

Erweiterung der DIN 276 auf Fabriken in Planung, Ausführung und Betrieb

Modellbasierte Kostenermittlung

T. Neuhäuser, F. Wagner, C. J. Eckart, J. Hartwich-Fischer, T. Huber, S. Forte

ZUSAMMENFASSUNG Der Beitrag erweitert die DIN 276 um Fabrikelemente sowie Betriebskosten, um eine ganzheitliche Kostenermittlung über den gesamten Lebenszyklus einer Fabrik zu erlauben. Durch die Integration von VDI 5200–4 und VDI 2067–1 entsteht eine konsistente Grundlage für modellbasierte, BIM-gestützte Kostenermittlungen. Das Vorgehen wird anhand einer fiktiven Batteriezellfabrik demonstriert und zeigt deutliche Verbesserungen bei Kostentransparenz und ROI-Bewertung. So unterstützt der Ansatz sichere und fundierte Investitionsentscheidungen.

STICHWÖRTER

Digitalisierung, Fabrikplanung, Kostenrechnung

Model-based cost calculation – Extension of DIN 276 to factories in planning, execution, and operation

ABSTRACT This work extends DIN 276 by integrating factory elements and operational costs to enable a comprehensive lifecycle cost calculation. By combining DIN 276 with VDI 5200–4 and VDI 2067–1, a consistent basis for model-based, BIM-supported cost calculation is created. A fictional battery cell factory illustrates the approach and its improvements in cost transparency and ROI assessment. The method thereby supports reliable, well-founded investment decisions.

1 Einleitung

Anhaltende geopolitische Unsicherheiten und Herausforderungen im Außenhandel wirken sich wachstumsdämpfend auf die deutsche Wirtschaft aus, wodurch die Industrieproduktion und Auftragseingänge weiterhin volatil bleiben [1]. Diese angespannte wirtschaftliche Lage setzt die Industrie unter Druck, was sich beispielsweise dadurch zeigt, dass die Produktion im produzierenden Gewerbe im Juni 2025 im Vergleich zum Vorjahresmonat um 3,6 % zurückgegangen ist [2].

Um in diesem volatilen Umfeld keine ungeplanten Risiken einzugehen, spielt die Entscheidungssicherheit bei Investitionen eine zentrale Rolle. Eine wichtige Kennzahl für deren Bewertung ist der Return on Investment (ROI), welcher gleichzeitig auch ein zentrale Größe des strategischen und operativen Managements ist [3]. Wie eine Studie der Managementberatung MHP ergeben hat, stellt eine unsichere Bewertung des ROI eines der größten Hindernisse bei Investitionsentscheidungen dar [4]. Demnach ist es äußerst unwahrscheinlich, dass die Entscheidung für eine Investition getroffen wird, bei der die prognostizierten Kosten sowie Gewinne nicht präzise ermittelt werden können. Diese Haltung kann mitverantwortlich dafür sein, dass die Anzahl fertiggestellter Fabrikgebäude rückläufig ist [5]. Grundsätzlich gibt es bislang noch keinen ganzheitlichen Kostenermittlungsansatz für den gesamten Lebenszyklus einer Fabrik, was zu einer Fehleinschätzung der Kosten und damit letztlich auch zu einem verzerrten ROI führen kann.

Im Baugewerbe dagegen ist die DIN 276 „Kosten im Bauwesen“ seit über 90 Jahren etabliert und stellt die Grundlage für

die Kostenermittlung der meisten Bauprojekte dar [6]. Durch die Norm wird der Standard zur Kostenstrukturierung in der Planungs- und Ausführungsphase von Gebäuden definiert, der die Ergebnisse der Kostenermittlung vergleichbar macht [7]. Zudem erlaubt die Verknüpfung der definierten Kostengruppen mit den Objekten digitaler Gebäudemodelle eine modellbasierte Kostenermittlung mit der Methode Building Information Modeling (BIM) [6, 8]. Eine Erweiterung der DIN 276 auf Fabriken und auf den Fabrikbetrieb gibt es bislang nicht und so auch keine Möglichkeit, eine modellbasierte Kostenermittlung für Fabriken durchzuführen. Die Studie von *Bermphol et al.* [9] stuft BIM aber als relevante Methode für die ganzheitliche digitale Fabrikplanung der Zukunft ein und in der Studie von *Neuhäuser et al.* [10] wurde von mehr als der Hälfte der Teilnehmenden eine Erhöhung der Kostensicherheit sowie eine Kostenreduktion als relevante Ziele für die Nutzung von BIM in der Fabrikplanung eingestuft.

Da die DIN 276 ein unumstößlicher Standard in Bauprojekten ist, der auch in der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) verankert ist, wird in diesem Beitrag eine Erweiterung der DIN 276 auf den gesamten Fabriklebenszyklus vorgestellt. In Kapitel 2 wird zunächst der Stand der Wissenschaft und Technik beleuchtet und die Forschungslücke abgeleitet.

2 Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Ansätze zur Kostenermittlung von Fabriken

Die VDI 5200–4 beschreibt ein methodisches Vorgehen zur erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung (EWR) in der Fabrikplanung. Ziel der Richtlinie ist es, Planungsvarianten ganzheitlich

wirtschaftlich zu bewerten, indem neben klassischen monetären Zahlungsströmen auch nicht-monetäre Zielgrößen (zum Beispiel Wandlungsfähigkeit und Mitarbeiterorientierung) systematisch berücksichtigt und in monetäre Zahlungen überführt werden. Die EWR baut auf der DIN 276 auf, um Kosten über objektspezifische Zahlungen zu ermitteln und erweitert diese um Zahlungen aus Wirkzusammenhängen (etwa Produktivitäts-, Organisations- oder Qualitätswirkungen) über den gesamten Fabriklebenszyklus hinweg. Die VDI 5200-4 ist damit eine Entscheidungsunterstützungsmethode beim Variantenvergleich in der Fabrikplanung. [11]

Der Ansatz der ganzheitlichen Lebenszyklusanalyse von *Hingst et al.* [12] zielt neben der ökonomischen Dimension der Nachhaltigkeit auch auf die ökologische ab. Ziel ist es, Investitions- und Betriebskosten über den gesamten Lebenszyklus gemeinsam mit Umweltwirkungen (wie etwa Energieverbrauch und Emissionen) systematisch zu erfassen und zu bewerten. Auch bei diesem Ansatz steht die Entscheidungsunterstützung zwischen Planungsvarianten im Fokus.

Bornschlegl et al. [13] schlagen eine Methode zur Prognose von Lebenszykluskosten von Fertigungstechnologien in den frühen Planungsphasen vor. Im Fokus stehen Energie- und Instandhaltungskosten von Produktionsanlagen, um technologische Alternativen vergleichen und fundierte Investitionsentscheidungen treffen zu können. Es ist nicht das Ziel, eine exakte Kostenermittlung durchzuführen, sondern eine frühe, vergleichende Bewertung zu ermöglichen.

