

„Ulrich Jumar, Christian Diedrich (Hrsg.):
EKA 2024 - Entwurf komplexer Automatisierungssysteme, 18. Fachtagung“

SIM-CIP: Konzept eines räumlichen Informationsmodells für komplexe industrielle Großanlagen

Alexander Auer^{1,2}, Birgit Vogel-Heuser³, Tobias Knödler⁴ und Dorothea Pantförder⁵

Abstract: Die richtige Information zur richtigen Zeit am richtigen Ort – dieser Leitgedanke erhält im Rahmen der Industrie 5.0 eine zunehmende Bedeutung, insbesondere für den grundlegenden Wert der Menschzentrierung. Komplexe industrielle Anlagen, wie die in diesem Beitrag behandelte Wärmepumpenanlage, enthalten zahlreiche und vielfältige technische Informationen. Ein Instandhaltungstechniker, der auf Alarmsignale reagiert und ortsbezogene Maßnahmen innerhalb einer Anlage ergreifen muss, steht vor der Herausforderung in diesem komplexen Umfeld zielgerichtet an nötige Informationen zu gelangen, um anfallende Kosten zu minimieren. Standortbezogene Dienste (LBS) bieten hierfür potenzielle Lösungen, allerdings ist die Anwendung dieser im industriellen Bereich defizitär, da bestehende Systeme und Forschungsarbeiten sich vorwiegend auf Verbraucheranwendungen fokussieren. Dieser Beitrag legt den Schwerpunkt auf die industrielle Anwendungslösung mittels LBSs. Hierzu wird am Beispiel einer komplexen Wärmepumpenanlage das Konzept eines räumlichen Informationsmodells (SIM-CIP) für industrielle LBSs verdeutlicht. SIM-CIP integriert räumliche Informationen mit attributiven Informationen und geht zusätzlich über die rein ortsbezogene Erweiterung hinaus. So werden mögliche kontextabhängige Faktoren, die einen industriellen Arbeiter betreffen, berücksichtigt. Das konzeptionelle Modell umfasst fünf grundlegende Systeme – ein Datenbanksystem, ein Kartierungssystem, ein Positionierungssystem, ein Kontextmanagementsystem und eine Benutzerschnittstelle – die im Rahmen dieses Beitrages näher erläutert werden.

Keywords: Spatial Information System, Context-Aware Location Based Service, Human Machine Interface, Human-Centered Engineering

1 Einleitung und Motivation

Die Bereitstellung maßgeschneiderter Informationen zum optimalen Zeitpunkt am geeigneten Ort gewinnt angesichts der Industrie 5.0 [BDP21] und der darin fokussierten Menschzentrierung, zunehmend an Bedeutung. In diesem Kontext bedeutet das eine adaptive Anpassung der eingesetzten technologischen Lösungen an die individuellen Bedürfnisse eines Arbeiters [Xu21]. Die für den Menschen erleichternde Bereitstellung gezielter ortsbezogener Informationen ist Teil eines solchen Bedürfnisses. Komplexe

¹ TUM, Lehrstuhl AIS, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching, alexander.auer@tum.de

² MAN Energy Solutions SE, Multimedia Sol., Stadtbachstr. 1, 86153 Augsburg, alexander.auer@man-es.com

³ TUM, Lehrstuhl AIS, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching, vogel-heuser@tum.de

⁴ MAN Energy Solutions SE, Multimedia Sol., Stadtbachstr. 1, 86153 Augsburg, tobias.knoedler@man-es.com

⁵ TUM, Lehrstuhl AIS, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching, pantfoerder@tum.de

industrielle Großanlagen erstrecken sich über eine Fläche von mehreren tausend Quadratmetern, häufig verteilt auf unterschiedliche Ebenen. Die in diesen Anlagen auftretenden Informationen sind vielfältig und zahlreich. Hierzu gehören umfassende Montagehandbücher und Betriebsanleitungen, detaillierte Pläne und Schemata, Echtzeit-Prozessdaten und Warnsignale, Sicherheitsbereiche, sowie dokumentierende Kontrollberichte. Auch die steigende Komplexität der Prozesse in Form von verstärkter Automatisierung oder fortschreitender Systemintegration leisten dazu ihren Beitrag. Diese Informationsmenge und -vielfalt ist somit für einen Menschen ohne fortschrittliche technologische Unterstützung nicht effizient zugänglich. So steht beispielsweise ein Instandhaltungstechniker, der auf Alarmsignale oder Fehlermeldungen reagiert, für eine Aufgabenlösung vor der Herausforderung in diesem komplexen Umfeld effizient und zielgerichtet relevante Informationen aus umfangreichen Dokumentationen und Datenbanksystemen zu erhalten. Dies betrifft sowohl vielschichtige aufwendige Maßnahmen als auch Routinetätigkeiten. Ohne Weiterentwicklung der verwendeten Schnittstellentechnologie wird es für ihn zunehmend aufwendiger an notwendige Informationen zu gelangen oder relevante zu beachten. Für die Minimierung anfallender Kosten ist ein direkter Zugriff auf nutzbringende Informationen ebenfalls beachtenswert.

