

NACHHALTIGKEIT BEI DER NUTZUNG DIGITALER DATEN IN DER PRODUKTION



NACHHALTIGKEIT BEI DER NUTZUNG DIGITALER DATEN IN DER PRODUKTION

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Michael Schenk

Dr.-Ing. Simon Adler

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|--|----------|
| VORWORT | Seite 5 |
| Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Michael Schenk Institutsleiter des Fraunhofer IFF | |
| METHODIK ZUR UNTERSTÜTZUNG DER HARDWAREAUSWAHL DIGITALER ASSISTENZSYSTEME FÜR MOBILE, INDUSTRIELLE SERVICETÄTIGKEITEN | Seite 6 |
| Eric Mewes, Fabian Schwarz, Dr. Stefan Waßmann, Dr. Simon Adler, Dr. Sonja Schmicker | |
| HOCHLEISTUNGSENERGIESPEICHER FÜR SERVOPRESSEN UNTER VERWENDUNG EINES INNOVATIVEN SCHWUNGMASSENSPEICHERS | Seite 16 |
| Dr. Tamas Juhasz, Michael Hein | |
| NUTZERZENTRIERUNG ZUR NACHHALTIGEN DIGITALISIERUNG IN DER PRODUKTION AUS ARBEITSMEDIZINISCHER SICHT | Seite 22 |
| Annemarie Minow, Prof. Irina Böckelmann | |
| DIE DIGITALE LEBENSFAKTE – STAND DER NORMUNG | Seite 30 |
| Johannes Schmidt, Dr. Simon Adler | |
| ERFAHRUNGSBERICHT ZUR DIGITALISIERUNG IM UNTERNEHMEN | Seite 40 |
| Maria Weigel, Christian Jörke, Daniel Jachmann, Dr. Simon Adler | |
| NACHRICHTEN-ORIENTIERTE KOMMUNIKATIONSARCHITEKTUR FÜR CYBERPHYSISCHE PRODUKTIONSSYSTEME | Seite 46 |
| Yurii Pavlovskyi, Dr. Simon Adler, Steffen Masik, Andreas Pape | |
| ZUKUNFTSFÄHIGE DIGITALISIERUNG IM INDUSTRIELLEN MITTELSTAND – EIN ERFAHRUNGSBERICHT AUS DEM SONDERMASCHINENBAU | Seite 56 |
| Dr. Bernd Stitz, Holger Scharfe, Marlene Eisenträger | |
| AUTOREN | Seite 66 |
| IMPRESSUM | Seite 68 |

VORWORT



*Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Michael Schenk
Institutleiter des Fraunhofer IFF*

Digital Engineering & Operations

Sehr geehrte Damen und Herren, die Digitalisierung stellt die Produktion vor große Herausforderungen, eröffnet aber auch enorme Chancen für die Industrie. Wollen produzierende Unternehmen diese Chancen nutzen, sind neue Wege im Umgang mit Daten und Informationen zu gehen. Digitale Kommunikation ermöglicht die Weitergabe von Informationen in Echtzeit. Die Vorteile digitaler Technologien werden dann wirksam, wenn die Möglichkeiten des schnellen Informationsaustauschs optimal genutzt werden und die Prozesse im Unternehmen darauf abgestimmt sind.

Das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF arbeitet bereits seit langem an der Erforschung und Umsetzung digitaler Methoden für eine effiziente, nachhaltige und wirtschaftliche Produktion. Dabei begleitet das Forschungsinstitut Industrieunternehmen bei der Entwicklung praxistauglicher technischer Lösungen und steht ihnen bei der schrittweisen Nutzung digitaler Technologien zur Seite.

Digitale Technologien werden bewährte Arbeitsgeräte ergänzen oder ersetzen. Der Umgang mit ihnen muss erlernt und gepflegt werden. Nicht jede Technologie ist für jedes Unternehmen sinnvoll. Manche wiederum führen zu unerwarteten positiven Effekten.

In solche Erfahrungen und den aktuellen Stand der Forschung möchte unser Sammelband einen Einblick geben. Lesen Sie wissenschaftliche Beiträge und Erfahrungsberichte von produzierenden Unternehmen, die zunehmend die Chancen der Digitalisierung ergreifen und Schritt für Schritt den Weg in die digitale Zukunft gehen.

Wir wünsche Ihnen eine anregende Lektüre.

Ihr

*Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Michael Schenk
Institutleiter des Fraunhofer IFF*

*Dr.-Ing. Simon Adler
Virtual Engineering
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF*



*Dr.-Ing. Simon Adler,
Virtual Engineering, Fraunhofer IFF*

METHODIK ZUR UNTERSTÜTZUNG DER HARDWARE-AUSWAHL DIGITALER ASSISTENZSYSTEME FÜR MOBILE, INDUSTRIELLE SERVICETÄTIGKEITEN

Eric Mewes, Fabian Schwarz, Dr. Stefan Waßmann, Dr. Simon Adler, Dr. Sonja Schmicker

1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Durch die fortschreitende Digitalisierung im Kontext der vierten industriellen Revolution lassen sich wirtschaftliche, technologische und gesellschaftliche Trends erkennen, welche die Arbeitswelt zukünftig stark verändern werden. Zunehmende Automatisierung von Prozessen, immer kürzer werdende Innovationszyklen, die wachsende Bedeutung kognitiver Arbeit und zunehmende Mobilitätsanforderungen machen neue Gestaltungsansätze für die Arbeit notwendig. Die beschriebenen Phänomene wirken sich auch auf das Berufsbild mobiler Servicekräfte aus, welches verschiedenste Instandhaltungsdienstleistungen für ihre Kunden beinhaltet und bei den nachfolgenden Betrachtungen im Fokus steht.

Neben hohen Mobilitätsanforderungen werden die Servicekräfte durch zunehmend komplexere Anlagen, wechselnde Arbeitsumgebungen und veränderliche Anforderungen an die Mitarbeiterqualifikation belastet. [1] Im Rahmen einer steigenden Digitalisierung von Arbeit ergeben sich neben neuen Anforderungen auch Chancen der humangerechten Arbeitsgestaltung. Mit Unterstützung durch mobile Computersysteme können Informationen digital erfasst, verarbeitet und übermittelt werden. Auf Basis dieser Informationssysteme lassen sich neben Lösungen für industrielle und gesellschaftliche Problemstellungen auch arbeitswissenschaftliche Gestaltungsansätze ableiten.

Eine dieser Lösungen sind digitale Assistenzsysteme, die Arbeitspersonen durch Bereitstellung zusätzlicher Informationen und direkte Interaktion mit der Produktionsumgebung von schweren, monotonen aber auch herausfordernden und kognitiv komplexen Tätigkeiten entlasten [2]. Die Hardware für digitale Assistenzsysteme wird kontinuierlich weiterentwickelt. Durch Vielfalt und Veränderungen auf dem Markt stellt die Auswahl eines adäquaten Gerätes für das jeweilige Assistenzsystem ein komplexes Entscheidungsproblem dar, für dessen Lösung es bisweilen an unterstützenden Verfahren mangelt.

Zu diesem Zweck wurde eine Methodik entwickelt, welche basierend auf den jeweiligen Anforderungen des Instandhaltungsszenarios Empfehlungen für die Auswahl der Hardware digitaler Assistenzgeräte gibt. Hierbei wurden besonders Wechselwirkungen zwischen Arbeits- und Assistenzsystem aufgezeigt und für das Entscheidungsverfahren berücksichtigt. Neben der Betrachtung von aktuellen Normen und Studien wurden zusätzlich Daten im Rahmen einer Umfrage erhoben, welche sich besonders an ausgewählte Experten richtete und international gestreut wurde.

2 Methodisches Vorgehen

Zur Durchführung der Studie wurden zunächst verschiedene Typen mobiler Assistenzsysteme aus dem aktuell verfügbaren Angebot ausgewählt, definiert und beschrieben. Weiterhin wurden 23 Kriterien festgelegt, welche veränderliche Bedingungen in der mobilen Instandhaltung beschreiben. Bei 11 dieser Kriterien konnten die Unterschiede (und Gemeinsamkeiten) zwischen den Gerätetypen durch eine umfangreiche Analyse von Herstellerangaben im Voraus begründet werden. Die verbleibenden 12 Kriterien sind nur bedingt auf Basis objektiver bzw. physikalischer Kenngrößen quantifizierbar und bedürfen daher einer subjektiven Nutzerbewertung. Um diese Beurteilung mit einer breiten Anzahl valider Eindrücke zu relativieren, wurde zur Ermittlung der Ausprägung dieser Kriterien in Bezug auf den jeweiligen Typus Assistenzsystem eine englischsprachige Onlineumfrage an ausgewählte nationale und internationale Experten aus Wissenschaft und Technik verteilt.

2.1 Betrachtete Assistenzsysteme

Zur Eingrenzung der verschiedenen Gerätealternativen wurden folgende Hardwaresysteme ausgewählt und vor dem Hintergrund der vorliegenden Studie definiert:

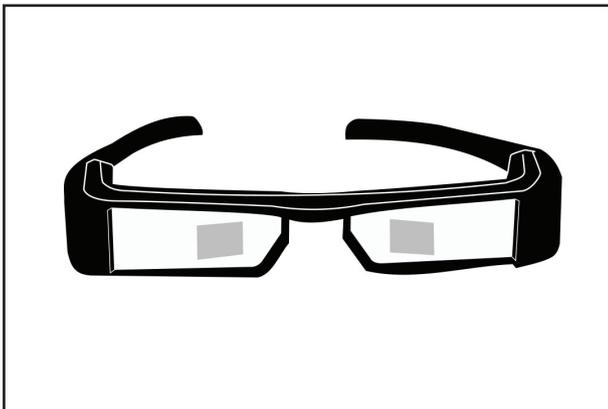
Smartphones (a_1) umfassen alle computergestützten Telefone, deren Mensch-Maschine-Interaktion über einen Touchscreen stattfindet. Diese kompakten mobilen Computer bieten eine Vielzahl zusätzlicher Funktionen und Sensoren (z. B. Kamera, GPS).

Tablet-Computer (a_2) sind tragbare mobile Computer, welche ebenfalls über ein Touchscreen-Interface gesteuert werden. Tablet-Computer unterscheiden sich von Smartphones durch ihre größere Bildschirmdiagonale und sind, anders als Smartphones, nur bedingt einhändig bedienbar.

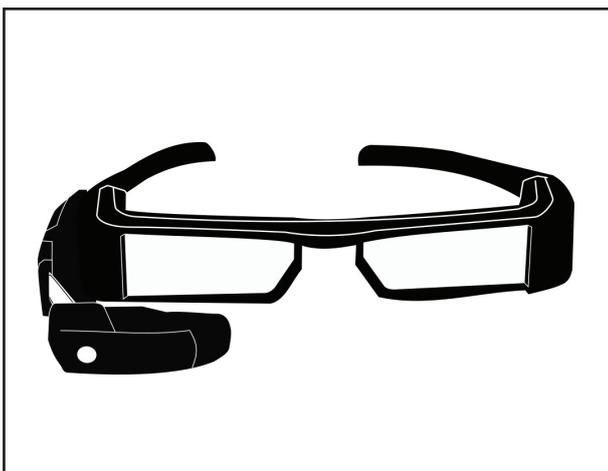
Smartwatches (a_3) umfassen am Handgelenk getragene mobile Computer in Form einer Uhr. Da sie am Körper getragen werden, gehören sie zur Gruppe der Wearables. Die meisten Smartwatches ermöglichen neben der herkömmlichen Datenverarbeitung auch die Aufnahme und Verarbeitung von Vitaldaten.

Binocular See-Through Smart Glasses (a_4) sind Datenbrillen und gehören ebenfalls zu den Wearables. Die Geräte blenden zusätzliche Informationen in das Sichtfeld vor beiden Augen des Nutzers ein. Die See-Through Geräte basieren auf einer optischen Technologie, die es dem Nutzer durch transparente Anzeigetechnik ermöglicht, die Umgebung mit digital überlagerten Informationen wahrzunehmen. [3]

Monocular Video-Through Smart Glasses (a_5) sind Datenbrillen, welche auf einem Videodisplay basieren, das seitlich vor dem linken oder rechten Auge platziert wird. Dadurch projizieren sie lediglich vor einem Auge des Nutzers ein Bild. Mittels einer vom Nutzer abgewendeten Kamera, können Fotos und Videos von der Umgebung aufgezeichnet werden. [4]



*Bild 1:
Binocular See-Through
Smart Glasses
Quelle: Dr. Simon Adler,
Fraunhofer IFF*



*Bild 2:
Monocular See-Through Smart
Glasses
Quelle: Dr. Simon Adler,
Fraunhofer IFF*

2.2 Entscheidungskriterien

Um das Verfahren zur Unterstützung bei der Auswahl der passenden Hardware für Instandhaltungs-Arbeitssysteme anwenden zu können, müssen die Kriterien zur Bewertung der Assistenzsystemklassen umfassend erfasst und allgemeingültig definiert werden. Dazu wurden nach breiten Recherchen und Diskussionen die in Tabelle 1 dargestellten Kriterien erarbeitet. Um die Ausprägung der einzelnen Kriterien zu definieren, wurden einige Kriterien auf Grundlage verschiedener Datenblätter analysiert. Dabei wurden einige Kriterien aufgrund eines Mangels an Unterschieden zwischen den Systemen ausgeschlossen (vgl. Kap. 2.3) und andere mit einem paarweisen Vergleich bewertet (vgl. Kap. 2.4). Die Quantifizierung der übrigen Kriterien wurde über eine Onlinebefragung mit ausgewählten Experten realisiert (vgl. Kap. 2.5).

| | | |
|-----------------|--|--------------------|
| k ₁ | Erfüllung der International Protection Schutzklassen (EN 62262) | Begründet |
| k ₂ | Resistenz gegenüber Hitze | Keine Unterschiede |
| k ₃ | Resistenz gegenüber Kälte | Begründet |
| k ₄ | Nutzbarkeit bei heller Umgebung | Begründet |
| k ₅ | Einschränkung der Umgebungswahrnehmung des Nutzers | Expertenumfrage |
| k ₆ | Bedienfreundlichkeit | Expertenumfrage |
| k ₇ | Transportaufwand | Begründet |
| k ₈ | Belastung des Menschen durch Nutzung | Expertenumfrage |
| k ₉ | Nutzbarkeit mit Handschuhen | Expertenumfrage |
| k ₁₀ | Nutzbarkeit mit Schutzbrille | Keine Unterschiede |
| k ₁₁ | Nutzbarkeit mit Gehörschutz | Keine Unterschiede |
| k ₁₂ | Nutzbarkeit mit Schutzhelm | Expertenumfrage |
| k ₁₃ | Eingabefreundlichkeit einzelner Wörter/Ziffern | Expertenumfrage |
| k ₁₄ | Eingabefreundlichkeit einzelner Sätze | Expertenumfrage |
| k ₁₅ | Eingabefreundlichkeit von Fließtext | Expertenumfrage |
| k ₁₆ | Tonaufnahme | Begründet |
| k ₁₇ | Kamerafunktion | Begründet |
| k ₁₈ | Ausgabe einzelner Wörter/Ziffern/Piktogramme/einfacher Animationen | Expertenumfrage |
| k ₁₉ | Ausgabe einzelner Sätze/Bilder/Clips | Expertenumfrage |
| k ₂₀ | Ausgabe Fließtext/komplexe Bilder/Videos | Expertenumfrage |
| k ₂₁ | Darstellung von Augmented Reality | Expertenumfrage |
| k ₂₂ | Vibrationsfunktion | Begründet |
| k ₂₃ | Tonausgabe | Begründet |

*Tabelle 1:
Aufzählung der betrachteten
Entscheidungskriterien mit deren
Verarbeitungsart*

In der vorliegenden Studie wurden lediglich marktreife Geräte berücksichtigt, die zum Untersuchungszeitpunkt bereits als Serienprodukt verfügbar waren. Geräte, die für Einzelanwendungen bspw. im Kontext von Projekten entstanden, wurden vernachlässigt. Zudem wurden sowohl die Nutzung von Optimierungshilfen, wie einer in eine Schutzhülle integrierten Akkumulatorerweiterung (Powerbank), als auch Maßnahmenbündel, welche verschiedene Gerätearten kombinieren (bspw. Smartphone in Kombination mit Smartwatch) nicht in die Bewertung einbezogen.

2.3 Von der weiteren Betrachtung ausgeschlossene Kriterien

Zur Bewertung der Resistenz gegenüber Hitze (k₂) wird die maximale Umgebungstemperatur der Geräte herangezogen, für die der Hersteller eine fehlerfreie Nutzung garantiert. Die maximale Umgebungstemperatur liegt bei allen untersuchten Hardwaresystemen bei +35 °C oder höher. Temperaturen über 35 °C sind als Arbeitsumgebung nicht mehr zulässig [5]. An dieser Stelle wird eine ausrei-

chende Resistenz gegenüber Hitze für sämtliche Hardwaresysteme festgestellt und das Kriterium nicht mehr weiter berücksichtigt. In Sonderfällen, in denen mit extremer Hitze zu rechnen ist, sollte vor der Anschaffung auf die maximale Betriebstemperatur geachtet werden.

Die Nutzbarkeit mit Schutzbrille (k_{10}) kann zu einer Beeinträchtigung des Nutzers oder auch des Gerätes führen. Auf die Verwendung von Smartphones, Tablet-Computern oder Smartwatches ergeben sich keine Auswirkungen durch die Nutzung mit Schutzbrille. Binocular See-Through Smart Glasses erfüllen teilweise bereits hohe Standards für den Schutz der Augen (wie bspw. die Systeme DAQRI [6] und HoloLens [7]) und erübrigen die Nutzung separater Schutzbrillen. Monocular Video-Through Smart Glasses können teilweise am Gestell einer separaten Schutzbrille getragen werden. Einige Hersteller bieten eigene Gestelle mit Schutzgläsern an. Aufgrund der gleichen Bewertung der Geräte in Bezug auf die Nachteile unter der Nutzung einer Schutzbrille, wird das Kriterium vom weiteren Entscheidungsverfahren ausgeschlossen.

Die Nutzbarkeit mit Gehörschutz (k_{11}) ist bei monokularen und binokularen Geräten nur in Kombination mit Kapselgehörschutz eingeschränkt, da die Geräte viel Raum im Bereich der Ohren einnehmen. Als Alternative kann die Arbeitsperson jedoch auf Gehörschutzstöpsel zurückgreifen. Diese sind ebenfalls für den Dauereinsatz geeignet und bieten ausreichenden Schutz. Damit sind alle Assistenzsystemvarianten zumindest mit Gehörschutzstöpseln kompatibel und das Kriterium wird im Entscheidungsverfahren ebenfalls nicht weiter betrachtet.

2.4 Durch paarweisen Vergleich bewertete Kriterien

Die Bewertung der an dieser Stelle betrachteten Kriterien erfolgte in einem paarweisen Vergleich nach Analytic Hierarchy Process [8]. Dabei werden in einem ersten Schritt sämtliche zur Verfügung stehenden Alternativen miteinander verglichen. In diesem Vergleich wird festgelegt, welche der jeweils beiden Alternativen der anderen in welchem Faktor überlegen ist (bei ausgeglichenem Ergebnis wird als Faktor 1 eingetragen). Dieses Vorgehen ist in Tabelle 2.1 dargestellt. In Tabelle 2.2 werden die auf diese Weise ermittelten Werte genutzt, um die relative Vorteilhaftigkeit ($v_{i,n}$) zu bestimmen.

Bei der Erfüllung der International Protection Schutzklassen (EN 62262) weisen die Geräteklassen unterschiedliche Ausprägungen auf. Die Hersteller von Smartphones und Tablets bieten teilweise für Outdoor-Aktivitäten konzipierte Modellreihen an, bei denen jedes Modell die IP68 erfüllt. Auch bei Smartwatches gibt es ein großes Angebot an Geräten mit hohen Schutzstandards. Bei Smart Glasses ist eine IP Zertifizierung seltener anzutreffen. Bei monokularen Datenbrillen beschränkt sich eine Zertifizierung zumeist auf geringere Schutzklassen. Sie weisen jedoch im Vergleich zu den binokularen

| Alt. 1: | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Alt. 2: |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------|
| a_1 | | | | | X | | | | | a_2 |
| a_1 | | | | | X | | | | | a_3 |
| a_1 | | | X | | | | | | | a_4 |
| a_1 | | | | X | | | | | | a_5 |
| a_2 | | | | | X | | | | | a_3 |
| a_2 | | | X | | | | | | | a_4 |
| a_2 | | | | X | | | | | | a_5 |
| a_3 | | | X | | | | | | | a_4 |
| a_3 | | | | X | | | | | | a_5 |
| a_4 | | | | | | X | | | | a_5 |

Tabelle 2.1:
Berechnung der relativen Vorteilhaftigkeit nach Analytic Hierarchy Process [8] am Beispiel von k_1 – Erfüllung der International Protection Schutzklassen (EN 62262) (a_1 : Smartphones; a_2 : Tablet-Computer; a_3 : Smartwatches; a_4 : Binocular See-Through Smart Glasses; a_5 : Monocular Video-Through Smart Glasses)

*Tabelle 2.2:
Berechnung der relativen Vorteilhaftigkeit nach Analytic Hierarchy Process [8] am Beispiel von k_1 – Erfüllung der International Protection Schutzklassen (EN 62262)*

| relative Vorteilhaftigkeit | k_1 | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 | | $\bar{X}_{geo,1,n}$ | $v_{1,n}$ |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|---------------------|-----------|
| | a_1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | | 1,43 | 26,01% |
| | a_2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | | 1,43 | 26,01% |
| | a_3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | | 1,43 | 26,01% |
| | a_4 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 1 | 0,5 | | 0,45 | 8,19% |
| | a_5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 2 | 1 | | 0,76 | 13,78% |

Geräten im Durchschnitt höherwertigere Zertifizierungen auf.

Die Resistenz gegenüber Kälte wurde in Abhängigkeit von der minimalen Umgebungstemperatur zur fehlerfreien Nutzbarkeit und der Beeinträchtigungen des Gerätes durch Kondensat bewertet. Bei den Smartphones, Tablet-Computern und Monocular Smart Glasses existieren einige Geräte, die ohne Beeinträchtigung bei bis zu -20 °C verwendbar sind. Unter den Smartwatches konnten zum Zeitpunkt der Recherche keine robusten Modelle für eine Anwendung unter 0 °C gefunden werden.

Für Binocular Smart Glasses wurde aufgrund des umfangreichen Reinigungsaufwands im Falle des Auftretens von Kondensation auf der Optik eine höhere Beeinträchtigung durch Kälte angenommen. Generell kann Kondensation bei Smart Glasses zudem die Sicht einschränken und so ein Sicherheitsrisiko darstellen.

Nutzbarkeit bei heller Umgebung wird durch die maximale Bildschirmhelligkeit, eine Antireflexbeschichtung und die Lichteinwirkung auf die Anzeigetechnik bewertet. Die Lichteinwirkung kann als Direktbeleuchtung auf die Anzeigetechnik negativ einwirken, indem helles Licht direkt auf die Anzeige strahlt und Reflexionen oder Unlesbarkeit verursacht [9]. Smartphones, Tablet-Computer und Smartwatches sind hier durch eine ähnliche Benutzungsergonomie gleich bewertet. Bei allen Hardwaresystemen können Antireflexbeschichtungen verwendet werden. See-Through Geräte weisen aufgrund lichtdurchlässiger Anzeigetechnik die größten Nachteile auf [4]. Die Lesbarkeit der Inhalte ist durch die transparente Anzeigetechnologie von der Beleuchtungsstärke abhängig, was eine schlechtere Bewertung der Systeme zur Folge hatte. Monocular Video-Through Smart Glasses schließen durch die Position Augennähe sämtliche Reflexionen und Beeinträchtigungen durch Licht aus. Der Transportaufwand wird durch eine Bewertung von Gewicht, Abmessung und Transportierbarkeit (am Körper oder in Händen getragen) der Geräte bewertet. Aktuelle Smartphones wiegen zwischen 130 g und 150 g, haben eine Bildschirmdiagonale von ca. 5 Zoll und können dadurch am Körper verstaut werden. Tablet-Computer hingegen sind mit ca. 10 Zoll und 450-500 g schwerer und schwieriger am Körper tragbar. Smart Watches dominierten den Vergleich durch ihre kompakte Bauweise und das geringe Gewicht. Die Binocular See-Through Glasses wurden durch hohe Gewichte (wie bspw. DAQRI Smart Glasses: 831 g [6] oder HoloLens: 579 g [7]) und die Notwendigkeit der Zwischenlagerung in einer Transportbox am schlechtesten bewertet. Auch Monocular Video-Through Smart Glasses werden in einer gesicherten Box transportiert, haben jedoch geringe Abmaße und Gewichte (wie bspw. 42 g »picavi-Glass Enterprise Edition« [10] oder »RealWear HMT-1« 370 g [11]).

Die Tonaufnahme wurde positiv bewertet, wenn sich das Mikrofon des Gerätes nah am Mund platzieren lässt und eine Tonaufnahme kein permanentes Halten durch den Nutzer erfordert. Aus diesem Grund führte die freihändige Nutzung der Wearables-Systeme zu einer besseren Bewertung.

Für die Bewertung der Kamerafunktion sind Bildqualität, Blitzlichtfunktion, Videofunktion und Handling ausschlaggebend. Neben der Auflösung wurde bei der Bildqualität das Vorhandensein einer doppelten Rück-Kamera berücksichtigt, welche i.d.R. zu einer besseren Bildqualität führt. Bei Smartphones sind hochwertige Kameras mit mind. 10 MP, integrierter Blitzfunktion und Frontkamera bereits Standard. Viele neuere Smartphones besitzen auch zwei Kameras auf der Rückseite. Die integrierten Kameras von Tablet-Computern erreichen Auflösungen zwischen 8 und 13 MP, bestehen aber grundsätzlich nur aus einer Optik. Auch sind sie in der Regel ohne Blitzlichtfunktion ausgestattet. Mit wenigen Ausnahmen (z. B. Galaxy Gear SM-V700: 1,9 MP) verfügen Smartwatches über keine Kamerafunktion. Die betrachteten See-Through und Video-Through Smart Glasses bieten Kamerafunktionen mit 2 - 16 MP, eignen sich jedoch aufgrund der zwingenden Platzierung am Kopf nur beschränkt für die Aufnahme von Fotos und Videos.

Zur Bewertung der Vibrationsfunktion wurden Hardwaresysteme bevorzugt, die eine hohe Anzahl an Geräten mit Vibrationsfunktion aufweisen und permanent am Körper getragen werden. Smartphones bieten standardmäßig eine Vibrationsfunktion und werden meist in unmittelbarer Nähe zum Körper aufbewahrt. Ein Ablegen des Gerätes ist jedoch möglich. Tablet-Computer weisen lediglich vereinzelt eine Vibrationsfunktion auf und sind nicht auf die dauerhafte Platzierung am Körper ausgelegt. Smartwatches befinden sich als Wearables im permanenten Körperkontakt und sind standardmäßig mit einer Vibrationsfunktion ausgestattet. Smart Glasses bieten grundsätzlich keine Vibrationsfunktion und schneiden entsprechend schlecht in der Bewertung ab.

Eine Tonausgabe ist durch alle Geräte möglich. Analog zur Tonaufnahme erfolgte eine positive Bewertung, wenn der Lautsprecher permanent in der Nähe des Ohrs positioniert ist. Zudem wurde das Vorhandensein mehrerer Wiedergabesysteme positiv bewertet. Smartphones wurden im Vergleich durch die Kombination aus Ohrlautsprecher und Umgebungslautsprecher gegenüber Tablet-Computern und Smartwatches besser bewertet. Tablet-Computer können durchschnittlich höhere Lautstärken erreichen, befinden sich jedoch während der Nutzung nicht in unmittelbarer Nähe des Gehörgangs. Bei den Smartwatches ist eine Tonwiedergabe bei vielen Geräten möglich, jedoch ist auch hier die Platzierung am Handgelenk ein Nachteil. Die maximale Lautstärke von Smartwatches ist im Vergleich zu Tablet-Computern zwar geringer, laut Herstellern dennoch ausreichend für Telefonate. Smart Glasses mangelt es im Vergleich zu den Smartphones zwar an einer Lautsprecherfunktion, allerdings ist diese aufgrund der permanenten Positionierung am Ohr nicht notwendig.

| Kriterium k_m | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| k_1 : Erfüllung der International Protection Schutzklassen (EN 62262) | 26% | 26% | 26% | 8% | 14% |
| k_3 : Resistenz gegenüber Kälte | 30% | 30% | 16% | 9% | 16% |
| k_4 : Nutzbarkeit bei heller Umgebung | 18% | 18% | 18% | 10% | 35% |
| k_7 : Transportaufwand | 30% | 8% | 50% | 3% | 8% |
| k_{16} : Tonaufnahme | 13% | 13% | 25% | 25% | 25% |
| k_{17} : Kamerafunktion | 43% | 28% | 6% | 12% | 12% |
| k_{22} : Vibrationsfunktion | 32% | 8% | 53% | 4% | 4% |
| k_{23} : Tonausgabe | 25% | 13% | 13% | 25% | 25% |

Tabelle 3:
Matrix der Vorteilhaftigkeit der Alternativen nach Analytic Hierarchy Process (a_1 : Smartphones; a_2 : Tablets; a_3 : Smart-watches; a_4 : Binocular See-Through Smart Glasses; a_5 : Monocular Video-Through Smart Glasses)

2.5 Durch Experten bewertete Kriterien

Die noch übrigen 12 der 23 aufgestellten Kriterien wurden aufgrund ihrer Subjektivität in einer Onlineumfrage, an welcher ausschließlich Experten teilnehmen durften, erörtert. In dieser wurden die Probanden zunächst über die Ziele der Studie sowie die Definitionen der einzelnen Assistenzsystemklassen informiert.

