

## Unterstützung komplexer Layoutfragen und interdisziplinärer Designentscheidungen

# Kooperative Fabrikplanung mit Mixed Reality

G. Riexinger, C. Kaucher, M. Sasalovici, T. Bauernhansl

Anwendungen aus dem Bereich „Mixed Reality“ (MR) bieten große Potenziale bei der Lösung komplexer Planungsaufgaben. In diesem Beitrag wird die MR-Anwendung „HoloLayouts“ zur Fabrikplanung mit der Microsoft „HoloLens 2“ vorgestellt. Diese erlaubt die direkte Zusammenarbeit bei der Entwicklung und Validierung von 3D-Produktionslayouts im Team. Im Rahmen der digitalen Transformation der Produktion bietet die Integration von 3D-Visualisierungswerkzeugen eine effiziente Unterstützung bei gemeinsamen Planungsentscheidungen.

### STICHWÖRTER

Fabrikplanung, Virtual Reality, Digitalisierung

## Cooperative factory planning based on mixed reality

Mixed reality (MR) tools offer great potential for solving complex planning tasks in production. This article presents the MR application „HoloLayouts“ for factory planning with Microsoft „HoloLens 2“. The application enables the collaborative development and validation of production layouts in 3D. Within the context of the digital transformation of manufacturing, the integration of 3D visualization tools offers efficient support for collaborative planning decisions.

## 1 Einleitung

In den vergangenen zehn Jahren sind die Baukosten für Fabrik- und Werkstattgebäude in Deutschland nach den Zahlen des statistischen Bundesamtes um über die Hälfte gestiegen [1]. Gleichzeitig erfordern kürzer werdende Produktlebenszyklen häufigere Umplanungen [2]. Die Bedeutung der Flächeneffizienz und Wandlungsfähigkeit von Fabriklayouts nimmt somit stetig zu. In der Batteriezellproduktion treten diese Anforderungen verstärkt zu Tage. Durch die hohen Anforderungen der Produktion an Reinheit, Trockenheit und Sondermedien liegen die Kosten pro Quadratmeter Produktionsfläche oft um ein Mehrfaches über dem Durchschnitt. Gleichzeitig ist die produkt- und produktionsseitige Innovationsgeschwindigkeit hoch, sodass sich Batteriezellfertigungen in einem stetigen Wandel befinden [3, 4]. Um diesen Herausforderungen besser begegnen zu können, wurde im Rahmen des Projekts „DigiBattPro 4.0 – BMBF“ am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA eine digitale Anwendung zur Planung und Optimierung von Fabriklayouts entwickelt.

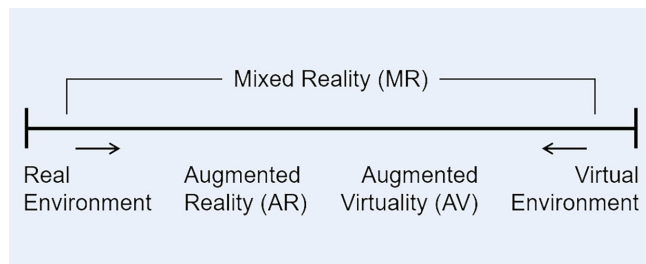
In der frühen Phase von Planungsprojekten ist meist eine Planung in 2D mit etablierten Werkzeugen ausreichend, um effiziente und wandlungsfähige Layouts zu gestalten [5]. Vor allem für die Feinplanung sowie für Umplanungen im Bestand bietet die Anwendung von 3D-Visualisierungswerkzeugen der digitalen Fabrik trotz des damit verbundenen Mehraufwandes große Potenziale. So unterstützt eine realitätsnahe 3D-Visualisierung zum Beispiel bei Designentscheidungen oder hilft Planungsfehler, wie Kollisionen von Anlagen und technischer Gebäudeausrüstung,

zu vermeiden [6]. Aufgrund deutlicher Weiterentwicklungen der Hard- und Software, rückten dabei in den vergangenen Jahren Visualisierungstechniken aus den Bereichen Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) in den Fokus. Diese erlauben es, Defizite einer rein desktopbasierten Planung, wie die mangelnde Möglichkeit der Interaktion bei der Zusammenarbeit in Gruppen (vergleiche [7]), zu beseitigen.