Der Ansatz von *Müller et al.* [14] baut auf *Bornschlegl et al.* [13] auf und integriert die Lebenszykluskosten in die digitale Fabrik nach VDI 4499-1 [15], um Kostenwirkungen von Entscheidungen in der Produktionsplanung frühzeitig transparent zu machen. Auch wenn in dem Ansatz eine objektorientierte Erweiterung des digitalen Fabrikdatenmodells adressiert wird, wird die Kostenstrukturierung als projektspezifisch angenommen und nicht standardisiert. Die Ergebnisse von *Müller et al.* zeigen außerdem, dass die Berücksichtigung von Folge- und Betriebskosten zu deutlich veränderten wirtschaftlichen Bewertungen gegenüber rein investitionskostenbasierten Entscheidungen führt.

Auf dem Konzept der digitalen Fabrik baut auch der Ansatz von *Tierney et al.* [16] auf. Ziel ist dabei die Entwicklung eines vernetzten digitalen Fabrikkostenmodells, das die Kostenmodellierung über eine relationale Datenbank mit einer ereignisdiskreten Simulation vernetzt, um so die zeitliche Entwicklung von Kostenkennzahlen vorherzusagen und damit Machbarkeitsstudien und Echtzeit-Kostenanalysen zu ermöglichen. Der Fokus liegt auf der IT- und Datenarchitektur zur Kopplung von Simulation und Kostenrechnung.

Allen vorgestellten Ansätzen ist gemein, dass eine Entscheidungsunterstützung bei Investitionsentscheidungen entwickelt werden soll. Die VDI 5200-4 [11], *Hingst et al.* [12] und *Bornschlegl et al.* [13] betrachten Kosten top-down als aggregierte Größen, die in die jeweiligen Ansätze einfließen. *Müller et al.* [14] und *Tierney et al.* [16] betrachten den konkreten Kontext von Kosten und der digitalen Fabrik, wobei konkrete Datenmodell-erweiterungen beziehungsweise Datenbanken vorgeschlagen werden. Eine standardisierte Kostenstrukturierung beziehungsweise eine Bottom-Up-Betrachtung der objektbezogenen Kosten liefert keiner der Ansätze. Auch wird kein Ansatz für eine modellbasierte Kostenermittlung mit BIM vorgestellt.

2.2 Kostenermittlung bei Gebäuden

Dagegen existiert bereits seit 1934 die DIN 276, die als standardisierte Norm der Kosten im Bauwesen. Die DIN 276 legt Begriffe und Grundsätze der Kostenplanung im Bauwesen sowie Unterscheidungsmerkmale von Kosten und Bezugseinheiten für Kostengruppen fest. Damit schafft die Norm die Voraussetzungen für eine einheitliche Kostenstrukturierung sowie für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Kostenermittlungen. Inhaltlich beschreibt sie einerseits die Stufen der Kostenermittlung in Abhängigkeit der Leistungsphasen aus der HOAI, andererseits stellt sie vor allem eine Auflistung aller möglichen anfallenden Kosten dar, die bei der Gebäudeplanung berücksichtigt werden müssen. In der ersten Ebene umfasst dies eine Kostengliederung bestehend aus acht Kostengruppen, die durch dreistellige Ordnungszahlen gekennzeichnet sind (100–800). Das Bauwerk selbst wird in zwei Kostengruppen hinsichtlich Baukonstruktion und technischer Anlagen adressiert. In den weiteren Kostengruppen sind Elemente der Gebäudeperipherie wie Grundstück und Außenanlagen berücksichtigt. Finanzierungs- und Baunebenkosten sind außerdem als weiterführende Kosten in separaten Kostengruppen verortet. [6, 7]

Der Aufbau der Kostengliederung der DIN 276 umfasst mit weiterem Detaillierungsgrad eine Fortführung der initialen Unterteilung der acht Kostengruppen der ersten Ebene in eine zweite und dritte Ebene. Die übergeordneten Kostengruppen werden in der zweiten Ebene zunächst grob unterteilt und in der dritten Ebene für einzelne Bestandteile spezifiziert. Das Gebäude wird durch diese Kostengruppen somit als ganzheitliches System inklusive für die Errichtung notwendiger Peripherie und Maßnahmen betrachtet und in die einzelnen Bestandteile untergliedert. Die Kostengliederung bildet die Grundlage zur Durchführung einer umfassenden Kostenermittlung, -kontrolle und -steuerung in der Gebäudeplanung.

Während die DIN 276 primär auf die Ermittlung der Investitionskosten eines Bauwerks ausgerichtet ist, erfordert eine ganzheitliche Kostenbetrachtung zusätzlich die Berücksichtigung der Betriebsphase. Für diesen Zweck stellt die VDI 2067-1 ein strukturiertes Verfahren zur systematischen Ermittlung der Betriebskosten bereit, das sich insbesondere auf technische und bauliche Anlagen eines Gebäudes bezieht [17]. Die Richtlinie gliedert die Betriebskosten in vier Kostengruppen: kapitalgebundene, bedarfsgebundene, betriebsgebundene und sonstige Kosten.

Zu den kapitalgebundenen Kosten zählen kalkulatorische Zinsen sowie die Aufwendungen für die Erneuerung technischer Anlagen oder baulicher Komponenten. Die bedarfsgebundenen Kosten umfassen verbrauchsabhängige Größen wie Energie- und Hilfsenergiekosten sowie Kosten für Betriebsstoffe, etwa Schmierstoffe, Additive oder Chemikalien. Betriebsgebundene Kosten entstehen durch die regelmäßige Nutzung und Instandhaltung des Gebäudes und enthalten Maßnahmen wie Bedienen, Reinigen, Warten, Inspizieren sowie die Instandsetzung. Die sonstigen Kosten umfassen unter anderem Versicherungen, Steuern, allgemeine Abgaben, Verwaltungskosten sowie Rückstellungen für Rückbau und Entsorgung.

Neben der Gliederung der Kostenarten bietet die VDI 2067-1 [17] mit den Tabellen A2 bis A4 eine praxisnahe Hilfestellung für die Ermittlung der Betriebskosten. Diese enthalten Mittelwerte zur rechnerischen Nutzungsdauer gebäudetechnischer Anlagen sowie durchschnittliche Aufwandswerte für Wartung, Inspektion,

Instandsetzung und Bedienung, jeweils bezogen auf Anlagenkomponenten von Heizungsanlagen, raumlufttechnischen Systemen oder Einrichtungen zur Trinkwassererwärmung. Damit steht ein vereinfachter Kostenansatz zur Verfügung, der es ermöglicht, Betriebskosten bereits in frühen Planungsphasen realitätsnah zu prognostizieren. Die angegebenen Werte sind als Orientierungsgrößen zu verstehen und bilden Mittelwerte über die gesamte Nutzungsdauer ab. Je nach Alter, Betriebsweise oder Servicelevel der eingesetzten Komponenten können die tatsächlichen Kosten davon abweichen.

Durch die Integration dieser standardisierten Ansätze in modellbasierte Planungsprozesse lassen sich Betriebskosten transparent und vergleichbar darstellen. In Kombination mit den Investitionskosten nach DIN 276 entsteht so eine belastbare Grundlage für lebenszyklusorientierte Kostenbewertungen, wie sie in der wirtschaftlich und ökologisch nachhaltigen Gebäudeplanung zunehmend erforderlich sind.