Jedes zu bewertende Kriterium wurde auf einer eigenen Seite beschrieben. Da sich ein Paarweiser Vergleich analog zu 2.3 als zu zeitaufwändig erwies, sollte die Eignung der fünf Alternativen auf einer 7-Punkt-Likert-Skala für die jeweilige Assistenzsystemklasse einzeln bewertet werden.

Im Beispielfall (Tabelle 4) erhielt jede Alternative einen Wert ($a_1=3$; $a_2= 5$; ...) analog zur Spaltennummer ($a_1=$ Strongly Disagree; $a_2=$ Moderately Disagree; $a_3=$ Slightly Disagree; ...) Um eine Gewichtung der Alternativen untereinander zu erhalten, wurde jeder Wert in ein Verhältnis zur Summe der Werte aller Alternativen gesetzt. Aus der Summe aller Werte ergibt sich der individuelle Gewichtsvektor (im Beispiel [15 %, 25 %, 35 %, 20 %, 5 %]). Diese individuellen Gewichtsvektoren wurden für jeden Teilnehmer einzeln berechnet und im Anschluss für jedes Kriterium gemittelt. Wählte ein Teilnehmer die Zusatzvariable »I don't know«, bleibt der entsprechende Datensatz für die Bewertung des jeweiligen Kriteriums unberücksichtigt. Die entstandenen Gewichtsvektoren drücken die relative Vorteilhaftigkeit der Alternativen im Verhältnis zueinander aus.

Tabelle 4:
Beispiel zur Auswertung der
Umfrageergebnisse

| k_m | Strongly disagree | Moderately disagree | Slightly disagree | Undecided | Slightly agree | Moderately agree | Strongly agree | I don't know |
|-------|-------------------|---------------------|-------------------|-----------|----------------|------------------|----------------|--------------|
| a_1 | | | x | | | | | |
| a_2 | | | | | x | | | |
| a_3 | | | | | | | x | |
| a_4 | | | | x | | | | |
| a_5 | x | | | | | | | |

Tabelle 5: Matrix der Vorteilhaftigkeit der Alternativen in den verschiedenen Kriterien nach Expertenmeinungen (a_1 : Smartphones; a_2 : Tablets; a_3 : Smartwatches; a_4 : Binocular See-Through Smart Glasses; a_5 : Monocular Video-Through Smart Glasses)

| Kriterium k_m | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| k_5 : Einschränkung der Umgebungswahrnehmung des Nutzers | 20% | 19% | 23% | 18% | 20% |
| k_6 : Bedienfreundlichkeit | 26% | 23% | 20% | 15% | 15% |
| k_8 : Belastung des Menschen durch Nutzung | 22% | 22% | 24% | 15% | 17% |
| k_9 : Nutzung mit Handschuhen | 15% | 18% | 14% | 28% | 25% |
| k_{12} : Nutzung mit Schutzhelm | 24% | 24% | 24% | 13% | 16% |
| k_{13} : Eingabefreundlichkeit einzelner Wörter/Ziffern | 28% | 30% | 17% | 12% | 12% |
| k_{14} : Eingabefreundlichkeit einzelner Sätze | 30% | 33% | 14% | 12% | 12% |
| k_{15} : Eingabefreundlichkeit von Fließtext | 29% | 36% | 12% | 12% | 11% |
| k_{18} : Ausgabe einzelner Wörter/Ziffern/Piktogramme | 20% | 19% | 19% | 21% | 20% |
| k_{19} : Ausgabe einzelner Sätze/Bilder/Clips | 22% | 22% | 15% | 21% | 19% |
| k_{20} : Ausgabe Fließtext/komplexe Bilder/Videos | 22% | 29% | 10% | 22% | 17% |
| k_{21} : Darstellung von Augmented Reality | 22% | 22% | 8% | 27% | 22% |

Insgesamt nahmen 27 Experten aus Deutschland, Italien, Griechenland, Österreich, Frankreich, Tschechien und Neuseeland an der Umfrage teil. Anhand der beschriebenen Berechnungsvorgänge, ergeben sich die in Tabelle 5 dargestellten Vorteilhaftigkeiten der Assistenzsystemalternativen (an) in Bezug auf die jeweiligen Entscheidungskriterien (km).

Die Ergebnisse zeigen, dass nach durchschnittlicher Meinung der Experten Smartphones und Tablet-Computer den anderen Varianten in den meisten Kriterien überlegen sind. Besonders auffällig ist dies bei der Eingabe verschiedener Informationen. Hier wurden diese Geräte deutlich besser bewertet. Bei anderen Kriterien, wie der Ausgabe von Ziffern und der Einschränkung der Umgebungswahrnehmung der Nutzer, zeigten sich wiederum kaum Unterschiede zwischen den Geräteklassen.

3 Fazit und Reflektion

In diesem Beitrag wurde ein Verfahren vorgestellt, mit welchem die Vor- und Nachteile verschiedener Assistenzsystemklassen unter unterschiedlichen, in der mobilen Instandhaltung auftretenden, Bedingungen aufgearbeitet und quantifiziert wurden. Dabei wurden die Ergebnisse in einer prozentualen Vorteilhaftigkeit dargestellt, welche die Eignung der jeweiligen Gerätekategorie im Verhältnis zu den anderen betrachteten Klassen zeigt. Die Ergebnisse können nun als Entscheidungshilfe für die Auswahl einer Gerätekategorie verwendet werden. Dabei lässt sich das Verfahren durch eine Priorisierung der Ergebnisse an verschiedene Arbeitssysteme mit unterschiedlichen Gegebenheiten anpassen.

Die Ergebnisse der Untersuchung stellen eine (z. T. subjektive Momentaufnahme der aktuellen Leistungsfähigkeit der derzeit verfügbaren Geräteklassen dar. Es ist zu erwarten, dass sich die Ergebnisse durch die Weiterentwicklung der Technologien zukünftig stark verändern werden. Besonders im Bereich der Wearables deuten aktuelle Entwicklungen auf eine hohe Zunahme an Funktionalitäten hin. Weiterhin ist davon auszugehen, dass die Probanden Geräteklassen, welche sie selbst häufiger benutzen, positiver bewerten als Geräte, mit denen sie nur sehr wenig Erfahrung haben. Zudem sind sowohl die Bewertungen im Paarweisen Vergleich als auch die in der Expertenumfrage an subjektiv festgelegten Kriterien bemessen, die keinen Anspruch an Vollständigkeit aufweisen. Die Einteilung der Assistenzsysteme in verschiedene Geräteklassen war zur Durchführung der Untersuchung zwar notwendig, verzerrt jedoch das Bild der jeweiligen Alternative. So kann aufgrund der Vielfalt an Geräten auf dem Markt nicht davon ausgegangen werden, dass alle diese Geräte die bewerteten Stärken und Schwächen der jeweiligen Gerätekategorie teilen. Vor der Auswahl eines Systems müssen dessen spezifische Eigenschaften betrachtet und vor dem Hintergrund des jeweiligen Anwendungsfalles bewertet werden. Weiterhin ist es möglich, spezifische Nachteile einzelner Geräte durch Zubehör auszugleichen. So kann z. B. die Schwäche eines Gerätes mit mangelhafter Tonaufnahme- und Tonausgabefunktion leicht mit einem Bluetooth-Headset ausgeglichen werden.

Für die Untersuchung wurde weiterhin angenommen, dass die für die Arbeit notwendigen Applikationen und Programme auf allen Hardwaresystemen ähnlich stabil und laufen. Dies ist in der Realität unwahrscheinlich. Vor der Anschaffung der Geräte sollte die Kompatibilität der Hardwaresysteme mit der notwendigen Software unbedingt geprüft werden. Grundsätzlich sollten die Mitarbeiter in die Auswahl der Geräte mit einbezogen werden. Diese können aus verschiedensten Gründen bestimmte Assistenzsysteme präferieren oder ablehnen. Auch wenn die Lösung auf anderer Hardware technisch besser an den Anwendungsfall angepasst ist, müssen die Mitarbeiter diese akzeptieren und gerne mit ihr arbeiten.

4 Danksagung

Das Forschungsprojekt »Gesundes mobiles Arbeiten mit digitalen Assistenzsystemen im technischen Service« (ArdiAS) wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert (FKZ 02L15A030) und durch den Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt den Autoren.



5 Literatur

- [1] Haase, Tina, Technologiebasierte Lern- und Assistenzsysteme für die Instandhaltung – Dissertation, Magdeburg, 2017.
- [2] Apt, Schubert und et al., Digitale Assistenzsysteme; Perspektiven und Herausforderungen für den Einsatz in Industrie und Dienstleistungen, Berlin: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, 2018.
- [3] Barfield, Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality, Boca Raton, London, New York: CRC Press, 2015.
- [4] J. Peddie, Augmented Reality: Where We Will All Live, Tiburon USA: Springer, 2017.
- [5] »Technische Regeln für Arbeitsstätten: Raumtemperatur« ASR A3.5, vom 01.07.2010. Internetquelle: https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A3-5.pdf?__blob=publicationFile. [Zugriff am 26.04.2019].
- [6] DAQRI, »DAQRI Smart Glasses Specifications«. Internetquelle: https://assets.daqri.com/documents/DAQRI_Smart_Glasses_Specifications.pdf [Zugriff am 26.04.2019].
- [7] Microsoft, »HoloLens hardware details«. Internetquelle: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/hololens-hardware-details>. [Zugriff am 30.04.2019].
- [8] Saaty, Thomas, Vargas Luis Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process, Boston, MA: Springer US, 2012
- [9] Rudow, Die gesunde Arbeit: Arbeitsgestaltung, Arbeitsorganisation und Personalführung, München: Oldenbourg Verlag, 2011.
- [10] picavi, »Durchblick im Lager mit Datenbrillen«. Internetquelle: <https://picavi.com/hardware/>. [Zugriff am 02.05.2019]
- [11] realwear, »RealWear HMT-1™ Internetquelle: <http://www.dkbmarketing.ca/images/pdf/lenbrook/realwear-datasheet.pdf>. [Zugriff am 02.05.2019].

HOCHLEISTUNGSENERGIESPEICHER FÜR SERVOPRESSEN UNTER VERWENDUNG EINES INNOVATIVEN SCHWUNG- MASSENSPEICHERS

Dr. Tamas Juhasz, Michael Hein

1 Motivation

Das Ziel des HESIS Forschungsvorhabens war die Senkung der Lastspitzen und die Erhöhung der Energieeffizienz elektromechanischer Servopressen durch Integration eines neuen innovativen Hochleistungsenergiespeichers.

Durch eine reduzierte Anschlussleistung entstehen für den Anwender ökologische und ökonomische Vorteile. Zum einen sinkt das erforderliche Leistungsniveau seitens des Stromanbieters und die damit verbundenen Kosten, zum anderen erfolgt durch Rekuperation der Bremsenergie eine signifikante Senkung des Stromverbrauchs. Mit diesen Einsparungen werden negative Umweltauswirkungen minimiert.

2 Lösungsansatz

Das Kernstück ist der GeRotor HPS Schwungmassenspeicher, der während des Betriebs zyklisch aufgeladen wird. Die darin gespeicherte Energie wird zeitversetzt in nachfolgenden Schritten abgerufen. Der modulare Ansatz des GeRotors erlaubt eine flexible Skalierung, dadurch kann je nach Bedarf die benötigte Kapazität durch den Zusammenschluss von mehreren GeRotor HPS zu einem Multimodul erreicht werden.

Aufgrund ihrer Trägheit müssen Schwungmassenspeicher im Bearbeitungsprozess vorausschauend angesteuert werden. Im Rahmen des Teilvorhabens des Fraunhofer IFF wurde ein mathematisches Modell des Gesamtsystems in Modelica erstellt. Die vom Energiespeicher abzurufende Leistung kann modellbasiert so vorgegeben werden, dass eine optimale Betriebsstrategie entsteht.

Während der gesamten Projektlaufzeit stand eine Versuchsanlage bei der Schuler Pressen GmbH in Göppingen zur Verfügung. Unter Berücksichtigung wesentlicher Anlagenparameter wurde damit die im Projekt entwickelte Methodik erprobt, verifiziert und optimiert.

3 Entwicklung und Erprobung des Energiespeichers

Im Zuge des Projektes wurde mit dem Gerotor HPS Schwungmassenspeichers ein kompakter Hochleistungsstromspeicher entwickelt. Das Konzept des Schwungrades basiert auf Erfahrungen aus dem Motorsportbereich und setzt auf sehr hohen Drehzahlen bei wenig Masse. Dank Umfangsgeschwindigkeiten des Rotors bis zur doppelten Schallgeschwindigkeit ist das HPS System trotz der geringen Baugröße und einem Speichergewicht von gerade einmal 18 kg, mit bis zu 60 kW an elektrischer Leistung sowohl zu laden als auch zu entladen.

Der Hauptvorteil der Technologie liegt nicht nur in der Kompaktheit und Leistungsfähigkeit, sondern auch in der Dauerhaltbarkeit. Im Gegensatz zu den meisten am Markt befindlichen Stromspeichern, hat der elektromechanische Schwungmassenspeicher keine Begrenzung in der Zyklenfestigkeit und die Lebensdauer des Systems ist auf 20 Jahre im Betrieb ausgelegt. Dadurch vereint er sehr hohe Dynamik, niedrige Investitionskosten und geringe Betriebskosten in einem Produkt.

Im Rahmen des HESIS Verbundprojektes wurde zunächst ein einzelner Schwungmassenspeicher an einer Versuchsanlage bei der Schuler Pressen GmbH in Göppingen erprobt. Das System läuft innerhalb des DC-Zwischenkreises der Anlage und wird über die zentrale Maschinensteuerung mit betrieben.

Während der mehr als einjährigen Erprobungsphase konnten viele Verbesserungen am Produkt und der Betriebsstrategie vorgenommen werden. Die Funktionalität der Technologie konnte nachgewiesen werden und kann auch auf andere Industrieanlagen übertragen werden.

In der noch laufenden zweiten Versuchshälfte wurde ein zweites System parallel angeschlossen, um die Skalierbarkeit der Technologie für höhere Leistungsklassen zu erproben.

Seit Projektbeginn wurde der Gerotor HPS mit einem Sonderpreis für Energieeffizienz auf der EMO 2017 und mit dem Industrial Efficiency Award auf der HANNOVER-MESSE 2019 ausgezeichnet.

4 Modellbasierte Regelung des Energiespeichers

In der jüngeren Vergangenheit hat sich die Vorgehensweise der objektorientierten Modellierung mit der Sprache Modelica [1] zur Simulation mechatronischer Systeme etabliert. Modelica ist besonders geeignet zur Erstellung multiphysikalischer Systemmodelle [2], was bei der Simulation des dynamischen Verhaltens eines Roboters in wesentlich höherem Maße entgegenkommt, als dies bei vielen fachgebietsspezifischen Simulationspaketen der Fall ist. Die multidisziplinären Modelle können mithilfe eines geeigneten Übersetzers und einer unterstützenden Simulationsumgebung – wie z.B. Dymola [3] – effizient simuliert werden.

Abbildung 1 zeigt den Aufbau eines mechatronischen Simulationsmodells anhand [4,5,6], bestehend aus:

1. Dreiphasige 400V AC Einspeisung
2. Parametrisiertes Zwischenkreismodell mit AC/DC Gleichrichter, Pufferkondensatoren, Bremswiderstand und einer Messstelle der DC Zwischenkreisspannung
3. Elektrische Lastvorgabe am Zwischenkreismodell anhand der im realen Versuchsstand während eines zyklischen Pendelhub-Pressvorganges gemessenen Prozessleistung
4. Direkte Drehzahlvorgabe für den HPS Motor anhand eines Testzyklus von Fa. Gerotor
5. Virtuelle Messstelle für die elektrische Leistung vom HPS
6. Detailliertes mechatronisches Modell eines geregelten HPS Einzelmoduls inkl. Antriebsmodell mit Schwungmasse und DC/AC Frequenzumrichter.

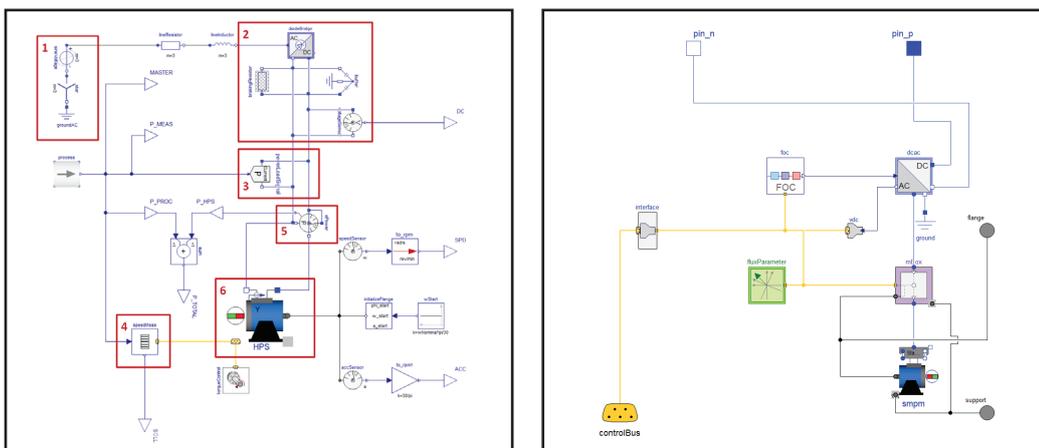


Abbildung 1:
Darstellung des Gesamtmodells
des Versuchsstandes entnommen
aus der Modelica Simulations-
umgebung. Quelle: Dr. Tamas
Juhasz, Fraunhofer IFF

Abbildung 2:
Modelica Modell eines HPS
Einzelmoduls. Quelle: Dr. Tamas
Juhasz, Fraunhofer IFF

Abbildung 2 zeigt das im Fraunhofer IFF entwickelte Simulationsmodell des HPS Einzelmoduls, bestehend aus dem DC Zwischenkreisanschluss, DC/AC Frequenzumrichter und einem Permanentmagnet Synchronmotor (SMPM) mit feldorientierten Regelung (FOC). Die verwendeten Komponenten wurden anhand realer Messdaten und Datenblätter parametrisiert, damit die Simulationsergebnisse realistisch sind.

Abbildung 3 zeigt das detaillierte mechatronische Modell des SMPM Antriebs inklusive elektromagnetischer Erregung, Thermik von Rotor- und Statorwicklungen, Lagermodell und der Trägheit der Schwungmasse an der Rotorwelle [7,8].

Die Modellvalidierungsversuche mit der realen Testanlage in Göppingen haben gezeigt, dass das thermische Verhalten in Extremfällen kritisch ist und deshalb unbedingt mitsimuliert werden müssen. Nur so kann ein stabiler Betrieb gewährleistet werden.

Die Schwungmassenspeicher und die Frequenzrichter werden in der Realität wassergekühlt. Abbildung 4 zeigt das erweiterte HPS-Modell mit den Wasserkühlungskomponenten im oberen Bereich: Wasserpumpe, Wärmetauscher im Antriebsmodul und für den Stator im Schwungmassenspeicher selbst. Für die Parametrierung des Kühlmediums wurde reines Wasser genommen. Die Teilkomponenten wurden anhand Datenblätter und Messungen parametrierung und beinhalten die physikalischen Gleichungen für erzwungene Konvektion. Die thermische Impedanz wurde dabei abhängig vom Volumenstrom des Kühlmittels modelliert.

Abbildung 3:
Ansicht des HPS Permanentmagnet-Synchronmotormodells in Modelica. Quelle: Dr. Tamas Juhasz, Fraunhofer IFF

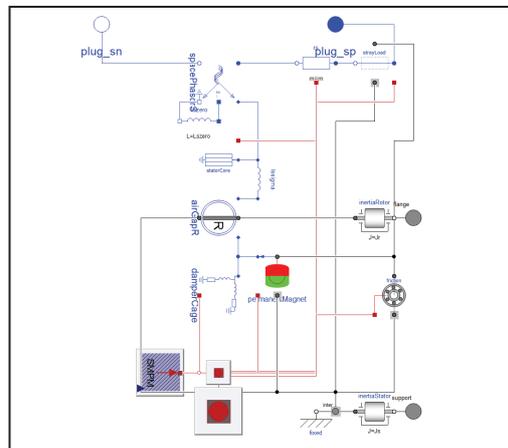
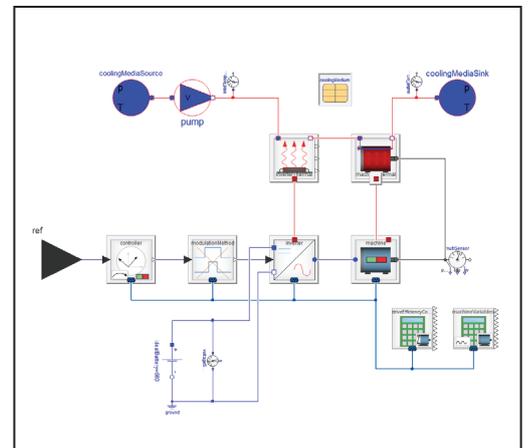


Abbildung 4:
Modell eines wassergekühlten HPS-Moduls. Quelle: Dr. Tamas Juhasz, Fraunhofer IFF



5 Betriebsstrategie

Anders als bei mechanischen Pressen sind bei Servopressen die Geschwindigkeit, Position und Richtung des Pressenstößels jederzeit regelbar. Zudem sind auch sehr langsame Geschwindigkeiten, z.B. für Probehuber oder zur gefahrlosen Überprüfung der auftretenden Presskraft, möglich.

Die Bewegung des Pressenstößels wird anhand virtueller Kurvenscheiben an einem zentralen Antrieb gekoppelt. Eine Kurvenscheibe stellt eine Abhängigkeit zwischen verschiedenen Positionen des zentralen Antriebs (Leitachse) und einer anderen Achse (der Folgeachse) im System dar. Es lassen sich nahezu alle (stetigen und differenzierbaren) Geometrien realisieren. Weitere wichtige Vorteile ergeben sich aus der Option Pendelhub. Hierbei kann die Hubhöhe der Presse minimiert werden, indem die Servoantriebe keine vollen Umläufe machen, sondern stetig ihre Drehrichtung ändern.

Durch die Integration von HPS Schwungmassenspeichern in Servopressen soll ihre elektrische Spitzenbelastung im Betrieb gemindert werden. Wenn die Presse Energie benötigt, soll dem Schwungmassenspeicher Energie aus dem gemeinsamen elektrischen Zwischenkreis entnommen werden. Hierfür muss die Drehzahl des Schwungrades synchronisiert verringert werden.

Die Drehzahlvorgabe für die HPS Module in der Versuchsanlage erfolgt im Pendelhubbetrieb ebenso durch eine Kurvenscheibe, die modellbasiert bestimmt wird. Die Geschwindigkeit und die Beschleunigung der Leitachse wird mit herangezogen, um zu ermitteln, in welchem Teil der Pendelbewegung sich die Presse befindet, da immer abwechselnd ein Hub vorwärts und ein Hub rückwärts gedreht wird. Das eigentliche Kriterium für die HPS Soll-drehzahl – als Folgeachse – ist die Beschleunigung der Leitachse: wird diese beschleunigt, sollen die HPS Module abgebremst werden und umgekehrt. Jeder HPS Schwungmassenspeicher arbeitet in einem Bereich, dessen Mittelwert (wM) seiner definierten Nenndrehzahl entspricht. Abbildung 5 zeigt eine sprungartige Drehzahlvorgabe – entsprechend der Beschleunigungs- und Bremsphasen des Pressenstößels – und die dazugehörige gemessene Drehzahlkurve bei 50 (Pendel) Hübe pro Minute:

Während dieses Testzyklus wurde aus thermischen Gründen eine Strombegrenzung von 100A verwendet. Abbildung 6 stellt hierbei die Messwerte vom effektiven Strom dar.

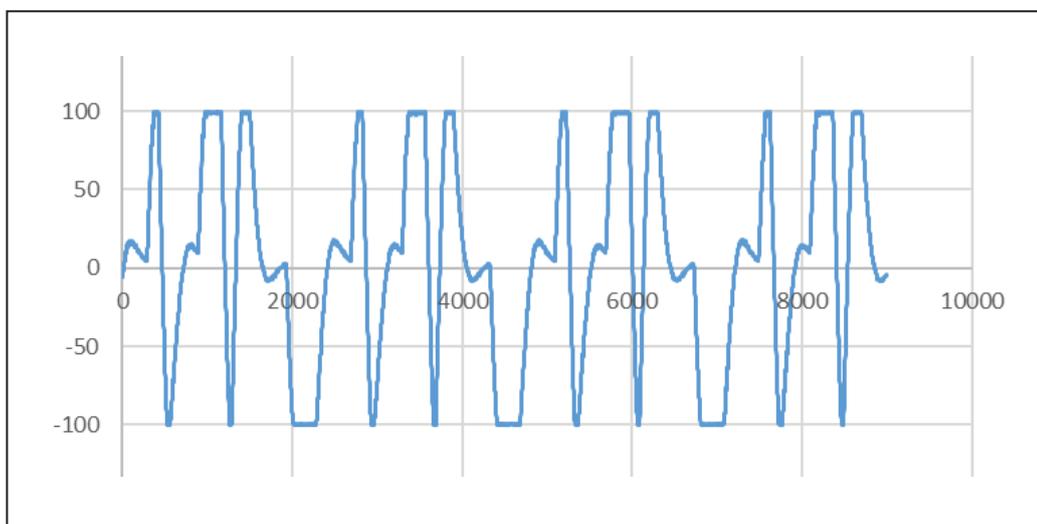


Abbildung 5:
 Blau: HPS Drehzahlvorgabe bei $wM=42000$ U/min, $wR= \pm 2000$ U/min
 Orange: Gemessene Drehzahl.
 Quelle: Dr. Tamas Juhasz, Fraunhofer IFF

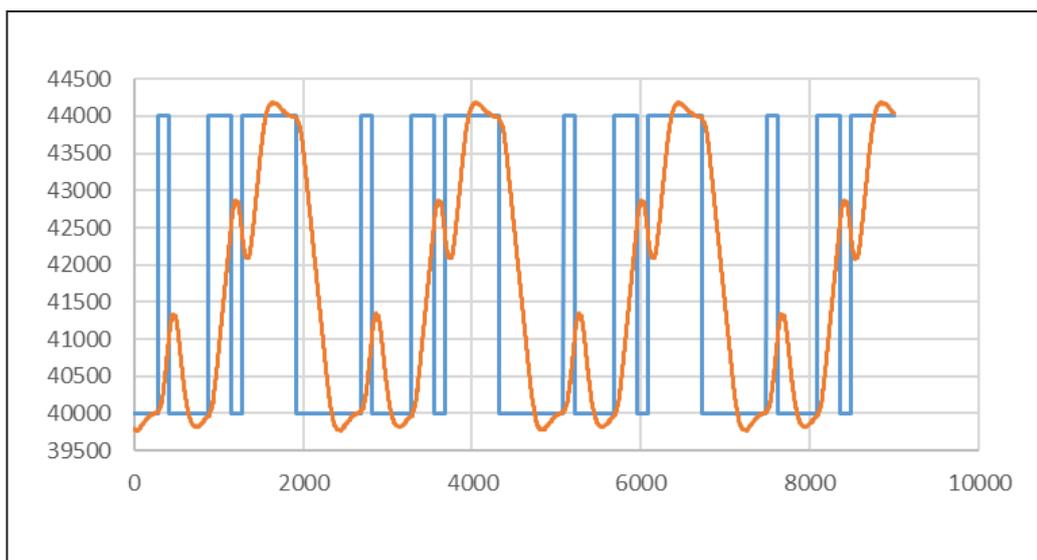


Abbildung 6:
 Effektive Stromkurve im Rotor von HPS#1 bei Strombegrenzung $I_{max}=100A$.
 Quelle: Dr. Tamas Juhasz, Fraunhofer IFF

6 Ergebnisse und Zusammenfassung

Im Laufe des HESIS F&E-Projekts wurde ein erster, auf die Umformtechnik spezifizierter und vorseriell vermarktungsfähiger GeRotor HPS neu entwickelt und in eine Versuchsanlage erfolgreich integriert. Eine kommerzielle Verwertung des HPS-Systems im Bereich Umformtechnik erfolgt durch eine Kooperation mit der Firma Schuler Pressen GmbH, die durch hoch innovative Industriepressen mit integriertem GeRotor HPS ihre Technologieführerschaft sichert. Perspektivisch wird es möglich, neue und bestehende Produktionsanlagen mit dieser Technologie auszurüsten.