Im Folgenden wird zunächst auf den Stand der Technik zu VR- und AR-Technologien eingegangen. Im Anschluss werden die Anforderungen der Fabrikplanung an eine Planungsanwendung für die Feinplanung identifiziert und die darauf basierende Entwicklung der Anwendung dargestellt. Abschließend erfolgt die praktische Validierung der Anwendung anhand eines Beispiels bei der Varta Consumer Batteries GmbH & Co KGaA.

## 2 Virtual-Reality- und Augmented-Reality-Technologien

Wie erläutert, weist eine rein desktopbasierte 3D-Planung Defizite unter anderem bei der Zusammenarbeit in Gruppen auf [7]. Für die Nutzung einer reinen Desktop-Anwendung ist in der Regel Vorwissen nötig, sodass diese zur partizipativen Lösung von 3-D-Planungsaufgaben unter Einbeziehung verschiedener Wissensträger ungeeignet ist. Moderne VR- und AR-Systeme ermöglichen hingegen eine intuitive Interaktion mit der virtuellen Welt, ohne dass eine aufwendige Schulung notwendig ist [8]. Um dieses Potenzial der Systeme zu nutzen, ist auch auf eine geeignete Benutzerführung zu achten [9]. Durch die stereoskopische Darstellung in VR- und AR-Systemen und die damit verbundene



**Bild 1.** Realitäts-Virtualitäts (RV)-Kontinuum. Grafik: [14]

„Einbezogenheit“ in die virtuelle Welt wird im Vergleich zu Desktopanwendungen zudem die räumliche Wahrnehmung verbessert. So können etwa Zugänglichkeiten und Platzverhältnisse bei der Feinplanung besser beurteilt werden [8].

Der Fokus liegt an dieser Stelle auf Interaktions- und Visualisierungstechniken aus den Bereichen VR und AR. Grundlagenentwicklungen zum Thema VR fanden bereits in den 1960er-Jahren statt [10]. Wesentliche Arbeiten stammen von *Ivan Sutherland*, der 1968 das erste stereoskopische und getrackte Head Mounted Display (HMD) vorstellte [11]. Wegen der immer leistungsfähiger werdenden Hardware und Software erfährt die Technologie in den vergangenen Jahren eine entsprechende Weiterentwicklung und Verbreitung [12].

Zur Abgrenzung der relevanten Begriffe im Themenbereich kann das in **Bild 1** dargestellte Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum herangezogen werden. Dieses umfasst einen Bereich von der realen Umgebung bis hin zu einer rein virtuellen Umgebung [13, 14].

Von VR kann gesprochen werden, wenn sich der Anwender immersiv in einer vollständig virtuellen Welt befindet und mit dieser interagieren kann. Der Bereich zwischen der realen und der virtuellen Welt wird übergreifend als Mixed Reality (MR) bezeichnet [13]. Innerhalb dieses Kontinuums wird unter AR eine Anreicherung der realen Welt mit virtuellen Elementen verstanden [15]. Als weiterer Begriff wird die Augmented Virtuality (AV) als Gegenstück zur AR eingeführt. In dieser dominieren die virtuellen Elemente, sodass AV als Anreicherung der virtuellen Welt mit realen Objekten verstanden werden kann [13]. Um das komplette Spektrum von realer bis virtueller Welt abzudecken, wird im Folgenden für AR und AV übergreifend der Begriff MR genutzt.

VR wird heute im Wesentlichen durch HMDs sowie durch Projektionssysteme umgesetzt [16]. VR-HMDs schotten den Nutzer meist vollständig von visuellen Eindrücken der realen Welt ab [16], was die Zusammenarbeit mehrerer Personen, welche sich in derselben physischen Umgebung befinden, erschwert. Bei der Verwendung von Projektionssystemen ist eine Zusammenarbeit und Interaktion mehrerer Nutzer problemlos möglich. Die Steuerung liegt aber oft bei nur einer Person oder weist eine begrenzte Anzahl verfügbarer Eingabegeräte auf. Entsprechende Projektionssysteme (etwa [2]) sind allenfalls begrenzt mobil.