2.3 Modellbasierte Kostenermittlung

Die Einhaltung von Kosten-, Termin- und Qualitätszielen gilt als zentrale Voraussetzung für ein erfolgreiches Bauprojektmanagement [18]. Digitale Methoden wie Building Information Modeling (BIM) bilden eine entscheidende Grundlage, da Bauwerksmodelle als konsistente Informationsquelle über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes dienen [19]. Im Kontext der Kostenplanung wird dieser Ansatz durch die modellbasierte Kostenermittlung, häufig als 5D-Planung bezeichnet, erweitert.

Die modellbasierte Kostenermittlung basiert auf der systematischen Verknüpfung von Bauwerksinformationen mit Kostendaten und erlaubt so eine dynamische, fortschreibbare Planung über sämtliche Leistungsphasen hinweg. Zentrale Funktionen bestehen in der automatisierten Ableitung von Mengen- und Massendaten – etwa Flächen, Volumen und Längen – aus dem digitalen Modell sowie deren strukturierter Zuordnung zu den Kostengruppen der DIN 276. Die Integration bepreister Bauteilbibliotheken oder herstellerspezifischer Datenbanken erlaubt zudem eine automatisierte Kalkulation und steigert die Konsistenz und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse.

Bauteile im Modell werden hierfür mit spezifischen Attributen versehen, darunter das Attribut Kostengruppe nach DIN 276. Ergänzende Attribute wie Materialeigenschaften, Festigkeiten oder brandschutztechnische Anforderungen verfeinern die Kalkulation, da sie eine genauere Anpassung der hinterlegten Kostenkennwerte ermöglichen. Auf diese Weise wird eine kontinuierliche und an den Planungsfortschritt adaptierbare Kostendatenbasis geschaffen.

Auch eröffnet die modellbasierte Kostenermittlung Potenziale für Simulationen und Prognosen des Kostenverlaufs. Dies umfasst insbesondere Aspekte der Finanzierungsplanung sowie die frühzeitige Identifikation und Bewertung von Projektrisiken. Soll-Ist-Vergleiche ermöglichen es, Abweichungen vom geplanten Kostenrahmen zeitnah zu erfassen und gezielt steuernde Maßnahmen einzuleiten.

Zusammenfassend ist die modellbasierte Kostenermittlung ein Instrument zur präzisen, transparenten und kontinuierlich fortgeschriebenen Kostenplanung. Sie unterstützt die Sicherstellung der Kostensicherheit von Bauprojekten und trägt wesentlich zur Steigerung der Effizienz und Nachvollziehbarkeit in allen Planungs- und Ausführungsphasen bei [8].

2.4 Forschungslücke

Die modellbasierte Kostenermittlung im Rahmen der BIM-Methode ist ein bereits etabliertes Instrument, mit dem basierend auf der DIN 276 die Kosten für ein Bauprojekt ermittelt werden können. Die Anwendung beschränkt sich jedoch auf das Bauwerk sowie dessen technische Anlagen und bildet Produktions- und Logistiksysteme als wesentliche Bestandteile von Fabriken nicht adäquat ab. Zwar lassen sich einzelne Elemente solcher Systeme bestehenden Kostengruppen zuordnen, diese Zuordnungen erfolgen jedoch projekt- und anwendungsspezifisch und sind nicht standardisiert. Um die modellbasierte Kostenermittlung auf Fabriken und explizit auch auf deren Planung, Ausführung und Betrieb erweitert zu können, fehlt bisher die entsprechend standardisierte Kostenstrukturierung. Für eine BIM-gestützte, also modellbasierte Kostenermittlung müssen zudem Kostenparameter eindeutig, objektbezogen und standardisiert einzelnen Modellelementen zugewiesen werden können, was in bisherigen Ansätzen nicht ausreichend berücksichtigt wird.

Aus der identifizierten Forschungslücke ergeben sich drei notwendige Schritte: (1) systematische Strukturierung der Fabrikelemente, um den eindeutigen Objektbezug sicherzustellen; (2) Überführung in eine normnahe Kostenstruktur, um eine Standardisierung zu ermöglichen; (3) Implementierung in eine modellbasierte Kostenermittlung, um eine Erhöhung der Kostensicherheit sowie eine Kostenreduktion über die Nutzung von BIM zu ermöglichen. Diese drei Schritte werden in dieser Reihenfolge in den folgenden drei Kapiteln adressiert.

3 Systematik der Fabrikelemente

Mit der Herausforderung, die Komplexität einer Fabrik in handhabbare und formbare Einheiten zu unterteilen, beschäftigen sich eine Vielzahl an Autoren [20–23]. Zur strukturierten Bewältigung der Komplexität industrieller Fabrikprozesse dient die Systemtheorie. Dabei können Wechselwirkungen zwischen Elementen eines Systems, beziehungsweise zwischen Teilsystemen und dem Gesamtsystem abgebildet werden [22].

Fabrikelemente können in diesem Zusammenhang als fester Bestandteil der Produktionsfaktoren Material, Maschinen und Anlagen (Realkapital) sowie Personal verstanden werden. Dabei übernehmen Prozesse und Strukturen die Funktion eines Bindeglieds zwischen den Elementebenen, indem sie den Austausch stofflicher, informationeller, energetischer, personeller, ökonomischer, räumlicher und zeitlicher Ressourcen ermöglichen [22].

Durch die Anwendung der allgemeinen Systemtheorie auf die technische Komplexität von Fabriken lässt sich deren Struktur in hierarchisch aufgebaute Subsysteme gliedern, wobei die funktionale Trennung in Produktions- und Logistiksystem eine wichtige Strukturierung darstellt [23]. Während das Teilsystem Produktion alle Einheiten impliziert, die direkt an der Wertschöpfung beteiligt sind und dabei im Zentrum des Fabriksystems steht [22], wirkt das Logistiksystem als Bindeglied zwischen den entsprechenden Produktionseinheiten und bildet die Flussbeziehungen innerhalb der Fabrik und auch zu externen Schnittstellen ab [21]. Diese Strukturierung des Fabriksystems in Produktions- und Logistiksystem erlaubt eine weitere Detaillierung in spezifische Fabrikelemente (**Bild 1**).

