Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen wissenschaftlich begutachteten und freigegebenen Fachaufsatz („reviewed paper“).

doi.org/10.37544/1436–4980–2024–03–18

Vorgehen zur Integration von Fabrikmitarbeitenden in die modellbasierte Layoutplanung

Kollaborative Fabrikplanung mit Augmented Reality

M. Birkle, B. Voringer, J. Riegel, O. Bernhard, F. Wagner, J. Gaede, J. Böck, S. Dirr

ZUSAMMENFASSUNG Die Gestaltung des Fabriklayouts beeinflusst das Arbeitsumfeld der Mitarbeitenden maßgeblich. Eine Berücksichtigung ihres Fachwissens bei Umplanungen kann die Akzeptanz in der Belegschaft fördern und die Qualität der Planungsergebnisse steigern. Augmented Reality bietet das Potenzial einer neuen Form der interdisziplinären Zusammenarbeit. Durch eine nutzerzentrierte Darstellung relevanter Informationen direkt vor Ort können Verbesserungspotenziale effizienter identifiziert und erfasst werden.

STICHWÖRTER

Fabrikplanung, Digitalisierung, Virtual Reality

Collaborative factory planning with augmented reality – Approach for integrating factory employees into model-based layout planning

ABSTRACT The way a factory layout is designed has a major influence on the working environment of employees. Taking their expertise into account during redesign promotes acceptance among the workforce and enhances the quality of planning results. Augmented Reality (AR) may enable a new form of interdisciplinary collaboration. User-centered on-site presentation of relevant information allows for a more efficient identification of potential improvements.

1 Ausgangssituation

In Deutschland werden jährlich circa 2400 genehmigungspflichtige Neu- oder Umplanungen im produzierenden Gewerbe durchgeführt [1]. Dabei werden Fabrikplanungsmaßnahmen in klein- und mittelständischen Unternehmen (KMU) oft durch externe Dienstleistende bearbeitet, da die wenigsten KMUs eigene Abteilungen zur Fabrikplanung vorhalten können. Mitarbeitende aus der Produktion werden selten direkt in die Planung eingebunden, obwohl ihr Arbeitsumfeld betroffen ist [2, 3]. Diese Trennung von planerischen und ausführenden Tätigkeiten führt dazu, dass die Akzeptanz von Mitarbeitenden gegenüber den Maßnahmen zurückgeht [4]. Zudem kann relevantes Wissen von den von der Umplanung betroffenen Personen nicht einfließen, was sich auf die Qualität der Planungsergebnisse auswirken kann. Die Betroffenen sollen folglich in partizipativen beziehungsweise kollaborativen Fabrikplanungsvorhaben mit eingebunden werden, um deren spezifische Expertise frühzeitig zu berücksichtigen.

Insgesamt zeigt sich, dass Werkzeuge und Hilfsmittel nötig sind, welche unternehmens-, fach- und hierarchieübergreifend kollaborativ einsetzbar sind. Alle Beteiligten, vom Fabrikplaner bis hin zum Mitarbeitenden in der Produktion, müssen in die Lage versetzt werden, konstruktiv ihre Expertise in das Planungsvorgehen einzubringen. Die moderne Fabrikplanung steht damit vor der Herausforderung, traditionelle Barrieren der Zusammenarbeit zu überwinden und digitale, fachübergreifende Lösungen zu entwickeln, die für alle Beteiligten leicht verständlich sind und die relevanten Informationen nutzerzentriert und bedarfsorientiert bereitstellen.

Gerade diesen Anforderungen werden konventionelle desktopbasierte Expertentools nicht gerecht. Zwar ist die Anwendung von Expertentools zur Findung fachspezifischer Lösungen unumgänglich, für Nicht-Experten ist die Informationsbereitstellung und Bedienbarkeit jedoch meist ohne entsprechende Einarbeitung nicht ausreichend verständlich [4, 5]. Um diesem Umstand Abhilfe zu schaffen, gibt es bereits vielseitige, digitale und nicht digitale Hilfsmittel, welche partizipative Fabrikplanung ermöglichen sollen. Dennoch besteht Forschungsbedarf, da bestehende Ansätze Restriktionen aufweisen. Exemplarisch anzuführen ist der Aufwand zur Anwendung der Hilfsmittel [6]. Auch die erforderliche Transferleistung bei Anwendern der Hilfsmittel von Planungsständen in das reale und bekannte Produktionsumfeld kann kritisiert werden.

Ein vielversprechender Lösungsansatz, der Limitationen aktueller Planungshilfsmittel adressiert, ist Augmented Reality (AR). Die fortschreitende technologische Reife macht die Technologie als Werkzeug zur operativen Anwendung in Fabrikplanungsvorhaben zunehmend interessant [7]. Besonders hervorzuheben ist die Möglichkeit, die reale und bekannte Umgebung bedarfsorientiert und nutzerzentriert mit Informationen anzureichern sowie die im Vergleich zu desktopbasierten Expertentools intuitive Verständlichkeit und Bedienbarkeit [8, 9]. Das Forschungsprojekt „ARZuKMU“ hat es sich daher zum Ziel gesetzt, eine Lösung zu entwickeln, welche die Potenziale von AR in die Fabrikplanung integriert sowie die Bedienbarkeit und Mitarbeiterakzeptanz untersucht.