Im Bereich MR sind als Hardware nach aktuellem Stand vor allem Handheld Devices wie Smartphones und Tablets sowie MR-HMDs relevant [17]. Im Falle von Handheld Devices wird das Kamerabild des entsprechenden Geräts mit zusätzlichen Informationen angereichert. Bei MR-HMDs handelt es sich meist um „See-Through-Displays“, bei denen digitale Objekte direkt in das Sichtfeld des Nutzers auf die reale Welt eingeblendet werden

[18]. Ein Vorteil der Verwendung von HMDs im Gegensatz zu Handheld Devices ist, dass dem Nutzer beide Hände frei zur Verfügung stehen.

Vor allem MR bietet die Möglichkeit komplexe Sachverhalte zu visualisieren und erlaubt dabei gleichzeitig eine interdisziplinäre Zusammenarbeit im Team [19]. Erste Anwendungen zeigen bereits das Potenzial der Technologie für Produktions-, Fabrik- und Gebäudeplanung [19, 20]. Als technologische Basis für die Entwicklung der Fabrikplanungsanwendung für die Feinplanung wird daher auf MR zurückgegriffen. Um eine zielorientierte Entwicklung der Anwendung sicherzustellen, sind zunächst die Anforderungen an die Anwendung zu identifizieren. Dieser Schritt wird im folgenden Kapitel dargestellt.

### 3 Anforderungen an ein MR-Fabrikplanungswerkzeug

Die Identifikation der Anforderungen an die Anwendung erfolgt anhand des Anwendungsfalls der Feinplanung, insbesondere im Bereich der Batterieproduktion. Typische Nutzer der Anwendung im Nutzungsszenario sind Produktions- und Fabrikplaner, welche die Anwendung in ihrer täglichen Arbeit verwenden. Zudem ist bei der Feinplanung oft das Erfahrungswissen von Mitarbeitern aus der Produktion erforderlich [6], sodass auch diese im Rahmen von Planungsprojekten in die Nutzung der Anwendung eingebunden werden. Für einzelne Fragestellungen, beispielsweise zur Gebäudetechnik, ist zudem die Einbindung von Experten notwendig. Weiterhin ist geplant, dass bei der Präsentation von Ergebnissen auch Führungskräfte die Anwendung nutzen.

Die Vielzahl der am Planungsprozess Beteiligten führt zunächst zu der Anforderung, dass die Anwendung die gleichzeitige Nutzung durch mindestens fünf Personen ermöglichen muss. Dabei sollen alle Nutzer aktiv am Planungsprozess teilnehmen können. Aufgrund der zunehmenden Relevanz von Telearbeit sollte diese Zusammenarbeit auch ortsunabhängig und synchron möglich sein.

Aus Sicht der Produktions- und Fabrikplaner, welche die Anwendung regelmäßig nutzen, ergeben sich Anforderungen an die Funktionen der Anwendung sowie an den Aufwand der Nutzung. Die Funktionen sollen eine möglichst umfassende Layoutplanung in der Anwendung erlauben. Die Feinplanung erfolgt in der Regel bereichsbezogen, sodass die Anwendung die Arbeit in verschiedenen Layoutgrößen ermöglichen muss. Dabei soll mindestens ein Planungsbereich von 50 m x 30 m abgebildet und Layouts in der Anwendung bearbeitet werden. Dies erfordert Möglichkeiten zur Manipulation wie das Verschieben, Rotieren und Löschen von Objekten, wie etwa Betriebsmitteln. Zudem muss es möglich sein, neue Objekte beispielsweise aus einer Bibliothek einzufügen. Auch ist es erforderlich, dass Layouts gespeichert und geladen werden können, um unterschiedliche Varianten zu evaluieren. Um den Aufwand für die Nutzung der Anwendung gering zu halten, sollte der Import von Modellen einfach und ohne aufwendige Konvertierungen möglich sein. Ideal wäre eine Möglichkeit zum direkten Import von CAD-Modellen. Eine weitere Anforderung ist es, Layouts vor der Projektarbeit im Team in einer Desktopumgebung vorbereiten zu können, um damit die Effizienz in den Planungsworkshops zu erhöhen.