Im Fabriksystem können Betriebsmittel als kleinste technische Elemente gesehen werden, wobei diese wiederum als eigene

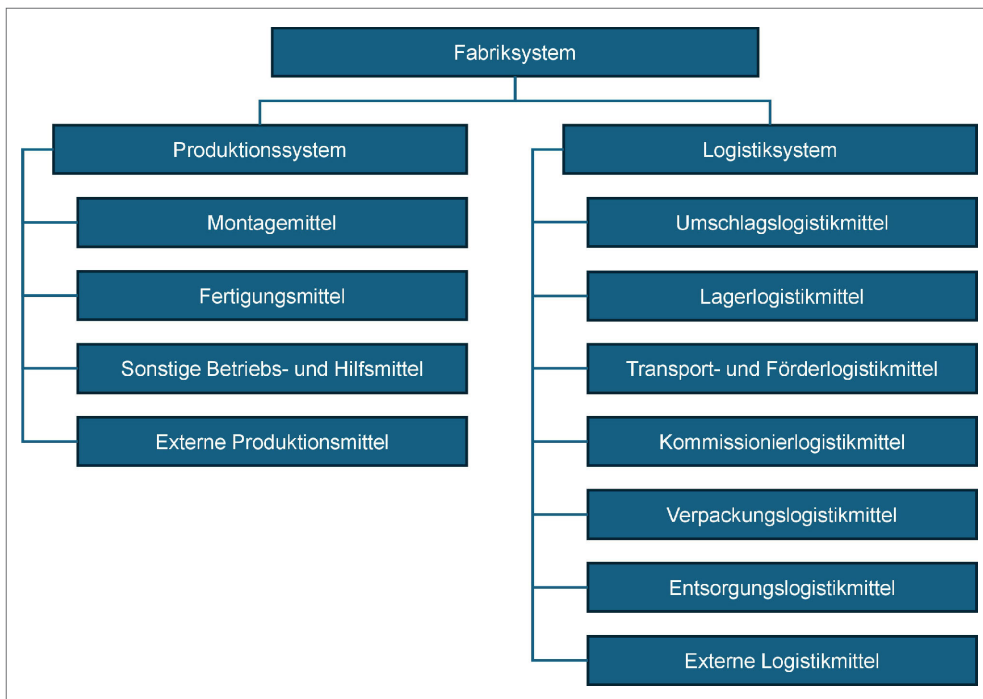


Bild 1 Systematik der Fabrikelemente. Grafik: Fraunhofer IGCV

Systeme zu verstehen sind [23]. Die Betriebsmittel, die als Gesamtheit der technischen Einrichtungen, Geräte und Anlagen zur Erfüllung einer Produktionsaufgabe gesehen werden, untergliedern sich in Fertigungs-, Montage- und Logistikmittel [23]. Während Fertigungs- und Montagemittel dem Produktionssystem zugeordnet werden, sind Logistikmittel elementare Bestandteile des Logistiksystems.

Logistikmittel können gemäß ihren funktionalen Aufgaben nach unterschiedlichen Teilprozessen untergliedert werden. Diese Untergliederung erfolgt typischerweise entlang der Kernfunktionen der Logistik, wie dem Umschlag bei Wareneingang und Warenausgang, Lagerung, Transport beziehungsweise Beförderung, Kommissionieren sowie Verpacken. Entsprechend lassen sich Betriebsmittel in Umschlag-, Lager-, Transport- und Förder-, Kommissionier- sowie Verpackungslogistikmittel differenzieren [23]. Ergänzend dazu sind Entsorgungsprozesse ein wesentlicher Bestandteil der Prozesse in einer Fabrik [24], wodurch auch die entsprechenden technischen Einrichtungen zur Abfallentsorgung als logistische Betriebsmittel beziehungsweise als Teilsysteme der Fabrik einzuordnen sind [21, 25].

In der Produktion kommen zudem oftmals sonstige Betriebs- und Hilfsmittel zum Einsatz [23]. Die bisherigen Ausführungen zur Untergliederung der Fabrikelemente sind unabhängig von einer Kostenstrukturierung. Vor dem Hintergrund einer solchen müssen sowohl bei den Produktions- als auch bei den Logistikmitteln zusätzlich externe Betriebsmittel berücksichtigt werden. Dies sind beispielsweise geleaste oder gemietete Produktions- und Logistikmittel, die kostentechnisch gegebenenfalls anders behandelt werden als interne Betriebsmittel.

Die sich daraus ergebende Systematik der Fabrikelemente wurde im Forschungsprojekt FaBIM entwickelt [26]. Dafür sowie für die in Kapitel 4 aufgezeigten Ergebnisse, wurden zunächst Literaturanalysen durchgeführt, deren Ergebnisse anschließend in mehreren Workshops im Konsortium weiterentwickelt wurden. Die Systematik ist unter der Zielsetzung entstanden, eine eindeutige, objektbezogene und lebenszyklusorientierte Kostenzu-

ordnung zu ermöglichen, die sowohl normnah als auch direkt in BIM-Modellen abbildbar ist. So können die drei Ebenen der Systematik direkt den drei Kostengruppenebenen der DIN 276 zugeordnet werden.

4 Erweiterung der DIN 276 auf Fabriken und die Betriebsphase

4.1 Erweiterungen auf der ersten und zweiten Ebene der Kostengruppen

Das Produktions- und Logistiksystem sind weder Bauwerk noch Ausstattung im Sinne der DIN 276. Daher wird auf erster Ebene die Kostengruppe (KG) 900 für den Fabrikbetrieb eingeführt (**Tabelle 1**). Unter dieser gliedern sich auf zweiter Ebene die Elemente des Fabriksystems (siehe Kapitel 3).

Neben den technischen Betriebsmitteln des Produktions- und Logistiksystems sind auch Informations- und Kommunikationseinrichtungen relevant. Dazu zählen vor allem digitale Systeme und Softwarelösungen, welche zur Steuerung und Unterstützung logistischer und produktionstechnischer Prozesse eingesetzt werden, verwaltet werden müssen und Kosten verursachen. Somit ergeben sich auf zweiter Ebene die KG 910 Produktionssystem, 920 Logistiksystem, 930 Verwaltung und 940 Software, die in Kapitel 4.4 näher erläutert werden. Die KG 920 umfasst produktionslogistische Förderlogistikmittel, die nicht mit Förderanlagen wie etwa Personenaufzüge oder Rolltreppen zu verwechseln sind. Diese werden weiterhin in der KG 460 verortet und der Name der KG wird, um einer Verwechslung vorzubeugen, um den Zusatz „nicht für Produktionstransporte“ ergänzt. [25]

Die KG 900 bezieht sich vor allem auf die Sachkosten in der Ausführungsphase sowie die Betriebsphase. Die Nebenkosten der Planungs- und Ausführungsphase werden, wie in DIN 276 auch für das Produktions- und Logistiksystem in der KG 700 Baunebenkosten verortet. Zur Trennung der Kostenzuordnung zu Gebäude und Produktion wird der von Schäfer *et al.* [27] eingeführte Begriff der Fachdomänen verwendet und eine Unterschei-

derung der Domänen Produktionssystemplanung (inklusive Logistiksystemplanung) und Bauplanung vorgenommen. So beziehen sich die bereits bestehenden KG 720, 730 und 740 auf die Domäne Bauplanung. Für die Domäne Produktionssystemplanung werden die KG 770 und 780 eingeführt. Während sich die KG 770 auf die vorbereitenden Maßnahmen von Fabrikplanungsprojekten bezieht, können in der KG 780 Nebenkosten verortet werden, die spezifisch für die Planung oder Ausführung einer Fabrik anfallen. Diese Unterscheidung von vorbereitenden und spezifischen Maßnahmen ist analog zu den KG 720 und 730 beziehungsweise 740 der DIN 276 gewählt und wird in Kapitel 4.3 auf die dritte Ebene der Kostengruppen heruntergebrochen.

