

Nachfolgend finden Sie die Übersetzung ins Deutsche des frei verfügbaren Fachartikels:

Original:

„Systematically integrating Industry 4.0 requirements into factory planning phases“.

Natalja Rube^{a,*}, Arno Schmetz^a, Achim Kampker^{a,b}.

Verfügbar unter (Stand 23.6.2025):

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827125005864>

Dies ist eine nicht offizielle deutsche Übersetzung des Originals durch:

Markus Bans

ATS Prozessoptimierung Markus Bans

Web: <https://simio-simulation.de>

Lizenz:

Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)

S. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>



Tagungsband der 58. CIRP Conference on Manufacturing Systems 2025

Industrie 4.0-Anforderungen konsequent in die Fabrikplanungsphasen integrieren

Natalja Rube^{a,*}, Arno Schmetz^a, Achim Kampker^{a,b}

^aFraunhofer-Einrichtung für Batteriezellfertigung FFB, Bergiusstr. 8, 48165 Münster, Deutschland ^bProduction Engineering of E-Mobility Components, RWTH Aachen, Tem-plergraben 55, 52056 Aachen, Deutschland

* Korrespondierender Autor. Tel.: +49 241 8904-690; E-Mail-Adresse: natalja.rube@ffb.fraunhofer.de

Abstrakt

Das Thema Smart Manufacturing Factories ("Factory 4.0") ist geprägt von der Integration von Technologien wie cyber-physical systems (CPS), dem Industrial Internet of Things (IIoT), Data Analytics und Künstlicher Intelligenz (KI). Diese Technologien ermöglichen die intelligente Vernetzung von Maschinen, Produkten und Menschen, was zu Optimierungen und besseren Entscheidungen führt. In diesem Zusammenhang wird die Fabrikplanung zu einem entscheidenden Faktor, um diese Potenziale auszuschöpfen. Die Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen der Fabrik 4.0 bereits in der Planungsphase ist daher unerlässlich, um ein nachhaltiges und wettbewerbsfähiges Produktionsumfeld mit digitaler Infrastruktur zu schaffen. In diesem Beitrag wird ein Ansatz vorgestellt, um die technischen, organisatorischen und strukturellen Anforderungen an die Infrastruktur abzuleiten und den Planungsphasen der Fabrik zuzuordnen. Der Ansatz wird anhand von Industrie 4.0-Anwendungsfällen veranschaulicht, die zu einer Reihe von abgeleiteten Anforderungen führen, die für Fabrikplanungsprojekte nutzbar sind.

© 2025 Die Autoren. Herausgegeben von Elsevier B.V.

Dies ist ein Open-Access-Artikel unter der CC BY-Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Peer-Review unter der Verantwortung des wissenschaftlichen Ausschusses des Internationalen Programmkomitees der 58. CIRP-Konferenz Fertigungssysteme

Schlüsselwörter: Fabrikplanung; Industrie 4.0; Intelligente Fertigung; Fabrik 4.0;

1. Motivation

Mehr als ein Jahrzehnt nach dem Aufkommen der vierten industriellen Revolution haben Fertigungsunternehmen Lösungen unter dem Begriff Smart Factory (SF) integriert. Diese Lösungen werden vor allem in bestehenden Gebäuden und Anlagen umgesetzt, wobei der Fokus weniger auf der Bauphase von Fabriken liegt. Die technologischen Entwicklungen haben zu unterschiedlichen Ansätzen für die Umsetzung von Smart Factory Use Cases geführt. Oft ist es jedoch herausfordernd, die spezifischen Anforderungen zu ermitteln, die eine Smart Factory an die Fabrik selbst stellt – eine Frage, die in der Fabrikplanung aufgrund der strategischen Bedeutung von Industrie 4.0 (I4.0) häufig antritt [1]. Angesichts dieser strategischen Bedeutung widmen sich Fabrikplaner dem Thema I4.0 zunehmend in separaten Unterkapiteln von Fabrikplanungsprojekten.

In diesem Beitrag wird ein Ansatz beschrieben, der die Anforderungen an die Smart Factory bereits bei der Fabrikplanung berücksichtigt. Die Berücksichtigung dieser Anforderungen ist entscheidend, da sie den späteren Aufwand für die Implementierung der Smart Factory maßgeblich beeinflussen kann. Daher liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit darauf, wie diese Anforderungen ermittelt und identifiziert werden können, wann sie während des Fabrikgebäudebaus angemessen adressiert werden können.

2. Hintergrund und verwandte Arbeiten

In diesem Abschnitt wird die Methodik zur Integration von I4.0-Kriterien in die Fabrikplanung vorgestellt, einschließlich der einschlägigen Terminologie und des aktuellen Forschungsstandes zu diesem Thema [1].