Neben einer tätigkeitsspezifischen Informationsfilterung ist dafür eine Filterung bezogen auf die örtliche Position ein erstrebenswerter Lösungsansatz. So können beispielsweise einem Techniker im Feldeinsatz notwendige Pläne oder Daten für Zulieferteile direkt bei örtlicher Nähe an einem Bauteil oder anderen relevanten Instandhaltungs- und Wartungsorten gefiltert bereitgestellt werden. Dies erlaubt eine unmittelbare positionsbezogene Zugänglichkeit zu Informationen, ohne dass seitens eines Technikers eine aufwendige manuelle Selektion durchgeführt werden muss. Für mobile Anlagenteile, wie mobile Roboter, kann eine solche Art der Informationsbereitstellung ebenfalls nutzbringend sein. Zudem lassen sich informative Sicherheitsmechanismen für sicherheitsrelevante Bereiche zum Schutz eines Technikers oder der Integrität einer Anlage einrichten. Weitere Benutzergruppen können ebenfalls von einer ortsbezogenen Filterung von Informationen profitieren. Beispielsweise kann ein solcher Filter bereits bei Plänen für die Erbauung einer Anlage eingesetzt werden, um Bauarbeiter, respektive einen Bauleiter bei Informationsverteilungen zu unterstützen. Auch hinsichtlich modernster Assistenzsysteme mittels erweiterter Realität (Extended Reality, XR) ist ein ortsbezogener Filter attraktiv, um eine Koordinierung dieser Anwendungen zu realisieren.

Für eine entsprechende Umsetzung muss ein zugrundeliegendes Modell verschiedene Anforderungen erfüllen. Hierfür wurden im Rahmen dieses Beitrages vier spezifische Kategorien ausgewählt: Standort, Datenschema, Kontext und Vermittlung. Die wesentlichen Anforderungen an ein Modell innerhalb dieser Kategorien sind wie folgt:

- **Standort (Req-A):** Ortsbezogene Informationsbereitstellung basierend auf der Position eines Nutzers mit Anpassbarkeit an variable Anlagengröße
- **Datenschema (Req-B):** Struktur, die eine Repräsentation, Ergänzung, Integration und Aktualisierung von Informationen ermöglicht

-
- **Kontext (Req-C):** Informationen stehen einem Nutzer basierend auf der Relevanz für seine Rolle oder Aufgabe zur Verfügung und sind nach dessen individuellen Bedürfnissen adaptiv und personalisierbar
 - **Vermittlung (Req-D):** Informationen werden für einen Nutzer assistierend zur Aufgabenlösung bereitgestellt

Unter der Berücksichtigung dieser Anforderungen wird innerhalb dieses Beitrages ein Konzept für ein räumliches Informationsmodell im Kontext komplexer industrieller Großanlagen (Spatial Information Model for Complex Industrial Plants, SIM-CIP) vorgestellt, um standortbezogene Dienste zu ermöglichen.

2 Standortbezogene Dienste

Standortbezogene Dienste (Location Based Service, LBS) sind Anwendungen, die den Standort eines Nutzers verwenden, um darauf basierende digitale Dienste bereitzustellen [We14]. Typischerweise werden diese Anwendungen auf portablen Endgeräten wie Tablets, Handys und XR-Brillen genutzt. Die Anwendungsfelder reichen von Marketing oder Unterhaltung bis hin zu Navigation oder Bestandsverwaltung [Fa18]. Mit steigender Digitalisierung haben sich LBSs zu einem bedeutenden Forschungsfeld entwickelt. Vor allem Aspekte der Positionierung, Kartierung und Kontextabhängigkeit werden darin thematisiert.