Die letzte Adaption der DIN 276 auf der zweiten Kostengruppenebene bezieht sich auf die KG 100 Grundstück. Hier müssen Betriebskosten ergänzt werden, deren Nomenklatur zunächst die dreistellige Kostengruppennummer enthält, anschließend den Index B für die Betriebsphase, gefolgt von einer fortlaufenden Nummer (vergleiche Tabelle 1). So wird für die Veranschlagung der Grundsteuer die KG 100.B1 eingeführt und für die Mietkosten die KG 100.B2. Etwaige Finanzierungskosten sind nach wie vor der KG 800 Finanzierung zugeordnet. Die Kosten für das infrastrukturelle Gebäudemanagement werden unter KG 100.B3 subsummiert und diese für das kaufmännische Gebäudemanagement unter KG 100.B4. Während sich das infrastrukturelle Gebäudemanagement beispielsweise auf Reinigungs- und Sicherheitsdienste bezieht, umfasst das kaufmännische Gebäudemanagement beispielsweise Versicherungen und Verträge. In KG 100.B5 werden zudem die Ver- und Entsorgungskosten der Fabrik mit Fokus auf den Gebäudebetrieb erfasst. Die Grundlage für die Einführung der Kosten des Gebäudebetriebs wird im nächsten Kapitel näher erläutert.

4.2 Erweiterung um den Gebäudebetrieb

Zur Erweiterung der DIN 276 auf den Gebäudebetrieb ist eine systematische Erfassung und Bewertung der Betriebskosten erforderlich, die über die klassischen Investitionskosten hinausgeht. Hierzu zählen vor allem Modernisierungs-, Instandhaltungs- und Wartungskosten, die ebenfalls als Index B innerhalb der Kostengliederung systematisch erfasst werden.

Tabelle 1 Erweiterung und Anpassung der DIN 276 in den Kostengruppen 100 – 900.

KG	Bezeichnung
100	Grundstück
100.B1	Grundsteuer
100.B2	Mietkosten
100.B3	Infrastrukturelles Gebäudemanagement
100.B4	Kaufmännisches Gebäudemanagement
100.B5	Ver- und Entsorgung
200	Vorbereitende Maßnahmen
300	Bauwerk - Baukonstruktionen
400	Bauwerk - Technische Anlagen
460	Förderanlagen (nicht für Produktionstransporte)
500	Außenanlagen und Freiflächen
600	Ausstattung und Kunstwerke
700	Baunebenkosten
720	Vorbereitung der Objektplanung - Domäne Bauplanung
730	Objektplanung - Domäne Bauplanung
740	Fachplanung - Domäne Bauplanung
770	Vorbereitungen der Fabrikplanung - Domäne Produktionssystemplanung
780	Fachplanung - Domäne Produktionssystemplanung
800	Finanzierung
900	Fabrikbetrieb
910	Produktionssystem
920	Logistiksystem
930	Verwaltung
940	Software

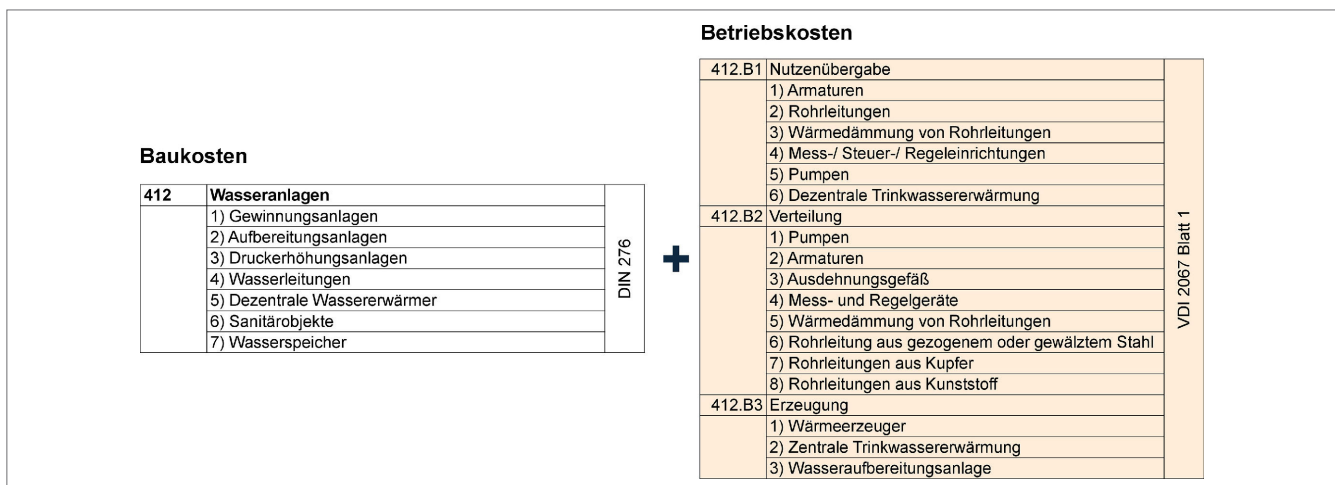


Bild 2 Erweiterung der DIN 276 unter Berücksichtigung der Betriebskosten aus der VDI 2067–1. Grafik: Building Information Management GLW GmbH

Tabelle 2 Erweiterung und Anpassung der DIN 276 in der Kostengruppe 700 – Baunebenkosten.

KG	Bezeichnung
700	Baunebenkosten
770	Vorbereitungen der Fabrikplanung - Domäne Produktionssystemplanung
771	Machbarkeitsstudien
779	Sonstiges zur KG 770
780	Fachplanung - Domäne Produktionssystemplanung
781	Fabriklayoutplanung
782	Produktionslogistikplanung
783	Betriebsmittelplanung
784	Arbeitsplatzgestaltung
785	Produktions-IT-Planung
786	Anschaffungsverwaltung (Einkauf, Controlling, Buchhaltung, ...)
787	Um-/Einzugskoordination und -durchführung
788	Installation und Inbetriebnahme (Dienstleistungskosten)
789	Sonstiges zu KG 780

Grundlage hierfür bilden die Tabellen A2 bis A4 der VDI 2067-1 [17], mit deren Hilfe einzelne gebäudetechnische Anlagen strukturiert in Unterkategorien eingeordnet werden können. Am Beispiel der KG 412 Wasseranlagen (**Bild 2**) zeigt sich, wie Betriebskosten für die Nutzung, Verteilung und Erzeugung den Unterindizes B1 bis B3 zugeordnet werden. Durch diese Zuordnung lassen sich die einzelnen Anlagenbereiche differenziert hinsichtlich ihrer laufenden Kosten erfassen und auswerten.

Außerdem ermöglichen die Tabellen A2–A4 eine vereinfachte Ableitung der jährlichen Betriebskosten auf Basis rechnerischer Nutzungsdauer und mittlerer Aufwandfaktoren für Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Bedienung. Die jeweils angegebenen prozentualen Werte pro Jahr werden mit den Baukosten aus der DIN 276 multipliziert. Dadurch lassen sich für den definierten Betrachtungszeitraum realistische Betriebskosten prognostizieren und in die Gesamtkostenbetrachtung einbeziehen.