7 Fördervermerk

Zugrundeliegende Arbeiten im HESIS Verbundprojekt wurden im Rahmen der KMU-innovativ-Fördermaßnahme im Förderbereich Energieeffizienz und Klimaschutz vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert (FKZ: 01LY1701A/B). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



8 Literatur

- [1] Modelica – <http://www.modelica.org>
- [2] Fritzson, P.: Introduction to Modeling and Simulation of Technical and Physical Systems with Modelica; Wiley-Blackwell, 2011, ISBN 978-1118010686
- [3] Dymola – <https://www.3ds.com/products-services/catia/products/dymola>
- [4] Schröder, D.: Elektrische Antriebe – Regelung von Antriebssystemen; Springer Vieweg 2015, ISBN 978-3-642-30095-0
- [5] Boeck, W.; Hosemann, G.: Grundlagen der elektrischen Energietechnik; Springer 2011; ISBN 3-5405-34210
- [6] Porzel, R.; Neudert, E.; Sturm, M.: Diagnostik der elektrischen Energietechnik: Techniken und Prozeduren zur Zustandsanalyse von elektrotechnischen Betriebsmitteln; Renningen-Malmsheim 1996; ISBN 3-8169-1364-4
- [7] Gieras, J. F.: Permanent magnet motor technology – design and applications; Boca Raton 2010; ISBN 978-1-4200-6440-7
- [8] Stüben, H.: Elektrische Antriebstechnik: Formeln, Diagramme, Schaltungen, Tabellen; Brown Boveri, Düsseldorf 1987; ISBN 3-7736-0839-X

NUTZERZENTRIERUNG ZUR NACHHALTIGEN DIGITALISIERUNG IN DER PRODUKTION AUS ARBEITSMEDIZINISCHER SICHT

Annemarie Minow, Prof. Irina Böckelmann

1 Einleitung

Die Arbeitswelt befindet sich in einem Umbruch, der u. a. von innovativen Formen der Arbeitsorganisation, veränderten Kompetenzanforderungen und der Digitalisierung geprägt sind. Innerhalb dieser gesellschaftlichen Veränderungen sowie betrieblichen Neuerungen – u. a. der Einführung neuer Arbeitsmittel – gewinnen digitale Assistenzsysteme zunehmend an Bedeutung. Sie sollen im Produktionskontext (z. B. Montage, Kommissionierung und Intralogistik) Beschäftigte u. a. in der Tätigkeitsausführung und der Kompetenzentwicklung unterstützen.

Der folgende Beitrag zeigt den aktuellen Forschungsstand zu nutzerbezogenen Aspekten beim Einsatz digitaler Assistenzsysteme auf und beleuchtet nutzerzentrierte und -bezogene Faktoren, die aus arbeitsmedizinischer Sicht zu einer nachhaltigen Entwicklung und Anwendung von digitalen Assistenzsystemen in der Produktion beitragen.

2 Forschungsstand zu nutzerbezogenen Aspekten beim Einsatz digitaler Assistenzsysteme

Zukünftige Nutzer in den Mittelpunkt des Forschungs- und Entwicklungsprozesses von digitalen Assistenzsystemen zu stellen, ist bei weitem nicht selbstverständlich. Obwohl z. B. Augmented Reality (AR)-Technologien seit ca. 50 Jahren existieren und weiterentwickelt werden, stellten Swan und Gabbard 2005 fest, dass nur wenige Publikationen im AR-Bereich nutzerzentrierte Experimente aufweisen [1]. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde ein aktueller systematischer Review mithilfe der Datenbanken PubMed, Scopus, Web of Science, PSYINDEX und Medline durchgeführt. Deutsch- und englischsprachige Publikationen von 2005 bis 2017 wurden berücksichtigt [2]. Doch auch in diesem Review konnten nur sehr wenige Publikationen ermittelt werden, die nutzerzentrierte Experimente bei der Entwicklung von digitalen Assistenzsystemen in der Produktion durchführten.

Dabei sind Labor- und Feldstudien, in denen Faktoren der Nutzerakzeptanz, Usability und User-Experience sowie Belastung und Beanspruchung berücksichtigt werden, unbedingt erforderlich, um einen nachhaltigen, gesundheitsgerechten sowie nutzerfreundlichen und vom Nutzer akzeptierten Umgang mit digitalen Assistenztechnologien zu gewährleisten.

3 Partizipation und Nutzerakzeptanz

Ein entscheidender Schlüssel für die erfolgreiche und nachhaltige Implementierung neuartiger Technologien im Arbeitsprozess ist die frühzeitige Partizipation der Mitarbeiter bei der Entwicklung dieser Assistenzsysteme. Partizipation (aus dem lat. »particeps«, zu dt. »teilnehmend«) kann auch übersetzt werden als »Einbeziehung«, »Beteiligung« oder »Mitwirkung«. Mitarbeiter sind Experten für ihre eigenen Arbeitsplätze und -bedingungen, da sie die einzelnen Arbeitsschritte besser einschätzen können. Deshalb sollten sie aktiv auf die Gestaltung von Steuerungsfunktionen und Design Einfluss nehmen können. Die Einbeziehung der zukünftigen Anwender kann auf unterschiedlichen Wegen erfolgen: Beschäftigte können im Rahmen von Informationsveranstaltungen, Workshops, qualitativer

Interviews oder kurzer schriftlicher Befragungen zu diesem Thema beteiligt werden. Erst durch diese nutzerorientierte Gestaltung der Assistenzsysteme und, wenn Beschäftigte an den Ideen der Entwickler teilhaben und Entwickler die Tätigkeiten der Mitarbeiter verstehen, können diese so konzipiert werden, dass gesundheitspräventive, technologische und wirtschaftliche Potenziale digitaler Technologien in den Unternehmen nutzbar werden.

Mithilfe der Einbeziehung der zukünftigen Anwender kann auch die Nutzerakzeptanz gefördert werden. Akzeptanz umschreibt, nach dem lat. »accipere« das »Annehmen« oder »Einwilligen«. Nutzerakzeptanz definiert damit im übertragenen Sinne die Bereitschaft des Nutzers etwas oder jemanden zu akzeptieren [3]. Zur Vorhersage der Nutzer- bzw. Technologieakzeptanz existieren verschiedene theoretische Modelle. Eines ist das Technologie-Akzeptanz-Modell (Technology Acceptance Model, TAM), das mehrmals nach [4] modifiziert wurde. In der finalen Version [5] (siehe Bild 1) gehen Venkatesh und Davis davon aus, dass vor dem schlussendlichen Nutzungsverhalten (Usage Behaviour) die Verhaltensintention des Nutzers steht, ein System zukünftig zu nutzen (Behavioral Intention). Die Behavioral Intention wird durch die wahrgenommene Nützlichkeit (Perceived Usefulness) und die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit (Perceived Ease of Use) bestimmt. Zudem haben externe Drittvariablen (External Variables) Einfluss auf die wahrgenommene Nützlichkeit und die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit einer Technologie.

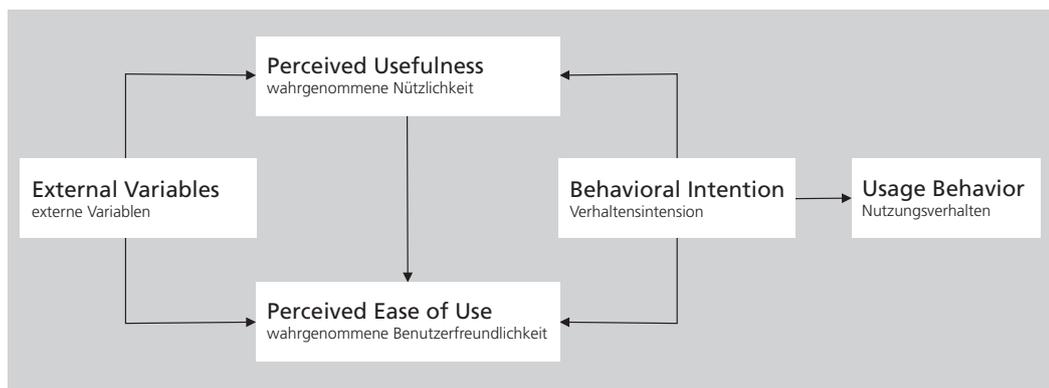


Abbildung 1:
The Technology Acceptance Model (TAM) (modifiziert nach [5]).
Quelle: Minow/Böckelmann 2019

Ein weiteres bekanntes Modell zur Erklärung der Nutzerakzeptanz bei Informationstechnologien ist die vereinheitlichte Theorie der Akzeptanz und Nutzung von Technologie (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology, UTAUT), die mehrere Theorien der Akzeptanzforschung (u. a. auch TAM) in einem Modell zusammenfasst [6] und beinhaltet folgende Determinanten:

- Performance Expectancy (Leistungserwartung),
- Effort Expectancy (Aufwandserwartung),
- Social Influence (sozialer Einfluss) sowie
- Facilitating Conditions (unterstützende Rahmenbedingungen).

Die Determinanten werden durch die Faktoren »Gender« (Geschlecht), »Age« (Alter), »Experience« (Erfahrung) und »Voluntariness of Use« (Freiwilligkeit der Nutzung) moderiert.

Je nach Anwendungsfall sollten die vielfältigen Faktoren der Nutzerakzeptanz im betrieblichen Kontext und beim Einsatz digitaler Assistenzsysteme beachtet werden, um ein möglichst umfassendes Bild zur Annahme der neuen Technologie zu bekommen. Eine Auswahl verschiedener Messmodelle ist in Tabelle 1 zu finden:

Tabelle 1:
Ausgewählte Modelle und Fragebögen zur Nutzerakzeptanz im Kontext digitaler Assistenzsysteme.

| | Nutzerakzeptanz im Kontext digitaler Assistenzsysteme: Modelle/Fragebögen |
|--------------|--|
| TAM | Technology Acceptance Model [4,5] |
| UTAUT | Unified Theory of Acceptance and Use of Technology [6] |
| UAT | User Acceptance Test [7] |
| | Innovations-Entscheidungs-Prozess [8] |
| | Dynamisches Akzeptanzmodell [9] |
| | Akzeptanzmodell nach Müller-Böling & Müller [10] |

4 Ergonomie der Mensch-System-Interaktion (DIN EN ISO 9241): Usability und User Experience

Zur nachhaltigen Integration und Anwendung digitaler Assistenzsysteme im Unternehmen müssen Systeme eine gute Usability aufweisen und eine positive User Experience erzeugen. Die Begriffe finden sich eingebettet in der DIN EN ISO 9241 »Ergonomie der Mensch-System-Interaktion« (ausgewählte Teile finden sich in Bild 2).

Der internationale Standard (bis 2006 mit dem Titel »Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten«) führt Richtlinien der Mensch-Computer-Interaktion und legt Prinzipien der Arbeitsumgebung, Hardware und Software fest, um die Gebrauchstauglichkeit digitaler Prozesse zu optimieren und einen gesundheitsgerechten und ergonomischen Umgang mit diesen zu erreichen.

Teil 11 der DIN EN ISO 9241 zu den Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit kann als essenzieller Teil der Normenreihe angesehen werden. Demnach beschreibt die Usability »das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen« [11]. Zur Ermittlung der Usability sollten verschiedene Verfahren eingesetzt werden. Eine Dokumentenanalyse eignet sich zur Einschätzung der Effektivität (d. h.: Können Nutzer ihre Ziele mit dem System erreichen?). Mit teilnehmenden Beobachtungen oder objektiven Beanspruchungsmessungen kann die Effizienz (d. h.:

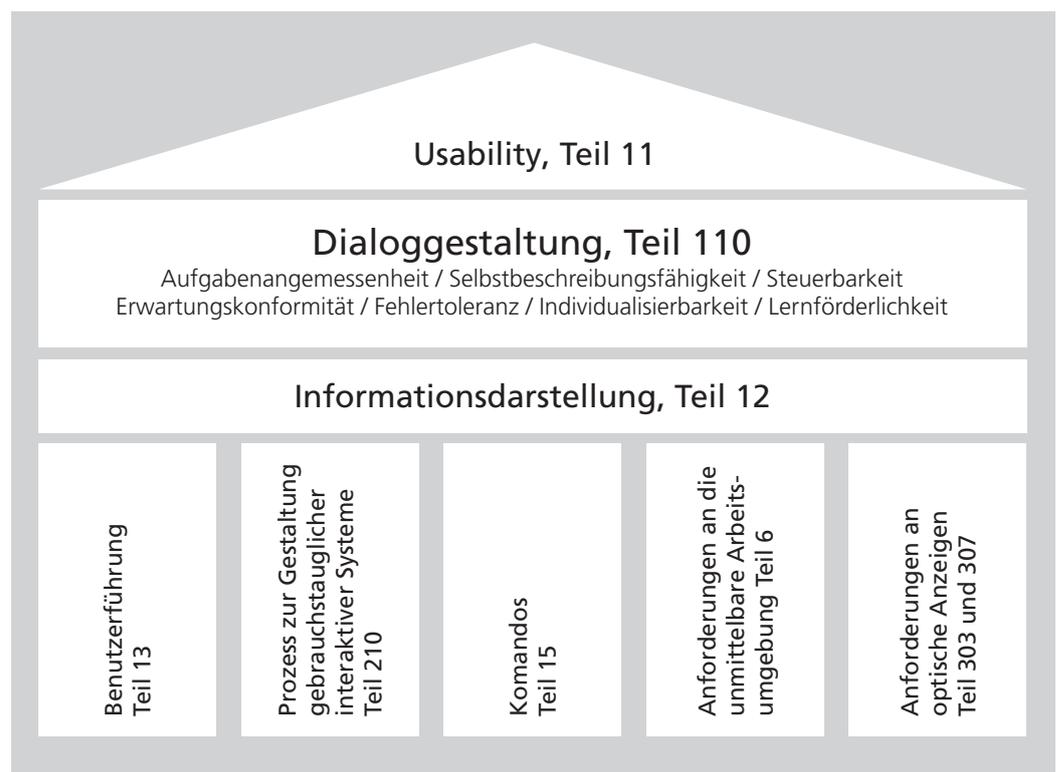


Abbildung 2:
Ausgewählte Teile der DIN EN ISO 9241 (eigene Darstellung).
Quelle: MinowlBöckelmann 2018

Wie hoch ist die benötigte Anstrengung, um das Ziel zu erreichen?) ermittelt werden. Letztendlich subjektive qualitative oder quantitative Nutzerbefragungen eignen sich für die Bestimmung der Zufriedenheit bei dem Einsatz dieses Systems.

Zur Erfassung der subjektiven Zufriedenheit kommen konkrete Fragen zu dem digitalen Assistenzsystem in Betracht. Pauschalisierte Fragen oder Globalwerte eines Systems (z. B. durch die System Usability Scale [12]) können mitunter zur abschließenden Evaluation oder zum Vergleich verschiedener Technologien herangezogen werden. Jedoch empfehlen sich in der iterativen Entwicklung von Assistenzsystemen in der Regel standardisierten Fragebögen, die verschiedene Themenbereiche abfragen. Gute Möglichkeiten bieten hier die Fragebögen, die sich an den Grundsätzen der Dialoggestaltung [13] (Bild 1) orientieren, u. a. der ISONORM [14], IsoMetrics [15] und ErgoNorm [16].

Die Normenreihe der Mensch-System-Interaktion zeigt in Teil 210 der DIN EN ISO 9241 zudem deutlich auf, wie der humanzentrierte Designprozess aussehen sollte [17]. Hier werden der Nutzungskontext und die Nutzungsanforderungen festgelegt und unter Partizipation der zukünftigen Anwender schrittweise Gestaltungslösungen zur Erfüllung der Nutzungsanforderungen erarbeitet und evaluiert. Dieses Vorgehen zielt darauf ab, eine möglichst hohe Akzeptanz des Anwenders für das zu entwickelnde System zu gewährleisten. Bei der nutzerorientierten Gestaltung neuer Assistenztechnologien können und sollten verschiedene Verfahren zum Einsatz kommen. Hier empfiehlt sich auch ein Mix aus qualitativen und quantitativen Methoden, durch den methodische Schwierigkeiten (z. B. Ursache-Wirkungs-Beziehungen) wechselseitig ausgeglichen werden können. Mögliche Methoden, die hier zum Einsatz kommen können, sind Usability-Tests (z. B. Personas, Eyetracking, Card Sorting) und -befragungen, Kontextanalysen, Use Cases und Heuristische Evaluierung [18].

Der Normteil 210 der DIN EN ISO 9241 beschreibt nicht nur den humanzentrierten Designprozess, sondern auch die User-Experience. Denn nicht nur die »sachliche« Gebrauchstauglichkeit (Usability) eines Systems, sondern auch die individuellen und emotionalen Nutzererfahrungen und Erlebnisse bei der Interaktion mit einem System sind zu beachten. Die DIN EN ISO 9241-210 definiert User-Experience als »Wahrnehmungen und Reaktionen einer Person, die aus der tatsächlichen und/oder der erwarteten Benutzung [...] eines Systems [...] resultieren. [...] Dies umfasst sämtliche Emotionen, Vorstellungen, Vorlieben, Wahrnehmungen, physiologischen und psychologischen Reaktionen, Verhaltensweisen und Leistungen, die sich vor, während und nach der Nutzung ergeben.« [17] S. 7. Sie kann auch mit »Nutzererlebnis« oder »Anwendererlebnis« übersetzt werden und stellt eine Erweiterung der Usability um ästhetische und emotionale Faktoren dar, in der es u. a. um eine »begehrte« Gestaltung und Spaß bei der Nutzung geht.

Für die Messung der Usability und User Experience existieren zahlreiche Methoden, die in Abhängigkeit der Technologie und des Anwendungsbereichs ausgewählt werden müssen. Eine Auswahl findet sich in Tabelle 2.

| Usability und User Experience im Kontext digitaler Assistenzsysteme: Fragebögen | |
|--|---|
| angelehnt an DIN EN ISO 9241-110 | u. a. ISONORM [14], IsoMetrics [15], ErgoNorm [16]. |
| SUS | System Usability Scale [12] |
| QUIS | Questionnaire for User Interface Satisfaction [19] |
| PSSUQ | Post Study Usability Questionnaire [20] |
| | AttrakDiff [21] |
| UEQ | User Experience Questionnaire [22] |
| | INTUI [23] |

*Tabelle 2:
Ausgewählte Fragebögen zu
Usability und User Experience im
Kontext digitaler Assistenzsys-
teme.*

Die Fragebögen aus Tabelle 2 können nicht immer eindeutig dem Themenbereich Usability oder User Experience zugeordnet werden. Teilweise greifen die Fragebögen übergreifend Aspekte aus beiden Konstrukten auf.

5 Belastungs- und Beanspruchungsmessung

Aus arbeitsmedizinischer Sicht ist der Einsatz von Usability- und User Experience-Fragebögen ein sehr wichtiger, aber zur Erfassung von gesundheitlichen Auswirkungen bei der Einführung neuer Technologien noch unzureichender Schritt. Hier müssen vielfältige valide arbeitsphysiologische Methoden zur Beanspruchungsmessung angewendet werden. Die in der Arbeitsmedizin angewandten Begriffe »Belastung« und »Beanspruchung« entstammen ursprünglich der technischen Mechanik. »Belastung« meint dort die Gesamtheit der äußeren Einwirkungen, z. B. Kräfte, die auf ein Bauteil einwirken, während unter Beanspruchung die daraus resultierenden inneren Spannungen in dem Bauteil verstanden werden. Letztere hängen sowohl von der Höhe der Belastung als auch der Geometrie und Werkstoffeigenschaften des Bauteils ab« [24] S. 38. Übertragen auf die Situation am Arbeitsplatz wird in der Arbeitsmedizin unter Belastung die Gesamtheit aller erfassbarer Einflüsse verstanden, die von außen auf den Menschen, auf den Arbeitnehmer, zukommen und auf ihn einwirken. Beanspruchung beinhaltet die physischen und psychischen Auswirkungen der Belastung auf den Menschen in Abhängigkeit seiner individuellen Voraussetzungen und Bewältigungsstrategien [24]. Die Begriffe sind essenzieller Bestandteil des arbeitswissenschaftlichen / arbeitsphysiologischen Belastungs-Beanspruchungskonzepts [25] und als integratives Belastungs-Beanspruchungs-Bewältigungskonzept [26] Bild 3 zu entnehmen. Das Konzept geht vom Prinzip der Wechselwirkung aus, indem Reaktion, Anpassung und Adaption stattfinden. Hier ist die Beanspruchung nicht nur Folge, sondern beeinflusst auch die Belastungen und individuellen Voraussetzungen.

In der Belastungs- und Beanspruchungsmessung sollte nach dem psychophysiologischen Mehrebenenkonzept von Fahrenberg [27] vorgegangen werden, nach dem die simultane Erfassung der subjektiven Erlebens- und Befindensdaten und objektiven physiologischen Beanspruchung sowie die Messung von Leistungsdaten angestrebt wird.

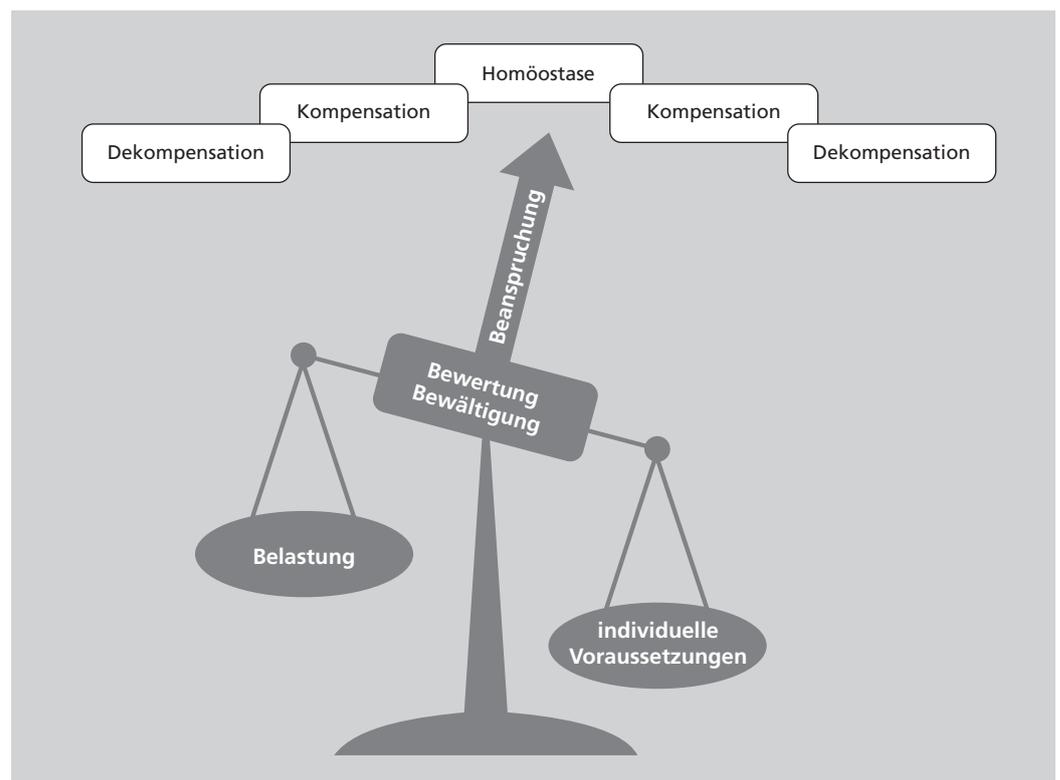


Abbildung 3:
Das Integratives Belastungs-
Beanspruchungs-Bewältigungs-
konzept (mod. nach [26]).
Quelle: Minow/Böckelmann 2019

6 Schlussfolgerung

Obwohl Reviews aufzeigen, dass es wenige Erkenntnisse aus den Forschungsstudien gibt und diese in der Regel durch unterschiedliche methodischen Herangehensweisen kaum untereinander vergleichbar sind, ist ein Trend von einer technologiezentrierten zu einer humanzentrierten Entwicklung digitaler Assistenzsysteme zu erkennen. Forschungs- und Entwicklungsprojekte der letzten Jahre (u. a. AVILUS, 3D-Montageassistent und ArdiAS) zur Implementierung derartiger Systeme in die Betriebe nehmen verstärkt eine humanzentrierte Sichtweise ein, bei der nutzerbezogene Aspekte, wie neu entstehende Belastungen und Beanspruchungen, beachtet werden [28,29,30,31,32,33]. »Der« entscheidende Erfolgsfaktor für die Akzeptanz und damit auch die nachhaltige Integration digitaler Assistenzsysteme in Unternehmen ist die frühzeitige und wiederholte Beteiligung der Mitarbeiter am Entwicklungsprozess der neuen Technologie. Zur Nutzerzentrierung und insbesondere zur Sicherung eines gesundheitsförderlichen Umgangs mit neuen digitalen Assistenzsystemen ist es jedoch unverzichtbar Arbeitsmediziner und -physiologen in Forschungs- und Entwicklungsprojekten einzubeziehen.

7 Danksagung

Wir bedanken uns beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des FuE-Projektes (FKZ: 03ZZ0441E) der Allianz »3Dsensation« im Rahmen des Programms »Zwanzig20« und des FuE-Projektes ArdiAS. Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt ArdiAS wird im Rahmen des Programms »Zukunft der Arbeit« vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Europäischen Sozialfonds (ESF) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

8 Danksagung

Wir bedanken uns beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des FuE-Projektes (FKZ: 03ZZ0441E) der Allianz »3Dsensation« im Rahmen des Programms »Zwanzig20« und des FuE-Projektes ArdiAS. Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt »Gesundes mobiles Arbeiten mit digitalen Assistenzsystemen im technischen Service« (ArdiAS) (FKZ 02L15A030) wird im Rahmen des Programms »Zukunft der Arbeit« vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Europäischen Sozialfonds (ESF) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren



9 Literatur

- [1] Swan JE, Gabbard JL (2005) Survey of User-Based Experimentation in Augmented Reality. In: Proceedings 1st International Conference in Virtual Reality 1–9, Las Vegas, Nevada.
- [2] Minow A, Böckelmann I (2018) Nutzerbezogene Aspekte beim Einsatz von digitalen Assistenztechnologien im Montagebereich – ein systematischer Review. In: Tagungsband zur 58. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. (DGAUM), 07.-09. März 2018 in München, ISBN: 978-3-9817007-6-3, S. 91 – 92

- [3] Drosdowski G (Hrsg.): Duden Etymologie: Herkunftswörterbuch der deutschen Sprache. Duden, Mannheim 1989, ISBN 3-411-20907-0.
- [4] Davis FD (1986) A Technology Acceptance Model for Empirically Testing New End-User Information Systems: Theory and Results. Doctoral dissertation, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology.
- [5] Venkatesh V, Davis FD (1996) A model of the antecedents of perceived ease of use: Development and test. *Decision Sciences*, 27(3), 451-481.
- [6] Venkatesh V, Morris MG, Davis GB, Davis FD (2003) User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS quarterly*, 425-478.
- [7] Hambling B, van Goethem P (2013) User acceptance testing. A step-by-step guide. BCS, Swindon, U.K.
- [8] Rogers, EM (2003) Diffusion of innovations. 5. Auflage. New York: Free Press.
- [9] Kollmann, T (1998) Die Akzeptanz innovativer Nutzungsgüter und -systeme – Konsequenzen für die Einführung von Telekommunikations- und Multimediasystemen. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- [10] Müller-Böling D, Müller M (1986) Akzeptanzfaktoren der Bürokommunikation. R. Oldenbourg Verlag, München [Germany].
- [11] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2018) Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte (ISO 9241-11:2018)
- [12] Brooke J (1986) SUS: a »quick and dirty« usability scale. In: Jordan PW, Thomas B, Weerdmeester BA, McClelland AL (Hrsg.) Usability Evaluation in Industry 189–194. Taylor and Francis, London.
- [13] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2008) Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung (ISO 9241-110:2006)
- [14] Prümper J, Anft M (1993) Die Evaluation von Software auf Grundlage des Entwurfs zur internationalen Ergonomie-Norm ISO 9241 Teil 10 als Beitrag zur partizipativen Systemgestaltung – ein Fallbeispiel. In: KH Rödiger (Hrsg.), Software-Ergonomie '93 – Von der Benutzungsoberfläche zur Arbeitsgestaltung (S. 145-156). Stuttgart: Teubner.
- [15] Gediga G, Hamborg KC (1999) IsoMetrics: Ein Verfahren zur Evaluation von Software nach ISO 9241/10. In: Holling H, Gediga G (Hrsg.) Evaluationsforschung 195–234. Hogrefe, Göttingen.
- [16] Dzida W, Hofmann B, Freitag R (2000) Gebrauchstauglichkeit von Software. Ergonorm: Ein Verfahren zur Konformitätsprüfung von Software auf der Grundlage von DIN EN ISO 9241 Teile 10 und 11. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund.
- [17] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2010) Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (ISO 9241-210:2010)
- [18] Sarodnick F, Brau H (2011) Methoden der Usability Evaluation. Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. Huber, Bern.
- [19] Chin J, Diehl V, Norman K (1988) Development of an instrument measuring user satisfaction of the human-computer interface. In: CHI 88 Conference Proceedings (Hrsg.) Human Factors in Computing Systems 213–218. ACM Press, New York, New York.
- [20] Sauro J, Lewis J (2012) Quantifying the user experience: Practical statistics for user research. Morgan-Kaufmann, Burlington, MA.
- [21] Hassenzahl M, Burmester M, Koller F (2003) AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. In: Ziegler J, Szwillus G (Hrsg.) Mensch & Computer 2003. Interaktion in Bewegung 187–196. B. G. Teubner, Stuttgart, Leipzig.
- [22] Laugwitz B, Schrepp M, Held T (2006) Konstruktion eines Fragebogens zur Messung der User Experience von Softwareprodukten. In: Heinecke AM, Paul H (Hrsg.) Mensch & Computer 2006 – Mensch und Computer im Strukturwandel 125–134. Oldenbourg, München.
- [23] Ullrich D, Diefenbach S (2010) INTUI. Exploring the Facets of Intuitive Interaction. In: Ziegler J, Schmidt A (Hrsg.) Mensch & Computer 2010 251–260. Oldenbourg, München.