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-03-18 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

2 Grundlagen und Stand der Technik

Bereits heute gibt es verschiedene Ansätze, die eine partizipative Fabrikplanung erlauben. Das Know-how von Produktionsmitarbeitenden wird bei Neu- oder Umplanungen beispielsweise über fertigungsnahe Workshops mit digitalen oder klassischen Methoden miteinbezogen [5]. Lösungen wie Cardboard-Engineering, Lego- oder 3D-Druck-Modelle ermöglichen schon jetzt die kollaborative Zusammenarbeit und fördern die Lösungsfindung [6]. *Tröger* kritisiert jedoch den hohen Aufwand der Methoden insbesondere beim Einsatz bestehender Systeme und wirbt für die Entwicklung digitaler Lösungen [6]. Auch die Möglichkeit in der Planungsphase erstellte Modelle in der digitalen Fabrik weiterzuverwenden oder die Anreicherung der Modelle mit zusätzlichen Informationen aus Expertensoftware ist mit den erwähnten Ansätzen nicht abbildbar.

In den letzten Jahren wurden beim Einsatz digitaler Lösungen relevante Fortschritte erzielt. Dabei kommen zunehmend auch Extended-Reality-Technologien zur Anwendung [10]. So entwickelte etwa *Schlegel* im Jahr 2020 einen holistischen Ansatz für die Layoutplanung mittels Virtual Reality (VR) [11]. Es zeigte sich, dass Planungsprozesse anschaulicher und schneller gemeinsam geplant werden können [11]. Nachteilig am rein virtuellen Ansatz ist die fehlende Verbindung zur realen Arbeitsumgebung. Auch der verhinderte direkte Kontakt zur Verbesserung der Kommunikation mit den übrigen Teilnehmenden kann kritisiert werden. Zum Beispiel können nonverbale Signale wie Körpersprache, Tonfall und physischer Kontakt in der realen Interaktion eine wichtige Rolle spielen [12]. Diese Aspekte können in der VR oft nicht vollständig dargestellt werden.

AR bietet hingegen das Potenzial überlagernd zur Realität relevante Planungsinformationen anzuzeigen und kann somit für eine bessere Kontextualisierung sorgen [13]. Bisher wird AR in der Industrie vor allem in der Wartung und Instandhaltung, dem Anlagenbau und der Konstruktion eingesetzt [14–16].

AR in der Fabrikplanung beschränkt sich meist auf bestimmte Teilaspekte zur Feinplanung von Montagesystemen, Produktionsablaufplanung oder Arbeitsplatzgestaltung. So wurde AR zur Einbindung von Mitarbeitenden in fabrikplanerische Veränderungsprozesse im Rahmen einer intuitiven Feinplanung von Montagesystemen untersucht [5, 17, 18]. Weitere Forschungsansätze integrieren Mitarbeitende in die Produktionssystemplanung [19–21]. Der Einsatz von AR fokussiert sich dabei auf die Darstellung von dynamischen Simulationen von Produktionsabläufen im realen Fabrikumfeld [19] oder dient als Hilfsmittel zur Ausgestaltung von einzelnen Arbeitsplätzen [21]. Auch im Kontext der ganzheitlichen Fabrikplanung existieren aktuelle Forschungsansätze. So entwickelte *Riexinger* eine AR-basierte Planungsanwendung, die kooperative Planungsworkshops durch grafische Darstellung und intuitive Interaktionsmöglichkeiten in einer Mixed-Reality (MR)-Umgebung unterstützt [22].

Die im Beitrag beschriebene Lösung greift bestehende Forschungsansätze auf und überträgt diese in reale Fabrikumgebungen. Gerade die Möglichkeit des vorgestellten Ansatzes Planungsstände direkt in der realen Fabrikumgebung zu diskutieren, erlaubt es, kollaborative Planungsworkshops mit den dort tätigen Mitarbeitenden abzuhalten, ohne dass ein Transfer zwischen Planungsumfeld und dem Ort der realen Umsetzung notwendig wird. Dies soll die Verständlichkeit und Bedienbarkeit erheblich erleichtern. Der aktuelle Ansatz unterscheidet sich von bestehenden Arbeiten auch in dem Ziel, Informationen in AR, beispielsweise Materialflüsse, Gebäuderestriktionen oder Möglichkeiten zur Mehrmaschinenbedienung aus Expertentools, nutzerzentriert passend für spezifische Anwendungsfälle einzubeziehen. Dadurch werden die Mitarbeitenden in die Lage versetzt effizient alle Informationen bei der Entwicklung von Planungsalternativen vor Ort mitberücksichtigen zu können.