Neben den laufenden Betriebskosten erlauben die Tabellen auch die Abschätzung von Modernisierungskosten. Auf Basis der angegebenen Nutzungsdauer der Anlagen werden Kostenansätze und Zeitpunkte für erforderliche Modernisierungen ermittelt. Durch Multiplikation mit den Baukosten entsteht ein belastbarer Wert für die Modernisierungskosten innerhalb des Betrachtungszeitraums, welcher die wirtschaftliche Planung über die gesamte Lebensdauer eines Gebäudes unterstützt.

4.3 Erweiterung um die Fabrikplanung

Die KG 770 „Vorbereitungen der Fabrikplanung – Domäne Produktionssystemplanung“ umfasst beispielsweise Machbarkeitsstudien und Wirtschaftlichkeitsanalysen, welche vor dem eigentlichen Start des Fabrikplanungsprojekts durchgeführt werden. Die KG 780 „Fachplanung – Domäne Produktionssystem“ enthält alle Planungskosten rund um das Produktionssystem. Eine Fachdomäne ist nach [27] eine übergeordnete Einheit der BIM-Projekt-

Tabelle 3 Erweiterung der DIN 276 um die Kostengruppe 900 – Fabrikbetrieb.

KG	Bezeichnung
900	Fabrikbetrieb
910	Produktionssystem
911	Montagemittel
911.B1	Montagemittel (in Betriebsphase)
912	Fertigungsmittel
912.B1	Fertigungsmittel (in Betriebsphase)
913	Sonstige Betriebs- und -hilfsmittel
913.B1	Sonstige Betriebs- und -hilfsmittel (in Betriebsphase)
914	Externe Produktionsmittel
914.B1	Externe Produktionsmittel (in Betriebsphase)
920	Logistiksystem
921	Umschlagslogistikmittel (Warenein- und -ausgangslogistik)
921.B1	Umschlagslogistikmittel (Warenein- und -ausgangslogistik) (in Betriebsphase)
922	Lagerlogistikmittel
922.B1	Lagerlogistikmittel (in Betriebsphase)
923	Transport- und Förderlogistikmittel
923.B1	Transport- und Förderlogistikmittel (in Betriebsphase)
924	Kommissionierlogistikmittel
924.B1	Kommissionierlogistikmittel (in Betriebsphase)
925	Verpackungslogistikmittel
925.B1	Verpackungslogistikmittel (in Betriebsphase)
926	Entsorgungslogistikmittel
926.B1	Entsorgungslogistikmittel (in Betriebsphase)
927	Externe Logistikmittel
927.B1	Externe Logistikmittel (in Betriebsphase)
930	Verwaltung
930.B1	Verwaltung
940	Software
940.B1	Software

und Modellstruktur, weswegen die Fachdisziplinen nach [27, 28] als einzelne KG der KG 780 aufgenommen werden (**Tabelle 2**).

So ergeben sich die KG Fabriklayoutplanung, Produktionslogistikplanung, Betriebsmittelplanung, Arbeitsplatzgestaltung sowie Produktions-IT-Planung. Außerdem müssen neue Betriebsmittel beschafft werden, wofür eine Anschaffungsverwaltung nötig ist. Der Um- beziehungsweise Einzug muss koordiniert und durchgeführt werden, wofür die KG 787 vorgesehen wird und bei Installationen und Inbetriebnahmen können Dienstleistungskosten anfallen (KG 788). Darüber hinaus wird analog zu den restlichen Kostengruppen der DIN 276 regelmäßig die KG „Sons-

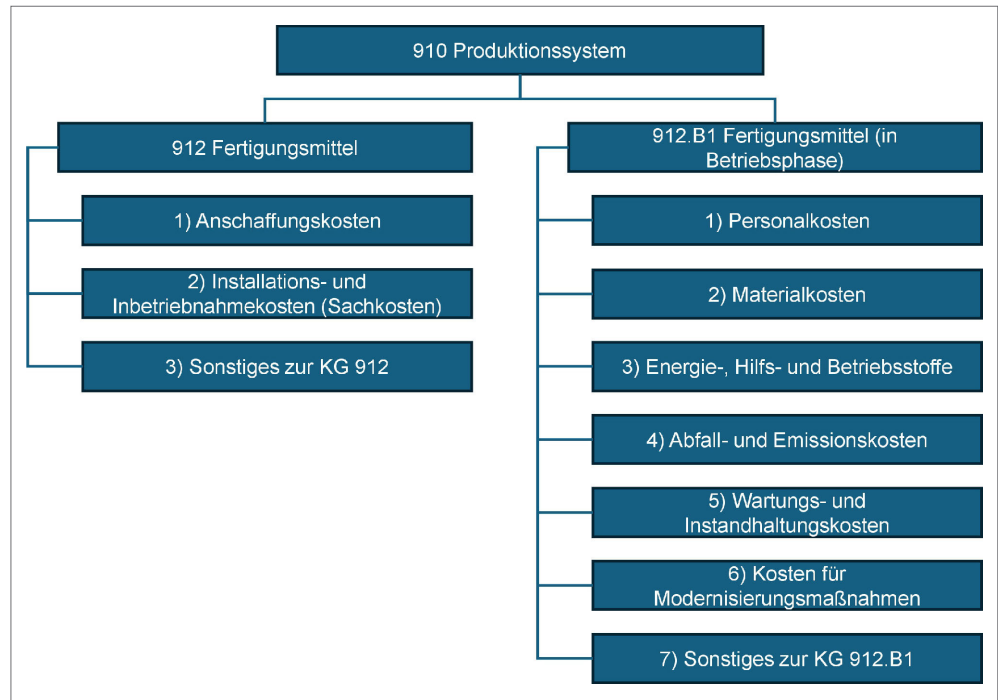


Bild 3 Gliederung der dritten Ebene der Kostengruppen am Beispiel der Fertigungsmittel. Grafik: Fraunhofer IGCV

tiges zur KG XXX“ ergänzt, worunter alles sonstigen Kosten subsummiert werden können.

4.4 Erweiterung um den Fabrikbetrieb

Für den Fabrikbetrieb sowie die Sachkosten der Ausführung wird die neue KG 900 eingeführt, welche auf der Systematik der Fabrikelemente (Kapitel 3) aufbaut. So umfasst beispielsweise die KG 910 das Produktionssystem mit Montagemitteln, Fertigungsmitteln, sonstigen Betriebs- und Hilfsmitteln sowie externen Produktionsmitteln. Jede dieser KG hat eine entsprechende KG für den Betrieb, welche mit dem Index B gekennzeichnet ist. Analog dazu ist die KG 920 Logistiksystem aufgebaut (**Tabelle 3**). Zudem müssen Verwaltungs- und Softwarekosten berücksichtigt werden, um eine ganzheitliche Kostenermittlung gewährleisten zu können, weshalb die KG 930 und 940 eingeführt werden.

Die Kosten der KG 900 müssen zur ganzheitlichen Bewertung in Fabrikplanungsprojekten noch weiter differenziert werden. Diese nächste Gliederungsebene ist am Beispiel der KG 912 und 912.B1 Fertigungsmittel in **Bild 3** dargestellt.