Für die Positionierung von LBSs können verschiedene Technologien eingesetzt werden [YR15, Fa22]. Im freien Gelände ist das Global Positioning System (GPS) als Standard etabliert. Für eine Innenraumpositionierung (IPS) ist es größtenteils notwendig gesonderte Funktechnologie mit eigener Infrastruktur oder rechenaufwändige computergestützte Bildverarbeitung (Computer Vision, CV) einzusetzen. Funksysteme für eine IPS sind beispielsweise WiFi, Bluetooth Low Energy (BLE), Ultra-Wideband (UWB) und Radio-Frequency Identification (RFID). Überwiegend werden dabei RSSI-Signale (Received Signal Strength Indicator, RSSI) ausgewertet. Beispiel für ein LBS mittels Funktechnologie im Innenraum ist das System von Estimote [Es12]. Bei einer erforderlichen, möglichst exakten Bestimmung der Position eines Nutzergerätes (<1cm Abweichung), ist es nötig Lösungen aus der computergestützten Bildverarbeitung zu verwenden. Dabei werden visuelle Merkmale der Umgebung erfasst und interpretiert. Bei diesem Genauigkeitsanspruch ist diese Technologie sowohl für die Innenraumpositionierung als auch für die Positionierung im freien Gelände erforderlich. Zusätzlich können, falls vorhanden, interne Messeinheiten (Internal Measurement Units, IMUs) eines Gerätes für einen zusätzlichen Genauigkeitsgewinn respektive die simultane Lokalisierung und Kartierung (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) verwendet werden. Je nach Anforderung an einen LBS sind unterschiedliche Arten der Positionsbestimmung [We14] erforderlich. Für einige Anwendungen ist eine Positionserkennung durch Annäherung an einen Funksignalgeber (z. B. Bluetooth-Beacon) ausreichend. Andere Anwendungen benötigen eine Positionsbestimmung in der

Ebene oder im Raum ohne Orientierung, die beispielsweise durch Methoden der Lateration oder Angulation auf Basis mehrerer Funksignale erfolgen kann [Zh22]. LBSs, die XR-Anwendungen zur Verfügung stellen, benötigen eine Positionsbestimmung mit räumlicher Orientierung. Dafür sind zusätzliche Sensoren wie Gyroskope oder Magnetometer nötig, oder es werden Verfahren aus der CV, wie etwa Stereovision, verwendet. Microsoft entwickelte ein auf Bildverarbeitung basierendes System mit räumlichen Anker (Azure Spatial Anchors, [MS22]), um LBSs für Extended Reality Anwendungen zu ermöglichen. Für die Kartierung von LBSs können unterschiedliche Systeme verwendet werden. LBS-Anwendungen, die sich auf Nutzung von 2D-Karten mit niedriger Auflösung beschränken, verwenden geographische Informationssysteme (GIS) wie beispielsweise Google Maps [CL20]. Bei LBS-Anwendungen auf Basis von 3D-Karten werden häufig hochgradig individualisierte Systeme genutzt [Li20]. Anhand dieser Karten erfolgt Geofencing, also eine Ausweisung von LBS-Zonen für Interessenspunkte, nach unterschiedlichen Prinzipien [We14]. Zum einen können Zonen nach symbolischen Koordinaten ausgewiesen werden, bei denen eine Ortsausweisung nach Benennungen erfolgt (z. B. Zentralplattform am Verdichter). Zum anderen können Zonen nach geometrischen Koordinaten definiert werden. Typischerweise erfolgt dies über ein Rasterkoordinatensystem, das am GPS-System orientiert ist. Bei beiden Prinzipien wird angenommen, dass sich ein Interessenspunkt mit hoher Wahrscheinlichkeit innerhalb einer definierten Zone befindet. Kontextabhängige LBSs berücksichtigen neben den Standort des Nutzers, relevante Faktoren wie Aktivität, Umgebung, Zeit und persönliche Präferenzen. Die Forschungsschwerpunkte in diesem Bereich liegen insbesondere auf der kontextuellen Erfassung, Darstellung, Schlussfolgerung und Anpassung [GDF18].