Neben den fabrikplanerischen Aspekten sollen auch arbeitswissenschaftliche Herausforderungen betrachtet werden. Eine Studie konnte zeigen, dass Mitarbeitende eine große Bereitschaft zur Arbeit mit AR-Brillen als unterstützendem Werkzeug zeigen, sofern ein entsprechender Nutzen erkennbar ist [23]. Ziel ist es herauszufinden, welche Aspekte das AR-System in der Fabrikplanung erfüllen muss, um Hemmschwellen bei der Nutzung möglichst gering zu halten.

3 Arbeitswissenschaftliche Aspekte und Herausforderungen

Die Einführung eines AR-Systems zur kollaborativen Fabrikplanung hat eine Veränderung der Arbeitsaufgaben beziehungsweise des Arbeitsalltags der beteiligten Mitarbeitenden zur Folge. Da die Ankündigung einer Veränderung oder einer Veränderungsmaßnahme häufig zu einer Abwehrhaltung oder zu Ängsten bei den von der Veränderung betroffenen Mitarbeitenden führt, ist ein zentraler Erfolgsfaktor die Akzeptanz der Mitarbeitenden. Das heißt, die Mitarbeitenden sind von der anstehenden Veränderung und damit von der Implementierung eines AR-Systems zur ebenen- und hierarchieübergreifenden Fabrikplanung zu überzeugen. Es ist also wichtig, eine Methode zur Partizipation der Mitarbeitenden zu entwickeln, welche eine Möglichkeit aufzeigt, vorhandene Hemmschwellen zu überwinden, wie sie zum Beispiel bei geringer Vorerfahrung der Mitarbeitenden mit dem System oder bei der Übernahme zusätzlicher Aufgaben auftreten.

Grundlegend ist eine umfassende Anforderungsanalyse an das zu entwickelnde AR-System für die kollaborative Fabrikplanung. So können die Erwartungen der Nutzenden frühzeitig identifiziert und in die Entwicklungs- und Implementierungsphase des Systems integriert werden [24]. Eine kombinierte Literatur- und Interviewstudie ergab, dass 27 Anforderungen an ein AR-System für die kollaborative Fabrikplanung existieren, von denen die meisten dem Anforderungscluster Visualisierung und Steuerung zugeordnet werden können (**Bild 1**). In diesem Anforderungscluster werden vor allem Anforderungen adressiert, welche die Informationsaufbereitung und -steuerung betreffen. Eine Rolle spielen außerdem Anforderungen im Bereich der Mensch-Technik-Interaktion, wie etwa die intuitive Bedienbarkeit des Systems, und im Bereich der Funktion, wie zum Beispiel die integrierte Feedbackmöglichkeit für potenzielle Nutzende bei der Gestaltung des AR-Systems. [24]

Für eine Bindung der Fabrikmitarbeitenden an den AR-basierten, kollaborativen Fabrikplanungsprozess ist die Betrachtung von Konzepten zur Interaktion der Nutzenden sinnvoll. Aktuelle Trends, wie etwa Gamification, ermöglichen es, die Motivation, die Beteiligung und die Produktivität der Mitarbeitenden durch die gezielte Integration von spieltypischen Elementen, wie Punktesysteme oder Auszeichnungen in Arbeitsprozessen, zu erhöhen [25, 26]. Die Funktionsweise basiert dabei auf der direkten Adressierung des inneren Bestrebens eines Menschen, sich an Spielen zu beteiligen und nach Belohnungen und Erfolg [25, 27].

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-03-18 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

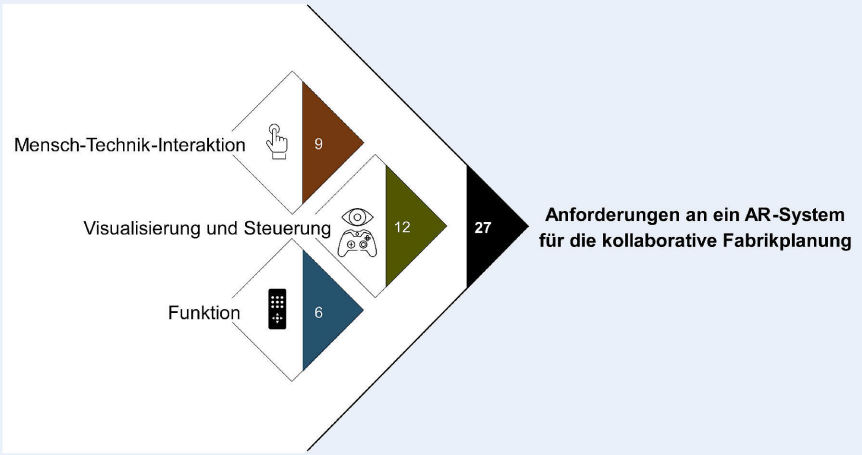

Bild 1. Anzahl und Cluster der Anforderungen an ein AR (Augmented Reality)-System für die kollaborative Fabrikplanung. *Grafik: iwb nach [24]*