- [24] Schlick C, Bruder R, Luczak H (2010) Arbeitswissenschaft. 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. Springer, Heidelberg u.a.
- [25] Rohmert W (1984) Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. Z.Arb.Wiss. 38 (10 NF): 196–200.
- [26] Scheuch K, Schröder H (1990) Mensch unter Belastung. Stress als ein humanwissenschaftliches Integrationskonzept. Deutscher Verlag der Wissenschaft, Berlin.
- [27] Fahrenberg J (1969) Die Bedeutung individueller Unterschiede für die Methodik der Aktivierungsforschung. In: Schönpflug W (Hrsg.) Methoden der Aktivierungsforschung 95–122. Huber, Bern.
- [28] Darius S, Sánchez-Márquez JS, Chegrynets O, Mecke R, Böckelmann I (2015) Untersuchungen zum Gesichtsfeld bei der Nutzung verschiedener Head-Mounted-Displays. Zbl Arbeitsmed 65(4): 203-209. DOI 10.1007/s40664-015-0026-z
- [29] Stein St, Fedrowitz Ch, Herfs W, Höhne A, Heuschmann Ch, Bade Ch, Henze A, Mecke R, Böckelmann I, Schiller F, August W (2011) Nutzerbezogene Entwicklung und Untersuchung AR-basierter Werkerassistenzsysteme. In: W. Schreiber et al. (Hrsg.) Virtuelle Techniken im industriellen Umfeld. Das AVILUS-Projekt – Technologien und Anwendungen. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg: 213-374
- [30] Böckelmann I, Chegrynets O, Mecke R, Darius S, Sánchez-Márquez JS (2015) Aufmerksamkeitsleistungen und objektive Beanspruchung beim Einsatz von zwei verschiedenen Head-mounted-Displays. Zbl Arbeitsmed 65(1): 12-20. DOI: 10.1007/s40664-014-0045-1
- [31] Tümler J, Mecke R, Doil F, Huckauf A, Urbina MH, Roggentin A, Pfister EA, Böckelmann I (2008) Einbeziehung der Herzratenvariabilität für eine objektive Beanspruchungsanalyse bei Einsatz mobiler Augmented Reality an einem Referenzarbeitsplatz. In: 50. Fachausschusssitzung Anthropotechnik: Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration, Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt – Lilienthal-Oberth e.V., 22.-23. Oktober 2008, Manching
- [32] Minow A, Böckelmann I (2019) Motivation und subjektive Beanspruchung bei simulierten Montageprozessen mit herkömmlichen und digitalen Hilfestellungen – Ergebnisse einer Pilotstudie GfA Frühjahrskongress 2019, Dresden GfA, Dortmund (Hrsg.): Frühjahrskongress 2019, Dresden Beitrag E. 1.3 ARBEIT(s).WISSEN.SCHAF(f)T – Grundlage für Management & Kompetenzentwicklung. 1 – 5
- [33] Schapkin S, Böckelmann I (2018) Arbeiten mithilfe von Assistenzsystemen: Entlastung oder Belastungen für Nutzer? In: Tagungsband zur 58. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. (DGAUM), 07.-09. März 2018 in München, ISBN: 978-3-9817007-6-3, S. 93-96

DIE DIGITALE LEBENSLAUFAKTE – STAND DER NORMUNG

Johannes Schmidt, Dr. Simon Adler

1 Einführung

Der Anlagen- und Maschinenbau hatte im Jahr 2018 einen Umsatz von 232 Mrd. Euro, beschäftigte über eine Million Personen und gehört zu einem der größten Industriezweigen in Deutschland [1]. Der Anlagenbau steht immer mehr unter dem Druck internationaler Konkurrenz. Neben den steigenden Qualitätsanforderungen nimmt die Komplexität der Anlagen zu. Die Fähigkeit der schnellen Umstellung auf andere Produktvarianten und die Integration in eine moderne IT-Infrastruktur für z.B. die Analyse von Betriebsdaten werden bei modernen Anlagen zu Grundanforderungen. Zusätzlich steigt der Umfang der gesetzlichen und innerbetrieblichen Dokumentation bei Herstellern und Betreibern. Häufig erfolgt die Dokumentation mit PDM, PLM und ERP Systemen, aber auch Anwendungen zur Tabellenkalkulation haben eine hohe Verbreitung. Digitalisierung im Maschinenbau mit dem Übergang von papierbezogener zu digitalisierter Dokumentation zu begreifen, wäre eine stark verkürzte Sichtweise. Das übergeordnete Ziel sollte sein, eine automatisierte Informationsverarbeitung in den Prozessen aller Anlagenlebensphasen zu ermöglichen. Digitale Anlagendaten erlauben beispielsweise die Betriebsoptimierung durch Analyse der Anlagensignale, die virtuelle Inbetriebnahme oder digitale Assistenzsysteme für Instandhaltung und Betrieb.

Im Folgenden wird zwischen den aktuellen Zustandsdaten der Anlage und der Anlagendokumentation in Form einer digitalen Lebenslaufakte unterschieden. Die Zustandsdaten werden durch die Anlagensteuerung oder -teile zur Verfügung gestellt. Die Kombination aus realem Anlagenteil und digitalem Abbild, das cyberphysische System [2], kann sinnbildlich als Kurzzeitgedächtnis aufgefasst werden. Die sichtspezifischen Anlagendokumente, -daten und -strukturen in der Lebenslaufakte erfüllen nicht nur eine Dokumentationsaufgabe, sondern sie beschreiben ein Modell der Anlage. Dieses Modell bildet sich aus Informationen aller Beteiligten im Anlagenlebenszyklus und stellt damit sinnbildlich als Langzeitgedächtnis das erforderliche Kontextwissen für alle Zukunftsthemen im digitalen Engineering und Betrieb bereit. Der durchgängigen Erstellung, Pflege und Nutzung dieses Kontextwissens fällt eine immer größere Bedeutung zu.

Der VDI Statusreport »Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen« [3] gibt einen Überblick über die Herausforderungen bei der Anlagenplanung bis zur Inbetriebnahme. Im Zuge der Digitalisierung steigt die Anzahl der Akteure im Engineering. Es stellen sich damit auch neue Fragen der digitalen Kooperation und auszutauschenden Artefakte. Noch ist offen, wie ein Anlagenmodell sämtliche Aspekte des Lebenszyklus für alle Beteiligten abbilden kann. Verschiedene Ansätze sind verfügbar, um sich einer durchgängigen bzw. lebenszyklusorientierten Betrachtung des Anlagenlebens zu nähern.

2 Stand der Technik zur Informationsverwaltung

Die Lebenslaufakte für technische Anlagen [4] stellt einen modellbasierten und lebenszyklusorientierten Ansatz zur Informationsverwaltung dar. Sie dient in erster Linie der Befriedigung der Informationsbedürfnisse von Personen unterschiedlicher Disziplinen und soll eine ausreichende Nachvollziehbarkeit und Qualität der Gesamtdokumentation zur Anlage sicherstellen. Die Lebenslaufakte fasst alle anlagenbezogenen Informationen zusammen, setzt diese übergreifend miteinander in Beziehung und stellt allen Beteiligten eine einheitliche Informationsbasis zur Verfügung. Digitale

Lebenslaufakten sollen technische Unterstützungen bieten, Lebenslaufakten effizient zu verwalten. Durch den Einsatz einer digitalen Lebenslaufakte lassen sich insbesondere durch die zusätzlichen Verknüpfungen zwischen den Informationen neue Mehrwerte erschließen.

Das Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0) [5] trifft Festlegungen zur Repräsentation eines Assets in der Informationswelt. In Kombination mit einer Verwaltungsschale [6, 7] wird ein Asset zu einer I4.0-Komponente, die sowohl Informationszugriffe als auch Steuerungsmöglichkeiten erlaubt. In der Verwaltungsschale können Stammdaten aber auch Bewegungs- und Betriebsdaten über das gesamte Leben (Vita) hinterlegt werden. Es ist möglich, Informationen einem Produkttyp oder einer Produktinstanz zuzuordnen. Das Modell der Verwaltungsschale soll sich in inhaltliche Teilmodelle gliedern [6], deren Eigenschaften mitsamt ihrer Semantik standardisiert sind (vgl. DIN EN 61360 Normenreihe). Ende 2018 wurde das Metamodell zur Verwaltungsschale [8] veröffentlicht. Erste Spezifikationen für Teilmodelle sind in [9] beschrieben.

Der Digitale Zwilling zielt auf die ganzheitliche Unterstützung von der Entwicklung bis zur Nutzung technischer Anlagen ab [10]. Grundlage ist ein Anlagenmodell als digitales Abbild der Anlage und ihres Verhaltens, das z.B. zur Vorhersage des Anlagenverhaltens durch Simulation oder zur Validierung durch die Integration von Messwerten des realen Objektes dient. Umfangreiche digitale Zwillinge benötigen eine Anbindung an eine digitale Lebenslaufakte zur Bereitstellung der Stamm- und Kontextinformationen. Das Anlagenmodell wird somit mit einer Wissensbasis verknüpft, die sämtliche Ereignisse an der Anlage dokumentiert. Wagner et al. sehen eine enge Verbindung zwischen dem Digitalen Zwilling und der Industrie 4.0 Verwaltungsschale [11]. Weil in digitalen Zwillingen immer mehr Informationen integriert werden, würden sie sich folglich als Verwaltungsschale fortentwickeln. Dieser Beitrag gibt einen Überblick zu Lebenslaufakten für technische Anlagen und diskutiert Ansätze für digitale Lebenslaufakten. Abschnitt 3 fasst den aktuellen Stand der Normung zu Lebenslaufakten zusammen und motiviert die standardisierte Umsetzung digitaler Lebenslaufakten. In Abschnitt 4 werden verschiedene Implementierungsansätze vorgestellt und aus Sicht der Normung bewertet. Abschnitt 5 fasst die Arbeit zusammen.

3 Normung der Lebenslaufakte als DIN 77005-1

Viele Herausforderungen im Informations- und Wissensmanagement von Anlagen sind Folgen von Informationsübergaben beim Wechsel von Verantwortlichkeiten im Lebenszyklus. Dies begründet sich u.a. durch die Heterogenität der Übergabeinformationen (Semantik) und der verwendeten Übergabeformate (Syntax, Struktur). Es fehlen bisher einheitliche und durchgängige Strukturen für anlagenbezogene Informationen. Dies hat zur Folge, dass Informationen heute auf Grund technischer Inkompatibilitäten nicht übernommen werden können. Aus der verteilten Speicherung der Daten bei den verschiedenen Akteuren resultieren weitere Herausforderungen bezüglich der Aktualität und Synchronisation der Informationen. Es ist bisher nicht geregelt, wie Änderungen an gemeinsam bekannten Informationsständen kommuniziert werden sollen, um einen schnellen Abgleich beim Empfänger zu gewährleisten.

Zwischen Hersteller und Betreiber gibt es auch durchaus unterschiedliche Informationsbedürfnisse und Interessen. Die Engineeringdaten des Herstellers berücksichtigen beispielsweise weitere Varianten der Anlage. Diese Informationen werden in der Regel nicht an den Betreiber übergeben. Aus den Betriebsdaten des Betreibers lassen sich Informationen zur Zuverlässigkeit von Komponenten und zu Rahmenbedingungen der Produktion ableiten. Diese Informationen sind für den Hersteller von größerem Interesse, um Rückschlüsse für die Revisionierung von Bauteilen zu ziehen. Sofern der Betreiber diese Informationen bereitstellt, muss der Hersteller sie heute aufwändig in seine Variantenstruktur integrieren.

Im Lebenszyklus treten immer wieder Ereignisse auf, an denen Informationen zwischenbetrieblich übergeben werden (Störungsbeseitigung, Übergabe der Anlage, Retrofit, Demontage). Es existieren zwar Normen und Standards, die einzelne Problemstellungen zum Informationsaustausch im Anlagenlebenszyklus adressieren. Um jedoch eine durchgängige und lebenszyklusorientierte Informationsverwaltung zu ermöglichen, müssen noch Mindestesstands vereinbart werden, die die Informationsbedarfe aller Akteure erfüllen. Dies schließt fachliche Taxonomien und Klassifikationen mit ein. Herausfordernd ist, einen interdisziplinären Informationsraum zu schaffen, in dem sich alle Beteiligten wiederfinden und der es erlaubt, Informationen in der jeweils gewünschten Granularität und Semantik bereitzustellen.

Ein Lösungsansatz besteht darin, eine einheitliche Lebenslaufakte als gemeinsames Wissensartefakt einzuführen. Der Anlagenhersteller eröffnet die Lebenslaufakte und füllt sie bereits in den frühen Lebensphasen mit Informationen. Die Lebenslaufakte wird nach der Inbetriebnahme als as Build Dokumentation an den Betreiber übergeben. Dieser hat die Aufgabe, die anlagenspezifische Lebenslaufakte fortzuführen und beispielsweise Störungs- und Instandhaltungsprotokolle zu ergänzen sowie Anlagenänderungen zu dokumentieren. Wenn ein Hersteller nach einigen Jahren den Auftrag für eine Modernisierung erhält, muss er heute die ihm vorliegende as Build Dokumentation und die Änderungen im Betrieb manuell abgleichen und anpassen. Eine austauschbare Lebenslaufakte als genormte Struktur würde es ermöglichen, die aktuelle Anlagenstruktur so zu übergeben, dass der Hersteller sofort handlungsfähig ist. Die genormte Struktur stellt sicher, dass alle Beteiligten, unabhängig von ihrer Domäne oder Disziplin, Informationen in Lebenslaufakten verwalten und darauf zugreifen können.

Im Jahr 2016 wurde im DIN der Normenarbeitskreis NA 159-04-01-01 AK gegründet, der sich mit der Standardisierung von Lebenslaufakten für technische Anlagen befasst. Seit September 2018 ist die deutsche Norm DIN 77005-1 »Lebenslaufakte für technische Anlagen – Strukturelle und inhaltliche Festlegungen« [12] als erstes Ergebnis verfügbar. Die Norm legt fest, wie Informationen zu Anlagen und ihren Teilen strukturiert verwaltet werden (siehe Abbildung 1). Hierfür stehen verschiedene Arten von Lebenslaufakten zur Verfügung, die hierarchisch gegliedert sind. Metadaten (siehe Tag Symbol in Abbildung 1) helfen den Anwenderinnen und Anwendern bei der Zuordnung von Verantwortlichkeiten, der Suche von Informationen sowie Definition von Beziehungen zwischen Informationen. Zusammengehörige Informationen sind als Informationssatz zusammengefasst. Kontextinformationen zur Anlage, z.B. das rechtliche Umfeld zur Anlage oder auch Festlegungen zur Anlagenkenn-

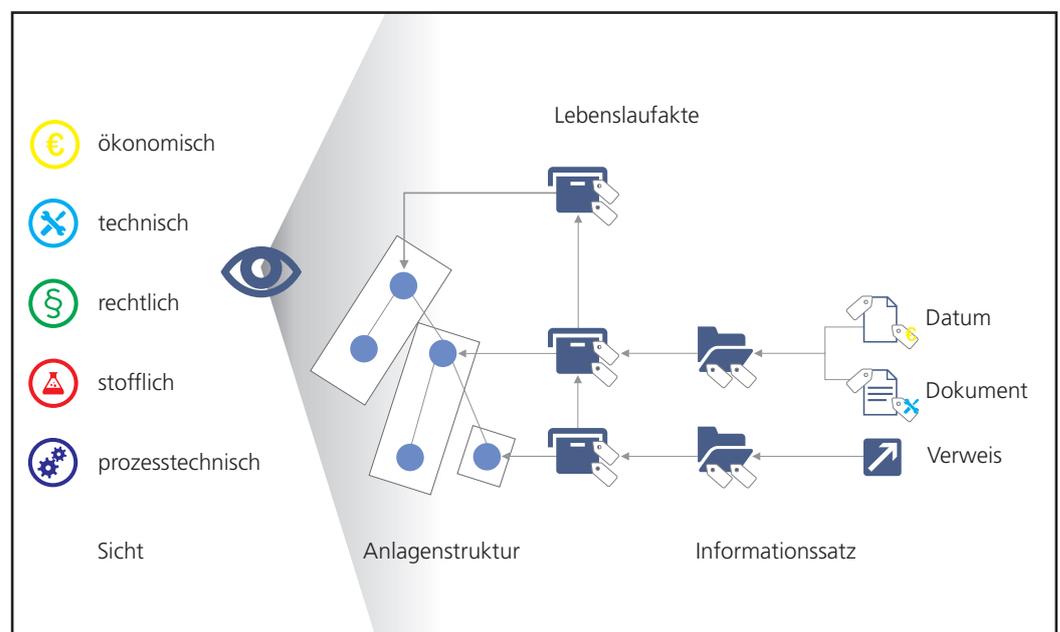


Abbildung 1:
Vereinfachte schematische
Darstellung der Struktur und
Inhalte von Lebenslaufakten für
technische Anlagen.
Quelle: eigene Darstellung

zeichnung, zur Definition von Rollen oder Lebenszyklen, sind als Vorgaben in jeder Lebenslaufakte enthalten. Eine Anwendungsmethode stellt sicher, dass Lebenslaufakten einheitlich geführt, stets aktuell und vollständig sind. Die Anwendung der Norm stellt somit sicher, dass jede Lebenslaufakte selbstbeschreiben und damit auch verständlich ist.

Eine Besonderheit der Norm sind die Sichten auf die Informationen. Eine Sicht bilden die »kontextspezifische Betrachtungsweise auf und inhaltliche Würdigung von [...] Informationen in der Lebenslaufakte« [12, S. 11] der unterschiedlichen beteiligten Disziplinen ab. Sie können allen Arten von Informationen in der Lebenslaufakte zugeordnet werden. In den Sichten sind sozusagen ergänzende Informationen hinterlegt, die für eine bestimmte Nutzergruppe von Interesse oder notwendig sind. Die Norm schlägt fünf elementare Sichten vor, die erweitert werden können. Diese fünf Sichten basieren auf den wesentlichen Kompetenzen und Handlungsfeldern der wichtigsten Akteure im Anlagenlebenszyklus (vgl. Abbildung 1 links).

Die Festlegungen der Norm gelten unabhängig von der Repräsentation der Informationen und sind für papierbasierte als auch digitale Ansätze anwendbar. Für eine effiziente Verwaltung von Lebenslaufakten nach DIN 77005-1 ist aber eine umfassende Unterstützung durch digitale Lebenslaufakten notwendig. Dies betrifft insbesondere die Umsetzung der Sichten und die effiziente Nutzung von Beziehungen zwischen den Informationen.

4 Normung der digitalen Lebenslaufakte

Unter der digitalen Lebenslaufakte wird eine ganzheitliche informationstechnische Unterstützung zur Umsetzung der Anforderungen an Lebenslaufakten nach DIN 77005-1 verstanden. In der Praxis wird heute noch häufig gefordert, dass die Dokumentation einer Anlage in Papierform zu übergeben ist. Der Teil 1 der Normenreihe hatte daher zunächst eine grundlegende Struktur zum Ziel, um Lebenslaufakten auch ohne komplexe IKT realisieren zu können. Dieser Normenteil bildet damit auch die strukturelle Grundbasis für die Normungsarbeit für eine digitale Lebenslaufakte.

4.1 Ausgangssituation

DIN 77005-1 definiert wichtige Begriffe und Ordnungsstrukturen für Lebenslaufakten und setzt sie in Form eines Informationsmodells in Beziehung. Alle Elemente besitzen Metadaten. Zentrales Konzept dieses Modells ist die »dokumentierte Information«, also die Information auf einem Medium (vgl. ISO 9001). Informationen können in Form von Dokumenten, Daten oder Verweisen in Lebenslaufakten enthalten sein (siehe Abbildung 1). Daten können nach DIN 77005-1 streng genommen nur als Dokumente mit beispielsweise einer tabellarischen Zusammenstellung von Messreihen in Lebenslaufakte enthalten sein. Festlegungen zu Daten sollten mit Verweis auf die geplante Norm DIN 77005-2 zur digitalen Lebenslaufakte nicht getroffen werden. Die Lebenslaufakte ist daher zu konkretisieren, um die Verwaltung von Bewegungsdaten, wie bspw. Messwerte von Anlagen, und Stammdaten zu ermöglichen. Auch die Verweise nach DIN 77005-1 sind weiterzuentwickeln. Sie stehen »stellvertretend für dokumentierte Informationen zur Mehrfachanwendung« [12, S. 12] und enthalten »Informationen zu deren Ablageort« [12, S. 12]. Dieser Ablageort muss hinsichtlich einer digitalen Verlinkung erweitert werden und soll damit auch die Basis zur Definition von Datenschnittstellen zu weiteren Informationssystemen bilden. Für die Metadaten in DIN 77005-1 werden weder verbindliche Datenstrukturen noch Serialisierungsformate vorgeschrieben, da die Anwendungsmethode primär die Form eines informellen Workflows beschreibt. Zur Sicherstellung der Interoperabilität muss die digitale Lebenslaufakte ein Basisformat für den Austausch von Metadaten definieren.

4.2 Erwartungen der Praxis

Die Umsetzung der Anforderungen in DIN 77005-1 stellt die Anwender in der Praxis teilweise vor große Herausforderungen, wecken aber zeitgleich hohe Erwartungen. Dies zeigte sich auf dem Workshop »Lebenslaufakte für technische Anlagen – Nutzen und Potenziale« am 26. März 2019 am DIN in Berlin. Expertinnen und Experten unterschiedlicher Branchen und Industrien diskutierten Anforderungen an und Ansätze für digitale Lebenslaufakte. In drei Arbeitsgruppen befassten sich die Teilnehmerinnen und Teilnehmer mit den Anwendungsmöglichkeiten der digitalen Lebenslaufakte für die Instandhaltung und das Asset Management, mit der Integration der Lebenslaufakte in die Industrie 4.0 Verwaltungsschale (siehe auch [13]) sowie der Anwendung von semantischen Technologien zur effizienten Inhaberschlüsselung der Informationen in Lebenslaufakten.

Die Ergebnisse dieser Diskussionsgruppen zeigen, dass sehr hohe Erwartungen an die digitale Lebenslaufakte gestellt werden. Hierbei wurde jedoch kaum zwischen Inhalten, Inhaltstypen und Funktionen der digitalen Lebenslaufakte unterschieden. Viele Inhalte wie Protokolle, Konformitätserklärungen, Gesetze und Normen sind beispielsweise in dem Inhaltstyp der dokumentierten Information (Dokument) wieder zu finden. Hinsichtlich der Funktionen wurden unter anderem Anforderungen an die Pflege, Sicherheit und Nachverfolgbarkeit von Änderungen formuliert. In der Normung kann die Grundlage gebildet werden, um die erforderlichen Informationen in der Lebenslaufakte zu erfassen. Die Realisierung solcher Funktionen ist jedoch eher eine Frage der unternehmerischen IT-Strategie oder der organisationalen Einbettung.

Die Lebenslaufakte soll wichtige Unterstützungsfunktionen z.B. in den Bereichen Qualitäts-, Risiko- oder Zuverlässigkeitsmanagement leisten. Sie ist nicht auf eine Phase des Anlagenlebenszyklus beschränkt, sondern adressiert das kontinuierliche Informationsmanagement im Lebenszyklus und damit sowohl in der Anlagenherstellung als auch im -betrieb. Die Lebenslaufakte berücksichtigt insbesondere den Aspekt, dass Informationen im Lebensverlauf der Anlage immer wieder zwischen unterschiedlichen Beteiligten ausgetauscht werden.

Die Lebenslaufakte soll helfen, das gesamte Wissen zur Anlage aufzubereiten und darüber hinaus möglichst neues Wissen inferieren. Intelligente Lebenslaufakten sollen umfassende Analysefunktionen ermöglichen. Die Erwartungshaltungen an eine digitale Lebenslaufakte zeigen fließende Übergänge zwischen Anforderungen an Ablagestrukturen, an eine zu realisierende Software und an Algorithmen. Diese übergreifende Sichtweise zeigt deutlich, dass praxisseitig ein hohes Interesse besteht und dass die Potentiale durch eine digitale Lebenslaufakte als unmittelbar wahrgenommen werden.

4.3 Ziele der Normung

Im Rahmen der Normungsarbeiten zur digitalen Lebenslaufakte müssen verschiedene Aspekte aus dem Teil 1 der Normenreihe neu betrachtet und konkretisiert werden. Dies betrifft u.a. die Sicherstellung einer eindeutigen Identifikation von Objekten, Objekttypen aber auch Modellen und Daten. Die Verwaltung von Lebenszyklus- und Lebenszeitinformationen (siehe [14]) wird konsequent umgesetzt, um Doppelablagen zu vermeiden. Das Potential und die Implementierung der in [12, Anhang D] beschriebenen Vorgaben muss den Anwenderinnen und Anwendern klar erläutert werden. Auf der anderen Seite verlieren einige Konzepte aus DIN 77005-1 bei digitalen Lebenslaufakten an Bedeutung. Die Typical verhinderten eine Mehrfachablage identischer Papierdokumentationen. Da digitale Informationen in beliebiger Kardinalität assoziiert werden können, wird dieses Element in der digitalen Lebenslaufakte entfallen.

Zu den wichtigsten Zielstellungen einer Norm zur digitalen Lebenslaufakte zählen:

- Informationsmodell aus Teil 1 formalisieren und konkretisieren;
- Sensorinformationen und Anlagendaten integrieren;
- Vorgaben konkretisieren;
- Empfehlung für Implementierungsansätze geben;
- Empfehlung für Mappings von Teile-Strukturen (Anlagenteile, Ersatzteile, Bauteile) geben.

Mit der Norm zur digitalen Lebenslaufakte, geplant als DIN 77005-2, sollen alle Beteiligten in die Lage versetzt werden, Lebenslaufakten effizient zu verwalten und Informationen bedarfsgerecht auszutauschen. Der aktuelle Stand der Diskussion zeigt, dass es verschiedene Umsetzungsvarianten geben kann.

4.4 Reifegrade digitaler Lebenslaufakten

Die digitale Lebenslaufakte implementiert einen gemeinsamen, interdisziplinären Informationsraum, in dem sämtliche Informationen zur Anlage und ihrer Teile zusammengefasst und strukturiert sind. Ausgehend von den Erwartungen aus der Praxis müssten Systemanforderungen an digitale Lebenslaufakten beschreiben sowie Datenmodelle, -formate und -austauschprozesse spezifiziert werden. Diese Aspekte bauen aufeinander auf. Grundlage ist ein gemeinsames formales (Daten-)Modell. Ein Austauschformat spezifiziert die Serialisierung der Daten und Informationen. Auf dieser Ebene wäre eine digitale Lebenslaufakte eine digitale Repräsentation aller Informationen in einer Lebenslaufakte zu einem Zeitpunkt.

Eine Systemspezifikation definiert Kriterien zur Sicherstellung der Vollständigkeit und geforderten Qualität. Hiermit liefert die Norm zur digitalen Lebenslaufakte den vollständigen Rahmen zur Realisierung entsprechender Softwaresysteme. Diese Ebenen kann man als Reifegradeinteilung für digitale Lebenslaufakten verstehen. Zu jeder Betrachtungsebene stellen sich grundlegende Fragestellungen, die nachfolgend kurz beleuchtet werden.

Abstraktionsgrad der Informationen (Modell): DIN 77005-1 legt keine Anforderungen zu Inhalten in Lebenslaufakten fest. Aus diesem Grund kann man den Abstraktionsgrad der Informationen in digitalen Lebenslaufakten von zwei Extrema her betrachten. Auf der einen Seite wäre es denkbar, dass alle Informationen im Lebenszyklus vollständig und inhaltlich unverändert übernommen werden. Somit kann sichergestellt werden, dass keine Informationen unbegründet verworfen werden. Auf der anderen Seite wäre denkbar, dass lediglich ausgewählte und aggregierte Informationen in der Lebenslaufakte dokumentiert sind. Die digitale Lebenslaufakte wäre somit eine Art Zusammenfassung und die originalen Informationen müssten in anderen Datenquellen nachgeschlagen werden (siehe auch Art der Datenintegration).