Bei Betrachtung der Forschungsliteratur wird deutlich, dass sich LBSs vorwiegend auf Verbraucheranwendungen wie Navigation, Tourismus, standortbasierte Werbung oder Geotagging konzentrieren, während Potenziale in industriellen Prozessen bisher untergeordnet betrachtet und ein Defizit in der Anwendung in industriellen Sektoren wie dem Maschinen- und Anlagenbau besteht [Fa18]. Begründen lässt sich das mit der herausfordernden Integration von LBSs im industriellen Umfeld. Neben einer fehlenden Nachfrage nach LBSs in industriellen Prozessen durch ein mangelndes Bewusstsein für die Technologie, ist eine direkte Übertragung von LBS-Verbraucheranwendungen auf Industrieanlagen kaum möglich. Der Anspruch an ein LBS im industriellen Kontext unterscheidet sich dafür zu deutlich. Während ein LBS basierend auf einer Karte von Google Maps für Verbraucheranwendungen ausreicht, sind in industriellen Anlagen präzisere und detailliertere Karten erforderlich. Zudem müssen teilweise Schnittstellen hinsichtlich Soft- und Hardware, für industrielle LBSs speziell entwickelt oder angepasst werden. Darüber hinaus gelten in industriellen Anlagen oft strengere Regeln und Vorschriften hinsichtlich Datenschutz und -sicherheit als im Verbrauchermfeld. Das in diesem Beitrag vorgestellte Konzept eines räumlichen Informationsmodells zielt darauf ab, verschiedene Komponenten eines kontextabhängigen LBSs für eine Umsetzung im industriellen Bereich zu identifizieren und vorzustellen. Dies soll dazu beitragen, die Anwendung eines solchen Systems im industriellen Umfeld hinsichtlich Industrie 5.0 und der damit verbundenen Menschzentrierung, zu verbessern.

3 Konzept eines räumlichen Informationsmodells am Beispiel einer komplexen Wärmepumpenanlage

Im Rahmen dieses Beitrages wird für das Einbringen von kontextabhängigen LBSs in komplexen industriellen Anlagen ein räumliches Informationsmodell vorgeschlagen. Dies soll eine Struktur für die Verknüpfung von räumlichen Informationen mit weiteren attributiven Informationen beschreiben, um somit eine Information um den realen Faktor Ort, an dem diese auftritt, respektive benötigt wird, zu erweitern. Im Folgenden wird zuerst ein Anwendungsfall an einer komplexen Wärmepumpenanlage beschrieben für den kontextabhängige LBSs eingesetzt werden sollen. Anschließend folgt die Beschreibung der Bestandteile des Modells in Bezug auf den Anwendungsfall.

3.1 Instandhaltungs- und Wartungsvorgänge an einer Wärmepumpenanlage

In dem in diesem Beitrag betrachteten Anwendungsfall einer komplexen Wärmepumpenanlage umfasst die Technische Dokumentation mehrere Tausend Seiten. Die Gesamtdokumentation ist in verschiedene Teildokumentationen untergliedert, wobei ein Großteil auf Dokumentationen für Zulieferteile entfällt, die wiederum Sektionen beinhalten. In Hinblick auf Instandhaltungs- oder Wartungstätigkeiten sind daraus jedoch, abhängig von der auszuübenden Aufgabe, lediglich spezifische Auszüge relevant. So muss eine Anlagenaufsicht im Falle eines Alarmsignals aus der Anlage, beispielsweise in Form eines Fehlercodes, die umfangreiche Technische Dokumentation durchsuchen und sich gegebenenfalls mit anderen Anlagenexperten abstimmen, um potenziell mögliche Ursachen des Fehlers zu ermitteln. Diese werden anschließend an einen Techniker weitergeleitet, der im Anlagenbereich nach der tatsächlichen Ursache des Fehlers sucht. Daraufhin muss der Techniker die notwendigen Wartungsdokumente in der Technischen Dokumentation finden, um eine Problembehebung nach Anleitung durchzuführen.

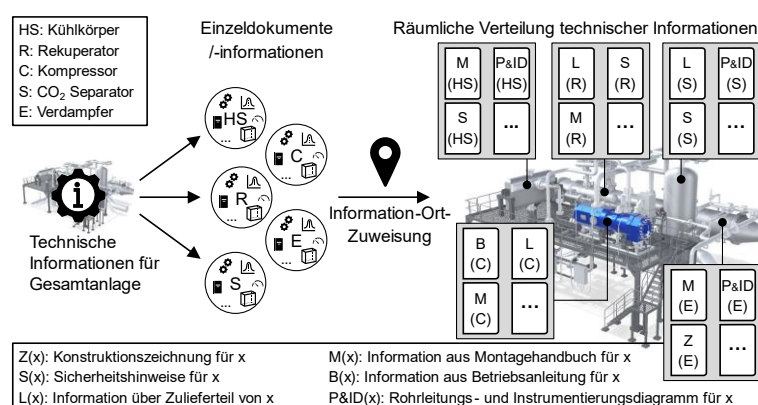


Abb. 3.1: Gezielte räumliche Bereitstellung technischer Informationen für die Instandhaltung am Beispiel einer komplexen Wärmepumpenanlage (Bildquelle: MAN ES SE)