2.1. Industrie 4.0 und Differenzierung

Industrie 4.0 (I4.0), auch bekannt als die vierte industrielle Revolution, stellt einen bedeutenden Wandel in der Fertigung dar, der die Digitalisierung und integrierte Produktionsprozesse unter Verwendung moderner Technologien wie dem industriellen Internet der Dinge (IIoT), cyber-physischen Systemen (CPS), Big Data und künstlicher Intelligenz (KI) in den Vordergrund stellt [2–4]. Die Smart Factory (SF) gilt als visionäre Endstufe von I4.0, die traditionelle Fertigungsanlagen in hochdigitalisierte Umgebungen verwandelt und die Art und Weise, wie die Fertigung arbeitet, verändert [3,5,6]. Fabrik 4.0 (F4.0) bezieht sich auf den Weg und die Anwendungsfälle zur Erreichung der SF, die sich auf die Produktionsprozesse innerhalb einer Fabrik auswirken.

Für den Kontext dieses Beitrags werden die Begriffe wie folgt definiert:

I4.0: Das umfassende Konzept der vierten industriellen Revolution mit Fokus auf den Fabrikbetrieb.

SF (Smart Factory): Die visionäre Endstufe von I4.0 in der Produktion einer Fabrik, einschließlich angrenzender Bereiche wie Büros, Besprechungsräume und Rechenzentren.

F4.0 (Fabrik 4.0): Der Pfad und die Anwendungsfälle zum Erreichen der SF, die, wenn sie implementiert sind, die Produktionsprozesse innerhalb einer Fabrik beeinflussen.

Die Implementierung von F4.0 wirkt sich auf die Fabrikplanung aus, indem sie die Entwicklung und den Einsatz digitaler Methoden und Technologien erfordert, die den Planungsprozess und die Bauphase erleichtern oder Dokumentationen in Form von digitalen Dateien oder Informationen für die Betriebsphase bereitstellen. Diese Analyse priorisiert die Integration der F4.0-Anforderungen in den Fabrikbetrieb bereits in der Planungsphase, wobei ausschließlich digitale Methoden berücksichtigt werden, die während der Planung und Konstruktion als Dateien oder Informationen erstellt werden und in der Betriebsphase wesentlich zur SF beitragen.

2.2. Fabrikplanung

Die Fabrikplanung ist ein komplexer Prozess, der strategische und operative Elemente umfasst [7,1,8]. Sie unterscheidet zwischen der Greenfield-Planung (Planung und Errichtung einer neuen Fabrik auf einem unbebauten Gelände) und der Brownfield-Planung (Planung für die Nutzung und den Umbau bestehender Industrie- oder Gewerbeflächen). Zu den wichtigsten Inhalten, die bei der Fabrikplanung geplant sind, gehören die Standortplanung, die Layoutplanung, die Prozessplanung, die Materialfluss- und Logistikplanung, die Kapazitätsplanung, die Arbeitsplatzgestaltung, die Organisationsplanung, die Technische Gebäudeausrüstung, die Digitalisierung und IT-Infrastruktur, das Qualitätsmanagement, die Sicherheit und der Umweltschutz, die Investitions- und Rentabilitätsrechnung, die Zeitplanung, die Risikoanalyse und das Risikomanagement [2].

Normen derartig wie **VDI 5200** und das **HOAI**

(Honorarordnung für Architekten und Ingenieure in Deutschland) werden häufig verwendet, um die Phasen des Fortschritts der Fabrikplanung zu beschreiben.

2.2.1. Fabrikplanung mit VDI 5200

Die **Richtlinie VDI 5200** [9] bietet einen systematischen Ansatz für die Fabrikplanung, der den Prozess in mehrere Phasen unterteilt. Im Fokus steht die Sicherstellung eines effizienten Zukunftsbetriebs durch Planung aus der Perspektive der zukünftigen Fabrikbetreiber. Es skizziert Aufgaben, Ziele und Ergebnisse in sieben Phasen, an denen verschiedene Spezialisten beteiligt sind, um den Projekterfolg sicherzustellen. **Zielsetzung (Phase 1):** Umreißt die Anforderungen und Ziele der Fabrik unter Einbeziehung von Disziplinen wie Unternehmensführung, Projektmanagement, Marketing, Finanzen und Logistik. **Aufbau der Produktbasis (Phase 2):** Umfasst die Datenerfassung und -analyse, einschließlich Bestandsbewertungen, Bewertungen von Produktionsprozessen, Logistik und Qualitätsmanagement. **Konzeptplanung (Phase 3):** Formulierung und Auswahl der idealen Lösung unter Einbeziehung verschiedener Disziplinen. **Detailplanung (Phase 4):** Eine umfassende Planung verfeinert die gewählte Lösung bis zur Ausführungsreife, an der Experten aus verschiedenen Bereichen beteiligt sind. **Vorbereitung für die Realisierung (Phase 5):** Umfasst Zeit- und Kostenprognosen, Budgetierung, rechtliche Überlegungen und Behördenmanagement. Die Qualitätssicherung ist für die Überwachung der Ausführungsqualität von entscheidender Bedeutung. **Überwachung der Realisierung (Phase 6):** Konzentriert sich auf die Überwachung des Ausführungsprozesses. **Ramp-up Support (Phase 7):** Umfasst Tests, Produktionsoptimierung, Wartung, Schulung, Fehlerberichterstattung und Wissenstransfer.