Weitere Anforderungen ergeben sich aus dem Ziel, dass auch Nutzer, die nur vereinzelt mit der Anwendung in Berührung kommen, wie etwa direkte Produktionsmitarbeiter, diese effektiv

nutzen können. Zum einen muss die Anwendung eine intuitive Bedienbarkeit ohne signifikanten Schulungsaufwand aufweisen. Zum anderen sollte die Darstellung möglichst realitätsnah erfolgen, um eine einfache Orientierung zu ermöglichen. Zur Darstellung der Planungsobjekte sollen daher Modelle in einem Detaillierungsgrad zum Einsatz kommen, welche die reale Form der Betriebsmittel deutlich werden lassen. Aus Nutzersicht erscheint zudem neben der Planungsdarstellung im Miniaturmodus auch die Implementierung eines 1:1-Planungsmodus sinnvoll, um die geplanten Layoutvarianten zu validieren.

Die Anforderungen an Darstellungsqualität und Modellgröße verlangen die Nutzung aktueller, leistungsfähiger Hardware. Aus dem Projekt heraus bestand zudem die Anforderung auf kommerzielle Standard-Hardware- und -Softwarelösungen zurückzugreifen. Die identifizierten Anforderungen an die Anwendung zeigt zusammenfassend **Bild 2**. Im folgenden Kapitel wird die auf den Anforderungen basierende Anwendungsentwicklung dargestellt.

## 4 Funktionalitäten des entwickelten 3-D-Planungstools HoloLayouts

Ausgehend von den in Kapitel 3 beschriebenen Anforderungen erfolgte die Entwicklung der Anwendung „HoloLayouts“ zur Mixed-Reality-Fabrikplanung unter Verwendung der Microsoft „HoloLens 2“. Zum Zeitpunkt der Anwendungsentwicklung handelte es sich bei der Microsoft HoloLens 2 und der „Magic Leap One“ um die beiden leistungsstärksten MR-HMDs. Aufgrund der etwas besseren Rechenleistung und Auflösung sowie aufgrund der leichteren Integrierbarkeit des Windows-Systems in bestehende IT-Architekturen wurde die Microsoft HoloLens 2 als Basis für die Entwicklung gewählt [21].

Für die Entwicklung von HoloLayouts wurde die „Game Engine Unity“ und das „Mixed Reality Toolkit“ (MRTK) eingesetzt, das grundlegende Funktionen mit Fokus auf AR/VR Anwendungen bereitstellt. Außerdem wurden plattformübergreifende Entwicklerdienste verwendet, um Multi-User-Funktionalitäten umzusetzen und mehreren Benutzern die gemeinsame Planung zu ermöglichen. Durch die Synchronisation von Positionsdaten zwischen verschiedenen Geräten können Planungen von mehreren Personen in einem Raum (Co-Located) oder von verschiedenen Orten aus (Remote) durchgeführt werden. Das Fabriklayout mit den digitalen 3D-Objekten befindet sich somit im Rahmen des kollaborativen Co-Located-Planungsmodus für alle Planungsteilnehmer an identischer Position im Raum und kann gemeinsam bearbeitet werden.

### 4.1 Visualisierungs- und Planungsmodi

HoloLayouts bietet einen Miniatur- sowie einen 1:1-Planungsmodus. Das Fabriklayout kann frei im Raum platziert werden und ist in der Größe frei konfigurierbar. Im Miniaturmodus bekommt der Anwender einen Überblick über den zu planenden Bereich, dessen Maßstab innerhalb festgelegter Limitierung frei konfigurierbar ist. Verschiedene Layoutvarianten können so vom Anwender allein oder gemeinsam im Team erstellt werden.