Um die beschriebene Prozesskette effizienter zu gestalten, muss ein Techniker im Feld dabei unterstützt werden auf relevante Informationen schnell und zielgerichtet zuzugreifen. Kontextabhängige LBSs, also standortbezogene Informationsbereitstellungen (Abb. 3.1) mit nutzenbringenden Filtermöglichkeiten, können hier eine Möglichkeit der Unterstützung sein. Bezogen auf den beschriebenen Anwendungsfall können beispielsweise Wartungsdokumente direkt bei örtlicher Nähe und auf Basis der Rolle des Technikers an einem betreffenden Wartungsort gefiltert bereitgestellt werden. Ein Techniker soll damit ohne aufwendige manuelle Selektion die für ihn relevanten Informationen erhalten, zusätzliche sicherheitsrelevante Warnhinweise bekommen und gegebenenfalls durch Technologie, wie XR, assistiert werden.

3.2 Beschreibung des räumlichen Informationsmodells

Das Konzept des räumlichen Informationsmodells enthält die in Abb. 3.2 dargestellten Komponenten, um bei der hier behandelten Wärmepumpenanlage kontextabhängige LBSs zu realisieren. Darin enthalten ist ein Datenbanksystem, ein Positionierungssystem, ein Kartierungssystem, ein Kontextmanagementsystem und eine Benutzerschnittstelle. Es beschreibt somit den Weg vom Informationsbaustein bis zum Benutzer. Die spezifischen Merkmale der Einzelkomponenten werden im Folgenden erläutert.

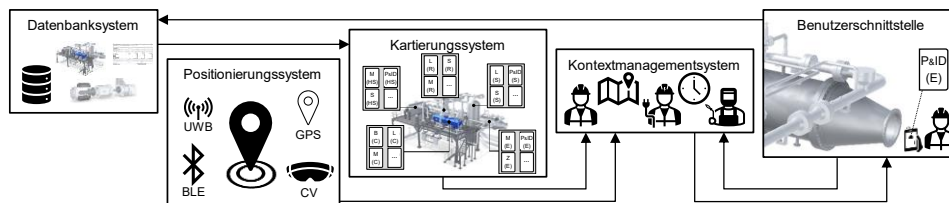


Abb. 3.2: Konzept des räumlichen Informationsmodells unterteilt in die grundlegenden Systeme

Datenbanksystem. Das Datenbanksystem enthält sämtliche Informationen, die für verschiedene Aufgaben innerhalb der Anlage nötig sind (Req-B). Im Falle der hier behandelten Wärmepumpenanlage zählen dazu beispielsweise Montagehandbücher, Betriebsanleitungen, Pläne, Echtzeit-Prozessdaten, Warnsignale, Sicherheitsbereiche und Kontrollberichte. Die enthaltenen Informationen innerhalb des Systems sind untergliedert in Informationsbausteine (ein Informationsbaustein ist im Rahmen dieses Beitrages eine einzelne, abgeschlossene Information, die einen grundlegenden modularen Bestandteil übergeordneter Informationsstrukturen, wie beispielsweise Wissensgraphen, darstellt). Informationsbausteine können in ihrem Umfang unterschiedlich ausgeprägt sein. Diese reichen von umfassenden PDF-Dokumenten über einzelne Kapitel, Textausschnitte oder Grafiken bis hin zu einzelnen Werten. Organisiert werden diese Bausteine beispielsweise anhand von Metadaten, Tags, semantischen Beschreibungen oder räumlichen Koordinaten. In dem hier beschriebenen Konzept bilden Informationsbausteine die Grundlage für das Kartierungs- und Kontextmanagementsystem.