So können ergänzend zu KG 786 Anschaffungsverwaltung und KG 788 Installations- und Inbetriebnahme (Dienstleistungskosten) einmalige Investitionskosten für Anschaffungen sowie Sachkosten für Installationen und Inbetriebnahmen anfallen, wie beispielsweise Verankerungen von Fertigungsanlagen im Boden oder Betriebsmittel für das Einfahren. Im Fabrikbetrieb verweist die VDI 5200-4 [11] auf die Kosten für Personal, Material, Energie-, Hilfs- und Betriebsstoffe sowie Abfälle und Emissionen. Hinzu kommen basierend auf der VDI 2067-1 [17] die Kosten für Wartung- und Instandhaltung sowie Modernisierungsmaßnahmen, die zusammen mit den sonstigen Kosten die Betriebskosten der Fertigungsmittel bilden.

Die gesamte Tabelle mit der gesamten Erweiterung der DIN 276 ist unter folgendem **Link** abrufbar.

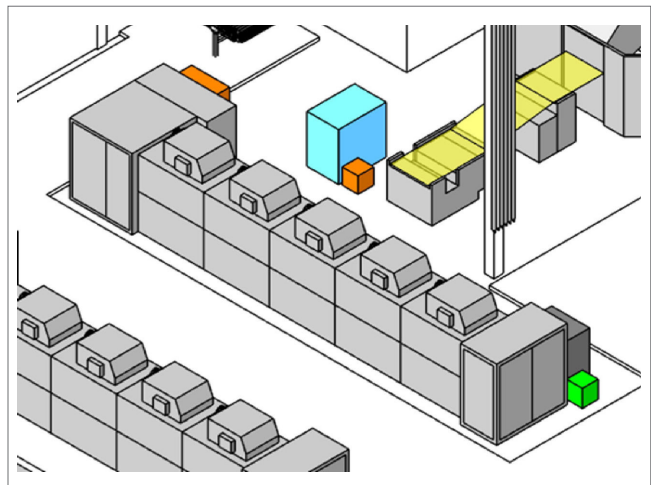


Bild 4 Ausschnitt aus dem BIM-Modell der Batteriezellfabrik aus dem Forschungsprojekt „FaBIM“. Grafik: Fraunhofer IGCV

5 Anwendungsbeispiel der modellbasierten Kostenermittlung

Als Anwendungsfall für die modellbasierte Kostenermittlung wird die im Forschungsprojekt „FaBIM“ entwickelte, fiktive Batteriezellfabrik herangezogen [26]. Die Planung der Batteriezellfabrik erfolgt vollständig digital und BIM-basiert. Als BIM-Autoren-Tool kommt „Autodesk Revit“ zum Einsatz. **Bild 4** zeigt einen Ausschnitt aus dem verwendeten BIM-Modell der Batteriezellfabrik mit der Produktionsanlage anhand welcher die modellbasierte Kostenermittlung im Folgenden demonstriert wird.

Das vorliegende BIM-Modell muss im ersten Schritt präpariert werden, um für die modellbasierte Kostenermittlung nutzbar zu sein. Dies umfasst das Hinterlegen der jeweiligen Kostengruppe sowie der relevanten Kosten in Form von Familienparametern für die Produktionsanlage. **Tabelle 4** gibt einen Überblick über die

Tabelle 4 Kostenrelevante Attribute im BIM-Modell.

Kostenrelevante Attribute	Parameterwert
Abfall-/Emissionsmenge pro Stunde (l/h)	2
Anzahl Arbeitsplätze pro Schicht (Stk.)	0,2
Ausstattungs-/Anlagen-Nr.	302_Anlage_Beschichten (Kathode)
Kostengruppe	912.B1
Materialverbrauch pro Stunde (l/h)	2
Stoffverbrauch pro Stunde (l/h)	10
Wartungs- und Instandhaltungsintensität pro Schicht (€/h)	250

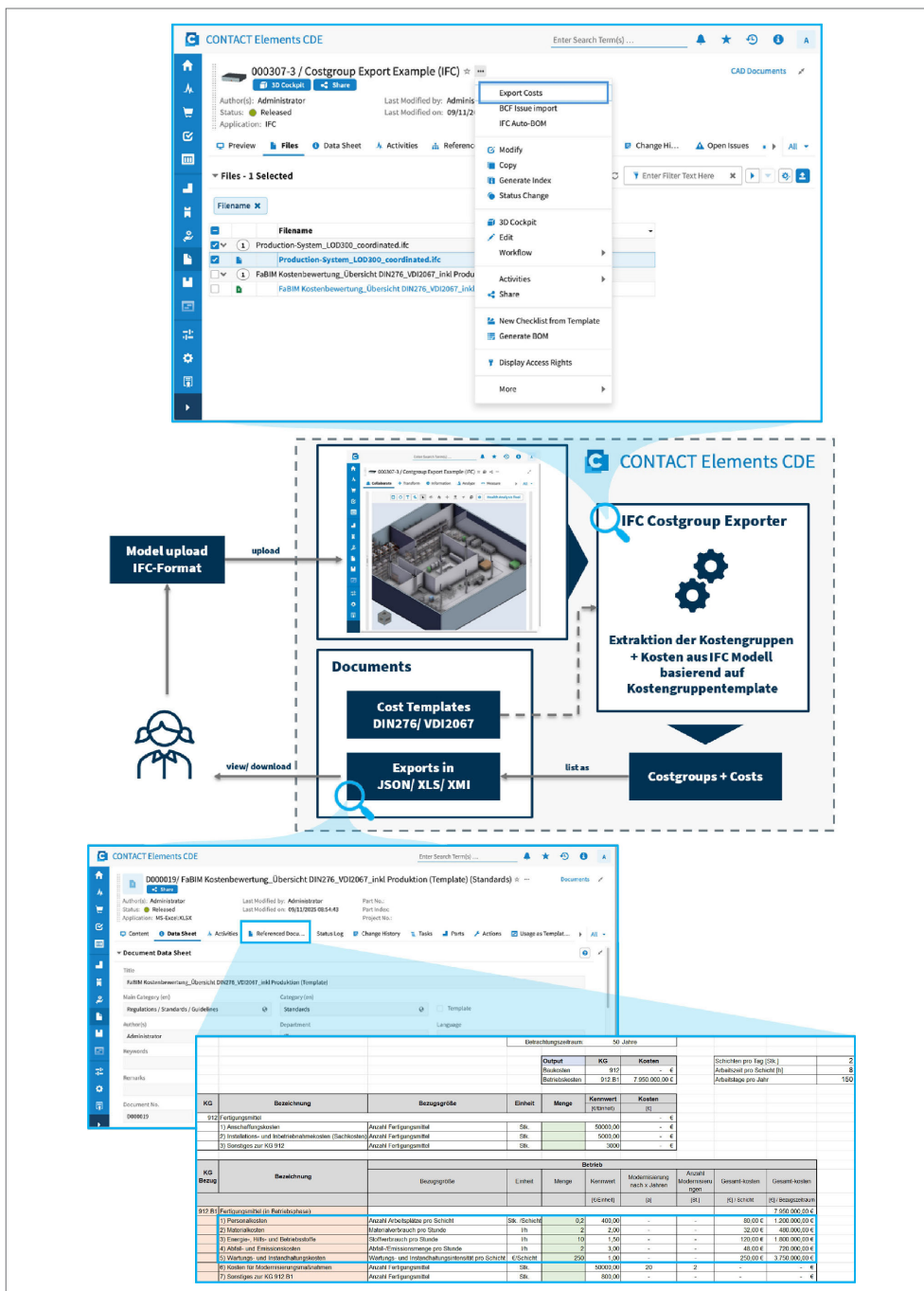


Bild 5 Prozess zur modellbasierten Kostenermittlung mit der Contact CDE (Common Data Environment) basierend auf der Erweiterung der DIN 276 auf Fabriken. Grafik: Contact Software GmbH

angehängten kostenrelevanten Attribute für die an dieser Stelle betrachtete Produktionsanlage.