Neben dem Miniaturmodus steht ein 1:1-Modus zur Verfügung. Dieser ermöglicht es, die im Miniaturmodus entwickelten Layouts in Originalgröße zu betrachten und anzupassen. Dabei ist es möglich, das gesamte Layout zu begehen, da die Fortbewegung

Nr. Anforderung	
1	(Ortsunabhängige) Zusammenarbeit von min. 5 Personen in der Anwendung möglich
2	Visualisierungsleistung ausreichend für die Darstellung ganzer Produktionsbereiche (min. 50 x 30 Meter)
3	Manipulation von Layouts in der Anwendung (min. verschieben, drehen, löschen und einfügen von Objekten)
4	Funktionen zum Speichern und Laden von Produktionslayouts
5	Aufwandsarmer 3D-Modellimport, idealerweise durch direkten Import von CAD-Daten
6	Vorbereitung von Produktionslayouts in Desktopumgebung
7	Intuitive Bedienbarkeit der Anwendung (Usability-Ziel)
8	Realitätsnahe Darstellung von Layouts mit Modellen der Betriebsmittel in Miniatur- und 1:1-Modus
9	Nutzung kommerzieller Standard-Hard- und Software

**Bild 2.** Anforderungen an die Fabrikplanungsanwendung.

Grafik: Fraunhofer IPA

mittels Teleportation umgesetzt ist. Erstellte Layoutmodelle können auch direkt in der Anwendung HoloLayouts gespeichert oder geladen werden. Die Positionsdaten aller dem Layout zugehöriger Objekte stehen in Form einer JSON-Datei innerhalb des Anwendungsverzeichnisses zur Verfügung. Um erste Layoutkonzepte in der Entwicklungsumgebung auf dem Computer vorzubereiten, wurde zudem eine Funktion zum schnellen Aufbau von Fabriklayouts im Unity Editor implementiert. Über den Layout- und Template-Builder ist es möglich, eine Planungsfläche mit verfügbaren 3-D-Modellen zu beplanen und für die Visualisierung und weitere Nutzung auf der HoloLens vorzubereiten.

### 4.2 Integration von 3D-Modellen

Die verfügbaren 3D-Modelle oder -Planungsobjekte sind oft komplex und müssen entsprechend ihres Detaillierungsgrades angepasst beziehungsweise reduziert werden, um eine performante Visualisierung auf der HoloLens 2 zu ermöglichen. Dazu werden bestehende CAD-Modelle in ein 3D-Modellformat mit verschiedenen „Level of Detail“ (LOD)-Stufen konvertiert, welche unterschiedliche Komplexitätsstufen für die 3D-Modellinformationen enthalten. Eine standardisierte Vorgehensweise zur teilautomatisierten CAD-Modellaufbereitung wurde in die Entwicklungsumgebung implementiert, um den Modellimport zu unterstützen.

Über niedrigere Detailstufen wird es möglich, die benötigte Rechenleistung zur Darstellung auf der HoloLens 2 weiter zu reduzieren. Je nach Entfernung der Objekte zum Betrachter wird automatisch der geeignete LOD zur Visualisierung gewählt und dargestellt. So wird etwa ermöglicht, dass lediglich Objekte in unmittelbarer Nähe zum Betrachter in hohem Detailgrad dargestellt werden. Ein direkter Import von CAD-Modellen, wie in Anforderung fünf als Idealfall beschrieben, ist somit nicht möglich. Die Konvertierung ist jedoch erforderlich, um die Anforderungen hinsichtlich der Größe des Planungsbereiches sowie der realitäts-





**Bild 3.** Aufruf der Modellbibliothek in HoloLayouts. Grafik: Fraunhofer IPA

nahen Darstellung zu erfüllen. Durch die Entwicklung einer teilautomatisierten Vorgehensweise zur Modellaufbereitung wird der Aufwand zur Konvertierung auf ein Minimum reduziert.

### 4.3 Planungsbibliothek und Gestenerkennung

Zur Planung und Anordnung von Objekten wird die Gestenerkennung beziehungsweise das Hand-Tracking der HoloLens 2 eingesetzt. Über eine 3D-Modellbibliothek können neue Elemente in das Layout eingefügt werden (**Bild 3**).