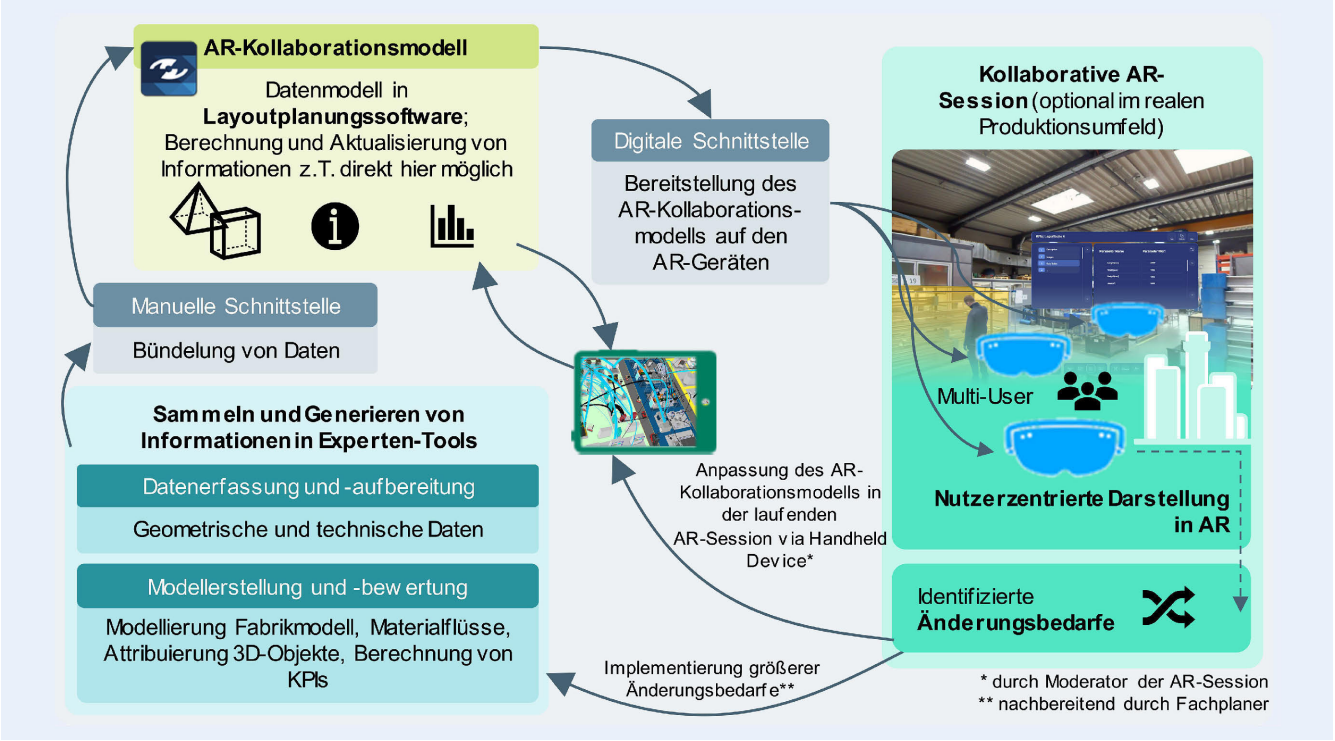

Bild 2. Grobkonzept des Vorgehens zur kollaborativen Fabrikplanung mit Augmented Reality. *Grafik: Fraunhofer IGCV, Radiusmedia*

Die beschriebenen Erkenntnisse der arbeitswissenschaftlichen Aspekte fließen in das Vorgehen zur kollaborativen Fabrikplanung mit AR ein.

4 Vorgehen zur kollaborativen Fabrikplanung mit Augmented Reality

Um optimale Planungsergebnisse effizient zu erzielen, sollen sowohl Fabrikplaner wie auch Mitarbeitende aus den betroffenen Bereichen kollaborativ in der bekannten, realen Umgebung in die Planung eingebunden werden können. Ihre Sichtweisen sollen durch eine intuitive, nutzerzentrierte und anwendungsorientierte Bereitstellung von Informationen in die Planung einfließen. Um diese Ziele zu erreichen, wurde das in **Bild 2** schematisch dargestellte Konzept erarbeitet. Im Zentrum der Betrachtung steht die kollaborative AR-Session.

Das Planungsmodell, im weiteren Verlauf „AR-Kollaborationsmodell“ genannt, umfasst neben der bloßen geometrischen Anordnung von Fabrikobjekten und deren Visualisierung auch Aspekte wie Gebäuderestriktionen, Materialflüsse oder Hinweise hinsichtlich einer notwendigen Mehrmaschinenbedienung. Diese Informationen werden räumlich passend in das Layout integriert und in AR dargestellt. Sämtliche erforderlichen Informationen müssen initial erfasst oder generiert werden. Dazu soll auf etablierte Expertentools zurückgegriffen werden.

