchen‘ (b) [27].....	78
Abbildung 105: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ – Manuelle Einplanung per Drag and Drop [27]	79
Abbildung 106: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ – Automatische Einplanung [27] 79	
Abbildung 107: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ – Werkzeuge reservieren [27].....	80
Abbildung 108: DMC – Manufacturing Insights [27]	80
Abbildung 109: DMC – ‚Produkt-historie und -genealogie‘ [27].....	80

Abbildung 110: DMC – ‚Dashboards verwalten‘ – Dashboard anlegen/bearbeiten [21]	81
Abbildung 111: DMC – ‚Geschäftseinstellungen verwalten‘ – Analysen [27]	81
Abbildung 112: ERP – DMC – Datentransfer	82
Abbildung 113: ERP – DMC – Machine Connectivity (MCo) – Datentransfer	83
Abbildung 114: DMC – ‚Personaleinsatz planen‘ – Arbeitsplatz-Alert [27].....	85
Abbildung 115: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ – Werkzeuge [27]	86
Abbildung 116: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ – Werkzeuge reservieren [27]....	86
Abbildung 117: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ – Ergebnis des automatischen Einplanens aller Aufträge nach Modus ‚Lücke suchen‘ [27].....	87
Abbildung 118: DMC – ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ – Aufträge freigeben [27]	87
Abbildung 119: DMC POD – DMC_QUALI [27]	89
Abbildung 120: DMC POD – DMC_KOMM – ‚Kommissionierliste‘ [27].....	90
Abbildung 121: DMC POD – DMC_MS1 – Erfassen der ‚External-ID‘ [27]	90
Abbildung 122: DMC POD – DMC_MS2 – ‚Work Instruction View Plugin‘ [27].....	90
Abbildung 123: DMC – ‚Integrationsmeldungs-Dashboard‘ [27].....	91
Abbildung 124: ERP – Fertigungsauftrag Kopf [25].....	92
Abbildung 125: ERP – Fertigungsauftrag Vorgangsübersicht [25].....	92
Abbildung 126: DMC – ‚Produkthistorie‘ – Aktivitätsprotokoll [27]	93
Abbildung 127: DMC – ‚Produkthistorie‘ – Datenerfassung [27].....	93
Abbildung 128: DMC – ‚Produkthistorie‘ – Werkzeug [27]	94
Abbildung 129: DMC – ‚Produkthistorie‘ – Abweichung [27].....	94
Abbildung 130: DMC – ‚Produktgenealogie‘ [27]	94
Abbildung 131: DMC – ‚Zeiterfassung verwalten‘ [27].....	95
Abbildung 132: DMC – SAC-Dashboard Pilotfabrik [27]	96
Abbildung 133: SAP ME Startseite [31].....	99
Abbildung 134: SAP ME – ‚POD Maintenance‘ – Layouterstellung [31]	100
Abbildung 135: SAP ME – POD Montage-Station 1 [31].....	100
Abbildung 136: SAP ME – ‚Data Collection Results Report‘ – Beispiel [31].....	101
Abbildung 137: conOS – Plantafel Beispiel [21].....	103
Abbildung 138: conOS – Kalender-Darstellung Beispiel [21]	104
Abbildung 139: conOS – Tabellarische Darstellung Beispiel [21].....	104

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über verschiedene IDocs [16]	16
Tabelle 2: Collaboration Links vs. Collaboration Directives, in Anlehnung an [16]	29
Tabelle 3: Übersicht Bezeichnung und Typ der Arbeitspläne und Vorgangsaktivitäten	51
Tabelle 4: Zuordnung Werkzeugnummer zum FHM-Nummer und Ressource	56
Tabelle 5: Werker*innen und ihre Benutzer-IDs, Zertifizierungen und Arbeitsplätze	61
Tabelle 6: Testergebnisse der ‚Einplanung und Monitoring 2.0‘ App	88
Tabelle 7: Vergleich zwischen SAP ME und DMC anhand typischer MES-Funktionen (in Anlehnung an Referenz-Katalog von Concircle)	102
Tabelle 8: Vergleich zwischen conOS und DMC REO anhand typischer Planungstool-Funktionen (in Zusammenarbeit mit IT-Beraterin bei Concircle)	105