2.2.2. Werksplanung mit HOAI

Die Planung und der Bau neuer Industriebauten oder die umfassende Sanierung bestehender Bauwerke erfordern die Expertise von Architekten und Bauingenieuren unter Einhaltung der Vorschriften der HOAI [10–13]. Die HOAI-Methode gliedert sich in neun Leistungsphasen (LP): **Grundlagen des Projekts (LP 1):** Klärung der Aufgabenstellung, Definition der Planungsanforderungen und des Projektziels. **Vorentwurf (LP 2):** Entwicklung eines Planungskonzeptes und einer ersten Kostenschätzung. **Final Design (LP 3):** Entwicklung der finalen Lösung zum Planungskonzept und genaue Kostenkalkulation. **Bauantrag (LP 4):** Erstellung und Einreichung der erforderlichen Unterlagen für behördliche Genehmigungen. **Ausführungszeichnungen (LP 5):** Erstellung von Detailplänen, die für die Ausführung des Projekts erforderlich sind. **Vorbereitung der Vergabe (LP 6):** Erstellung der Ausschreibungsunterlagen für Bauleistungen. **Assisting Award Process (LP 7):** Unterstützung bei der Auswahl und Beauftragung der ausführenden Unternehmen. **Projektüberwachung (LP 8):** Überwachung der Ausführung der Arbeiten, um die Einhaltung von Plänen, Spezifikationen und Verträgen sicherzustellen. **Projektsteuerung und -dokumentation (LP 9):** Überwachung der Gewährleistungsfristen und Zusammenstellung aller Projektdokumente.

2.3. Integration von Industrie 4.0 in die Fabrikplanung

Während verschiedene Publikationen bei der Einführung von F4.0 helfen [14–17], gibt es derzeit keinen umfassenden Ansatz, der die spezifischen Anforderungen von F4.0 während des Fabrikplanungsprozesses berücksichtigt. Bestehende Modelle analysieren oft den Ist-Zustand und definieren den angestrebten Endzustand für die Implementierung von I4.0, gehen aber nicht auf die Detailspekte der Fabrikplanung ein [6]. Leitfäden zur Fabrikplanung betonen zwar die Bedeutung von F4.0, aber es fehlt oft an einer detaillierten Auseinandersetzung mit den Anforderungen innerhalb der Planungsphasen [3, 18]. Daher ist ein systematisches Vorgehen erforderlich, um die spezifischen Merkmale und Technologien von F4.0 in den Fabrikplanungsprozess zu integrieren.

3. Anforderungen Fabrik 4.0 (F4.0) an die Fabrikplanung heranzuführen

In den vorangegangenen Abschnitten wurde das Fehlen eines umfassenden Verständnisses des Zusammenhangs zwischen den Anforderungen von F4.0 und dem Fabrikplanungsprozess verdeutlicht. Trotz dieser Lücke ist die Implementierung von I4.0 für Unternehmen von entscheidender Bedeutung, um wettbewerbsfähig zu bleiben und die Herausforderungen der vierten industriellen Revolution zu meistern. Eine effektive Umsetzung der Vision der SF kann nur durch die Einbeziehung spezifischer Anforderungen in die Fabrikplanung erreicht werden.

In diesem Abschnitt wird ein Ansatz vorgestellt, um F4.0-Anforderungen systematisch in die Planungsphasen der Fabrik zu integrieren. Dabei werden die spezifischen Anforderungen, die sich aus den I4.0-Zielen ableiten, identifiziert und auf die relevanten Phasen des Planungsprozesses abgebildet. Der Ansatz wird am Beispiel der FFB Fab demonstriert, einer Forschungsfabrik, die sich auf Innovationen für eine effiziente und nachhaltige Batteriezellproduktion konzentriert.

3.1. Identifizierung von Zielen und Merkmalen für F4.0

Im Gegensatz zu herkömmlichen Fabriken ist die FFB Fab als Forschungsfabrik konzipiert, die Innovationen in der Batteriezellproduktion unterstützen soll. Es konzentriert sich auf die Technologieentwicklung mit einem Technology Readiness Level (TRL) zwischen 7 und 9. Die FFB Fab ist als Serienfertigung konzipiert, wobei einzelne Produktionsabschnitte Merkmale einer Fließfertigung aufweisen. Die Produktionsart der FFB Fab reicht von der Einzelanfertigung bis zur Serienfertigung, einschließlich der Option für die Massenproduktion, Produktionsabschnitte von TRL 7 bis TRL 9 zu skalieren.

Die Vision der FFB Fab bestimmt die verfolgten I4.0-Ziele, was die Implementierung von Ansätzen wie dem Battery Passport [19], der Rückverfolgbarkeit [20] und dem IIoT in allen Einrichtungen erforderlich macht. Dies dient nicht nur als Best Practice für die Batterieproduktion, sondern fördert auch die gemeinsame Entwicklung dieser Technologien mit Industrie- und Forschungspartnern.

Ein Auszug der I4.0-Ziele der FFB-Fab im Zusammenhang mit der Umsetzung der SF umfasst:

Innovationsförderung: Die Digitalisierung soll die Skalierung von Produkt- und Prozessentwicklungen sowie die

Entwicklung von Produktions- und unterstützenden Systemen unterstützen. Ein Innovationsmanagementsystem sollte Ideen angemessen fördern und deren Umsetzung unterstützen.