Wie Bild 2 zeigt, erfolgt in der kollaborativen AR-Session die Übertragung des AR-Kollaborationsmodells an die AR-Geräte über eine im Projekt zu entwickelnde, cloudbasierte Schnittstelle. An der AR-Session nehmen alle Beteiligten, vom Fabrikplaner bis

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-03-18 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY

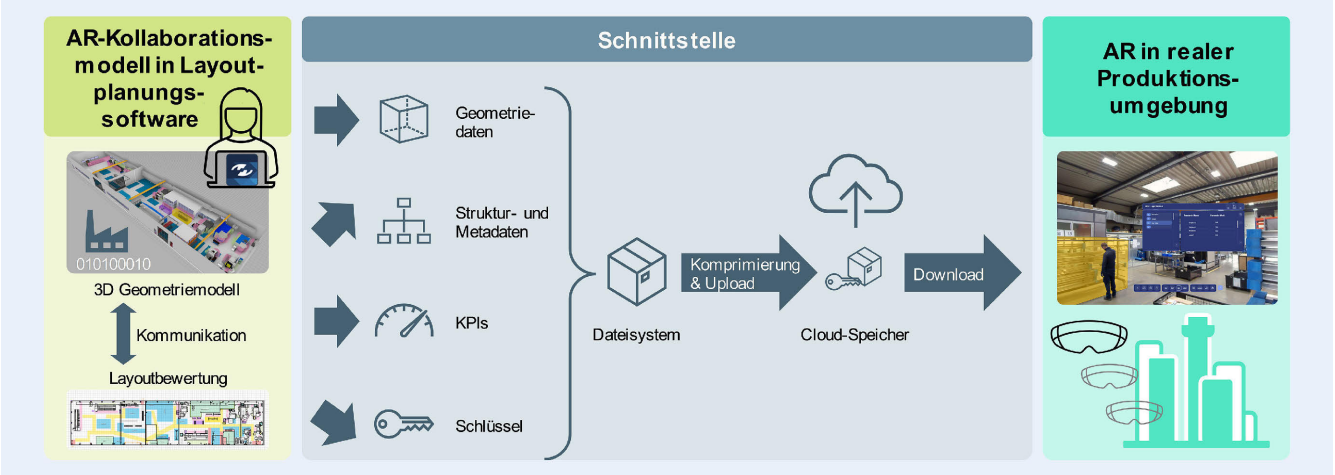

Bild 3. Architektur und technische Infrastruktur der Schnittstelle. *Grafik: plavis*

zum Mitarbeitenden in der realen Umgebung teil. Dabei sollte die Auswahl des Teilnehmerkreises fallspezifisch getroffen werden. Um den Mitarbeitenden einen einfachen Einstieg in die Applikation zu erlauben und eine Überforderung mit der AR-Umgebung vorzubeugen, wird die Session durch eine im Umgang mit AR erfahrene Person moderiert. Wesentliche Aufgabe ist es, die übrigen Teilnehmenden durch die Anwendung zu führen. Die moderierende Person kann dabei im Multi-User-Modus mit mehr Funktionen und Einstellmöglichkeiten ausgestattet werden als Partizipierende.

Um möglichst effizient verschiedene Anwendungsfälle diskutieren zu können, ist das AR-Kollaborationsmodell in Layerstruktur aufgebaut. So können in der AR-Session bestimmte Informations- oder Objektsets gezielt nach Bedarf ein- oder ausgeblendet werden. Für die Planung der Fertigungs- und Logistikprozesse würden beispielsweise Informationen zu 2D-Blocklayouts von Fertigungs-, Puffer- und Lagerflächen sowie 3D-Fertigungs- und Logistikobjekte angezeigt, Informationen zu Bodenlasten oder TGA (Technische Gebäudeausrüstung)-Anschlüsse wären hingegen ausgeblendet. Zur objektiven Beurteilung des Planungsstandes werden ergänzend Kennzahlen eingeblendet, die in den entsprechenden Expertentools berechnet worden sind, wie etwa die prozentuale Flächennutzung gemäß DIN 277 [28].

Festgestellte Änderungsbedarfe können auf zwei Wegen implementiert werden: Kleinere, schnell umsetzbare Anpassungen werden von der moderierenden Person oder einer weiteren geschulten Person über ein Handheld Device unmittelbar im AR-Kollaborationsmodell angepasst. Die Informationsweitergabe durch den Teilnehmerkreis erfolgt dabei verbal und durch Gesten. Der Umstand, dass AR-Brillen den Blick auf die reale Umgebung und somit auch auf die übrigen Teilnehmenden ungestört zulassen, ist bei der Kommunikation förderlich. Teilnehmende können beispielsweise direkt auf den Hallenabschnitt zeigen, auf welchen sie eine Anlage verschieben möchten. Das aktualisierte Modell wird anschließend über die cloudbasierte Schnittstelle in die AR-Umgebung zurückgespiegelt. Neben der geometrischen Änderung wird auch die Veränderung der für die Layoutplanung relevanten KPIs (Key Performance Indicator) wie Flächenauslastung oder logistische Wegstrecken im Vergleich zum vorherigen Layout sichtbar, sofern diese direkt im Kollaborationsmodell berechnet werden können.