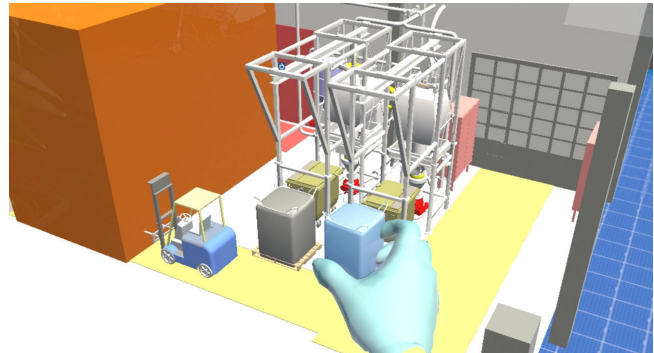
Intuitive Bearbeitungsfunktionen und das Erkennen von Greifbewegungen erlauben ein schnelles Platzieren, Ausrichten, Verschieben oder Entfernen der einzelnen Modellelemente. Zusätzliche Einstellungen dienen der verbesserten Präzision bei der Objektpositionierung, indem die Objektbewegung entlang frei definierbarer Achsen limitiert werden kann.

Im Rahmen der Anwendungsentwicklung wurden verschiedene Interaktionskonzepte in Usability Tests evaluiert. Der Fokus lag dabei auf der Objektmanipulation sowie der Auswahl von Objekten aus einem Menü. Durch das iterative Vorgehen konnte sichergestellt werden, dass die Nutzung der Anwendung auch für Personen ohne Vorerfahrung im Bereich MR spontan und ohne aufwendige Schulung möglich ist.

## 5 Anwendungsvalidierung mit Industriepartner

Im Rahmen des Projekts „DigiBattPro 4.0 – BMBF“ erfolgte eine Erprobung der Anwendung gemeinsam mit der Varta Consumer Batteries GmbH & Co. KGaA. Die Anwendung kam bei einer anstehenden Neuplanung zweier Rohstoffaufgabestationen für BigBags einschließlich umliegender Peripheriegeräte zum Einsatz. Dabei war es notwendig, gemeinsam mit Mitarbeitern unterschiedlicher Fachbereiche eine Detailplanung durchzuführen. Dazu wurde die neu entwickelte Anwendung HoloLayouts zum Einsatz gebracht und erprobt. Die Einzelmodelle der Betriebsmittel standen über die Modellbibliothek in HoloLayouts zur Verfügung und wurden in ein Gebäudemodell der entsprechenden Produktionshalle integriert. Ein Ausschnitt des sich ergebenden Gesamtmodells ist in **Bild 4** darstellt.

Im Zuge der Validierung wurde zunächst vor dem eigentlichen Einsatz ein Startlayout in der Desktopumgebung vorbereitet. Ausgehend von dieser Basis wurden in der Erprobung unterschiedliche Layoutvarianten erstellt und auf ihre Eignung analy-



**Bild 4.** Intuitive Layoutgestaltung und Objektplatzierung mittels Gestenerkennung. Grafik: Fraunhofer IPA, Varta Consumer Batteries GmbH & Co. KGaA, Anlagenmodell Rohstoffaufgabe, M. Müller

siert. Positiv beurteilt wurden dabei insbesondere das verbesserte räumliche Verständnis für den zu planenden Bereich sowie die Möglichkeit zur direkten Zusammenarbeit im Co-Located-Modus. In diesem Modus können gleichzeitig mehrere Personen während des Planungsworkshops am Layout arbeiten und Ideen direkt umsetzen. Damit bietet die Anwendung eine Verbesserung im Vergleich zu herkömmlichen 3D-Planungswerkzeugen. Durch die Möglichkeit der 1:1-Darstellung konnten erstellte Layouts umgehend validiert und beispielsweise Bewegungsräume überprüft werden. Weiterhin hervorgehoben wurde das intuitive Bedienkonzept, das auch für Personen ohne Vorerfahrung im Bereich MR kein Problem war.

Bei der Erprobung konnte die Erfüllung der in Kapitel 3 formulierten Anforderungen validiert werden. Für sehr große Produktionsbereiche, die mehrere Fabrikhallen umfassen oder sich über verschiedene Gebäudebereiche und Stockwerke erstrecken, ist bedingt durch Modellgröße und Workshopformat eine weitere Validierung erforderlich. Auch wurde die Zusammenarbeit nur im Co-Located-Modus erprobt. Die technische Funktion zur Remote-Zusammenarbeit wurde zwar getestet, die Vorteilhaftigkeit in der praktischen Anwendung aber noch nicht abschließend überprüft. Die beiden offenen Punkte werden in zukünftigen Anwendungsfällen erprobt werden.