Verbesserung der Produktqualität: Digitale Lösungen sollten die Sicherung der Produktqualität dokumentieren und detaillierte Ursache-Wirkungs-Beziehungen liefern, die sich auf die Produktqualität während der Produktion und Lagerung auswirken.

255

Steigerung der Energieeffizienz: Die Digitalisierung soll genutzt werden, um die Einflüsse und Wechselwirkungen einzelner Prozesse zu ermitteln und so neue Steuerungskonzepte zu ermöglichen, die zu einer effizienteren Nutzung von Ressourcen führen.

Optimierung der Supply Chain: Die Verfolgung von Rohstoffen und Produktlieferungen sollte kundenspezifisch mit digitalen Tools sichergestellt werden, einschließlich des Austauschs von benötigten und gewünschten Informationen zwischen allen Teilnehmern der Supply Chain.

Reduzierung von Ausfallzeiten: Die Ursachenanalyse, Vorhersage und Vermeidung von Ausfällen sollte auf der Grundlage aufgezeichneter Daten und datenbasierter Ansätze durchgeführt werden, um vorbeugende und vorausschauende Wartung zu implementieren, um Produktionsunterbrechungen zu minimieren.

Verbesserung der Echtzeit-Datenanalyse: Echtzeitdaten müssen sowohl der Forschung als auch der Produktion mit vertretbarem Verarbeitungsaufwand zur Verfügung gestellt werden, damit Entscheidungsträger die Echtzeit-Datenanalyse in Entscheidungen einfließen lassen und schneller auf Veränderungen reagieren können.

Erhöhung der Produktionsflexibilität: Die Produktionsflexibilität soll durch flexible Prozesse sichergestellt werden, ohne die Kosteneffizienz der Massenproduktion zu beeinträchtigen und prozessbedingte Restriktionen durch Digitalisierung zu minimieren.

Steigerung der Mitarbeitereffizienz: Relevante Parameter für die Mitarbeitereffizienz sollten datenschutzkonform digital erfasst werden, um proaktiv auf besondere Situationen reagieren und Schulungs- und Unterstützungsmaßnahmen gezielt einsetzen zu können.

Um die SF-Visionen umzusetzen, müssen verschiedene Anforderungen erfüllt werden, die die Anlagenplanung, die Produktionsplanung oder die gesamte Fabrik betreffen. Zur Beschreibung der notwendigen Anforderungen wurden die sich aus den Zielen ergebenden Einflüsse übergeordneten Merkmalen zugeordnet, so dass die Beschreibung der Zuordnung über das Merkmal erfolgt. Folgende Hauptmerkmale wurden identifiziert:

Factory Building: Direkter Einfluss auf die Umsetzung der SF, einschließlich der durch das Fabrikgebäude zu implementierenden Inhalte, wie z. B. Raumaufteilung, Zugänglichkeit zu Räumen und Aspekte der technischen Gebäudeausrüstung (z. B. Zutrittskontrollen, Heizung, Klimatisierung, Rohrleitungssysteme).

Produktion: Direkter Einfluss auf die Umsetzung der SF, die die für die Produktion erforderlichen Systeme und Anlagen umfasst, einschließlich der Organisation der Produktion durch Fabrikstruktur und Prozessplanung.

Diese beiden Eigenschaften stehen in Wechselwirkung mit produktionsbedingten Einflüssen, die indirekt auf das

Fabrikgebäude einwirken. Wenn solche Wechselwirkungen als relevant bewertet wurden, wurden sie in die Bedarfsermittlung einbezogen.

3.2. Ableitung von Anforderungen

Um die Anforderungen der SF aus den Einflüssen abzuleiten, wurden ausgewählte, sich aus den Zielen ergebende Anwendungsfälle auf Einflusseigenschaften analysiert und die Art der Beeinflussung abgeleitet.

Anforderungen an die Produktion: Digitale Datenerfassung und -steuerung: Alle Prozesse müssen digital abgebildet werden, auch Aufträge und Zwischenprodukte als Ein- und Ausgänge. Eine Echtzeitdokumentation der angelieferten Material- und Medienmengen mit geeigneter Granularität ist unerlässlich. **Erweiterbarkeit des Systems:** Das digitale System und die Prozesskomponenten müssen zugänglich und erweiterbar sein, um zukünftigen Anforderungen gerecht zu werden. **Echtzeitkommunikation:** Start und Ende von Prozessen müssen digital und in Echtzeit kommuniziert werden. Die Mitarbeiter müssen in der Lage sein, Abweichungen einzugeben. **Ungehinderte digitale Dokumentation:** Prozesse sollen eine ungehinderte digitale Dokumentation ermöglichen und eine lückenlose Datenerfassung gewährleisten. **Mitarberschulung:** Eine schnelle Einweisung und geeignete Weiterbildungsmöglichkeiten für die Mitarbeiter müssen implementiert werden, um eine effiziente Nutzung der digitalen Prozesse zu ermöglichen.