Modellintegration (Modell): Das Informationsmodell aus DIN 77005-1 muss formal beschrieben werden. Hierbei soll möglichst auf existierenden Modellen aufgebaut bzw. diese integriert werden. Folgende (Meta-)Modelle sind dabei von Interesse:

- IEC CIM [15]: Das Common Information Model ist ein sehr umfangreiches Informationsmodell für die Energiewirtschaft. Es liegt als UML Modell vor. Für die Datenintegration wird ein ontologiebasierter Ansatz angewendet.
- DIN EN 82045-2 [16]: Dieses Informationsmodell spezifiziert Informationsstrukturen für Metadaten von Dokumenten aus Sicht des Dokumenten-Managements. Für die Modellierung wurde EXPRESS-G verwendet.
- IEC/TS 62771 [17]: Die Zusammenhänge zwischen der Anlagenstruktur, Signalen und Anschlüssen sind in einem Informationsmodell beschrieben. Für die Modellierung wurde EXPRESS-G verwendet.

- W3C SOSA [18]: Die Semantic Sensor Network Ontology definiert ein Informationsmodell für Geräte, Sensoren und Messwerte. Die Spezifikation nutzt OWL zur Modellierung.
- Verwaltungsschale [8]: Das Metamodell zur Industrie 4.0 Verwaltungsschale liegt als UML Modell vor und spezifiziert ihre Elemente mit vorwiegendem Bezug auf die Identifikation von Informationen und Objekten sowie deren Typisierung.
- Modelle der Automatisierung: Es existiert eine Vielzahl von Informationsmodellen für Betriebsdaten, wie bspw. OPC UA [19] Profile, IEC 61400-25 und IEC 61850 für Energieanlagen oder auch AutomationML [20, 21] als generisches Austauschformat in der Automatisierung.
- DIN EN 62507 [22]: Die Norm definiert notwendige Informationsstrukturen für Identifikationssysteme. Für die Modellierung wurde EXPRESS-G verwendet.
- Merkmale: Stammdaten zu Objekten beschreiben im wesentlichen Merkmale. Das Common Data Dictionary der IEC bildet hierfür in der Normung eine zentrale Datenbasis für Merkmale.

Art der Datenintegration (Austauschformat / System): Die digitale Lebenslaufakte fasst Informationen über die Lebensphasen einer Anlage oder ihrer Teile zusammen (vgl. Abbildung 2). Für die Integration von Daten existieren verschiedene Muster, die sich grundlegend in Ansätze mit und ohne Datenredundanz einteilen [23]. Logisch gesehen, wächst die Menge der Informationen in einer Lebenslaufakte über die Zeit stetig. Im Falle einer Integration mit Datenredundanz würden die Informationen von anderen Quellen als Kopie in der Lebenslaufakte abgelegt. Im Falle einer Integration ohne Datenredundanz kann nicht sichergestellt werden, dass die Daten über das gesamte Anlagenleben verfügbar bleiben, zumal sich die Gestaltung des Wertschöpfungsnetzes zur Anlage an Phasenübergängen ändern kann und sich somit auch die interagierenden Systeme ändern.

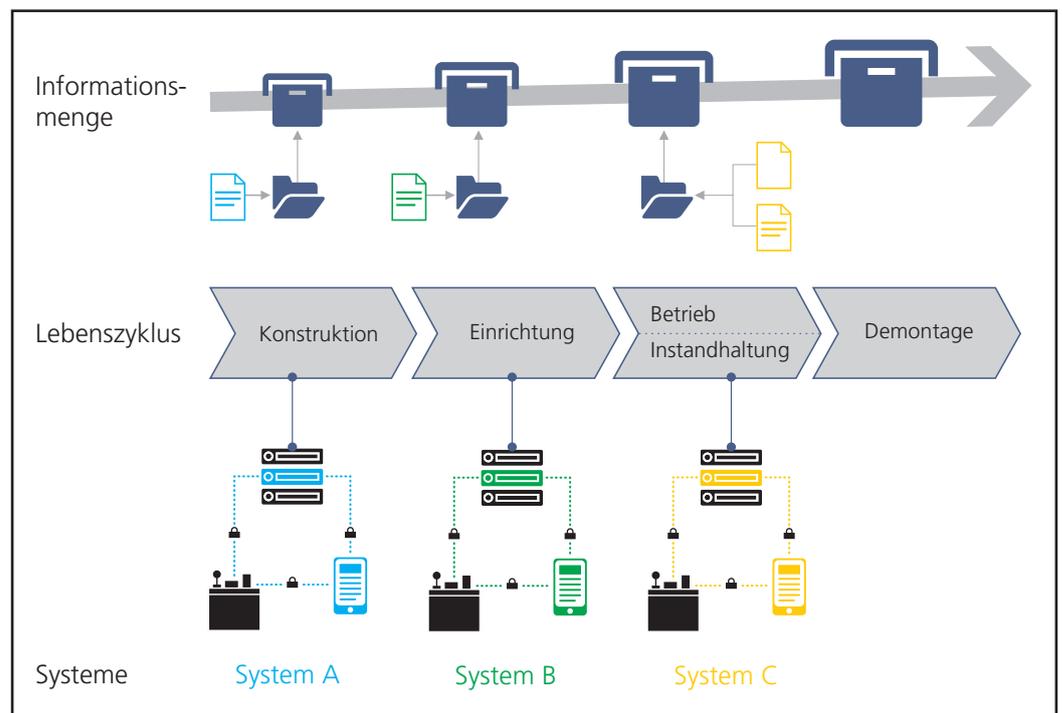


Abbildung 2:
Anwendung der digitalen
Lebenslaufakte über den
Anlagenlebenszyklus hinweg.
Quelle: eigene Darstellung

Übergabeformat (Austauschformat): Es muss möglich sein, eine Lebenslaufakte zwischen zwei Akteuren auszutauschen. Das Übergabeformat sollte eine zeitlich entkoppelte Integration ermöglichen. Hierfür ist eine Paketierung der Dateien und Dokumente mitsamt ihren Metadaten zu spezifizieren. Folgende Normen und Standards könnten als Grundlage dienen:

- DIN EN ISO 21597 [24]: Diese Norm beschreibt die Übergabe von Informationscontainern in der Bauwirtschaft. Ziel ist es, Modelle zu Bauwerken auszutauschen. Teil der Paketierung sind Metadaten, die als Ontologie spezifiziert sind.
- iiRDS [25]: Der intelligent information Request and Delivery Standard spezifiziert ein Übergabeformat für technische Dokumentationen zu Objekten. Der Standard spezifiziert ein Austauschformat sowie eine Ontologie für Metadaten.
- VDI 2770 [26]: Diese Richtlinie definiert die Übergabe von Herstellerinformationen (vorwiegend Dokumente) in der Chemie. Es werden ein Containerformat sowie Metadaten (basierend auf DIN EN 82045-2) festgelegt.
- Verwaltungsschale [8]: Für den Export von Verwaltungsschalen wird das Package File Format for the Asset Administration Shell (AASX) verwendet, welches auf den Open Packaging Conventions (OPC) nach ISO/IEC 29500-2 basiert.

Die Auflistung zeigt, dass vorwiegend Modelle und Dokumente ausgetauscht werden. Es sind aktuell keine Standards zum Austausch von Archiven für Messwerte bekannt, die von der Automatisierungsebene abstrahieren.

Systemanforderungen (System): Die Erwartungshaltung der Praxis zeigt, dass eine Umsetzung der Lebenslaufakte durch verschiedene etablierte Anwendungssysteme erwartet wird. Insbesondere Funktionen zur Verwaltung von Dokumenten und Daten sowie zu Auswertungen und Prüfungen sollte die digitale Lebenslaufakte umsetzen. Auch bei der Anforderungserhebung sollte die genormte Lebenslaufakte möglichst auf den existierenden Grundlagen aufbauen. Die Blätter der VDI Richtlinienseite 4603 [27, 28] enthalten umfassende Anforderungen an Betriebsmanagementsysteme für die Energiewirtschaft, die erweitert und angepasst werden können. Viele dieser grundlegenden Funktionen werden von heutigen betrieblichen Softwaresystemen bereits unterstützt. Zudem zeichnen sich diese Systeme in der Regel durch eine hohe Konfigurierbarkeit aus. Die digitale Lebenslaufakte muss somit nicht zwangsläufig ein neues, eigenständiges Informationssystem darstellen. Eine Norm zur digitalen Lebenslaufakte würde die Basis für die Konfiguration existierender Softwaresysteme beschreiben und Anforderungen festlegen. Ein beispielsweise diesen normativen Festlegungen entsprechendes PDM-System (vgl. Systeme in Abbildung 2) könnte dann auch »digitale Lebenslaufakte« genannt werden.

5 Zusammenfassung

In den letzten Jahren entstanden verschiedene Initiativen und Ansätze, die einen lebenszyklusorientierten Ansatz zur Informationsverwaltung für Anlagen verfolgen. Viele dieser Ansätze sind jedoch auf Fragestellungen bestimmter Anlagenlebenszyklusphasen fokussiert. Die Lebenslaufakte, die Verwaltungsschale und der digitale Zwilling gehören dazu. Die Struktur der Lebenslaufakte liegt seit September 2018 als deutsche Norm vor und ist zunächst unabhängig von technologischen Fragen beschrieben. Die technologieneutrale Norm vermittelt nicht nur die Grundlagen zur Lebenslaufakte, sondern bietet auch einen Anfangspunkt für Unternehmen mit bisher niedrigem Digitalisierungsgrad. Die digitale Lebenslaufakte wird diese Anforderungen und Festlegungen aufgreifen und erweitern, sodass alle Beteiligten in die Lage versetzt werden, digitale Lebenslaufakte zu implementieren und gemeinsam eine Lebenslaufakte zu einer Anlage zu pflegen. Die digitale Lebenslaufakte wird somit zum zentralen digitalen Artefakt im Wertschöpfungsnetz zur Anlage. Hierbei wird ein stärkerer Schwerpunkt auf den Austausch von Lebenslaufakten, Teil-Lebenslaufakten sowie die Reintegration von Informationen gelegt. Die verschiedenen Betrachtungsebenen und Umsetzungsvarianten zur digitalen Lebenslaufakte befinden sich aktuell in Diskussion und werden auch mit anderen Standardisierungsgremien abgestimmt.

6 Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen des Forschungsprojektes MINDSET – Machine Learning for Anomaly Detection in Stream Data (Antragsnummer: 100341518, Projektträger SAB, gefördert durch den europäischen Sozialfond).



7 Literatur

- [1] VDMA, »Maschinenbau in Zahl und Bild 2019,« Frankfurt am Main, Volkswirtschaft und Statistik, 2019.
- [2] M. Broy, Cyber-Physical Systems: Innovation Durch Software-Intensive Eingebettete Systeme. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, ISBN: 978-3-642-14901-6, 2010.
- [3] VDI, »Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen,« Düsseldorf, Statusreport, 2018.
- [4] J. Schmidt, »Aktenwesen für Anlagen,« technische kommunikation, No. 05, S. 39-43, 2018.
- [5] DIN, Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0), DIN SPEC 91345, 2016.
- [6] Plattform Industrie 4.0, »Struktur der Verwaltungsschale: Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente,« Berlin, 2016. Online: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/struktur-der-verwaltungsschale.html>. Letzter Zugriff am 22.08.2019.
- [7] ZVEI, »Beispiele zur Verwaltungsschale der Industrie 4.0-Komponente – Basisteil: Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente,« Frankfurt am Main, 2016. Online: <https://www.zvei.org/presse-medien/publikationen/beispiele-zur-verwaltungsschale-der-industrie-40-komponente-basisteil/>. Letzter Zugriff am 22.08.2019.
- [8] Plattform Industrie 4.0, »Details of the Asset Administration Shell: Part 1 – The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0,« 2018. Online: <https://www.zvei.org/presse-medien/publikationen/details-of-the-asset-administration-shell/>. Letzter Zugriff am 22.08.2019.
- [9] Plattform Industrie 4.0, »Verwaltungsschale in der Praxis: Wie definiere ich Teilmodelle, beispielhafte Teilmodelle und Interaktion zwischen Verwaltungsschalen (Version 1.0,« 2019. Online: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2019-verwaltungsschale-in-der-praxis.html>. Letzter Zugriff am 22.08.2019.
- [10] R. Klostermeier, S. Haag, und A. Benlian, »Digitale Zwillinge – Eine explorative Fallstudie zur Untersuchung von Geschäftsmodellen,« HMD, Vol. 55, No. 2, S. 297-311, 2018.
- [11] C. Wagner et al., »The role of the Industry 4.0 asset administration shell and the digital twin during the life cycle of a plant,« in 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA): IEEE, 2017, S. 1-8.
- [12] DIN, Lebenslaufakte für technische Anlagen – Teil 1: strukturelle und inhaltliche Festlegungen, DIN 77005-1, 2018.
- [13] DIN and DKE, »Deutsche Normungsroadmap Industrie 4.0 Version 3,« 2018. Online: <https://www.dke.de/de/themen/industrie-4-0/die-deutsche-normungs-roadmap-industrie-4-0>. Letzter Zugriff am 22.08.2019.
- [14] DIN, Life-Cycle-Management von Systemen und Produkten der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik der Industrie, DIN EN 62890 (VDE 0810-890), 2017.

- [15] M. Uslar, M. Specht, S. Rohjans, J. Trefke, und J. M. Vasquez Gonzalez, The Common Information Model CIM: IEC 61968/61970 and 62325 – A practical introduction to the CIM. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012.
- [16] DIN, Dokumentenmanagement – Teil 2: Metadaten und Informationsreferenzmodelle, DIN EN 82045-2, 2005.
- [17] IEC, Information model covering the contents of IEC 81346-1 and IEC 81346-2, IEC 61175, IEC 61666 and IEC 81714-3, PD IEC/TS 62771, 2012.
- [18] W3C, Semantic Sensor Network Ontology, W3C Recommendation. Online: <https://www.w3.org/TR/vocab-ssn/>. Letzter Zugriff am 22.08.2019.
- [19] W. Mahnke, S.-H. Leitner, und M. Damm, OPC Unified Architecture. Berlin: Springer, 2009.
- [20] R. Drath, Hrsg., Datenaustausch in der Anlagenplanung mit AutomationML: Integration von CAEX, PLCopen XML und COLLADA. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010.
- [21] A. Lüder and N. Schmidt, »AutomationML in a Nutshell,« in Handbuch Industrie 4.0 Bd.2, B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl, and M. ten Hompel, Hrsg., Berlin, Heidelberg: Springer, 2017, S. 213-258.
- [22] DIN, Anforderungen an Identifikationssysteme zur Unterstützung eines eindeutigen Informationsaustauschs – Teil 1: Grundsätze und Methodik, DIN EN 62507-1, 2013.
- [23] A. Schwinn and J. Schelp, »Design patterns for data integration,« Journal of Enterprise Information Management, Vol. 18, No. 4, S. 471-482, 2005.
- [24] DIN, Informationscontainer zur Datenübergabe – Austausch-Spezifikation – Teil 1: Container, DIN EN ISO 21597-1, 2018.
- [25] tekomp, »tekomp iIRDS Standard: intelligent information Request and Delivery Standard,« Version 1.0 Release Date 18 April 2018, 2018. Online: <https://iirds.org/>. Letzter Zugriff am 22.08.2019.
- [26] VDI, Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen – Mindestanforderungen an digitale Herstellerinformationen für die Prozessindustrie – Grundlagen, VDI 2770, 2018.
- [27] VDI, Betriebsmanagementsysteme in der Energiewirtschaft, VDI 4603-1, 2014.
- [28] VDI, Betriebsmanagementsysteme für Windkraft- und Photovoltaikanlagen, VDI 4603-2, 2018.

ERFAHRUNGSBERICHT ZUR DIGITALISIERUNG IM UNTERNEHMEN

Maria Weigel, Christian Jörke, Daniel Jachmann, Dr. Simon Adler

1 Einleitung

Das Unternehmen »Dr. Weigel Anlagenbau GmbH« (WAB) hat seinen Fokus in der Konzeption, Planung und schlüsselfertigen Realisierung sowie der Betreuung von Industrieanlagen (Druckluft-, Kühlwasser- und Sonderanlagen) in Sachsen-Anhalt und deutschlandweit. WAB hat bereits früh mit der Digitalisierung seiner Prozesse begonnen, um einerseits seine internen Abläufe zu optimieren und andererseits die Servicequalität für seine Kunden stetig zu verbessern.

Digitalisierung bietet viele Vorteile gegenüber dem papiergetriebenen Vorgehen. Dennoch bringt jede Technologie neue Herausforderungen, die meist erst nach der damit verbundenen Investition beginnen. Die nachhaltige Nutzung von Daten ist häufig schwieriger als in der akademischen Welt dargestellt. Gerade wenn Unternehmen ihr Kerngeschäft nicht im IT-Bereich haben werden Software und Systeme nur schrittweise eingeführt. Das Zusammenführen der Systeme und ihrer Daten ist schwierig. Neue sich ergebende Möglichkeiten führen zu zusätzlichen Anforderungen an ggf. bereits bestehende Systeme.

Im Folgenden werden wir von einigen Erfahrungen berichten, die wir im Rahmen der Digitalisierung gemacht haben und einen »Best-Practice-Fall« aus der Praxis beschreiben.

WAB wurde im Jahr 1993 gegründet und betreut deutschlandweit mehr als tausend Kunden im Bereich Druckluft-, Kühlwasser- und Sonderanlagen. Unsere Servicekräfte sind Experten, die im Rahmen des Betreuungsprogrammes die regelmäßigen Wartungen an den Maschinen und Anlagen unserer Kunden durchführen. Dabei handelt es sich jeweils um kleine, mittlere oder große Wartungen an Kompressoren sowie deren Zubehör-Komponenten.

Wir widmen uns immer wieder verschiedensten Forschungsprojekten, um gemeinsam mit Partnern digitale Technologien erfolgreich einzuführen. Dies muss jedoch schrittweise erfolgen. Zunächst muss klar sein welcher Teilaspekt digital unterstützt werden soll und welche Zielstellung durch welche Anforderungen verfolgt wird. Nach der Investition müssen die Technologien dann auch den erhofften Vorteil erbringen. Dies wird manchmal erst sichtbar, wenn man Erfahrungen in der Nutzung und Verwaltung der Systeme hat und die realen Aufwände kennt.

2 Arbeitstag im Service

Im Folgenden beschreiben wir zunächst einen klassischen Serviceablauf. Danach stellen wir darauf aufbauend Maßnahmen zur Digitalisierung vor und geben Hinweise basierend auf unseren Erfahrungen.

2.1 Grobablauf

Ein typischer Arbeitstag unserer Servicetechniker beginnt mit der Abholung der Arbeitsscheine in Papierform und der notwendigen Ersatzteile im Betrieb. Jeder Monteur verfügt über ein Notebook für den Zugriff auf Bauteilinformationen, Stromlaufpläne oder Maschinensteuerungen sowie Datenblätter und Gebrauchsanweisungen. Über das Notebook kann der Monteur bei Bedarf die Beschaffung spezieller Ersatzteile, die kein Bestandteil der regelmäßigen Wartung sind und sich während der Inspektion als »beschädigt« herausstellen, veranlassen.

Nach Kommissionierung und Prüfung von Ersatzteilen und Arbeitsmaterial fährt der Techniker zum Kunden. Gemeinsam mit dem verantwortlichen Mitarbeiter des Kunden wird die Anlage übernommen und abgeschaltet bevor der Servicemonteure die erforderliche Wartung durchführt.

Nach Abschluss der Wartung erfolgt der gemeinsame Testlauf und die Übergabe der Anlage an den Kunden. Die erfolgten Leistungen werden auf dem Arbeitsschein dokumentiert, der vom Kunden vor Ort unterzeichnet wird und Grundlage der Abrechnung ist. Der Monteur erfasst auf dem Arbeitsschein u.a.:

- aktualisierte Stammdaten des Kunden
- Bemerkungen zu Sonderfällen
- festgestellte Mängel
- gewechselte Anlagenteile
- verwendete Betriebsstoffe
- Arbeitszeit für die Wartung
- An- und Abreisezeitpunkt
- gefahrene Kilometer

Zurück in der Unternehmenszentrale gibt der Servicemonteure den unterschriebenen Arbeitsschein zur Abrechnung ab und bereitet sich auf seinen Einsatz am Folgetag vor.

2.2 Arbeitssituation und -umfeld

Während der Inspektion (Abbildung 1) sind unsere Monteure meistens allein unterwegs und werden nur in Ausnahmefällen von Kollegen unterstützt. Dies geschieht z. B. beim Anlernen neuer Kollegen, bei Einführung von Mitarbeitern an für sie neue Anlagen oder bei besonders umfangreichen Wartungen.



*Bild 1:
Wartung eines ölgeschmierten
Kompressors.
Quelle: Dr. Weigel Anlagenbau
GmbH*

Es ist uns wichtig, dass unsere Servicetechniker befähigt sind, ihre Arbeit ständig zu kontrollieren und selbst kleinste Fehler zu vermeiden. Die Servicequalität hat absolute Priorität, um ungeplante Stillstände zu verhindern und einen sorgen- und störungsfreien Betrieb der Anlagen unserer Kunden zu gewährleisten.

Bei Teameinsätzen unterstützen sich die Monteure bspw. bei schweren Hebeaufgaben. Der Großteil der Arbeiten wird jedoch meist in verschiedenen Anlagenbereichen geleistet, so dass die Kollegen unabhängig sind und sich nur wenig abstimmen können. Rückfragen an die Unternehmenszentrale sind während der Arbeit nur erforderlich, wenn sie aufgrund unvorhergesehener Schwierigkeiten mit Zeitverzügen rechnen.

Während der Wartung kommt der Servicemonteure ständig in Kontakt mit verschiedensten Schmiermitteln. Hierbei können sogar die Innenflächen der Arbeitshandschuhe verschmutzt werden. Unter anderem aufgrund umgebender Anlagen ist auch der Lärmpegel häufig sehr hoch und erfordert das Tragen eines Gehörschutzes. Dies erschwert neben der Kommunikation auch die Wahrnehmung von Signalen, wie beispielsweise das Klingeln eines Telefons.

Die klimatischen Bedingungen variieren je nach Kunde und der vorhandenen Zuluft zum Anlagenbereich. Je nach Außentemperatur ist in der Anlagenumgebung mit Werten zwischen 0°C bis +40°C zu rechnen.

3 Zielstellung der Digitalisierung

Die Digitalisierung ist für uns kein Selbstzweck. Spätestens seit der Diskussion um Industrie 4.0 entwickeln sich immer vielfältigere Angebote von IT-Dienstleistern und Cloudanbietern. Unser Kerngeschäft ist jedoch der Industrieanlagenservice und digitale Maßnahmen müssen unsere Prozesse unterstützen. Digitale Technologien ermöglichen neue Wege Informationen auszutauschen und damit neue und hoffentlich bessere Arbeitsprozesse. Die Veränderung von Betriebsabläufen braucht jedoch Zeit, um die Prozesse auf die Technologie und die Technologie auf die Prozesse abzustimmen.

Übergeordnet arbeiten wir konsequent und schrittweise an der Digitalisierung unseres Service. Konkret planen wir langfristig die Einführung:

- der digitalen Arbeitsvorbereitung,
- des digitalen Ersatzteilmanagements,
- des digitalen Arbeitsscheins,
- der digitalen Anlagenmeldung.

4 Mobiles Arbeiten bei WAB

Bisher sind unsere Monteure mit Notebooks im Einsatz. Die Notebooks verbleiben während der Arbeit aufgrund der Umgebungsbedingungen im Servicefahrzeug. Um den Servicemonteure besser unterstützen zu können, planen wir den stärkeren Einsatz mobiler Geräte wie Smartphones oder Tablets. Basierend auf unserer Erfahrung war uns klar, dass der Einsatz dieser Geräte auch eine flexible Datenbereitstellung erfordert. Des Weiteren war es uns besonders wichtig, dass die Nutzung, die auch die Administration umfasst, nicht zu Mehrbelastungen führt.

4.1 Digitale Arbeitsvorbereitung

Die Kunden und Vertragsverwaltung erfolgt momentan über das System Taifun Handwerk. Aus diesem System werden die Arbeitsscheine für die Wartung erzeugt. Prinzipiell wäre es hierbei wünschenswert, wenn Mitarbeiter die Arbeitsscheine digital erhalten können und automatisiert und

dezentral zurückspielen können. Bei der damaligen Systemwahl hatten wir vor allem Prozessanforderungen definiert, wie eine Kundenverwaltung und die Möglichkeit Aufträge und Arbeitsscheine verwalten zu können. Für die Zielstellung des digitalen Service kommen jetzt weitere Anforderungen, wie die Notwendigkeit offener Datenschnittstellen auf, die das jetzige System jedoch nicht bietet. Bei Systemen ohne offene Schnittstellen sollte heutzutage abgewogen werden. Wenn Software zur Erfassung von Prozessdaten genutzt wird, die keine Schnittstelle zur automatisierten Weiterverarbeitung bietet, ist ein Wechsel aufwändig und es besteht die Gefahr der Abhängigkeit vom Softwareanbieter. Aus heutiger Sicht hat die Anforderung an geeignete Schnittstellen daher in den letzten Jahren an Priorität gewonnen.

4.2 Digital qualifizierte Mitarbeiter

Obwohl ein digitaler Service denkbar ist und Technologien existieren, zeigt das Beispiel der digitalen Arbeitsvorbereitung, dass die Anforderungen der Systeme mit Bedacht und Vorausschau gewählt werden müssen. Zwar gibt es eine Reihe von Consultant Unternehmen, aber man benötigt aus unserer Sicht vor allem Mitarbeiter, die sich für die digitalen Themen interessieren, sich dafür begeistern können und sich mit solchen Aspekten beschäftigen. Zumindest einfache Programmierungen, wie beispielsweise zur Übersetzung von xml-Dateien, sollte unabhängig von Dritten möglich sein. Gerade der Anfang eines digitalen Themas wird bei uns häufig von aktuellen Bedarfen und einzelnen Mitarbeitern aus verschiedenen Fachbereichen getrieben. Es ist wichtig, wenn auch nicht ganz einfach, diesen Mitarbeitern den notwendigen Freiraum einzuräumen, damit digitale Projekte gelingen können.

4.3 Digitale Ersatzteilkommissionierung und digitaler Arbeitsschein

Eine weitere wichtige Zielstellung ist die Unterstützung bei der Arbeitsvorbereitung und dem -abschluss. In der Vorbereitung erfolgt die Kommissionierung der erforderlichen Ersatzteile und Werkstücke. Prinzipiell kann dies über entsprechende Lagerverwaltungssysteme abgedeckt werden, allerdings erfordert dies die Umstellung der betrieblichen Prozesse. Im Forschungsprojekt ArdiAS ist die Erprobung eines Prototyps geplant, der ergänzend zur eingesetzten Kundenverwaltung agieren würde. Die Materialien sind anlagen- und kundenspezifisch. Es erfordert eine separate Datenbank, um die Zuordnung der Arbeitsmaterialien durchzuführen. Eine redundante Datenhaltung käme in der Doppelverwaltung von Kundennummer und Anlagenkennzeichnung zum Tragen. Die vorhandenen Systeme können jedoch zunächst weiterverwendet werden und dies ermöglicht dann die Bewertung der Auswirkungen auf die Prozesse. Natürlich wird im Kontext der Digitalisierung eine redundanzfreie Datenverwaltung angestrebt. Dies würde aber ggf. eine Ablösung der eingesetzten Verwaltungssoftware nach sich ziehen, was zu potentiell hohen Kosten für die Umstellung der Prozesse führen würde. Der Prototyp wird vom Fraunhofer IFF unter der Maßgabe entwickelt zum einen möglichst wenige Daten zu speichern und diese, auch unabhängig von der Software, also über freie Schnittstellen bereitzustellen.

4.4 Mobile Endgeräte

Im Projekt ArdiAS wollen wir die gesunde Integration von Smartphones und Tablets in die Arbeitsprozesse unterstützen. Die heutzutage verfügbaren Geräte sind leistungsstark, kompakt und können besser mitgeführt werden als das herkömmliche Notebook. Neben den technischen Herausforderungen bei der Anbindung an unsere jetzigen Systeme haben wir einige praktische Aspekte festgestellt. Unsere Servicetechniker arbeiten in unterschiedlichsten Umgebungen. Die Geräte sollten gegen Fallschutz und ggf. gegen Schmiermittel geschützt werden. Hierbei geht es nicht nur um den Geräteschutz als vielmehr um die Bedienbarkeit. Eine Möglichkeit ist die Verwendung spezieller smartpho- netauglicher Arbeitshandschuhe.