Als Ergänzung zu den vorhandenen Interaktionsmöglichkeiten wurden während der Erprobung weitere mögliche Funktionen identifiziert. Diese sind beispielsweise eine Option, um vorgenommene Änderungen rückgängig zu machen, oder eine Funktion zum Messen von Abständen zwischen den Planungsobjekten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die entwickelte Anwendung im vorgestellten Umfang eine wertvolle Ergänzung zu herkömmlichen 2D- und 3D-Planungswerkzeugen für die Produktions-, Fabrik- und Gebäudeplanung ist.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die zunehmende Digitalisierung und der Einsatz neuer Technologien wie MR und VR im Produktionsplanungsbereich bieten die Chance, konventionelle Planungsansätze sinnvoll zu ergänzen und vorhandenes Expertenwissen optimal miteinzubeziehen. Um die Lösung komplexer Planungsaufgaben noch besser zu unterstützen, wurde am Fraunhofer IPA die Mixed-Reality-Fabrikplanungsanwendung HoloLayouts entwickelt. Über intuitive Interaktionsmöglichkeiten und grafische Darstellung in Mixed Reality wird die Lösung komplexer Layoutfragen effektiv unterstützt

und gleichzeitig eine interdisziplinäre Zusammenarbeit im Team ermöglicht. Verschiedene Layoutkonzepte können direkt validiert, räumliche Zusammenhänge besser erkannt, Bewegungsräume überprüft und vor der Umsetzung realitätsnah dargestellt werden. Der Schulungsaufwand der Teilnehmer beschränkt sich aufgrund des intuitiven Bedienkonzepts auf eine kurze Erklärung der Grundfunktionalitäten. Das Potenzial der Anwendung bei gemeinsamen Designentscheidungen konnte durch eine erfolgreiche Erprobung in komplexen Planungsprojekten gezeigt werden.

Aktuell ist die Anwendung zur Verwendung für mobile MR-HMDs mit transparenter Optik des Typs HoloLens 2 ausgelegt, welche ohne PC-Anbindung genutzt werden kann. Jedoch stellen große, sehr komplexe Modelle noch immer eine Herausforderung an die mobile Visualisierung dar. Diese müssen entsprechend aufbereitet werden, was je nach Modellgröße und Anzahl unterschiedlicher Objekte einen entsprechenden Aufwand erfordern kann. Durch die Entwicklung einer teilautomatisierten Vorgehensweise zur Modellkonvertierung konnte dieser Aufwand bereits reduziert werden. Neben dem Einsatz in Planungsprojekten sollen zukünftig weitere ergänzende Funktionalitäten auf Wunsch der Endanwender integriert und bereitgestellt werden.

## FÖRDERHINWEIS

Die Entwicklung und Erprobung der in diesem Beitrag vorgestellten Anwendung „HoloLayouts“ erfolgte im Rahmen des Projekts „DigiBattPro 4.0 – BMBF: Digitalisierungslösungen und Materialentwicklung für die Batterieproduktion“. Für die Förderung dieses Projekts (Förderkennzeichen: 03XP0374C) bedanken die Autoren sich herzlich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

## Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt (Destatis): Bauen und Wohnen 2020. Baugenehmigungen / Baufertigstellungen – Baukosten – Lange Reihen bis 2021. Stand: 2022. Internet: [www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Publikationen/Downloads-Bautätigkeit/baugenehmigungen-baukosten-pdf-5311103.pdf](http://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Publikationen/Downloads-Bautätigkeit/baugenehmigungen-baukosten-pdf-5311103.pdf). Zugriff am 13.03.2022
- [2] Reinerth, H.; Lickefett, M.: Fabrikplanung. In: Bauernhansl, T. (Hrsg.): Fabrikbetriebslehre 1. Heidelberg: Springer-Verlag 2020, S. 103–127
- [3] Simon, R.: Aufbau einer Fabrik zur Zellfertigung. In: Korthauer, R. (Hrsg.): Handbuch Lithium-Ionen-Batterien. Heidelberg: Springer-Verlag 2013, S. 249–257
- [4] Michaelis, S.; Rahimzei, E.; Kampker, A. et al.: Roadmap Batterie-Produktionsmittel 2030 – Update 2020. Frankfurt am Main: VDMA Verlag GmbH 2020
- [5] Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P.: Handbuch Fabrikplanung. Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. München: Hanser Verlag 2014
- [6] Bracht, U.; Geckler, D.; Wenzel, S.: Digitale Fabrik. Heidelberg: Springer-Verlag 2018
- [7] Schäfer, S.: Intuitive digitale Fabriklayoutplanung. Dissertation, TU Clausthal, 2019
- [8] Kunz, A.: Der Einsatz der virtuellen Realität zur digitalen Planung von Produktionsprozessen. In: Orsolits, H.; Lackner, M. (Hrsg.): Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2020
- [9] Bracht, U.; Schlegel, M.: AR- und VR-Brillen in der Fabrikplanung. wt Werkstattstechnik online 108 (2018) 04, S. 251–256. Internet: [www.werkstattstechnik.de](http://www.werkstattstechnik.de). Düsseldorf: VDI Fachmedien
- [10] Sherman, W.; Craig, A.: Understanding Virtual Reality. Interface, Application, and Design. s.l.: Morgan Kaufmann series in computer graphics and geometric modeling. Elsevier textbooks 2002
- [11] Sutherland, I.: A head-mounted three dimensional display. Proceedings of the December 9–11, 1968, fall joint computer conference, part I on – AFIPS '68 (Fall, part I). New York, USA: ACM Press 1968, pp. 757–764
- [12] 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 Fachmedien 2020, S. 7–32
- [13] Milgram, P.; Kishino, F.: A taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE transactions on Information and Systems 77 (1994) 12, pp. 1321–1329
- [14] Milgram, P.; Takemura, H.; Utsumi, A. et al.: Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. Telemanipulator and telepresence technologies (1995) 2351, pp. 282–292
- [15] Azuma, R.: A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators & Virtual Environments 6 (1997) 4, pp. 355–385
- [16] Dörner, R.; Broll, W.; Jung, B. et al.: Einführung in Virtual und Augmented Reality. In: Dörner, R.; Broll, W.; Grimm, P. et al. (Hrsg.): Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Heidelberg: Springer-Verlag 2019, S. 1–42
- [17] Burggräf, P.; Adlon, T.; Schneidermann, D. et al.: Die Fabrik der Zukunft. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 117 (2022) 7–8, S. 436–441
- [18] Grimm, P.; Broll, W.; Herold, R.; Reiners, D. et al.: VR/AR-Ausgabegeräte. In: Dörner, R.; Broll, W.; Grimm, P. et al. (Hrsg.): Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Heidelberg: Springer-Verlag 2019
- [19] 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. Internet: [www.werkstattstechnik.de](http://www.werkstattstechnik.de). Düsseldorf: VDI Fachmedien
- [20] 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
- [21] Sander VRX: Microsoft HoloLens 2 vs Magic Leap One: Ein umfassender Vergleich. Stand: 2022. Internet: [vrx.vr-expert.com/de/microsoft-hololens-2-vs-magic-leap-one-ein-umfassender-vergleich/](http://vrx.vr-expert.com/de/microsoft-hololens-2-vs-magic-leap-one-ein-umfassender-vergleich/). Zugriff am 13.03.2022



Dipl.-Ing. **Günther Riexinger**   
Foto: Fraunhofer IPA

**Christian Kaucher**, M.Sc.

**Markus Sasalovici**, M.A.

Prof. Dr.-Ing. **Thomas Bauernhansl**

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik  
und Automatisierung IPA  
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart  
Tel. +49 711 / 970-1945  
[guenther.riexinger@ipa.fraunhofer.de](mailto:guenther.riexinger@ipa.fraunhofer.de)  
[www.ipa.fraunhofer.de](http://www.ipa.fraunhofer.de)

## LIZENZ



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