Anforderungen an das Fabrikgebäude: Technische IT-Infrastruktur: Das Fabrikgebäude muss eine robuste IT-Infrastruktur gewährleisten, einschließlich einer unterbrechungsfreien Versorgung in Ausnahmesituationen und der Erweiterbarkeit von Rechenzentren. **Drahtlose Konnektivität:** Der drahtlose Netzwerkzugang muss in allen Räumen und in unmittelbarer Nähe des Fabrikgebäudes verfügbar sein. **5G-Installation:** Bereitstellung von 5G-Infrastruktur, einschließlich ressourcenschonender Installation in Produktionsbereichen und Platzierung von Verstärkern. **Bodenbeläge:** Zur Unterstützung der Automatisierung der Intralogistik müssen geeignete Bodenbeläge ausgewählt werden, die einen uneingeschränkten Betrieb der fahrerlosen Transportsysteme (FTS) gewährleisten. **Zugangssysteme:** Schlösser, Tore und Türen müssen für einen angemessenen Betrieb mit autonomen Transportsystemen ausgelegt sein, um eine nahtlose Bewegung zu ermöglichen. **Zutrittskontrolle:** Zutrittskontrollsysteme müssen den individuellen Zutritt ermöglichen, aufzeichnen und dokumentieren und sich in den FTS-Betrieb integrieren lassen. **Energiedatenerfassung:** Die technische Gebäudeausrüstung muss sicherstellen, dass energierelevante Daten erfasst und zugänglich sind, wobei Leitsysteme in der Lage sind, Informationen und Ereignisse über Schnittstellen zu übertragen.

Produktionsanforderungen, die sich auf das Fabrikgebäude auswirken: Schnittstellenmanagement: Die Schnittstellen zwischen Vor-Ort-Übergabe und systemseitiger Übernahme müssen für zukünftige Erweiterungen angemessen gestaltet werden. **Media Provisioning:** Dimensionen der Mediabereitstellung müssen zukünftigen Anforderungen gerecht werden, mit konsistenten Übergaben und barrierefreien Schnittstellen. **Arbeitsumfeld:** Die Raumbelichtung und die Eigenschaften sollen die Nutzung digitaler Geräte durch die

Mitarbeiter erleichtern. Ausgewiesene Bereiche in den Büro- und Produktionsbereichen sollten es den Mitarbeitern ermöglichen, sich mit der digitalen Steuerung auseinanderzusetzen. **Besucherzugang:** Ein Konzept für Zugänglichkeit und Sichtbarkeit muss sicherstellen, dass potenzielle Besucher die Produktion ohne Unterbrechungen beobachten können.

Durch die Beschreibung der Anforderungen an diese Eigenschaften wird eine klare Struktur etabliert, die es ermöglicht, spezifische Einflüsse und notwendige Maßnahmen zur Umsetzung der SF genau zu identifizieren und in die Fabrikplanung einfließen zu lassen.

3.3. Integration in die Planungsphasen der Fabrik

Um den geeigneten Zeitpunkt für die Adressierung von F4.0-Anforderungen während der Fabrikplanung zu identifizieren, wurden die identifizierten Anforderungen mit den Phasen der Fabrikplanung verglichen. Abbildung 1 visualisiert das Vorgehen der Fabrikplanung nach VDI 5200 und der HOAI. Da die Fabrikplanung mit Hilfe der Building Information Modeling (BIM)-Methodik [21] begleitet wird, werden die Zeiträume hervorgehoben, in denen BIM zum Einsatz kommt. Die Abstimmung zwischen Fabrikgebäudeplanung und Produktionsplanung wird angedeutet, wobei der Austausch von Informationen, die für SF-Anforderungen relevant sind, hervorgehoben wird.

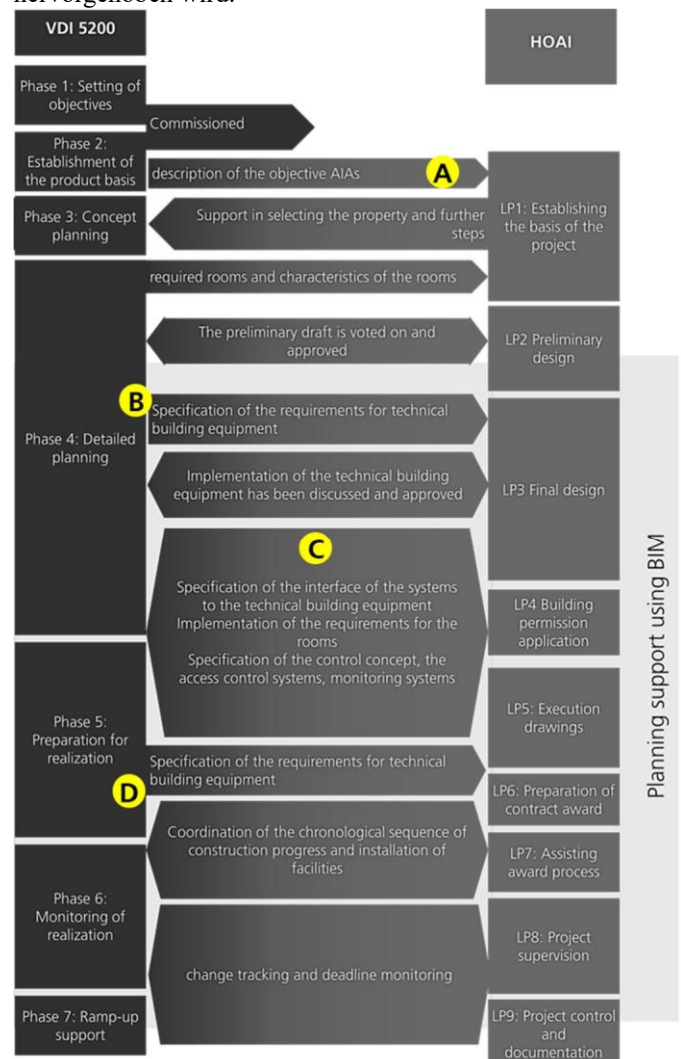


Abbildung 1: Fabrikplanungsverfahren mit Integrationspunkten für F4.0-Anforderungen