Positionierungssystem. Das Positionierungssystem bestimmt die Position eines Nutzergerätes innerhalb der Anlage durch die Auswertung von im Folgenden beschriebenen Sensordaten (Req-A). Bei der hier betrachteten Wärmepumpenanlage sind deshalb für eine Positionsbestimmung verschiedene Bedingungen zu berücksichtigen. So spielt die Größe der Anlage eine entscheidende Rolle, ebenso wie dessen Belichtung und die darin auftretenden Reflexionen von metallischen Oberflächen. Interferenzen mit anderen Geräten sind ebenfalls möglich. Es handelt sich hierbei um eine statische Anlage, wodurch kaum Änderungen in der Anlagenumgebung zu erwarten sind. Außerdem existieren Bereiche innerhalb der Anlage von unterschiedlicher Relevanz. So werden Informationen beispielsweise am Kompressor vermehrt benötigt und eine exakte Informationseinbettung kann sinnvoll sein, wohingegen in Zwischengängen größtenteils eine rein zonenbezogene Informationsbereitstellung ausreicht. Im Anwendungsfall sind somit folgende Stufen der Ortung angedacht:

- **Stufe I – Annäherung an Funksignalegeber (Beacon):** Überwiegend für Warn- und Sicherheitshinweise oder Statusmeldungen bei Signalempfang, sowie für die mobile Informationsbereitstellung (mobile Beacons)
- **Stufe II – Lateration von Funksignalen (mehrere Beacons):** Bildet die Basis der ortsbezogenen Informationsbereitstellung, um Zonen für beispielsweise Dokumentenbereitstellungen auszuweisen und liefert die Koordinierungsgrundlage für die in Stufe III verwendete CV
- **Stufe III – CV mit SLAM (Kamera und IMU-Nutzung):** Für präzise örtliche Einbettung von Informationen mittels XR-Visualisierungen

Innerhalb dieses Anwendungsfalles ist primär der Einsatz von Stufe II vorgesehen. Es kann jedoch wahlweise das Prinzip aus Stufe I genutzt werden oder eine ergänzende Feinpositionierung durch eine Stufe III Ortung erfolgen. Die resultierenden Standortdaten werden anschließend für eine koordinierte Informationsbereitstellung dem Kontextmanagementsystem übermittelt.

Kartierungssystem. Innerhalb des Kartierungssystems wird eine 3D-Karte der Wärmepumpenanlage anhand von CAD-Modelldaten mit Informationsbausteinen aus dem Datenbanksystem erstellt (Req-A & Req-B). Hierbei findet eine attributive Ortskennzeichnung und Ortszuweisung von Informationen zu den Bereichen der Wärmepumpenanlage statt. Idealerweise besteht die 3D-Karte aus einer vollständigen CAD-Modellabbildung der Anlage, die jedoch nicht voraussetzend ist, da die visuelle Darstellung der Anlage überwiegend als Unterstützung für das Hinterlegen von Informationsbausteinen innerhalb der Karte dient. Modelldaten sind allerdings essenziell, falls Modellerkennungsverfahren genutzt werden, um Informationsbausteine visuell an beispielsweise Bauteilen einzubetten. In diesem Anwendungsfall erfolgt eine Informationshinterlegung primär über Rasterkoordinaten. Es wird davon ausgegangen, dass ein Informationsbaustein mit hoher Wahrscheinlichkeit in einem definierten Sektor benötigt, respektive sich ein dazugehöriges Bauteil darin befindet. Somit können Informationen unabhängig von einem Bauteil referenziert werden, was beispielsweise eine

zonenbezogene Ausweisung von Sicherheitsinformationen ermöglicht. Auch die Koordinierung von Bereichen, an denen ein Modellerkennungsverfahren für die Bereitstellung eingebetteter Informationen über CV eingesetzt werden soll, erfolgt durch eine Ausweisung innerhalb des Rasterkoordinatensystems. Durch diese kombinierte Nutzung aus Rasterkoordinaten und Modellerkennungsverfahren soll ein skalierbares ressourcenschonendes System ermöglicht werden. Eine Bereichsdefinition, um Informationsbausteine innerhalb der Karte zu hinterlegen und somit Informationscluster zu bilden, erfolgt nach verschiedenen Aspekten. Einmal werden Bereiche anhand physischer Raummerkmale definiert, die sich aus baulichen Gegebenheiten wie Raumbegrenzungen durch Wände oder unterschiedliche Ebenen ergeben. Ebenso werden Bereiche um einzelne Bauteile respektive Baugruppen ausgewiesen. Dadurch ist es beispielsweise denkbar, dass im Anlagenbau etablierte Kraftwerk-Kennzeichensystem (KKS) zu integrieren, da darin alle Bauteile eindeutig bezeichnet und identifiziert sind und somit korrespondierende Informationen entsprechend zugeordnet werden können. Weitere Bereichseinteilungen sind nach Funktionen, Prozessen oder Sicherheitsaspekten möglich. Hierfür ist aber jeweils eine eindeutige örtliche Identifikation Voraussetzung. Die definierten Bereiche werden zum Abruf der Informationsbausteine mit beispielsweise Metadaten oder Tags versehen, um eine Referenz zu ermöglichen. Diese Kartenstruktur mit den Informationsclustern wird dem Kontextmanagementsystem letztendlich bereitgestellt.