Durch die Visualisierung werden Planungsvarianten greifbar, verständlich und gleichzeitig datenbasiert unmittelbar bewertbar. Sind umfangreiche Änderungen an dem Planungsstand erforderlich oder müssen Informationen aus einer dritten, nicht direkt über die entwickelte Schnittstelle angebundenen Software aktualisiert werden, ist voraussichtlich keine direkte Aktualisierung des Modells in zeitlich vertretbarem Rahmen möglich. Die Änderungsanforderungen müssen folglich aufgenommen und im Nachgang in der entsprechenden Expertensoftware umgesetzt werden. Ein Vorteil von diesem Vorgehen ist, dass auf etablierte und gut funktionierende, desktopbasierte Modellierungstechniken zurückgegriffen werden kann. Anschließend ist es gegebenenfalls erforderlich den aktualisierten Stand in einer erneuten AR-Session zu bewerten.

Auch kann das Kollaborationsmodell in beliebiger Skalierung in der realen Umgebung dargestellt werden. Unter Umständen ist je nach Anwendungsfall und Diskussionsphase eine Anpassung der Skalierung durch die moderierende Person hilfreich. Denkbar ist es, zu Beginn in einer kleinen Darstellung einen Gesamtüberblick zu geben, bevor das Modell in realer Größe betrachtet wird. Für die Überlagerung des digitalen Kollaborationsmodells in AR mit der realen Produktionsumgebung wird ein verbindlicher Referenzpunkt in Form eines QR-Codes festgelegt, um eine Deckungsgleichheit der beiden Welten zu gewährleisten. Nach initialer Ausrichtung des Modells kann durch Scannen des QR-Codes der Zustand jederzeit wiederhergestellt werden.

Grundvoraussetzung für die Umsetzung dieses Konzepts ist die technische Programmierung der erforderlichen Schnittstellen und Anwendungen, die zum Datentransfer und zur Interaktion mit den Planungsmodellen in der AR-Umgebung erforderlich sind. Es fließen die in Kapitel 3 beschriebenen arbeitswissenschaftlichen Anforderungen ein, um die Akzeptanz der AR-Anwendung sicherzustellen. Eine intuitive virtuelle Darstellung, verständliche Bedienoberflächen und Interaktionsmöglichkeiten sind entscheidend. Daneben gilt es die technischen Gegebenheiten, wie Restriktionen durch die begrenzte Rechenleistung von AR-Brillen oder Aspekte der Datensicherheit, zu berücksichtigen. Um trotz der Einschränkungen den inhaltlichen Anforderungen gerecht zu werden, muss eine geeignete Schnittstelle zum Datenaustausch geschaffen werden. **Bild 3** zeigt die hierzu entwickelte Architektur und technische Infrastruktur.

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-03-18 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

Ausgangspunkt ist die Layoutplanungssoftware, in welcher Informationen aus Expertentools gebündelt sowie ein optimiertes 3D-Geometriemodell und einige Funktionen zur objektiven Layoutbewertung zur Verfügung gestellt werden (siehe Bild 2). Aus diesen Komponenten können die erforderlichen KPIs zur Layoutplanung über ein Plug-in entnommen, als Dateisystem abgelegt, komprimiert und mittels Upload in einem Cloud-Speicher bereitgestellt werden. Bestehende Abhängigkeiten bleiben dabei erhalten. Eine spezielle Schnittstellenoption, die lediglich eine definierte Auswahl an Fabrikobjekten exportiert, vermeidet eine kapazitive Überlastung der AR-Brillen.

Nach Abschluss der erforderlichen Entwicklungsarbeiten kann das Konzept getestet und die Potenziale können untersucht werden. Gegebenenfalls sind danach in einem iterativen Vorgehen Verbesserungen an den entwickelten Anwendungen oder dem Anwendungskonzept vorzunehmen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Fabrikumplanungen beeinflussen das Arbeitsumfeld der Produktionsmitarbeitenden stark. Eine Berücksichtigung ihres Fachwissens zur Gestaltung der idealen Lösung findet zumeist nicht statt. AR bietet eine vielversprechende Lösung, um Mitarbeitende effizient in den Layoutplanungsprozess zu integrieren. Dies soll durch eine klare, leicht verständliche Visualisierung eines mit relevanten Informationen angereichten digitalen Fabrikmodells in der realen Produktionsumgebung ermöglicht werden. Der Beitrag stellt neben arbeitswissenschaftlichen Aspekten ein konzeptionelles Vorgehen zur kollaborativen Fabrikplanung mit AR vor. Die AR-Lösung soll eine Brücke zwischen Hierarchien, Fachbereichen, Experten und Anwendern sowie zwischen der virtuellen Planungswelt und der Realität schlagen.

Das Vorgehen wird nun im Verbundvorhaben ARZuKMU mit den Anwendungs- und Entwicklungspartnern umgesetzt und in einer realen Produktion eines produzierenden Anwenders erprobt und evaluiert. Dabei wird sowohl der Erfolg aus arbeitswissenschaftlicher als auch aus inhaltlich-planerischer Perspektive bewertet. Bei Umsetzung und Anwendung gibt es verschiedene kritische Erfolgsfaktoren, auf welche in der Testphase besonderes Augenmerk gelegt werden sollte. Zunächst ist der Mehrwert der Darstellung des Planungsstands in der realen Fabrikumgebung zu evaluieren. Während die Potenziale in einer leeren Industriehalle voraussichtlich uneingeschränkt zum Tragen kommen, kann der Einsatz bei Umplanungen im Brownfield in der realen Umgebung unter Umständen hinderlich sein. Weiterhin ist kritisch zu bewerten, ob die Weitergabe von Änderungswünschen in den AR-Sessions durch Kommunikation ausreichend ist oder ob technische Möglichkeiten zur Aufnahme ergänzt werden müssen.