Die mit den Buchstaben (A) bis (D) gekennzeichneten Informationsaustauschpunkte sind entscheidend für die Kommunikation der Anforderungen an das Gebäude, um den SF zu realisieren:

(A) Initiierungsphase: Abstimmung des Arbeitgeberinformationsbedarfs (EIR) und Übermittlung des Flächenbedarfs an die Werksgebäudeplanung. Damit ist die Grundlage für die Planung gelegt, bei der alle Anforderungen an die Planung von Fabrikgebäuden, einschließlich der Anforderungen an die SF, kommuniziert werden sollen. Die Festlegung des Einsatzes der BIM-Methodik ist in dieser Phase von entscheidender Bedeutung.

(B) Konzeptionsphase: Zu Beginn von LP 3 beginnt die Planung von technischen Anlagen für die Gebäudeausrüstung, die eine weitere Spezifizierung der Systemanforderungen (z.B. Medienanforderungen, Elektrizität, Wärmeabfuhr) erfordert. SF-Anforderungen, die sich auf den Fabrikbau auswirken, müssen konzeptionell spezifiziert werden.

(C) Detaillierte Entwurfsphase: In LP 3 erfolgt die Detaillierung der Architektur und der technischen Gebäudeausrüstung, die sich auf Bodenbeläge, Türen, Tore und die Spezifikation von Zutrittssystemen auswirkt. Die Spezifikation des/der IT-Rechenzentrums(s) ist entscheidend für die SF-Anforderungen, um Synergien zwischen Kühl- und Heizsystemen zu ermöglichen.

(D) Ausführungsplanungsphase: Im Laufe der Planung werden die Inhalte immer detaillierter. Zu Beginn und in der Mitte von LP 5 sind zu berücksichtigende Restriktionen mit den Ausschreibungsunterlagen abzustimmen. Spezifische Systeme für die Gebäudesteuerung müssen die SF-Anforderungen erfüllen, und alle weiteren oder spezifischeren Anforderungen, die aus der Produktionsplanung identifiziert wurden, müssen abgeglichen und integriert werden.

Durch die systematische Abbildung der F4.0-Anforderungen auf die entsprechenden Fabrikplanungsphasen wird sichergestellt, dass SF-Überlegungen zum richtigen Zeitpunkt integriert werden, was eine effiziente Umsetzung ermöglicht und kostspielige Änderungen im späteren Planungsprozess vermeidet.

4. Daraus resultierendes Vorgehen zur Berücksichtigung von F4.0-Anforderungen bei der Fabrikplanung

Aufbauend auf dem skizzierten Ansatz wird ein verallgemeinertes fünfstufiges Verfahren für die Einbeziehung von SF-Anforderungen in die Fabrikplanung vorgeschlagen, das sowohl für Greenfield- als auch für Brownfield-Projekte anwendbar ist (Abbildung 2). Im Folgenden werden die auszuführenden Schritte und geeigneten Methoden vorgestellt.

Step 1: collect the status of Factory 4.0

Step 2: Identification of Industry 4.0 goals

Step 3: Identify influences on the implementation of the Smart Factory and evaluate the type of influence

Step 4: Derive requirements for the Smart Factory

Step 5:

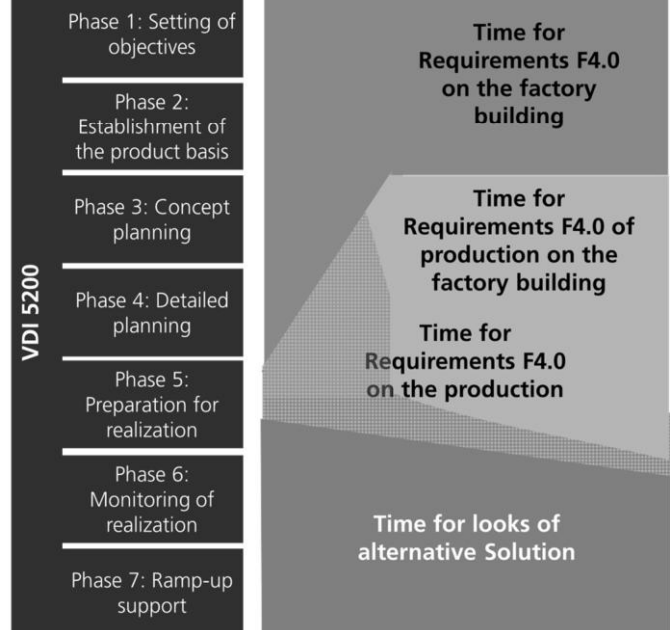


Abbildung 2: Vorgehensweise bei der Integration von F4.0-Anforderungen in die Fabrikplanung

Schritt 1 Bewerten Sie den aktuellen Zustand von F4.0 und der SF: Ermitteln Sie für bestehende Fabriken, die umgebaut oder erweitert werden, den Status der implementierten und geplanten SF

257

Implementierungen und aufgetretene Herausforderungen. Dazu gehören auch Erfahrungen aus mehreren Fabrikstandorten, wenn weitere Fabrikstandorte vorhanden sind. *Methoden:* Workshops und Brainstorming, Fragebögen und Umfragen, Prototyping und Pilotprojekte.