Aus jetziger Sicht ist auch Vorsicht bei den vorherrschenden Temperaturbereichen geboten. Im Anlagenumfeld können im Winter Temperaturen um die 0°C auftreten. Meistens ist die Außentemperatur deutlich geringer. Bei sehr niedrigen Temperaturen entladen sich die Akkus der mobilen Geräte innerhalb weniger Minuten. Wenn das System als Arbeitsgerät im Serviceeinsatz verwendet wird, müssen unsere Mitarbeiter über diese Eigenheit informiert werden, damit sie die Geräte nicht im Kofferraum transportieren, regelmäßig laden und nach Möglichkeit im Winter in Körpernähe mit sich führen.

5 Digitale Anlagenmeldung

Wir möchten kontinuierlich die Servicequalität für unsere Kunden erhöhen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass Anlagen sich selbständig melden, wenn kritische Betriebszustände eintreten. Eine Übersichtskarte der Anlagen mit dem bewerteten Betriebszustand würde es ermöglichen, den Einsatz vorzubereiten, bevor Störungen beim Kunden wirksam werden.

Die Datenübermittlung von Anlagen ist nicht immer gewünscht und sollte optional und vom Kunden kontrollierbar sein. Für bestimmte Anlagen besteht die Möglichkeit, Anlagendaten vor Ort an der Anlage zu bewerten.

Die Auswertung von Anlagendaten kann viele Erkenntnisse bringen, die eine Verbesserung des Anlagenbetriebes zur Folge haben. Zunächst muss jedoch ein Zugriff auf Anlagendaten möglich sein. Durch geeignete Hardware können wir eigene Monitor-Server als Busteilnehmer integrieren. Wenn das Datenprotokoll bekannt ist, ist der Zugriff auf Anlagendaten möglich. Bei Umbau der Anlagen muss hier jedoch meist eine Anpassung erfolgen.

Für die Datenbewertung haben wir einen regelbasierenden Ansatz sowie die Möglichkeiten durch maschinenbasiertes Lernen (ML) in Kooperation mit dem Fraunhofer IFF untersucht.

Der regelbasierende Ansatz bewertet Signale der Steuerungen nach festen Gleichungen, so wie man es ggf. von Software zur Tabellenkalkulation kennt. Solche Regeln sind leicht nachzuvollziehen und zu formulieren. Man muss sich jedoch auch der Zusammenhänge bewusst sein. Es erlaubt unseren Monteuren, ihre Erfahrungen mit spezifischen Anlagen in Regeln zu formulieren und so Soft-Sensoren flexibel zu definieren. Hierdurch können längerfristig Zusammenhänge flexibel beobachtet werden oder anlagenspezifisch Vorwarnstufen genutzt werden.

Wir wollten ebenso untersuchen, ob ML für unsere Anwendung sinnvoll ist. Wir haben in einem Vorprojekt mit dem Fraunhofer IFF über einen längeren Zeitraum in regelmäßigen Abständen Anlagendaten erfasst, auf Merkmale analysiert und diese gemeinsam mit unseren Experten und den ML-Experten des IFF diskutiert. Die Diskussionen zeigten, dass man verschiedene Ereignisse im Betrieb erkennen kann. Es war jedoch schwieriger als erwartet, belastbare Merkmale zu finden. Die Anlagenumgebung verändert sich mit der Zeit und dies führt teilweise zu Veränderungen der Werte und dazu, dass Werte neuerer Messreihen nicht mehr mit älteren Messreihen vergleichbar sind. Um geeignete ML-Modelle zu trainieren sind jedoch Messreihen erforderlich, die zum aktuellen Betriebsumfeld passen und die zu trainierenden Ereignisse beinhalten.

In einem Fall haben wir in den Messreihen einen Temperaturanstieg in der Anlage erkannt, der durch die ML-Bewertung auch korrekt als Ereignis erkannt wurde. Der Grund war jedoch, dass die Raumbelüftung aus Brandschutzgründen verändert wurde und die Umgebungstemperatur generell anstieg. Der Anstieg in den Daten ist nicht unbedingt eine lineare Verschiebung, sondern ein verändertes Verhaltensmuster. Das ML-System hatte korrekt ein ungewöhnliches Ereignis erkannt und hätte dies auch korrekt gemeldet, aber es wäre nicht auf einen Anlagenfehler zurückzuführen gewesen. Wenn man solche Ereignisse differenzieren will, müsste man zusätzliche Umgebungssensoren integrieren. Das eigentliche Problem war jedoch, dass wir nach dieser Baumaßnahme neue Messreihen für das Training hätten aufnehmen müssen, da ältere Messungen nicht mehr vergleichbar waren.

Wir sehen in ML ein hohes Potential, aber man muss sich damit beschäftigen und der Aufwand ist hoch, wenn man viele verschiedene Anlagen in unterschiedlichen Konfigurationen beaufsichtigt. Wir verfolgen das Thema kontinuierlich weiter und halten einen Einsatz für hilfreich, wenn ML-Modelle nachvollziehbar und im laufenden Betrieb angelernt werden können. Wir haben aber die notwendige Anforderung, dass solche Datenauswertungen täglichen Betrieb nicht zu höheren Aufwänden führen dürfen.

Wir planen zukünftig, dass die Anlagen bei kritischen Systemzuständen eine Meldung an die Servicezentrale versenden können und sehen vorläufig die regelbasierte Variante als ausreichend an. Hinsichtlich der Datenübertragung muss diese immer für den Kunden transparent sein. Soweit der Kunde eine schnellere Reaktionszeit des Service bevorzugt, soll er die Möglichkeit haben, uns entsprechende Statusmeldungen zugänglich zu machen.

6 Diskussion und Fazit

Digitalisierung vereinfacht viele Abläufe und ermöglicht es viel besser, Informationen gezielt weiterzugeben. Im digitalen Service können unsere Mitarbeiter gerade die von ihnen häufig als lästig wahrgenommenen Tätigkeiten reduzieren. Für die Arbeitsscheine wäre eine digitale Bereitstellung über ein Assistenzsystem hilfreich. Das spart Papier und vor allem wird die Übermittlung nach Erledigung der Arbeiten vereinfacht und somit unnötige »Zettelwirtschaft« vermieden. Außerdem könnten wir die Kommissionierung und den Einkauf des Arbeitsmaterials durch ein digitales System vereinfachen.

Ziel der Digitalisierung ist in den meisten Fällen, dass man aus einem Status-Quo heraus zukünftig digitaler arbeiten möchte. Obwohl diese Veränderungen umfangreich sind, müssen sie quasi nebenbei erfolgen. Die neue Arbeitsweise muss zudem von den Mitarbeitern auch getragen und für hilfreich empfunden werden. Man sollte nicht übereilt vorgehen, sondern ausreichend Zeit einplanen, um Dinge im Alltag auszuprobieren und bewerten zu können.

7 Danksagungen

Das Forschungsprojekt »Gesundes mobiles Arbeiten mit digitalen Assistenzsystemen im technischen Service« (ArdiAS) wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert (FKZ 02L15A030) und durch den Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.



NACHRICHTEN-ORIENTIERTE KOMMUNIKATIONSARCHITEKTUR FÜR CYBERPHYSISCHE PRODUKTIONSSYSTEME

Yurii Pavlovskiy, Dr. Simon Adler, Steffen Masik, Andreas Pape

1 Einführung

Unternehmen nutzen zunehmend die Möglichkeiten der Digitalisierung, um Informationen zwischen verschiedenen Arbeitsbereichen zu kommunizieren. Bisher werden in vielen Unternehmen Informationen in Formaten ausgetauscht, die auch für den Menschen verständlich sind. Durch die integrierte Nutzung digitaler Systeme nutzen Unternehmen zunehmend Systeme die Informationen direkt austauschen und können so eine breite Datenbasis, beispielsweise in geeigneten zentralen Datenbanksystemen, für die Informationsbereitstellung nutzen. Dies ermöglicht nicht nur eine schnellere Weitergabe von Informationen, sondern eröffnet neue Geschäftsmodelle. Bei technischen Systemen stehen hierbei die digitale Anlagendokumentation und die Zustandsdaten im Fokus.

Die digitale Anlagendokumentation beinhaltet Anlagenstrukturen, Konstruktionsdaten bis hin zu Protokollen und Aufgaben im Anlagenbetrieb. Zustandsdaten adressieren hingegen aktuelle Werte der Sensoren, Aktoren sowie Meldungen zu Störungen. Ein für eine bestimmte Anwendung ausreichend detailliertes und aktuelles Datenmodell des realen Systems wird als digitaler Zwilling bezeichnet. Durch kontinuierliche Analysen dieser komplexen digitalen Datenbasis wird versucht, versteckte Erkenntnisse zu erhalten, die man auf die Realität übertragen kann. Die Echtzeitanforderung (DIN 44300) an die Aktualität der Zustandsdaten ist abhängig von den betrachteten Prozessen. Für Erkenntnisse zur Anlagenregelung sind beispielsweise Daten im Takt weniger Millisekunden notwendig, während für die Beurteilung logistischer Zusammenhänge auf Unternehmensebene ggf. Daten im Minutentakt ausreichen können.

Wenn in der Praxis eine Anlage optimiert werden soll, dann muss auch die umgebende Logistikette beurteilt werden. Vorteile einer schnelleren Produktion können leicht unwirksam werden, wenn Rohstoffe nicht zeitig genug angeliefert oder Produkte nicht abgefertigt werden können und Puffer überlaufen. Offensichtlich ist für die Planung von Produktionsänderungen die Betrachtung einer Ebene des digitalen Zwillings unzureichend. Eine vollständige Abbildung einer Fabrik mit jeder Anlage bis auf Anlagenteilebene und mit jedem Zustandswert ist jedoch in der Regel nicht wirtschaftlich oder sinnvoll.

Diese Arbeit präsentiert erste Ergebnisse zur Kopplung digitaler Zwillinge in unterschiedlichen Betrachtungsebenen. Betrachtet werden hierbei die Logistik als makroskopische Ebene und die Anlagensimulation als mesoskopische Ebene der Fabrik. Das Ziel ist die Entwicklung und Evaluation einer Methode für die Realisierung des digitalen Zwillings zur durchgängigen Beurteilung von Änderungen in komplexen Produktionsanlagen sowohl auf Anlagen- als auch auf Logistikebene in einem interaktiven virtuellen Erlebnisraum.

Die Methode basiert auf dem Konzept cyber-physischer Produktionssysteme (CPPS, CPS – cyber-physische Produktionssysteme). CPPS verbinden physikalische Objekte und Prozesse (z.B. Roboterzellen, unbemannten Fahrzeuge, Sensoren, bis Produktionsmaschinen und Linien usw.) mit virtuellen Objekten und Prozessen – dem digitalen Zwilling – über teilöffentliche Informationsnetzwerke [Song2016]. Für die Methodenentwicklung wird aktuell der Elbedome am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF genutzt. Hierbei handelt es sich um ein Mixed-Reality-Labor mit einer 360-Grad Projektionswand, in dem bis zu 20 Personen gleichzeitig virtuelle Modelle im Maßstab 1:1 diskutieren und evaluieren können.

Abschnitt 2 beschreibt den Stand der Technik; Abschnitt 3 geht auf die verwendeten Ansätze sowie die vorgeschlagene Kommunikationsarchitektur ein; Abschnitt 4 beschreibt die Ergebnisse; Abschnitt 5 stellt die Aussichten der zukünftigen Arbeit vor.

2 Stand der Technik

Die Reviews zum Stand der Technik bei Umsetzung von CPS sind u.a. in [1] [2] und [3] verfügbar. Monostori et al. [1] analysierten die Literatur bezüglich CPS und präsentierten einen Überblick über Fallstudien, Implementierung und Forschung, sowie einen Ausblick auf die Zukunft. Zhou et al. [3] präsentierten den Überblick über das Testen von CPS. Sie bieten einen der anspruchsvollsten Aspekte mit Paradigmen, Technologien, Methoden und Infrastruktur, sowie einen Ausblick.

Westermann et. al [4] analysierten mehrere Definitionen von CPS. Anhand dessen leiteten sie die Referenzarchitektur und Reifegrade des Einsatzes von CPS in Produktion ab.

Kaestner et al. [5] haben die Kommunikationsansätze analysiert und eine Architektur für vertikale und horizontale Integration der CPS vorgeschlagen, dass die Anforderungen der industriellen Nutzung an Echtzeit, Kosteneffizienz, Benutzerfreundlichkeit und Sicherheit erfüllt.

Die Arbeit [6] schlägt ein Referenzmodell der auf den digitalen Zwillingen basierten Cloud-Architektur für CPS vor. Dazu werden analytische Modelle der Berechnung, Steuerung und Kommunikation eingeführt und Konfigurationen für die Cloud der physikalischen Sensoren, Digitaler Zwilling Prozesse und Sensor-Service Integration besprochen.

Faller und Höftmann [7] präsentierten ein Forschungsszenario für die Untersuchung der serviceorientierten Kommunikation für CPPS und entwickelten eine Architektur basierend auf OPC-UA in der Umsetzung.

Brito [8] diskutiert die Realisierung der CPS mithilfe der Fog-Computing Paradigma. Die standardorientierte Kommunikationsarchitektur und containerbasierte Orchestrierung werden vorgeschlagen und modelliert, um die Programmierbarkeit, Autonomie und Kommunikation für Smart Factory zu erreichen.

Jiang [9] schlug eine erweiterte 8C Architektur für eine produktorientierte Produktion als eine Leitlinie für die Entwicklung der CPS der Smart Factory vor und zeigte beispielhaft die Umsetzung einer solchen Architektur.

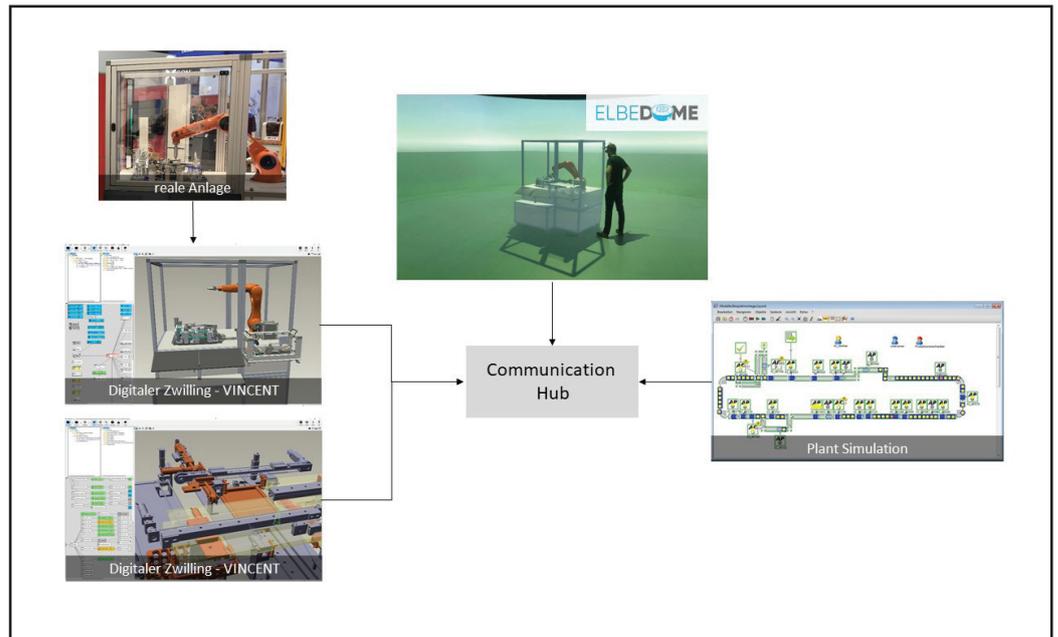
Liu et al. [10] präsentierten eine Methode zur Virtualisierung von Ressourcen einer Cloud für die cyber-physische Produktion mittels MTConnect, TCP/IP und REST und die Evaluation mithilfe eines geographisch verteilten Demonstrators.

Sutton [11] schlug eine neue Plattform und Kommunikationsarchitektur für ereignisbasierende cyber-physische Systeme mit verbesserter Reaktionsbereitschaft, Energieeffizienz und Adaptivität vor. Zengen et al. [12] beschrieben eine Architektur für CPS Netzwerke und untersuchten als Anwendungsfall die kooperative mobile Robotik.

3 Methoden

Das vom Fraunhofer IFF entwickelte Simulationstool VINCENT [13] [14] ermöglicht die schnelle Auslegung des Verhaltens mechatronischer Anlagen (u.a. Roboterzellen, Sondermaschinen) und die Verifizierung eines Automatisierungskonzepts am digitalen Zwilling. Anhand der virtuellen Anlage kann der Planer Abläufe virtuell animieren oder vorführen. Aus diesen Abläufen wird der weitere

Abbildung 1:
 Grundlegende Struktur der Kommunikation. Materialflusssimulation, digitaler Anlagenzwilling und interaktive Umgebung kommunizieren über einen zentralen Hub. Realanlagen können über ihren digitalen Zwilling indirekt eingebunden werden.
 Quelle: eigene Darstellung



Automatisierungsprozess durch eine partielle Generierung des Steuerungscode unterstützt. Im Anlagenbetrieb bildet das virtuelle Anlagenmodell sowohl den Anlagenzustand auf Basis realer Anlagen-
 daten als auch alternativ anhand einer simulierten Anlagensteuerung ab. Das resultierende virtuelle
 Modell entspricht einer kinematischen Detailsimulation bis auf Anlagenteilebene.

Als Werkzeug für Materialflusssimulation wird im vorgestellten Projekt die Software »Siemens Plant
 Simulation« verwendet. Im Vergleich zur kinematischen Anlagensimulation basiert diese Simulation
 auf ereignisdiskreten Systemmodellen. Bei Simulation vollständiger Fertigungsstraßen ist es ggf.
 ausreichend, dass nur Anlagen von besonderem Interesse als kinematische Detailsimulation abge-
 bildet werden. Periphere Anlagen können, sowie in logistischen Simulationen üblich, als Graybox-
 Modell anhand ihres statistischen Zeitverhaltens zwischen eingehendem Rohstoff und ausgehendem
 Fertigungsergebnis approximiert werden. Dies ermöglicht eine problemadaptive Konzentration der
 Simulation im virtuellen Erlebnisraum auf relevante Aspekte.

Ein charakteristisches Merkmal von CPS sind die Verbindungen mit externen Komponenten über ein
 digitales Kommunikationsnetzwerk.

Die übergeordnete Systemebene bildet die logistische Simulation auf Fabrikebene durch Plant Simu-
 lation. Anlagen werden hier als Gray- oder Blackbox-Modelle simuliert. Sie werden als Elemente
 berücksichtigt, die eingehendes Material bearbeiten und nach einer Zeitspanne das Fertigungser-
 gebnis weitergeben. Durch das Kommunikationsprotokoll können diese vereinfachten Simulations-
 modelle durch digitale Zwillinge der Anlagen erweitert werden. Trifft auf logistischer Ebene Material
 ein, wird dies von Plant Simulation an den digitalen Zwilling gemeldet. Die virtuelle Anlage verar-
 beitet das Material, basierend auf den festgelegten Abläufen einer realen oder simulierten Steuerung.
 Bei Fertigstellung wird das Vorliegen des Fertigungsergebnisses der Anlage wieder an die logistische
 Simulationsebene zurückgemeldet, die den Transport zwischen den Anlagen der Fertigungsstraßen
 sowie existierende Puffer abbildet. Der digitale Zwilling kann auch mit einer realen Anlage gekoppelt
 werden. Die realen Anlagenzustände werden dann auch vom digitalen Zwilling wiedergespiegelt und
 visualisiert werden können.

Reale Anlage, digitaler Zwilling oder Blackbox Modell können in Ebene der logistischen Simulation
 frei ausgetauscht werden. Dies ermöglicht beispielsweise die gemischte Simulation realer Anlagen mit
 digitalen Zwillingen zukünftiger Anlagen und Blackbox Modellen von planungsunkritischen Kompo-

nenten. Die Gesamtarchitektur ist auf der Abbildung 1 zu sehen.

Die Kommunikation zwischen der einzelnen CPS widerspiegelt die Wechselwirkungen des realen Systems. Die Wechselwirkungen zwischen Komponenten des CPS nehmen Formen des Energie-, Material- und Informationsflusses an [4]. Es wurden hauptsächlich Material- und Informationsflüsse bei der Entwicklung der Architektur (Abbildung 2) berücksichtigt.

3.1 Kommunikationsprotokoll

Die Protokolle für Machine-to-Machine (M2M) Kommunikation können in folgende drei signifikanten Gruppen eingeordnet werden: Service-orientierte Architekturen (SOA), repräsentative Zustandsübertragung (REST) und Nachrichten-orientierte Architekturen [15].

Die Protokolle OPC-UA (SOA) und MQTT (nachrichten-orientiert) finden bereits eine Anwendung für die vertikale Integration in CPPS-Netzwerke [5]. Die Nachrichten-orientierte Architektur findet außerdem in der Robotik [16] große Verbreitung. Im Projekt wurde die die Nachrichten-orientierte Architektur mit dem Protokoll MQTT – einem einfachen anwendungsneutralen Protokoll, das bei der Softwareentwicklung durch zahlreiche Open Source Bibliotheken breit unterstützt wird – ausgewählt. Die Nachrichten-orientierte Architektur hat den Vorteil, dass das Eintreten von Ereignissen sich mit geringerer Verzögerung und Overhead durch asynchrone Nachrichten anstatt mit synchronem Polling übertragen lässt. Dabei werden nur die Veränderungen der Zustände ohne Verzögerung übertragen. Ein Nachteil ist die Komplexität – jeder Teilnehmer muss selbst dafür sorgen, die für ihn relevanten Informationen im eigenen Laufzeitspeicher zu aktualisieren und zu speichern.

Auf der Netzwerkebene hat die Kommunikation eine Stern-Topologie. Die Kommunikation jeder Teilnehmer findet mit dem zentralen Kommunikations-Hub, einem MQTT Broker, statt. Auf Anwendungsebene sind alle Komponenten des Systems über einen Publisher-Subscriber Message-Bus (MB) miteinander verbunden, der ein einheitliches Medium für die Herstellung virtueller Kommunikationskanäle zwischen einzelnen Teilnehmern bietet.

Dabei meldet jeder Teilnehmer die Liste von einem oder mehreren Topics, zu denen er die Nachrichten empfangen will, an und kann die Nachrichten zu unterschiedlichen Topics selbst veröffentlichen.

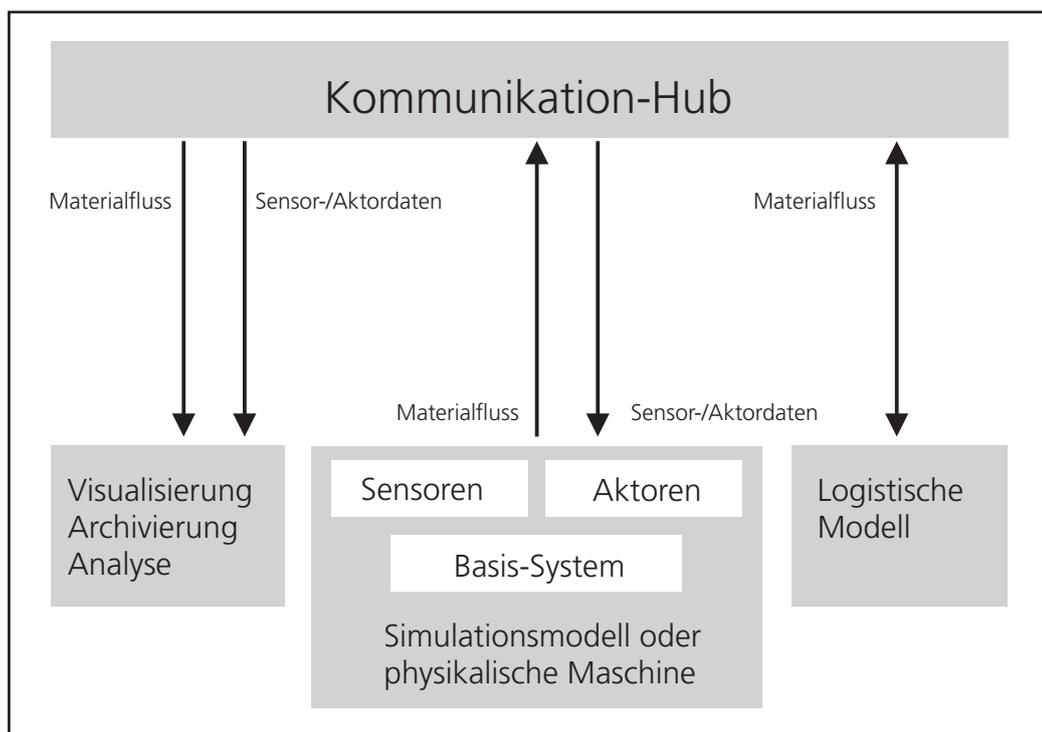


Abbildung 2:
Wechselwirkungen im CPS.
Quelle: eigene Darstellung

Die Netzwerkteilnehmer werden nicht auf Protokollebene unterschieden. Die Nachrichtenkanäle im Protokoll werden zur Separierung thematischer Aspekte genutzt. Logistische Daten, die mit geringerer Frequenz anfallen und dem mesoskopischen System zugeordnet sind, werden in einem Kanal übertragen. Für die VR Visualisierung werden zusätzlich die kinematischen Bewegungsdaten (Position und Orientierung) von Anlagenteilen von der Anlagensimulation an die VR-Umgebung übertragen. Gerade bei Anlagen, mit hohem kinematischem Anteil, entsteht hierbei eine große Datenmenge. Die Aktualisierung dieser Daten muss mindestens mit der zur Visualisierung notwendigen Rate erfolgen (ca. 50-120Hz). Auf Protokollebene erfolgt keine gesonderte Authentifizierung der Teilnehmer. Dies ermöglicht die Anbindung von Drittsystemen, so dass beispielsweise prozessbegleitende Assistenzsysteme oder Managementsysteme, die Daten der mesoskopischen Ebene bewerten können, um dem Personal vor Ort entscheidungsrelevante Informationen zur Verfügung zu stellen.

3.2 Netzwerkteilnehmer

Nach der Ausführung und der Hauptfunktion werden die folgenden Teilnehmertypen unterschieden:

Cyber-Physische Maschine – ein CPPS, bestehend aus physisch vorhandener Produktionseinheit und einem digitalen Zwilling, dass über Schnittstellen zum Signalisieren des Informations- (Verwaltung, Zustands- und Statusmeldungen) und Materialflusses zum Netzwerk verfügt. Der digitale Zwilling hat unter anderem die Aufgabe, die Sensordaten zu erweitern, indem er z.B. die Positionen pneumatischer Achsen sowie den Materialfluss beobachtet und dazu virtuelle Sensorik bietet.

Simulierte Maschine – ein Modell, das das Verhalten einer realen Maschine auf kinematischer, logischer sowie Materialfluss-Ebene simuliert – digitaler Zwilling ohne reale Maschine.

Logistisches Modell – ein logistisches Simulationsmodell, das über Schnittstellen verfügt, um die Materialfluss-Nachrichten zu bearbeiten.

Visualisierung – eine Software und physische Vorrichtung, die den Informationsfluss über den kinematischen Zustand der physikalischen oder simulierten Maschinen und Materialfluss aus dem Netzwerk empfängt und visuell darstellt.

Archivierung – eine Software, die den kompletten oder gefilterten Netzwerknachrichtenverkehr für spätere Auswertung und Datendiagnose speichert.

Analyse – ein Softwaresystem, das die Echtzeit-Analyse der Datenflüsse in Netzwerk kontinuierlich oder periodisch durchführt, um die Erkenntnisse, die für Optimierung des Produktionsprozesses relevant sind, zu gewinnen und, anhand dessen, die Nachrichten ins Netzwerk zu schicken, die als Kommandos für die Maschinen interpretiert werden.

3.3 Informationsfluss

Ein industrielles mechatronisches Automatisierungssystem verfügt über Aktoren (Motoren, pneumatische oder hydraulische Zylinder, Roboter usw.), die die physische Welt beeinflussen, und über Sensoren (Lichtschraken, Schalter, Näherungssensoren, Rotationsgeber, usw.), die den Zustand der physischen Welt erfassen können.

Sowohl die simulierte und als auch die physische Maschine kommunizieren einheitlich Sensor- und Aktorsignale nach außen. Diese Daten werden für die Visualisierung sowie für die Auswertung und Protokollierung verwendet. Zusätzliche Kommandos an Maschinen von Analysemodulen oder Statusnachrichten von Maschinen können ebenfalls über MB übertragen werden.

3.4 Materialfluss

In der Fertigungstechnik und Prozessindustrie beim Batchvorgang sind die Werkstücke meistens als diskrete Einheiten darstellbar, so dass sie in einzelnen Arbeitsschritten verarbeitet, zusammengefügt oder geteilt werden können. Bei kontinuierlichen Prozessen (z.B. in Prozessindustrie oder Metall-Branche) hingegen sind kontinuierliche Flüsse der Werkstoffe typisch.