Aktuell sieht das Konzept aus Effizienzgründen nur vor, dass die moderierende Person oder eine speziell geschulte Person Veränderungen am Planungsstand vornehmen kann. Daher wird ein entscheidender Erfolgsfaktor der wahrgenommene Zeitaufwand des Teilnehmerkreises für das Umsetzen von Änderungen in der Live-Session sein. Als mögliche Alternative kann eine Integration bestehender Forschungsansätze zur direkten Interaktion in das Konzept geprüft werden. Es ist zudem darauf hinzuweisen, dass das Aktualisieren von Zusatzinformationen aufgrund der unzureichenden Rechenleistung von AR-Brillen für bestimmte Anwendungsfälle nur mit separater Software möglich ist. Entsprechend wäre eine bidirektionale technische Schnittstelle erforderlich, welche die in der AR-Umgebung vorgenommenen Änderungen an die Software überträgt. Aufgrund der hohen Komplexität einer solchen Schnittstelle und des damit verbundenen Aufwands in der Entwicklung wird diese im Rahmen des Projekts vorerst nicht fokussiert.

DANKSAGUNG

Besonderer Dank gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Die Fördermittel des BMBF und das Vertrauen des Projektträgers Karlsruhe (PTKA) ermöglichen die Realisierung dieses Vorhabens mit dem FKZ 02L22B020, welches durch seine innovativen Ansätze und Ergebnisse einen positiven Beitrag für den Wirtschaftsstandort Deutschland leistet.

Literatur

[1] Statistisches Bundesamt: Statistisches Jahrbuch 2019. Kapitel 20 Produzierendes Gewerbe und Dienstleistungen im Überblick. Stand: 2019. Internet: www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Jahrbuch/jb-prod-gewerbe-dienstleistungen.pdf;jsessionid=1E3952231E8BB901F3D8C2A258E047DA.live721?__blob=publicationFile. Zugriff am 27.02.2024

[2] Neuhäuser, T.; Chen, Q.; Rösch, M. et al.: Building Information Modeling im Fabriklebenszyklus. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 115 (2020), s1, pp. 66–69, doi.org/10.3139/104.112331.

[3] Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P.: Handbuch Fabrikplanung. Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. München: Carl Hanser Verlag 2014, doi.org/10.3139/9783446437029

[4] Dombrowski, U.; Riechel, C.: Entwicklung eines Multitouch-Planungstischs zur Unterstützung der partizipativen Layoutplanung. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 105 (2010) 12, pp. 1091–1095

[5] Schäfer, S. F.: Intuitive digitale Fabriklayoutplanung: Entwicklung eines Werkzeugs zur Unterstützung der Fabrikstrukturplanung in der Automobilindustrie. Dissertation, Technische Universität Clausthal, 2019

[6] Tröger, S.; Berndt, M.; Jentsch, F. et al.: 3D-Kommunikation in der Fabrikplanung – Unterstützung von Fabrikplanungsprozessen durch physische Modelle. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 107 (2012) 9, pp. 632–636

[7] Adelmann, R.: Augmented Reality in der industriellen Praxis. In: Orsolits, H.; Lackner, M. (Hrsg.): Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion. Wiesbaden: Springer Gabler 2020, doi.org/10.1007/978–3–658–29009–2_2

[8] Gutjahr, J; Riexinger, G; Strieg, F.: Augmented Reality in der Produktion. Dinge sehen, die sonst keiner sieht. WT Werkstattstechnik online 109 (2019) 3, S. 153–157

[9] Riexinger, G.; Kluth, A.; Olbrich, M. et al.: Mixed Reality for On-Site Self-Instruction and Self-Inspection with Building Information Models. Procedia CIRP 72 (2018), pp. 1124–1129

[10] Runde, C.: VR-/AR-Anwendungsfelder im Produktionskontext. In: Orsolits, H., Lackner, M. (Hrsg.): Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion. Wiesbaden: Springer Gabler 2020, doi.org/10.1007/978–3–658–29009–2_4

[11] Schlegel, M.; Bracht, U.: Fabrikplanung 5.0 in und mit Virtual Reality. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 117 (2022) 6, pp. 358–362, doi.org/10.1515/zwf-2022–1085

[12] Popescu E.; Popescu T.: Nonverbal Communication in Job Interviews. A Case Study on Local Organisations. 11th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Romania 2019, pp. 1–4, doi.org/10.1109/ECAI46879.2019.9042010