Schritt 2 I4.0-Ziele identifizieren: Definieren Sie unternehmensspezifische SF-Implementierungsziele, die auf die übergeordnete I4.0-Strategie abgestimmt sind. Der Vergleich dieser Ziele mit den Zielen der Fabrikplanung zeigt Schwerpunkt- und Handlungsbereiche auf. *Methoden:* Design Thinking, SWOT-Analyse.

Schritt 3 Identifizieren und bewerten Sie Einflüsse auf die SF-Implementierung: Erkennen Sie, dass die SF-Implementierung von der Infrastruktur beeinflusst wird, was sich auf die Art und Weise und den erforderlichen Aufwand auswirkt. Die Identifizierung der Einflussquelle hilft bei der Bestimmung der verantwortlichen Partei für die Anforderung. Die Unterteilung von Quellen in Technologie und Immobilien und die Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen ihnen

hilft in diesem Prozess. *Methoden:* Workshops und Brainstorming, Stakeholder-Analyse, Prozessanalyse.

Schritt 4 Spezifische SF-Anforderungen ableiten: Formulieren Sie die identifizierten Einflüsse als spezifische Anforderungen an die verantwortlichen Planer. Anforderungen sollten über alle I4.0-Ziele hinweg entwickelt und im Zeitverlauf spezifiziert werden, idealerweise quantitativ. *Methoden:* Anforderungsanalyse (Requirements Engineering), Value Engineering.

Schritt 5 Entwickeln Sie eine Strategie und einen Überwachungsmechanismus: Wenn die Fabrikplanung voranschreitet und detaillierter wird, legen Sie eine Strategie für die Kommunikation und Verfolgung von SF-Anforderungen fest. Die frühzeitige Kommunikation der I4.0-Strategie und der bestehenden SF-Implementierungen ist von entscheidender Bedeutung. Ein laufendes Monitoring stellt sicher, dass im Laufe der Planung alle weiteren Anforderungen effizient integriert werden. *Methoden:* Methoden des Projektmanagements, Kosten-Nutzen-Analyse, Value Engineering.

Auf diese Weise können Fabrikplaner die SF-Anforderungen systematisch in den Planungsprozess einbeziehen und so sicherstellen, dass die resultierende Fabrikinfrastruktur die Realisierung der SF-Vision effektiv unterstützt.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die anschließende Forschung wird sich auf die methodische Anwendung dieser Technik in verschiedenen Fabrikplanungsszenarien konzentrieren, um sowohl die theoretischen Grundlagen als auch die praktische Umsetzung zu verbessern und zu verdeutlichen. Insbesondere werden weitere Pilotstudien und Fallanalysen in verschiedenen Industrieumgebungen erwartet, um das Ausmaß der Anpassungsfähigkeit der Methoden zu klären und zu zeigen, wie das Verfahren Anpassungen erforderlich machen kann, um sie an sektorspezifische Produktionstechnologien, regulatorische Rahmenbedingungen und Organisationsstrukturen anzupassen. Darüber hinaus könnte die Methodik durch die Einbeziehung spezieller Techniken verbessert werden, die auf bestimmte I4.0-Anwendungen abzielen – wie z. B. vorausschauende Wartung oder autonome Intralogistik – und gleichzeitig eine strategische Priorisierung in Planungsphasen ermöglichen, um eine effektive Ressourcenverteilung zu gewährleisten. Die Idee und erste Umsetzung der vorgeschlagenen Strategie erfolgte während der Planungsphasen der FFB-Forschungsfabrik und legte eine solide Grundlage für ihre Übertragbarkeit. Eine umfassende Validierung in weiteren Industriesektoren, zusammen mit quantifizierbaren Ergebnissen und eindeutigen Leistungsindikatoren, soll die Anwendbarkeit und Generalisierbarkeit der Methode verbessern. Diese umfassende Untersuchung wird tiefgreifende Einblicke in die Anpassungsfähigkeit der Methode geben und damit das Verständnis dafür verbessern, wie Industrie 4.0-Anforderungen in der Anlagenplanung richtig umgesetzt werden können. In diesem Zusammenhang wird die Fraunhofer FFB die Forschung zu diesen Elementen, insbesondere im Hinblick auf die Planung von Batteriezellfabriken und die notwendige Digitalisierung von Produktionsprozessen, weiter vorantreiben und sicherstellen, dass sich die Methodik an neue

Herausforderungen anpasst und modernste Technologien einbezieht.