In dieser Arbeit werden hauptsächlich Prozesse der industriellen automatisierten Fertigung betrachtet, wo diskrete Werkstoffentitäten typisch sind. Der digitale Zwilling und das Logistikmodell kommunizieren dabei diskrete Materialereignisse (z.B. den Wechsel des Werkstückzustandes oder das Eintreten in einen bestimmten Ort) und eingeschätzte Positionen der Entitäten in der Anlage an die Netzwerk-Teilnehmer.

3.5 Latenzen

Die Teilnehmer des Netzwerks haben intrinsisch unterschiedliche Anforderungen bezüglich des Echtzeit-Verhaltens:

Harte Echtzeit – bspw. die physikalischen Maschinen mit speicherprogrammierbaren Steuerungen. Die Latenz des Programms muss garantiert gering sein, da ein Schaden an der Anlage eintreten kann. Beispielsweise wenn eine Heizofensteuerung auf die Ergebnisse eines komplexen Rechenmodells eines Temperatur-Reglers von der Analyse-Komponente als Nachricht im Netzwerk warten müsste, um den Heizelement ein- oder ausschalten, kann es zu den Schäden durch Temperaturüberschreitung bei nicht rechtzeitigem Eintreffen oder Verlust einer solchen Nachricht führen;

Feste Echtzeit – bspw. eine Visualisierung. Eintreten großer Latenzen ist nicht erwünscht, aber die Konsequenzen davon sind nicht kritisch;

Weiche Echtzeit – bspw. Archivierung, das Eintreten von Latenzen ist irrelevant, gegeben, dass alle Nachrichten zugestellt wurden und jede mit Zeitstempel versehen ist.

Um die Komplexität und Benutzerfreundlichkeit gering zu halten, sieht die Architektur keine Harte-Echtzeit-Anforderung für das Netzwerk als solches vor. Dieses ist bereits für die letzteren zwei Teilnehmertypen keine Einschränkung. Die Harte-Echtzeit Teilnehmer sollen aber so gestaltet werden, dass die internen Abläufe asynchron ausgeführt werden, sodass die Latenzen keinen kritischen Einfluss auf die Anlagenvorgänge haben können.

Am Beispiel des Ofens soll z.B. ein Kommando zum Einschalten des Ofens bereits alle Daten erhalten (bspw. ein komplettes Temperaturprofil), sodass der Vorgang asynchron, d.h. unabhängig vom Stattfinden weiterer Kommunikation erfolgreich unabhängig durchgeführt werden kann.

3.6 Nachrichten

In der Architektur ergeben sich folgende Nachrichtentypen:

- Achsenzustände (AZ) – beinhalten Positionen einzelner mechanischer Aktoren einer Anlage. Um den Datenumfang zu reduzieren, werden nur die veränderten Werte übermittelt. Das jeweilige Topic ordnet diese eindeutig einer Anlage zu.
- Materialzustände (MZ) – beinhalten eine 3D-Transformation des Materials in einer Anlage. Das jeweilige Topic ordnet diese eindeutig einer Anlage und die beinhaltete Kennung einem Materialstück zu.

- Materialereignis (ME) – signalisiert beim Ankommen und Verlassen das Vorhandensein bzw. Anzahl, Kennung, Parameter und Inhalt der Materialstücke an einem bestimmten Ort.
- Steuerungsnachrichten (STR) – beinhalten freie Daten, bspw. den Auftrag auf Durchführung eines Vorgangs von der Steuerung oder eine Parameteränderung.
- Statusnachrichten (STA) – beinhalten freie Daten, bspw. die Meldung über erfolgreich durchgeführte Vorgänge, Sensorwerte, nicht kinematische Zustandsvariablen (Temperatur, Druck, usw.).

Die Tabelle 1 zeigt welche von den entsprechenden Nachrichtentypen von jedem Netzwerkteilnehmertyp verarbeitet werden.

Tabelle 1:
Netzwerkteilnehmer Datenfluss
(I – empfängt Nachrichten,
O – verschickt Nachrichten).

| | AZ | MZ | ME | STR | STA |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| Physikalische Maschine | O | O | IO | I | O |
| Simulierte Maschine | O | O | IO | I | O |
| Logistisches Modell | - | O | IO | - | - |
| Visualisierung | I | I | I | - | - |
| Archivierung | I | I | I | I | I |
| Analyse | I | I | I | O | I |

4 Ergebnisse

Die vorliegende Arbeit repräsentiert einen Arbeitsstand, in dem erstmals virtuelle Erlebnisräume, digitale Zwillinge und Logistiksimulation gekoppelt werden. Im aktuellen Stand der Technik werden Fragestellungen des digitalen Zwillings, virtueller Erlebnisräume sowie der Logistiksimulation meist getrennt voneinander betrachtet. Viele Fragestellungen lassen sich jedoch erst bei zusammenhängender Betrachtung dieser beurteilen. Wir stellen mit der vorliegenden Arbeit erstmals eine Methode und einen Proof of Concept für eine erfolgreiche Kopplung dieser Systeme vor. Sie ermöglicht es insbesondere Einflüsse von Anlagenumstellungen bis in die Logistikebene zu erkennen und Vergleiche zwischen verschiedenen Betriebsmodalitäten zu ziehen.

Virtual Reality ist eine Technologie, um Informationen allgemeinverständlich zu transportieren. Gerade in der Industrie ist ein Mehrwert, dass Entscheider unterschiedlicher Fachbereiche anhand einer realitätsnahen Planung gemeinsame Lösungen finden können.

Der bisherige Arbeitsstand realisiert die Grundkommunikation auf Basis eines MQTT- Brokers, so wie es auch für die Signalübertragung im Bereich der CPS üblich ist. Durch die Trennung der Kommunikationskanäle können auch weitere Dienste, wie Assistenzsysteme oder fahrerlose Transportsysteme, in die Datenkommunikation eingebunden werden.

5 Diskussion und Ausblick

In den weiteren Arbeiten erfolgen Untersuchungen für die Berücksichtigung von Fehlkonfigurationen bei denen ein digitaler Zwilling beispielsweise zu wenig oder das falsche Material geliefert bekommt und selbständig an das Zentralsystem zurückmeldet. Des Weiteren wird die Nutzung des Brokers auch für weitere Teilnehmer betrachtet, um beispielsweise Assistenzsysteme in der virtuellen Umgebung zu erproben oder Anlagenservice zu trainieren.

VR unterstützt das gemeinsame Verständnis für komplexe Prozesse. Durch das Zusammenbringen von digitalem Zwilling und Prozesssimulation über einen Hub können zusätzlich neue Varianten der koordinierten Fertigung erprobt werden. Ein Vorteil bei der Kommunikation der Daten über einen

Hub ist, dass die Teilnehmer unter idealisierten Bedingungen Zugriff auf viele Daten erhalten und ohne die später möglicherweise auftretenden technischen Störungen kommunizieren können. Hierdurch können Konzepte neuer Industrie 4.0-Anwendungen fertigungsfern und mit weniger technischen Restriktionen und Risiken im virtuellen Prototyp erprobt werden.

In den nächsten Schritten werden Möglichkeiten zur Integration physischer sowie detaillierter steuerungs-technischer und logistischer Simulationsmodelle entwickelt. Geplant sind zudem Ansätze zur Visualisierung und Verifizierung von Auswirkungen von Änderungen in den Fabrikprozessen zur Analyse von Schlüsselleistungsindikatoren (KPI).

6 Danksagung

Diese Arbeit ist Teil des Projektes »Digitaler Zwilling für Produktionsanlagen der Industrie 4.0 - Entwicklung und Untersuchung der Methoden und Basistechnologien (Kurztitel: DiPro)« (Zuwendungsbescheid-Nr.: 1804/00056) und wird vom Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitalisierung des Landes Sachsen-Anhalt und Europäischen Fonds für regionale Entwicklung unterstützt.



EUROPÄISCHE UNION
EFRE
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

7 Literatur

- [1] L. Monostori, B. Kádár, T. Bauernhansl, S. Kondoh, S. Kumara, G. Reinhart, O. Sauer, G. Schuh, W. Sihn und K. Ueda, »Cyber-physical systems in manufacturing,« CIRP Annals, Bd. 65, pp. 621-641, 2016.
- [2] H. Song, D. B. Rawat, S. Jeschke und C. Brecher, Hrsg., Cyber-physical systems: foundations, principles and applications, Morgan Kaufmann, 2016.
- [3] X. Zhou, X. Gou, T. Huang und S. Yang, »Review on Testing of Cyber Physical Systems: Methods and Testbeds,« IEEE Access, Bd. 6, pp. 52179-52194, 2018.
- [4] T. Westermann, H. Anacker, R. Dumitrescu und A. Czaja, »Reference architecture and maturity levels for cyber-physical systems in the mechanical engineering industry,« in 2016 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE), 2016.
- [5] F. Kaestner, D. Kuschnerus, C. Spiegel, B. Janssen und M. Huebner, »Design of an efficient Communication Architecture for Cyber-Physical Production Systems,« in 2018 IEEE 14th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), 2018.
- [6] K. M. Alam und A. E. Saddik, »C2PS: A Digital Twin Architecture Reference Model for the Cloud-Based Cyber-Physical Systems,« IEEE Access, Bd. 5, pp. 2050-2062, 2017.
- [7] C. Faller und M. Höftmann, »Service-oriented communication model for cyber-physical-production-systems,« Procedia CIRP, Bd. 67, pp. 156-161, 2018.
- [8] M. S. Brito, S. Hoque, R. Steinke, A. Willner und T. Magedanz, »Application of the Fog computing paradigm to Smart Factories and cyber-physical systems,« Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, Bd. 29, p. e3184, 5 2017.
- [9] J.-R. Jiang, »An improved cyber-physical systems architecture for Industry 4.0 smart factories,« Advances in Mechanical Engineering, Bd. 10, p. 168781401878419, 6 2018.
- [10] X. F. Liu, M. R. Shahriar, S. M. N. A. Sunny, M. C. Leu und L. Hu, »Cyber-physical manufacturing cloud: Architecture, virtualization, communication, and testbed,« Journal of Manufacturing Systems, Bd. 43, pp. 352-364, 4 2017.

- [11] F. Sutton, »An Efficient Platform and Communication Architecture for Event-triggered Cyber-physical Systems,« ETH Zurich, 2018.
- [12] G. Zengen, Y. Schroder und L. C. Wolf, »A Communication Architecture for Cooperative Networked Cyber-Physical Systems,« in 2019 16th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), 2019.
- [13] M. Eisenträger, S. Adler und E. Fischer, »Rethinking Software Development for Collaboration Technologies,« in Proceedings, 2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), Piscataway, 2019.
- [14] M. Eisenträger, S. Adler, M. Kennel und S. Möser, »Changeability in Engineering – Symbioses of Agile Methodologies and Virtual Engineering,« in Proceedings of ICE/IEEE – International Conference of Engineering, Technology, and Innovation, 2018.
- [15] L. Durkop, B. Czybik und J. Jasperneite, »Performance evaluation of M2M protocols over cellular networks in a lab environment,« in 2015 18th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks, 2015.
- [16] M. Quigley, K. Conley, B. Gerkey, J. Faust, T. Foote, J. Leibs, R. Wheeler und A. Y. Ng, »ROS: an open-source Robot Operating System,« in ICRA workshop on open source software, 2009.
- [17] T. N. Theis und H.-S. P. Wong, »The End of Moores Law: A New Beginning for Information Technology,« Computing in Science & Engineering, Bd. 19, pp. 41-50, 3 2017.
- [18] O. Penas, R. Plateaux, S. Patalano und M. Hammadi, »Multi-scale approach from mechatronic to Cyber-Physical Systems for the design of manufacturing systems,« Computers in Industry, Bd. 86, pp. 52-69, 4 2017.
- [19] D. Gürdür und F. Asplund, »A systematic review to merge discourses: Interoperability, integration and cyber-physical systems,« Journal of Industrial Information Integration, Bd. 9, pp. 14-23, 3 2018.
- [20] T. Fernández-Caramés, P. Fraga-Lamas, M. Suárez-Albela und M. Díaz-Bouza, »A Fog Computing Based Cyber-Physical System for the Automation of Pipe-Related Tasks in the Industry 4.0 Shipyard,« Sensors, Bd. 18, p. 1961, 6 2018.

ZUKUNFTSFÄHIGE DIGITALISIERUNG IM INDUSTRIELLEN MITTELSTAND – EIN ERFAHRUNGSBERICHT AUS DEM SONDERMASCHINENBAU

Dr. Bernd Stitz, Holger Scharfe, Marlene Eisenträger

1 Einleitung

Im Sondermaschinenbau werden im Projektgeschäft kundenindividuelle Entwicklungsaufträge umgesetzt. Daher stehen die Anforderungen des jeweiligen Kunden im Fokus. Kundenindividualität und Prozesseffizienz in der Organisation miteinander in Einklang zu bringen ist erklärtes Ziel. Die Symacon GmbH macht sich dafür auch digitale Mittel zu Nutze und behauptet so ihre Marktposition im zunehmend internationalen Konkurrenzkampf [1, S. 6].

Die gewonnenen Erkenntnisse zur Digitalisierung im mittelständischen Anlagenbau werden in diesem Artikel anhand des Forschungsprojekts »AsMo« aufgezeigt. Hierbei geht es um die Entwicklung eines Assistenzsystems für die Montage von Sonderanlagen, welches zur Bereitstellung und Erfassung von Informationen dient. Das Vorhaben wird in Kooperation mit dem Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) durchgeführt. Über die Jahre haben das Institut und SYMACON eine erfolgreiche Partnerschaft zur Digitalisierung im Anlagenbau aufgebaut. Neben Forschungsprojekten zur Robotik und zu digitalem Engineering werden auch Industrieprojekte bearbeitet.

2 Unternehmen und Wirtschaft im Wandel

Als ein typischer Sondermaschinenbauer des deutschen Mittelstands führt die Symacon GmbH für Ihren Kunden die Entwicklung von Automatisierungslösungen in Einzel- und Kleinserienfertigung durch. Ergänzend bietet Symacon Services in den Bereichen Instandhaltung, Inbetriebnahme und Montagendiensteleistungen an. So ein mittelständisches Unternehmen ist verschiedenen direkten Einflüssen aus dem Geschäftsumfeld ausgesetzt. An erster Stelle stehen bei Automatisierungsprojekten stets die Kunden mit ihren Anfragen, Bestellungen, Termin- und Finanzvorstellungen. Diese komplexen Kundenanforderungen im beiderseitigen Interesse bestmöglich zu erfüllen, ist das erklärte Ziel des Unternehmens. Daraus speisen sich die wesentlichen Erfolgsfaktoren: Umsatz und Gewinn, Kundenzufriedenheit und letztendlich weitere Aufträge.

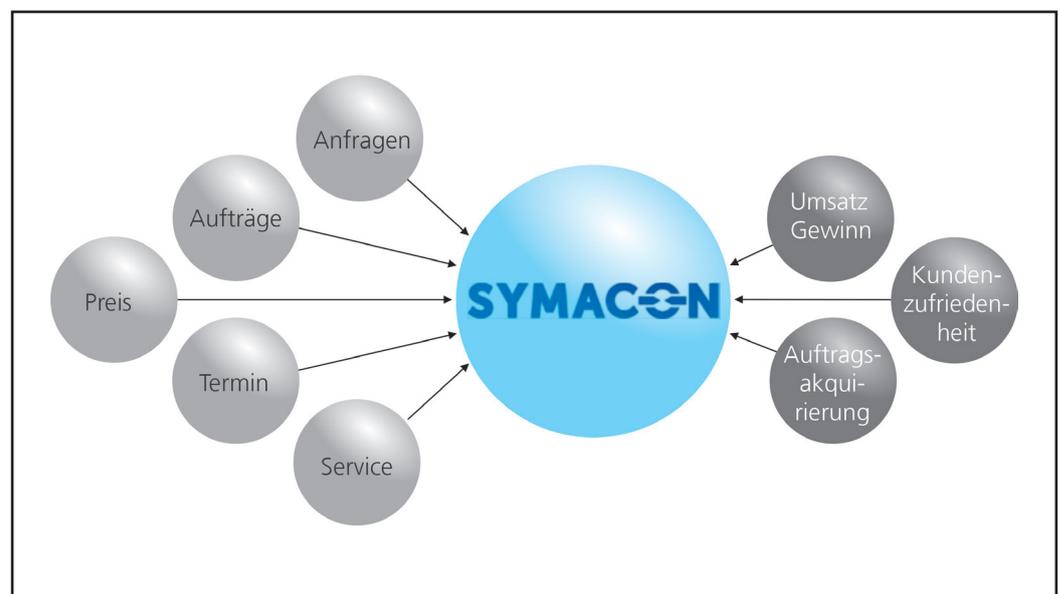


Abbildung 1:
Geschäftstätigkeit der Symacon
GmbH im Spannungsfeld.
Quelle: eigene Darstellung

Im Zuge der aktuellen Marktentwicklung strebt Symacon ein erweitertes Angebotsspektrum an. Durch die Internationalisierung des Geschäftsfelds, die damit steigende Volatilität des Marktes und die hohen Anforderungen an Automatisierungsanlagen besteht ein erheblicher Wettbewerbsdruck für mittelständischen Industrieunternehmen [2]. Weltmarktfähige Preise bei erforderlicher Kompetenz, höchsten Qualitätsstandards und bedarfsgerechten Dienstleistungen sind gefordert. Dafür hat sich die Symacon GmbH aus ihrer Historie heraus auf Handhabungstechnik und Industrierobotereinsatz in komplexen Automatisierungslösungen spezialisiert.

Gleichzeitig fordert der Markt zunehmend Gesamtlösungen aus einer Hand, die kundenindividuell entwickelt und bedarfsgerecht weltweit bereitgestellt werden. Daher erfolgte der Zusammenschluss von Symacon mit den Unternehmen H&B OMEGA Europa und IZM POLYCAST in einem Firmenverbund. Das erweitert das Angebotsportfolio um die Spezialfelder Reibschweißtechnik und Mineralguss für hochpräzise Maschinenbetten. Von der Beratung über die Projektierung, Konstruktion und Montage bis hin zum Service versteht sich die Symacon GmbH daher als Systemanbieter mit Kompetenz und Erfahrung aus langjähriger Maschinenbautradition.

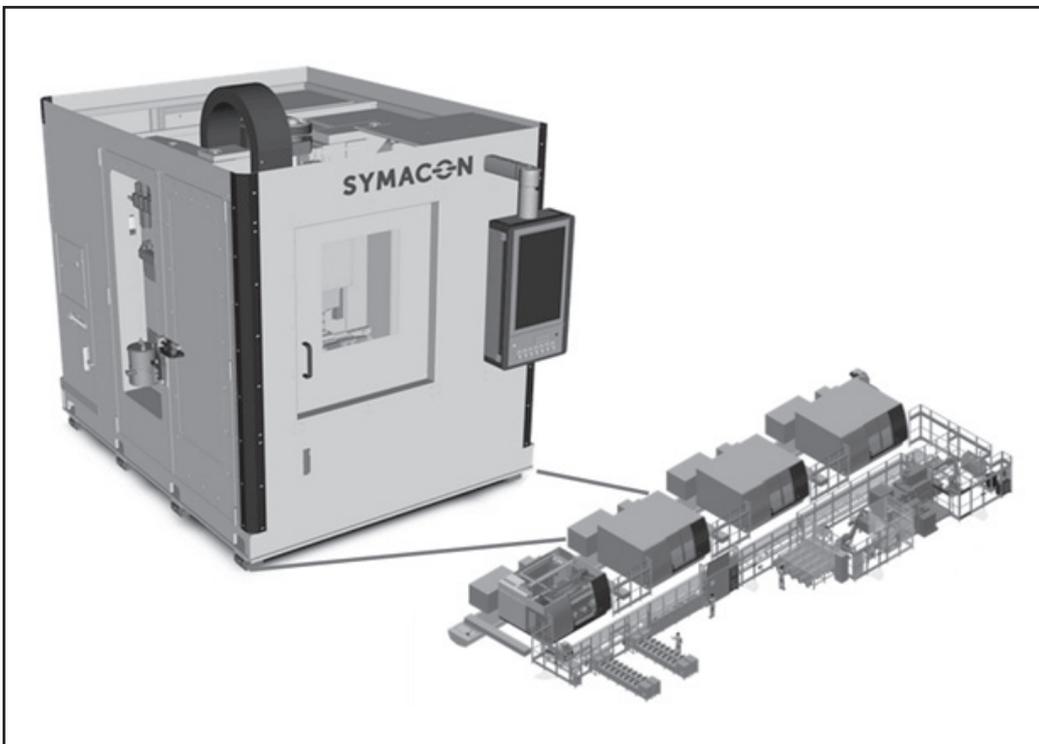


Abbildung 2:
Produktportfolio des Firmenverbunds bestehend aus Reibschweißmaschinen, Mineralguss-Maschinenbetten und automatisierte Anlagenverkettung.
Quelle: Symacon GmbH

Neben diesem Zusammenschluss werden natürlich auch weitere Maßnahmen zur Optimierung der Geschäftstätigkeit durchgeführt: Um die Zielergebnisse zu steigern, ist es eine etablierte Vorgehensweise, die internen Prozesse zu optimieren. Organisatorische Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeit zwischen den Mitarbeiter und den Unternehmenseinheiten sowie in einzelnen Arbeitsprozessen sind besonders im Zusammenhang mit der neuen Gruppe und den verschiedenen Standorten wichtig und werden als kontinuierlicher Verbesserungsprozess durchgeführt.

Diese Maßnahmen haben jedoch Grenzen. Alleine können sie die Effektivität nicht mehr in den heutzutage erforderlichen Maßen erhöhen – gerade im Projektgeschäft, das den Sondermaschinenbau auszeichnet. Immer mehr Unternehmen verzeichnen damit Erfolge, moderne digitale Technologien in ihrer Firma einzuführen und zu nutzen [3]. In Kooperation mit dem Fraunhofer IFF beschreitet auch Symacon diesen Weg mit dem strategischen Ziel, das Unternehmen zukunftsfähig aufzustellen.

3 Digitalisierungsprojekte bei Symacon

Über die Jahre hat Symacon eine grundlegende digitale Arbeitsumgebung für die Abteilungen entlang der Prozesse zur Anlagenentwicklung und zur Betriebsunterstützung aufgebaut. Dies umfasst die Nutzung von großen Datenmanagementsystemen namhafter Hersteller für das Unternehmen (ERP) sowie für die Produktdaten (PDM) in der Anlagenentwicklung. Damit wird ein Großteil der Arbeitsprozesse bereits digital unterstützt und es erfolgt eine Datenerfassung und -verarbeitung. Auch spezifische Anwendungssoftware für die Arbeitsunterstützung in den verschiedenen Abteilungen ist etabliert, z.B. Simulationstools und klassische CAD-Software für die computerunterstützte Konstruktion der Anlagen.

Der Impuls für neue Anwendungen kommt häufig von einzelnen Abteilungen, umfangreiche Systeme sind jedoch strategische Entscheidungen. Vor der Einführung werden neue Tools von den Nutzern getestet und in Pilotprojekten eingesetzt. Dabei geht es nicht nur um die Funktionalitäten, sondern auch um das Zusammenspiel mit den Arbeitsprozessen. Bei positiver Beurteilung wird die Software anschließend eingeführt und dabei die Arbeitsprozesse konsequent umgestellt.

Aktuell erfolgt die Umstellung auf eine innerbetriebliche Dokumentenbearbeitung mit cloudbasierten Anwendungen. Bestimmte Software-Arbeitsgruppen wie Projektleitung, Konstruktion, unternehmensweites Qualitätsmanagement und Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutz nutzen die Technologie bereits mindestens in Pilotprojekten.

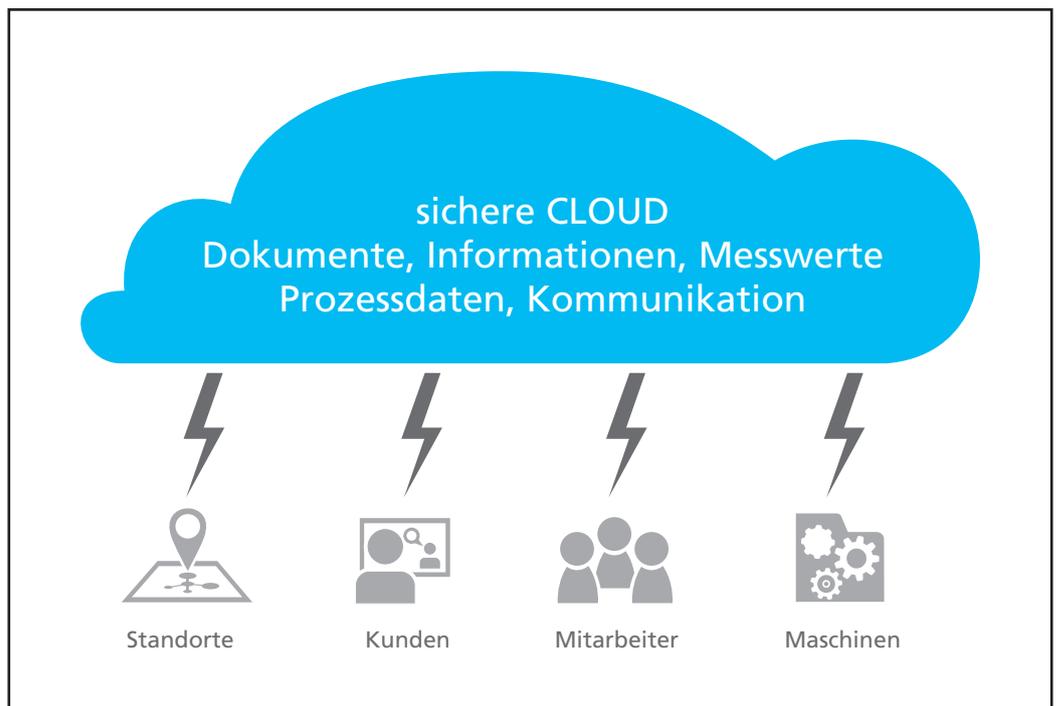


Abbildung 3:
Cloudbasierte Anwendungen
zur ortsunabhängigen
Datenverfügbarkeit.
Quelle: eigene Darstellung

Um die Informationsverfügbarkeit und Planung zu verbessern, wird derzeit die Einführung von Office365 im Unternehmen umgesetzt. Dadurch werden die Voraussetzungen für ein mitarbeiterübergreifendes Informationsmanagement geschaffen. Für jeden einsehbare Termine, Aufgabenplanungen und Abrechnungen für die einzelnen Mitarbeiter werden ermöglicht. Dokumente können zentral einmal abgelegt und miteinander geteilt werden, sodass jeder Mitarbeiter auf die für ihn relevanten Informationen und Dokumente zugreifen können. Strategisches Ziel dessen ist auch, die Organisations- und IT-Strukturen für den Firmenverbund zu vereinheitlichen.

Es ist aber nicht zu übersehen, dass die Mitarbeiter auf diese neue IT vorbereitet und im Einführungsprozess mitgenommen werden müssen. Das Wissen zu bestimmten Funktionen aus dem reichhaltigen Softwareangebot wird dafür sogenannten Keyusern vermittelt. Diese Keyuser geben das Wissen dann an die anderen Mitarbeiter weiter und ermitteln so mit der Zeit, welche Software für welche Aufgaben die richtige ist. So wächst die Akzeptanz der Software und ihre produktive Verwendung nimmt zu, da die Keyuser die Software direkt im Unternehmen testen und das Erlernte im Arbeitsprozess effizient weitergeben. Die Softwareeinführung muss somit als Prozess verstanden werden, an deren Ende eine transparentere, nachvollziehbare und effektivere Arbeitsweise stehen soll. Dabei ist die Integration der Nutzer der wesentliche Erfolgsfaktor. Ihr Wissen ist essentiell, um die IT optimal im Arbeitsprozess einzubinden.