[13] Ivanov, V.,;Pavlenko, I.; Evtuhov, A et al: Software Description of the AR Mobile Application. In: Augmented Reality for Engineering Graphics. Springer Tracts in Mechanical Engineering. Cham: Springer 2024. doi.org/10.1007/978–3–031–44641–2_4

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-03-18 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

[14] Dörner, R.; Broll, W.; Grimm, P. et al.: Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. Heidelberg: Springer 2019
[15] Egger, J.; Masood, T.: Augmented reality in support of intelligent manufacturing – A systematic literature review. Computers & Industrial Engineering 140 (2020) 30, #106195, doi.org/10.1016/j.cie.2019.106195
[16] Grothus, A.; Thesing, T.; Feldmann, C.: Digitale Geschäftsmodell-Innovation mit Augmented Reality und Virtual Reality: Erfolgreich für die Industrie entwickeln und umsetzen. Heidelberg: Springer Gabler 2021.
[17] Dinkelmann, M.: Methode zur Unterstützung der Mitarbeiterpartizipation im ChangeManagement der variantenreichen Serienproduktion durch Lernfabriken. Dissertation, Universität Stuttgart, 2016
[18] Latos, B. A.; Holtkötter, C.; Brinkjans, J. et al.: Partizipatives und simulationsgestütztes Vorgehen zur Konzeption einer flexiblen und demografierobusten Montagelinie. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 72 (2018) 1, S. 90–98, doi.org/10.1007/s41449–017–0081–8
[19] Herr, D.; Reinhardt, J.; Reina, G. et al.: Immersive Modular Factory Layout Planning using Augmented Reality. Procedia CIRP 72 (2018), pp. 1112–1117, doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.200
[20] Rohacz, A.; Weißenfels, S.; Strassburger, S.: Concept for the comparison of intralogistics designs with real factory layout using augmented reality, SLAM and marker-based tracking. Procedia CIRP 93 (2020), pp. 341–346, doi.org/10.1016/j.procir.2020.03.039
[21] Kokkas A.; Vosniakos, G.-C.: An Augmented Reality approach to factory layout design embedding operation simulation. International Journal on Interactive Design and Manufacturing 13 (2019), 1061–1071, doi.org/10.1007/s12008–019–00567–6
[22] Riexinger, G.; Kaucher, C.; et al.: Kooperative Fabrikplanung mit Mixed Reality. WT werkstattstechnik 113 (2023) 4, S. 135–139, doi.org/10.37544/1436–4980–2023–04–35
[23] Sorko, S. R.; Trattner, C.; Komar, J.: Implementing AR/MR – Learning factories as protected learning space to rise the acceptance for Mixed and Augmented Reality devices in production. Procedia Manufacturing 45 (2020), no. 6, pp. 367–372, doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.037
[24] Bernhard, O.; Sippl, F.; Zaeh, M.F: Augmented Reality in der kollaborativen Fabrikplanung von KMU – Anforderungen an den Einsatz. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 119 (2024) 3
[25] Stieglitz, S.: Enterprise Gamification – Vorgehen und Anwendung. In: Strahringer, S.; Leyh, C.: Gamification und Serious Games – Grundlagen, Vorgehen und Anwendungen. Wiesbaden: Springer Vieweg 2017
[26] Deterding, S.; Dixon, D.; Khaled, R. et al.: Gamification: Toward a Definition. CHI 2011 Gamification Workshop Proceedings, Vancouver/Canada, 2011, pp. 1–4
[27] Radoff, J.: Game on: Energize your business with social media games. Hoboken: Wiley 2011
[28] Bayrische Architektenkammer: DIN 277 – Merkblatt zur Flächenberechnung. Stand: 02/2021. Internet: www.byak.de/data/pdfs/Recht/Merkblaetter/M_Flaechenberechnung_byak.pdf. Zugirff am 27.02.2024

Matthäus Birkle, M. Sc.
Foto: Fraunhofer IGCV

Bernhard Voringer, M. Eng.

Franziska Wagner, M. Eng.

Julian Böck, B. Sc.

Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV
Am Technologiezentrum 10, 86159 Augsburg
Tel. +49 821 / 90678-317
matthaeus.birkle@igcv.fraunhofer.de
www.igcv.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Jörg Riegel

plavis GmbH
Annaberger Str. 240, 09125 Chemnitz
Tel. +49 371 / 56074-143
joerg.riegel@plavis.de
www.plavis.de | www.vistable.de

Olivia Bernhard, M. Sc.

Technische Universität München – iwb
Boltzmannstr. 15, 85748 Garching
Tel. +49 89 / 289-55475
olivia.bernhard@iwb.tum.de
www.mec.ed.tum.de/iwb

Dipl.-Medienkunst Janna Gaede

Radiusmedia KG
Konsul-Smidt-Str. 8u, 28217 Bremen
Tel. +49 421 / 649225112
jg@radiusmedia.de
www.radiusmedia.de

Sebastian Dirr

fabplus GmbH
Höslerstr. 7b, 86660 Tapfheim
Tel. +49 9070 / 9601-960
s.dirr@fabplus.de
www.fabplus.de

LIZENZ

Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-03-18 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access -