Bestätigungen

Förderhinweis: Das Projekt "FoFeBat – Forschungsfabrik Batterie zelle" wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. Fördernummer 03XP0256.

Referenzen

- [1] Wiendahl, H.-H., Reichardt, J., Nyhuis, P., 2024. Handbuch Fabrikplanung: Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten, 3., vollständig überarbeitete Auflage ed. Hanser, München [2] Bracht, U., Geckler, D., Wenzel, S., 2018. Digitale Fabrik: Methoden und Praxisbeispiele, 2., aktualisierte und erweiterte Auflage ed. Springer Vieweg, Berlin
- [3] Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M., Yin, B., 2018. Smart Factory der Industrie 4.0: Schlüsseltechnologien, Anwendungsfall und Herausforderungen. IEEE Access 6 [4] Vogel-Heuser, B., 2016. Handbuch Industrie 4.0 Bd.1: Produktion, 2. Aufl. Springer Berlin Heidelberg
- [5] Elhousseiny, H.M., Crispim, J., 2024. Ein Rückblick auf Industrie 4.0 Reifegradmodelle: Theoretischer Vergleich in Der Sektor der intelligenten Fertigung. Procedia Computer Wissenschaft 232
- [6] Soori, M., Arezoo, B., Dastres, R., 2023. Internet der Dinge für intelligente Fabriken in der Industrie 4.0, ein Rückblick. Internet der Dinge und cyber-physische Systeme
- [7] Schenk, M., Wirth, S., Müller, E., 2014. Fabrikplanung und Fabrikbetrieb: Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik, Springer Vieweg, Berlin
- [8] Zenke, I., 2016. Anlagenplanung, Anlagenbau, Anlagenbetrieb für Unternehmen: Rahmenbedingungen für den Bau von Energieversorgungs- und Industrieanlagen. De Gruyter, Berlin/Boston
- [9] VDI-Richtlinien, 2011-02-00. VDI 5200 Fabrikplanung - Planungsvorgehen.
- [10] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2013. Verordnung über die Honorare für Architekten und Ingenieurleistungen
- [11] Korbion, H., Mantscheff, J., Vygen, K., Doell, F., Eisterhues, I., 2024. Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI): Mit Gesetz zur Regelung von Ingenieur- und Architektenleistungen (IngALG), 10., neubearbeitete und erweiterte Auflage ed. C.H. Beck, München
- [12] Schramm, C., 2023. Honorarermittlung nach HOAI, in: , Architekturpraxis Bauökonomie: Grundlagenwissen für die Planungs-, Bau- und Nutzungsphase sowie Wirtschaftlichkeit im Planungsbüro. Springer
- [13] Schwenker, C., Wessel, M., 2021. HOAI 2021— Die wichtigsten Änderungen der Honorar- und Gebührenordnung für Architekten und Ingenieure. Monatsschrift für Deutsches Recht 75

- [14] Bauernhansl, T., Hompel, M. ten, Vogel-Heuser, B. (Hrsg.), 2014. Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien, Migration. Springer Vieweg, Wiesbaden,
- [15] Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., Rosenberg, M., 2014. Wie Virtualisierung, Dezentralisierung und Netzwerkaufbau die Fertigungslandschaft verändern: Eine Industrie 4.0-Perspektive. Internationale Zeitschrift für Informations- und Kommunikationstechnik 8
- [16] Moser, F.J., 2021. Demonstrationsfabriken: Eine gebäudetypologische Untersuchung.
- [17] Reinhart, G., 2017. Handbuch Industrie 4.0: Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. Hanser, München
- [18] Morgen, L., Jaspers, W., Schmetz, A., Roth, D., Hamacher, N.C., Kampker, A., 2025. Digitale Batteriezellenfertigungssysteme: Auf dem Weg zu einer skalierbaren und vielseitigen IT. Procedia CIRP (121).
- [19] Berger, K., Schögl, J.-P., Baumgartner, R.J., 2022. Digitale Batteriepassé zur Ermöglichung zirkulärer und nachhaltiger Wertschöpfungsketten: Konzeption und Use Cases. Zeitschrift für sauberere Produktion 353
- [20] Kies, A.D., Siegert, F., Ackermann, T., Krauß, J., Grunert, D., Schmitt, RH, 2023. Produktspezifisch Identifikatoren und Datenaggregation zum Aktivieren von Rückverfolgbarkeit in der Batteriezellproduktion. Procedia CIRP 120
- [21] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2022-07-00. Building Information Modelling (BIM) - Datenstruktur nach EN ISO 16739-1:2018 für den Austausch von Datenvorlagen und Datenblättern für Bauobjekte - Teil 1

Dies war eine Übersetzung ins Deutsche des frei verfügbaren Fachartikels:

Original:

„Systematically integrating Industry 4.0 requirements into factory planning phases“.

Natalja Rube^{a,*}, Arno Schmetz^a, Achim Kampker^{a,b}.

Verfügbar unter (Stand 23.6.2025):

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827125005864>

Dies ist eine nicht offizielle deutsche Übersetzung des Originals durch:

Markus Bans
ATS Prozessoptimierung Markus Bans
Web: <https://simio-simulation.de>

Lizenz:

Creative Commons Namensnennung 4.0
International (CC BY 4.0)

S.
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>