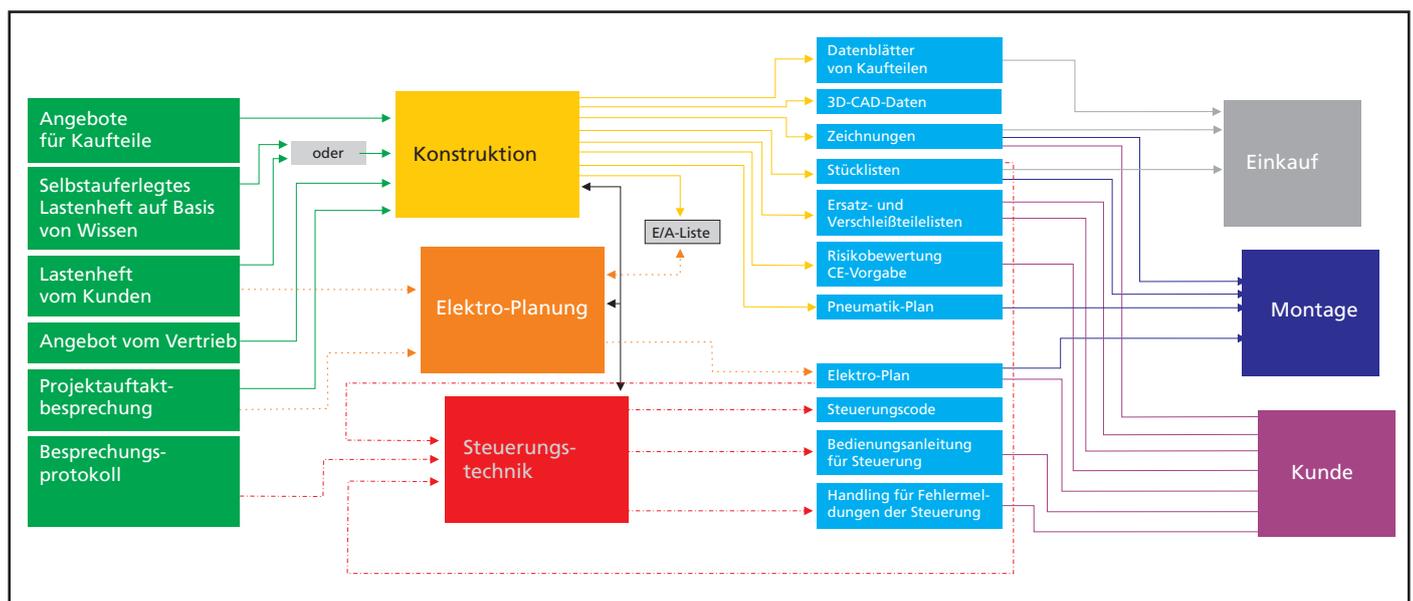


Abbildung 4:
Informationsfluss als Austausch von Artefakten im Entwicklungsprojekt
Quelle: eigene Darstellung

4 Forschungsprojekt AsMo

Als Mittelständler hat Symacon nicht die Ressourcen, eigene Digitalisierungsvorhaben umfassend selbstständig durchzuführen. Themen wie der digitale Zwilling einer Anlage, durchgängig digitales Engineering und Assistenzsysteme sind Aspekte aus der aktuellen Forschung. Um das Unternehmen zukunftsfähig aufzustellen, besteht eine Entwicklungspartnerschaft mit dem Fraunhofer IFF. So möchte sich Symacon ressourceneffizient mit den Strukturen und Potentialen der Digitalisierung auseinandersetzen, um die für sie geeigneten Werkzeuge zu finden und einsetzen zu können. Aus dieser Motivation heraus wurde auch das Forschungsprojekt »Assistenzsystem für die Montage von komplexen Sondermaschinen und Fertigungsanlagen« (AsMo) initiiert, bei dem die Anlagenmontage digital unterstützt werden soll.

4.1 Anlagenmontage im Fokus

Zur Identifikation von Digitalisierungsbedarfen wurde zunächst eine Prozessaufnahme durchgeführt. Die nachfolgende Abbildung vermittelt einen Eindruck von Umfang und Komplexität des Informationsflusses [4]:

Die Analyse des Entwicklungsprozesses durch Mitarbeiter des IFF ergab zahlreiche Ansätze für Digitalisierungspotentiale, auch bei der Montage der Anlagen. Die Montage kundenindividueller Produktionsanlagen ist eine personalintensive Tätigkeit. Sie wurde als Herausforderung identifiziert, da durch

die gestiegene Komplexität der Anlagenbauprojekte und Anforderungen an die Dokumentation mehr Wissensarbeit durchzuführen ist. Gleichzeitig nutzen die Mitarbeiter in diesem praktisch geprägten Arbeitsbereich kaum digitale Informationen. Die Arbeit mit Papier und Anmerkungen wird der geforderten Informationsqualität und -aktualität nicht gerecht. Insbesondere im häufiger auftretenden Fall der internationalen Aufstellung der Anlage ist dies herausfordernd, z.B. bei der Kommunikation zu Problemen zwischen Serviceteam und Unternehmen in Deutschland. Erklärte Ziele sind die Funktionsabsicherung und die Nachführung von Änderungen zur Sicherstellung der Asbuilt-Dokumentation zur Kundenbereitstellung, für die spätere Instandhaltung und den Bau weiterer Anlagen desselben Typs.

Das Projekt AsMo soll eine effiziente und qualitätsgerechte Montage ermöglichen, auch wenn sie nicht am selben Ort wie das Engineering stattfindet, und den Wertschöpfungsanteil der Montage-tätigkeiten erhöhen. Daher ist die Zielstellung des Projekts, die Montage mit einem mobilen Assistenzsystem zu unterstützen durch die durchgängig digitale Bereitstellung und Erfassung der nötigen Informationen. Es umfasst die folgenden Funktionen:

- Kommunikation und Aufgabenmanagement in einem Ticketsystem
- Informationsbereitstellung entlang der Anlagenstruktur (Engineeringdaten, Dokumente, Herstellerinformationen und Projektmanagement)
- Erfassung des Montagestatus und Übersicht für das Projektmanagement
- Verknüpfte 3D-Visualisierung des Anlagenmodells

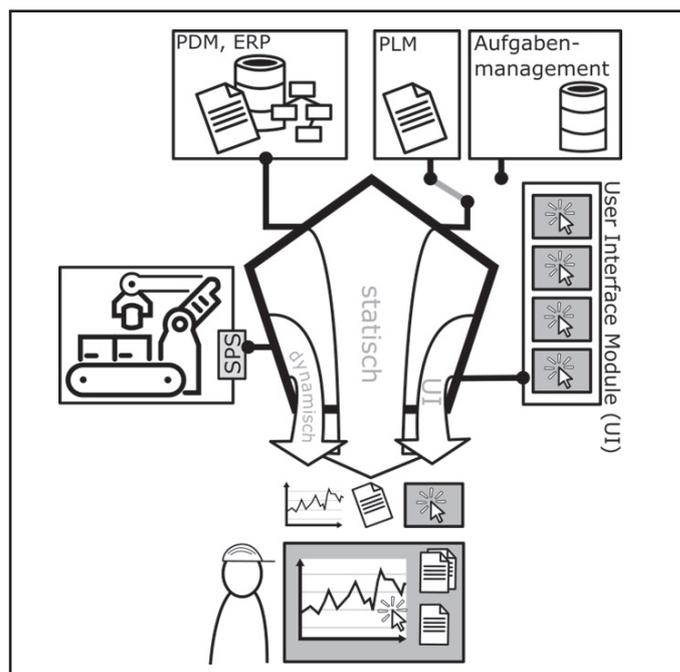


Abbildung 5:
Modulare Grundstruktur der
Assistenzsysteme VASSIST und
AsMo am Fraunhofer IFF.
Quelle: Fraunhofer IFF

4.2 Verlauf und Ergebnisse des Projekts

Die digitalen Assistenzsysteme des Fraunhofer IFF unterstützen bisher bei Betrieb und Instandhaltung von Produktionsanlagen [5]. Das modulare System VASSIST stellt neben aktuellen Statusinformationen auch Dokumente und Produktdaten zur Anlage bereit. Die Informationen liegen in verschiedenen Datenbanken, u. a. im PDM-System, und werden vom Assistenzsystem abgerufen. So greift es stets auf aktuelle Informationen zu und zusätzlicher Aufwand für Datenpflege wird vermieden. Auch für AsMo wird dieses IT-Framework verwendet, das in Abbildung 5 dargestellt. Dadurch ist ein nahtloser Übergang von der Montage- zur Betriebsassistenz möglich. Hardwareseitig bleibt die IT-Struktur bestehen, lediglich der geänderte Funktionsumfang der Software wird bereitgestellt und die Datenbanken werden inhaltlich aktualisiert, was auch so Aufgabe des Engineerings ist.

Das Projekt zeigt deutlich den engen Zusammenhang von assistierenden IT-Anwendungen und den Arbeitsprozessen [6]. Mit der digitalen Bereitstellung der Engineeringdaten in der Montage ändert sich die Arbeitsweise der Monteure. Bisher haben die Monteure hauptsächlich mit Zeichnungen und Stücklisten gearbeitet, doch mit Bereitstellung des 3D-Modells verlagert sich dies. Zukünftig kann das 3D-Modell daher verstärkt zum Kommunikationsmedium zwischen Montage und Engineering ausgebaut werden, beispielsweise für die Bereitstellung von Montagehinweisen. Bei Verwendung eines Tools zur virtuellen Inbetriebnahme können auch die Produktionsprozesse im Vorfeld visualisiert werden, um die Monteure beim Einstellen der Anlagenkomponenten zu unterstützen. Die Daten werden entlang der Anlagenstruktur bereitgestellt, die einheitliche Bezeichnungen für die Monteure, die Entwicklungsingenieure und die Projektleitung bietet. Das erleichtert die direkte Kommunikation und die digitale Informationsbereitstellung. Anhand der Module erfassen die Monteure zudem den Fortschritt der verschiedenen Montageschritte und dokumentieren Probleme. Letzteres kann beispielsweise auch ein Hinweis vom Einkauf zum Lieferverzug wichtiger Bauteile sein.

Im Detail wird im Folgenden die Entwicklung des Aufgabenmanagements geschildert: Zuerst erfolgte eine Analyse des Informationsflusses und der ermittelten Nutzeranforderungen aus der Montage. Hierbei zeigte sich, dass die Funktion zur Kommunikationsunterstützung durch das klassische Aufgabenmanagement eines PDM/PLM-Systems abgedeckt werden kann. So wäre für die Umsetzung lediglich eine geeignete Anbindung an das Assistenzsystem erforderlich gewesen. Für die initialen Nutzeranforderungen und das Teilziel im Projekt, die Daten zur Anlage aktuell zu halten, ist es zweckmäßig, Informationen im Feld zu erfassen und dazu im PDM-System eine Aufgabe mit definierten Rollen und Prozessen zu erstellen. Gerade für reine Aktualisierungsprozesse macht dies Sinn, da hier ein klarer Ablauf des Prozesses definiert werden kann. Im Projektverlauf mussten diesen Annahmen jedoch revidiert werden. Hintergrund ist das Zusammenspiel von Kollaboration und IT-Gestaltung. Aus der Motivation heraus, die Datenerstellung und anschließende Bereitstellung für das System näher zu betrachten, wurde das Engineering verstärkt ins Projekt einbezogen. Es wurde eine Gruppendiskussion zur Zukunft des Engineerings durchgeführt, um das Anforderungsspektrum zu erfassen. Zudem wurde das digitale Engineering des Fraunhofer IFF vermittelt und getestet. Dafür wurde auch ein Planspiel verwendet, um einen geeigneten Erlebnisraum zu bieten. So wird die Veränderung interdisziplinäre Zusammenarbeit durch das digitale Engineering erlebbar, ohne eine Schulung oder die Gefahr technischer Schwierigkeiten.

Im gemeinsamen Austausch zeigte sich, dass die Zusammenarbeit bei Montageänderungen keinen klar definierten Prozessen und Zuständigkeiten folgt. Stattdessen sind es meist Problemlösungen, die informelle Prozesse und agile Zusammenarbeit erfordern. Das spiegelt die Stärke des Mittelstandes wider, Effizienz durch agile Kollaboration und flexible Prozesse zu erreichen. Assistenzsysteme müssen dies folglich IT-seitig ermöglichen, um akzeptiert zu werden. Ein starres System mit definierten Rollen und Prozessen, bei dem Ansprechpartner sowie Vorgehen zu Beginn vom Monteur festgelegt werden, ist also nicht verwendbar. Zudem benannten die Engineeringmitarbeiter konkrete Anforderungen an die bereitgestellten Informationen, damit sie die Montage unterstützen und Datenaktualisierungen zielführend umsetzen können.

Daraus resultiert die Umsetzung des Aufgabenmanagements in Form eines integrierten, flexiblen Ticketsystems. Es basiert auf dem Meldungssystem von VASSIST, mit dem die Monteure Wissens Elemente mit einem kurzen Text und Fotos zur Anlage erfassen können. Ein Ticket ist eine versendbare Meldung mit erweiterten Metadaten, wozu neben Sender und Empfänger auch die Art des Tickets (z. B. Änderung) und die Verknüpfung zur betroffenen Komponente gehört.

Prozesse bilden sich im Zuge der Umsetzung und Kollaboration heraus durch die Verkettung von (Folge-) Aufgaben. So können Problemlösungen und auch Aktualisierungsprozesse flexibel abgebildet und nachvollzogen werden.

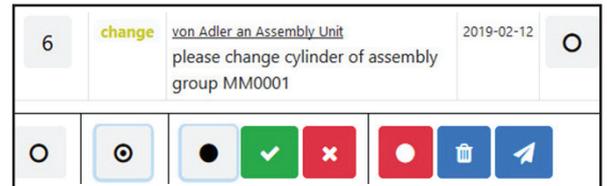
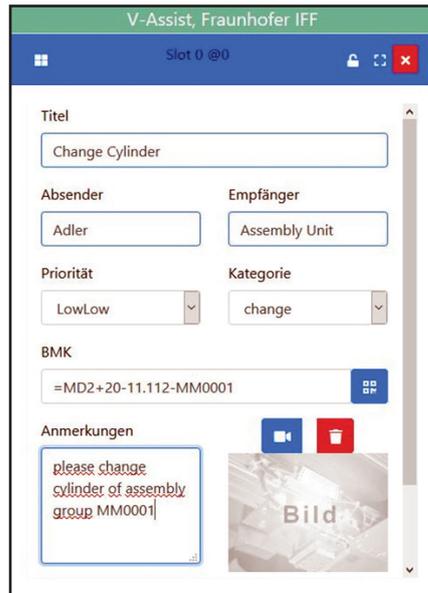


Abbildung 6:
Erfassung eines Tickets im
Dialogfeld (links) und Statusüber-
sicht bei der Bearbeitung (rechts).
Quelle: eigene Darstellung

4.3 Nächste Schritte

In der verbleibenden Projektlaufzeit bis Ende 2019 wird der derzeit überarbeitete Prototyp des Assistenzsystems noch umfassend evaluiert. Zudem wird die im Projekt entwickelte Demonstrationsanlage mit dem finalisierten System ausgestattet. Anschließend sind weitere Adaptionen bis zur Produktiv- anwendung von AsMo bei Symacon erforderlich, wie die Einbindung des ERP-Systems. Dabei muss das Zusammenspiel von IT und Arbeitsprozessen stets im Blick bleiben.

5 Erkenntnisse zur Digitalisierung im Mittelstand

UMit dem Wandel der Unternehmensstruktur steht Symacon auch vor einer Herausforderung der Digitalisierung. Ein durchschnittliches Automatisierungsprojekt erzeugt etwa 23 Gigabyte Daten verteilt auf 2000 Dateien, jährlich wird eine zweistellige Anzahl an Projekten realisiert. Hinzu kommen die weiteren Geschäftsbereiche Reibschweißmaschinen und Mineralguss. Allein durch die drei Standorte ist es untragbar geworden, die Dokumente und Entwicklungsdaten ordnerbasiert zu handhaben und per E-Mail oder Webserver zu übertragen.

Die Erfahrungen aus Forschungsprojekten wie AsMo zeigen, dass es nicht eine zentrale Herausforderung im Digitalisierungsprozess gibt. Vielmehr ist es ein komplexes Zusammenspiel von Technik, Menschen mit ihren Arbeitsprozessen und Qualifikationen und Organisationsentwicklung. Eine Besonderheit vieler moderner IT-Unterstützungssysteme lässt sich dabei ausmachen: Ihre Wechselwirkung mit den Kooperationsprozessen ist eine gestalterische Herausforderung in der Softwareentwicklung sowie bei der Einführung im Unternehmen. Wie die Erfahrungen aus As-Mo zeigen, kann eine solche Anwendung, die hauptsächlich von einer Nutzergruppe mit eigenen Anforderungen verwendet wird, unerwartete Auswirkungen auf die Kollaboration haben. Das interaktive System stellt den Anwendern flexibel verwendbare Funktionen zur Verfügung, die ihre Arbeit unterstützen. Dadurch ergeben sich neue Möglichkeiten, den Arbeitsprozess effizienter zu gestalten. Hierfür sind die Anwender jedoch auf Zuarbeiten und Daten der Kollaborationspartner angewiesen, die ebenfalls am selben Betrachtungsobjekt arbeiten (bei AsMo ist das die Anlage). Diese Aspekte müssen in der partizipativen Entwicklung und Einführung dieser Software beachtet werden, durch Einbezug der Mitarbeiter und Beachtung der Prozessveränderungen bei der IT-Gestaltung. Aufgrund dessen besteht eine Entwicklungspartnerschaft mit dem Fraunhofer IFF für komplexe Digitalisierungsvorhaben. So kann sich Symacon mit den Strukturen und Potentialen der Digitalisierung im Dialog und in Pilotprojekten

auseinandersetzen, um die geeigneten Werkzeuge zu finden oder zu entwickeln.

Die zielführende Auswahl von Digitalisierungsprojekten ist dabei wichtig: Durch den angestrebten vernetzten Informationsfluss steigen die Anforderungen an die Verarbeitung der stetig wachsenden Datenmengen. Den Anforderungen an bezahlbaren und sicheren Datentransfer, auch zwischen Unternehmen, muss mit angepasster IT-Infrastruktur und der Verwendung geeigneter Plattformen begegnet werden. Das ist neben den Veränderungen im Unternehmen auch eine Frage der Finanzierung und muss daher effizient realisiert werden. Im Mittelstand stehen nur eingeschränkte Ressourcen zur Verfügung – finanziell wie personell. Somit ist Wirtschaftlichkeit bei Digitalisierungsentscheidungen und -prozessen ein wichtiger Faktor. Bei AsMo ist diese Wirtschaftlichkeit vor allem durch die Nutzung des Systems zur Unterstützung von Auslandsgeschäften gegeben, da die Montage so effizienter und abgesichert umgesetzt werden kann. Die Risikominimierung schlägt sich vor allem in verringerten Personalkosten durch kürzere Auslangsaufenthalte nieder.

IT ist ein »Enabler«, also ein ermöglichender Faktor für Effizienzsteigerungen [7, S. 26-27]. Digitale Technologien sind nicht einzeln zu betrachten, sondern stets im Zusammenspiel mit den Prozessen und der bestehenden IT-Infrastruktur. Erst durch die Synergien in der IT-Infrastruktur und mit den Arbeitsprozessen entfalten die Technologien ihr Potential. Bei der Digitalisierung ist der Nutzen umso höher, je mehr Unternehmensbereiche digitale Technologien verwenden und Daten erfassen. Statt Papier, das Informationen an einen Ort bindet, können digitale Daten beliebig vielfältig verwendet und eingebunden werden. In der Anlagenentwicklung erfasste Daten können so auch in der Montage und im Vertrieb nutzbringend eingesetzt werden. Daher ist es im Mittelstand wesentlich, Digitalisierung strategisch und mit Blick auf die Synergien anzugehen. Die Symacon GmbH hat eine klare Digitalisierungsstrategie. Deren Umsetzung erfolgt in einzelnen Pilotprojekten, die nur bei Erfolg weitergeführt werden.

Digitalisierung zielt bei Symacon stets auf eine transparentere, nachvollziehbare und effektivere Arbeitsweise ab. Ein wesentliches Kriterium für die Auswahl oder die gemeinsame Entwicklung von Software ist außerdem die Prozessflexibilität im Einsatz. Moderne Technologien unterstützen zunehmend die Wissensarbeit. Dabei brauchen die Mitarbeiter Kreativitäts- und Handlungsspielraum, wofür die Software ausreichend Freiheiten bieten muss. Als projektgetriebenes Unternehmen benötigt Symacon eine hohe IT-Flexibilität, um die Varianz der Prozesse zu unterstützen und die kreativen Problemlösungen der Mitarbeiter nicht zu erschweren. Hier liegt auch ein erhebliches Potenzial der Effektivitätssteigerung: Je besser die informationstechnischen Werkzeuge im Arbeitsprozess eingebunden werden, desto effektiver können Konstruktions-, Planungs- und Verwaltungsprozesse durchgeführt werden. Dieser Aspekt wurde als ein zentraler Akzeptanzfaktor bei den bisherigen Digitalisierungsprojekten von Symacon erkannt. Denn die Mitarbeiter, welche IT nutzen, Daten erzeugen und weiterverwenden, sind die wichtigste Ressource im Mittelstand. Ihre positive Einstellung zu Veränderungen und ihre Akzeptanz ist wesentlich für erfolgreiche Digitalisierung.

6 Fazit

Das Projekt AsMo spiegelt zahlreiche Aspekte einer erfolgreichen Digitalisierung wider. Besonders deutlich zeigt sich die Verzahnung von IT-Gestaltung und kollaborativen Arbeitsprozessen, obwohl das System primär in der Montage zum Einsatz kommt. Im Rahmen des Projekts und der Zusammenarbeit in Forschungsprojekten hat Symacon Erfahrungen zur erfolgreichen Digitalisierung gesammelt, die sich auf folgende Aspekte verdichten lassen:

- Digitalisierung braucht ein proaktives Vorgehen. Sie ist kein Selbstzweck, sondern wesentlicher Teil der Unternehmensstrategie.
- Der Mehrwert von Digitalisierungsbestrebungen liegt in den Synergien. Gerade grundlegende Digitalisierungsvorhaben bedeuten Aufwand, wie die digitale Erfassung bisher analoger Informationen. Darauf bauen jedoch die Mehrwerte weiterer Anwendungen auf.

- Digitalisierungsprojekte erfordern eine ganzheitliche Betrachtung von Mensch, Technik und Organisation, denn die Potentiale der Technologien entfalten sich erst in der konkreten Anwendung. Daher müssen die technische Infrastruktur und das Zusammenspiel mit den Arbeitsprozessen aktiv gestaltet werden.
- Begrenzte Ressourcen und fehlendes Wissen zur Digitalisierung prägen den deutschen Mittelstand. Symacon begegnet diesem Umstand durch die Kooperation mit (Forschungs-)Partnern.
- Die schnelle Umsetzung von Pilotprojekten hilft, um die Ideen früh und mit geringem Aufwand zu testen. So lassen sich Auswirkungen aufdecken und die Anwendung direkt anhand von Feedback gestalten, statt nur zu antizipieren.
- Die Akzeptanz und Partizipation der Mitarbeiter ist der Schlüssel zum Erfolg für Digitalisierungsvorhaben.

Auf diese Weise nutzt Symacon die Digitalisierung, um die Prozesseffizienz und ihr Leistungsangebot stetig zu verbessern. Das ist wichtig, um auch zukünftig als Sondermaschinenbauer international wettbewerbsfähig zu sein.

7 Danksagungen

Diesem Beitrag zu Grunde liegenden Arbeiten wurden im Rahmen der FuE-Richtlinien (FuE-Projekt AsMo, Zuwendungsbescheid-Nr. 1704/00048) vom Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitalisierung des Landes und dem Europäischen Fond für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert und von der Investitionsbank Sachsen-Anhalt betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



8 Literatur

- [1] M. Schilke, Einsatz von Produktdatenmanagement-Systemen im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie. Zugl.: Saarbrücken, Univ., Diss., 2010. Saarbrücken: Univ. des Saarlandes Lehrstuhl für Fertigungstechnik, 2010.
- [2] O. Mack, A. Khare, A. Krämer und T. Burgartz, Managing in a VUCA World. Cham: Springer International Publishing, 2016.
- [3] V. Demary, B. Engels, K.-H. Röhl und C. Rusche, Digitalisierung und Mittelstand: Eine Metastudie. Köln: Institut der deutschen Wirtschaft Medien GmbH, 2016.
- [4] M. Odenbach, »Entwicklung und Konstruktion einer automatisierten Station für die pilothafte Erprobung eines IT-basierten Assistenzsystems für die vor-Ort-Montage«. Masterarbeit, Institut für Maschinenbau, Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2017.
- [5] M. Eisenträger, S. Künnemann, S. Möser, S. Skrytutskyi und S. Adler, »Betriebsassistenz mit komponentengestützten Handlungsempfehlungen zur Reduzierung des Anlagenstillstands: Erstellungsmethode für Handlungsempfehlungen zur Störungsbehebung mit Assistenzsystem und funktionaler Anlagenstruktur« in Automation 2018, VDI-Berichte 2330: 19. Leitkongress der Mess- und Automatisierungstechnik: Seamless Convergence of Automation & IT, VDI Wissensforum GmbH, Hg., Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, 2018, S. 849–861.

- [6] M. Eisenträger, S. Adler, M. Kennel und S. Möser, »Changeability in Engineering: Symbioses of Agile Methodologies and Virtual Engineering« in Conference Proceedings ICE/IEEE ITMC 2018: 24th International Conference on Engineering, Technology and Innovation, Stuttgart, 2018, S. 28–35.
- [7] D. Buchta, M. Eul und H. Schulte-Croonenberg, Strategisches IT-Management: Wert steigern, Leistung steuern, Kosten senken, 3. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, 2009.

AUTOREN

Adler, Simon, Dr.

Fraunhofer für Fabrikbetrieb
und -automatisierung IFF
Sandtorstrasse 22
39106 Magdeburg

Avgoustinos, Haris

EXPO21XX GmbH
Georgstrasse 46,
30159 Hannover

Böckelmann, Irina, Prof.

Otto-von-Guericke-Universität
Magdeburg
Medizinische Fakultät
Bereich Arbeitsmedizin
Leipziger Str. 44
39120 Magdeburg

Eisenträger, Marlene

Fraunhofer für Fabrikbetrieb
und -automatisierung IFF,
Virtual Engineering
Sandtorstrasse 22
39106 Magdeburg

Hein, Michael

GeRotor AG
Prinzregentenstr. 54
80538 München

Jachmann, Daniel

Fraunhofer für Fabrikbetrieb
und -automatisierung IFF
Sandtorstrasse 22
39106 Magdeburg

Juhasz, Tamas, Dr.

Fraunhofer für Fabrikbetrieb
und -automatisierung IFF,
Virtual Engineering
Sandtorstrasse 22
39106 Magdeburg

Jörke, Christian

Dr. Weigel Anlagenbau GmbH
Siedlerweg 10
39124 Magdeburg

Masik, Steffen

Fraunhofer für Fabrikbetrieb
und -automatisierung IFF
Sandtorstrasse 22
39106 Magdeburg

Mewes, Eric

Otto-von-Guericke-Universität
Magdeburg, An-Institut
Sandtorstraße 23
39106 Magdeburg

Minow, Annemarie

Otto-von-Guericke-Universität
Magdeburg
Medizinische Fakultät
Bereich Arbeitsmedizin
Leipziger Str. 44
39120 Magdeburg

Pape, Andreas

Fraunhofer für Fabrikbetrieb
und -automatisierung IFF
Sandtorstrasse 22
39106 Magdeburg

Pavlovskiy, Yurii

Fraunhofer für Fabrikbetrieb
und -automatisierung IFF
Sandtorstrasse 22
39106 Magdeburg

Sonja Schmicker, Dr.

Otto-von-Guericke-Universität
Magdeburg, Institut für
Arbeitswissenschaft, Fabrik-
automatisierung und Fabrik-
betrieb (IAF), Lehrstuhl für
Arbeitswissenschaft und
Arbeitsgestaltung (IAF-AG)
Universitätsplatz 2
39106 Magdeburg

METOP GmbH

An-Institut der Otto-von-
Guericke-Universität
Magdeburg
Sandtorstraße 23
39106 Magdeburg

Scharfe, Holger,

SYMACON GmbH
Ebendorfer Chaussee 4
39179 Barleben

Schmidt, Johannes

Universität Leipzig
Augustusplatz 10
04109 Leipzig

Schwarz, Fabian

Otto-von-Guericke-Universität
Magdeburg
METOP GmbH, An-Institut
Sandtorstraße 23
39106 Magdeburg

Stitz, Bernd, Dr.

SYMACON GmbH
Ebendorfer Chaussee 4
39179 Barleben

Waßmann, Stefan, Dr.

Otto-von-Guericke-Universität
Magdeburg, Institut für Arbeits-
wissenschaft, Fabrikautomati-
sierung und Fabrikbetrieb (IAF),
Lehrstuhl für Arbeitswissen-
schaft und Arbeitsgestaltung
(IAF-AG)
Universitätsplatz 2
39106 Magdeburg

Weigel, Maria

Dr. Weigel Anlagenbau GmbH
Siedlerweg 10
39124 Magdeburg

IMPRESSUM

Nachhaltigkeit bei der Nutzung digitaler Daten in der Produktion

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Michael Schenk

Sandtorstraße 22 | 39106 Magdeburg

www.iff.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Simon Adler

Sandtorstraße 22 | 39106 Magdeburg

www.iff.fraunhofer.de

Umschlaggestaltung: Bettina Rohrschneider

Redaktion: Dr. Simon Adler

Fotos, Bilder, Grafiken: Soweit nicht anders angegeben, liegen alle Rechte bei den Autorinnen und Autoren der einzelnen Beiträge.

Bibliografische Information:

Diese Publikation ist im Internet über <https://doi.org/10.24406/iff-n-581274> abrufbar.

Alle Rechte vorbehalten

Für den Inhalt der Vorträge zeichnen die Autorinnen und Autoren verantwortlich.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.