Kontextmanagementsystem. Innerhalb des Kontextmanagementsystems werden die verschiedenen Rollen und weitere potenziell nützliche Filter (z. B. Aufgabe, Zeit, etc.) definiert, um den Zugriff auf Informationsbausteine der Wärmepumpenanlage zu regeln (Req-C). Damit können diese zielgerichtet gefiltert beispielsweise einem Techniker über die Benutzerschnittstelle bereitgestellt werden. Hierfür werden sämtliche Attribute, mit denen Informationsbausteine im Modellrahmen verknüpft sind, innerhalb dieses Systems koordiniert, sodass diese in den definierten Bereichen der 3D-Karte bereitgestellt werden können. Das Kontextmanagementsystem übernimmt hier ebenfalls die Koordinierung der Position auf Basis der erstellten 3D-Karte und der erhaltenen Standortwerte des Nutzers. Aufgrund der Vielfalt industrieller Anlagen existieren keine allgemeingültigen Rollen respektive Filter, weshalb eine jeweilige systematische Definition dieser erforderlich ist. Ein geeignetes Vorgehen besteht darin, zunächst notwendige Benutzergruppen zu identifizieren. Bei der hier behandelten Wärmepumpenanlage wären das unter anderem die Anlagenaufsicht, Mechaniker und Elektriker. Anschließend werden Aufgaben und Berechtigungen für jede dieser Benutzergruppen analysiert. Basierend darauf lassen sich einzelne Rollen mit dazugehörigen spezifischen Berechtigungen erstellen. In der hier behandelten Anlage zählen dazu beispielsweise „Anlagenaufsicht“, „Mechanik - Inspektion“, „Mechanik - Wartung“.

Benutzerschnittstelle. Vervollständigt wird das Konzept durch die Benutzerschnittstelle, die auf eine Verwendung von Tablets, Handys oder XR-Brillen ausgerichtet ist. Darin werden sämtliche relevanten Informationen einem Nutzer zugänglich gemacht und spezifische Konfigurationen zur Verfügung gestellt (Req-C & Req-D). Dafür wird auf die

verschiedenen Benutzerrollen und weitere Filter aus dem Kontextmanagementsystem zurückgegriffen. Unabhängig vom Endgerät werden diese, sowie weitere Informationen seitens des Kartierungs- und Kontextmanagementsystems, für den LBS bereitgestellt. Lediglich die Client-Anwendung, die unter anderem die grafische Benutzeroberfläche enthält, muss entsprechend des Endgerätes angepasst sein. Ein Hinzufügen von Informationsbausteinen zum Datenbanksystem über die grafische Benutzeroberfläche respektive Client-Anwendung, wie beispielsweise Prüfberichte, ist ebenfalls angedacht.

4 Evaluation

Das Konzept des räumlichen Informationsmodells wurde mit Experten aus Fachbereichen der Technischen Dokumentation, der multimedialen Anwendung und des Anlagenbaus diskutiert. Es wurden überwiegend Einzelgespräche mit neun Experten geführt, die in ihrem jeweiligen Fachbereich größtenteils mehr als zehn Jahre tätig waren. Alle Fachbereichsexperten geben dem Modell eine allgemeine Zustimmung und betonen die Bedeutung eines ganzheitlichen Ansatzes, um Informationen strukturiert und zielgerichtet bereitzustellen. Die Experten der Technischen Dokumentation (vier Personen) wiesen insbesondere auf die Schwierigkeit hin, Informationsbausteine zu definieren und zu extrahieren. Vor allem hinsichtlich der Rollendefinition im Kontextmanagement sehen sie das als herausfordernd an. Zudem raten diese bei einer Systementwicklung das im Kraftwerksbau überwiegend eingesetzte KKS zu beachten. Die Experten für multimediale Anwendung (drei Personen) unterstrichen die Bedeutung des Hinzufügens von Informationsbausteinen in das Datenbanksystem seitens eines Benutzers. Die Experten des Anlagenbaus (zwei Personen) halten einen Einsatz der Modellumsetzung bereits beim Erbauen einer Anlage für denkbar, um es anschließend für Wartungsvorgänge weiter zu nutzen respektive zu erweitern. Alle Experten wiesen auf die Schnittstellenproblematik, bedingt durch die Vielzahl an Systemen mit unterschiedlichen Datenformaten innerhalb einer Anlage, hin. Ein Großteil sieht aber das Modell als eine Grundlagenstruktur für eine ganzheitliche informationsbezogene Anlagenübersicht.

5 Fazit und Diskussion

In diesem Beitrag wurde ein Konzept für ein räumliches Informationsmodell für komplexe industrielle Anlagen vorgestellt. Dafür wurden Instandhaltungs- und Wartungsvorgänge bei einer komplexen Wärmepumpenanlage betrachtet. Daran wurden mögliche Anforderungen an ein Modell identifiziert und Bestandteile erläutert. Der daraus resultierende Modellansatz besteht aus einem Datenbanksystem, einem Positionierungssystem, einem Kartierungssystem, einem Kontextmanagementsystem und einer Benutzerschnittstelle. Die Systeme stehen in Wechselwirkung und sollen eine Grundlage für kontextabhängige LBSs innerhalb industrieller Anlagen bilden. Durch den Fokus des Beitrages auf die Modellkonzeptionierung wurde davon ausgegangen, dass benötigte Informationsbausteine bereits für bestimmte Anlagenbereiche vorgegeben sind.

Dies ist allerdings ein aufwendiger Prozess, der zusätzlich stark abhängig von einer Anlage ist und deshalb gesondert betrachtet werden sollte. Außerdem wird im Modell von einer statischen Karte ausgegangen, die durch eine dynamische Positionserkennung ergänzt werden kann. Zukünftig sollte, auch hinsichtlich der Aktualität einer Karte, eine dynamische Kartierung behandelt werden. Durch die enormen Fortschritte im Bereich der künstlichen Intelligenz sollte auch dessen Einsatz bei der Wechselwirkung zwischen den Systemen oder innerhalb eines jeweiligen Systems in Betracht gezogen werden.

Literaturverzeichnis

- [BDP21] Breque, M.; De Nul, L.; Petridis, A.: Industry 5.0: towards a sustainable human-centric and resilient European industry. LU: European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Luxembourg, 2021.
- [CL20] Chan, C. M.; Lau, S. L.: Using augmented reality and location-awareness to enhance visitor experience: A case study of a theme park app. In 2020 IEEE Graphics and Multimedia (GAME), IEEE, S. 49-54, 2020.
- [Es12] Estimote Inc., www.estimote.com, Stand: 15.04.2024.
- [Fa18] Falkowski, T. et al.: Toward A Desing Approach For Industrial Indoor Location-Based Services (I²LBS). In (Marjanović, D., Hrsg.): DS 92: Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference. S. 1043-1054, 2018.
- [Fa22] Farahsari, P. S. et al.: A survey on indoor positioning systems for IoT-based applications. IEEE Internet of Things Journal, 9(10), S. 7680-7699, 2022.
- [GDF18] Grifoni, P.; D'Ulizia, A.; Ferri, F.: Context-awareness in location based services in the big data era. In (Xhafa, F., Hrsg.): Mobile Big Data: A Roadmap from Models to Technologies. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 10., Springer, S. 85-127, 2018.
- [Li20] Liu, J. et al.: A bim based hybrid 3d indoor map model for indoor positioning and navigation. ISPRS international journal of geo-information, 9(12), S. 747. 2020.
- [MS22] MS, Microsoft Corporation, www.learn.microsoft.com/en-us/azure/spatial-anchors/overview, Stand: 15.04.2024.
- [We14] Werner, M.: Indoor location-based services. Prerequisites and foundations, Springer, New York, 2014.
- [Xu21] Xu, X. et al.: Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. Journal of Manufacturing Systems, 61, S. 530-535, 2021.
- [YR15] Yassin, M.; Rachid, E.: A survey of positioning techniques and location based services in wireless networks. In 2015 IEEE International Conference on Signal Processing, Informatics, Communication and Energy Systems (SPICES), S. 1-5, 2015.
- [Zh22] Zhuang, Y. et al.: Bluetooth localization technology: Principles, applications, and future trends. IEEE Internet of Things Journal, 9(23), S. 23506-23524. 2022.