Sobald die Attribute vollständig und korrekt im BIM-Modell vorliegen, kann dieses an das Common Data Environment (CDE) übergeben werden. Dies erfordert den Export des Modells in das IFC-Format. Zusammen mit den Kostengruppen-Templates nach DIN 276 und VDI 2067-1 können nach dem Upload und der Verarbeitung des Modells die KG aus dem Modell extrahiert werden. Für die Zuordnung sind dabei die Kostengruppen-Templates verantwortlich. Der Export liefert anschließend eine strukturierte Ergebnisliste der identifizierten Kostengruppen sowie der jeweiligen Kosten, die aus dem Modell und den Templates errechnet werden. Der Export über die Contact CDE kann als JSON, XLS oder XMI erfolgen (**Bild 5**).

In Bild 5 erfolgt der Export als XLS, wie in der unteren Tabelle des Bilds ersichtlich ist. Über die Extraktion und die Eingabe von Parametern wie etwa des Betrachtungszeitraums von 50 Jahren, können je nach Anwendungsfall unterschiedliche Szenarien für die Bewertung der Kosten ausgegeben werden. So können über die Erweiterung der DIN 276 sowie die anschließende modellbasierte Kostenermittlung bessere Investitionsentscheidungen getroffen werden und der ROI einfacher und ganzheitlicher berechnet werden. In diesem Anwendungsbeispiel ergeben sich Betriebskosten von 7,95 Millionen Euro über den Betrachtungszeitraum. Dieser Wert kann somit direkt in die Berechnung des ROI einfließen. Da sich diese Betriebskosten zudem aus den einzelnen Werten der jeweiligen Positionen innerhalb der Kostengruppe 912.B1 zusammensetzen, lässt sich auch nachvollziehen, welche Parameter in welchem Umfang zur Gesamtsumme beitragen.

Dies ermöglicht eine hohe Transparenz bei der Beurteilung der Kosten und kann so bei der schnellen und effizienten Identifikation von Optimierungspotentialen unterstützen. Die Kosten für Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen machen in diesem Anwendungsbeispiel mit 3,75 Millionen Euro einen großen Anteil der Betriebskosten im Betrachtungszeitraum aus und bilden an dieser Stelle den größten Stellhebel. Im nächsten Schritt könnten diese Werte ohne zusätzliche Aufwände auch als Basis genutzt werden, um die Wirtschaftlichkeit von Investitionsentscheidungen, in diesem Fall beispielsweise hinsichtlich möglicher Lösungen mit geringerem Wartungs- und Instandhaltungsaufwand, zu bewerten und zu vergleichen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag zeigt, dass die bisherige Struktur der DIN 276 zwar ein etabliertes Fundament für die Kostenermittlung im klassischen Hochbau bietet, jedoch keine ausreichende Grundlage für die lebenszyklusorientierte Bewertung komplexer Fabrikssysteme darstellt. Fabriken unterscheiden sich in Planung, Ausführung und Betrieb von reinen Gebäuden, da sie neben baulichen Aspekten wesentlich durch Produktions- und Logistiksysteme geprägt sind. Gleichzeitig erfordern volatile Märkte und steigender Investitionsdruck eine immer präzisere Prognose des Return on Investment (ROI). Ohne eine durchgängige, standardisierte und modellbasierte Kostenstruktur über alle Lebenszyklusphasen hin-

weg bleibt diese jedoch unzureichend. Das zentrale Ergebnis des Beitrags ist daher die systematische Erweiterung der DIN 276 um Fabrikelemente und Betriebskosten sowie deren Übertragung in eine modellbasierte, BIM-gestützte Kostenermittlung.

Durch die Kombination der DIN 276 mit der Systematik der Fabrikelemente sowie den Richtlinien VDI 5200-4 und VDI 2067-1 entsteht erstmals ein konsistenter Ansatz, der sowohl Investitions- als auch Betriebsaspekte integriert. Anhand einer strukturierten Einordnung von Produktions- und Logistiksystemen werden neue Kostengruppen geschaffen, die eine eindeutige Verknüpfung von Fabrikobjekten mit Kostenparametern erlauben. Dies gilt sowohl für die Ausführungsphase – etwa bei der Anschaffung und Inbetriebnahme von Produktionsmitteln – als auch für die Betriebsphase mit Kostenarten wie Personal, Energie, Verbrauchsmaterialien, Wartung, Instandhaltung oder Modernisierung. Der Ansatz ermöglicht damit eine konsequente Lebenszyklusbetrachtung, welche über die klassische Gebäudeplanung hinausgeht und eine realistischere Bewertung der Wirtschaftlichkeit komplexer Fabriken unterstützt.

Am Anwendungsbeispiel der fiktiven Batteriezellfabrik aus dem Projekt FaBIM wird deutlich, wie die modellbasierte Kostenermittlung in digitalen Planungsprozessen umgesetzt werden kann. Das vollständig BIM-basierte Fabrikmodell dient als zentrale Datenquelle, welche über parametrische Kostengruppen und hinterlegte Kostenkennwerte automatisch ausgewertet wird. Der Export über ein Common Data Environment zeigt, dass damit transparente, reproduzierbare und belastbare Kostenstrukturen generiert werden, die für unterschiedliche Szenarien und Betrachtungszeiträume nutzbar sind. Das Beispiel verdeutlicht vor allem, wie die erweiterten Kostengruppen eine differenzierte Abbildung der Betriebsphase ermöglichen und damit einen wesentlichen Beitrag zu präziseren ROI-Berechnungen leisten.

Mit der vorgestellten Erweiterung der DIN 276 ist ein erster Schritt hin zu einer ganzheitlichen, normnahen und digital integrierbaren Kostenstruktur für Fabriken erfolgt. Dennoch bestehen weiterführende Forschungs- und Entwicklungsbedarfe. Zukünftige Arbeiten sollten besonders darauf abzielen, die definierten Kostenstrukturen in branchenübergreifenden Pilotprojekten zu validieren und für unterschiedliche Fertigungstechnologien zu verfeinern. Ebenfalls relevant ist die weitergehende Automatisierung in BIM-Umgebungen, etwa durch KI-gestützte Kostenprognosen, automatische Plausibilitätsprüfungen oder die Nutzung realer Betriebsdaten zur kontinuierlichen Aktualisierung der Kostenkennwerte. Darüber hinaus bietet die Einbindung ökologischer Indikatoren, wie Energieeffizienz, CO₂-Fußabdrücke oder Kreislaufwirtschaftsaspekte inklusive Rückbauphase, großes Potenzial, die Kostenmodelle um Nachhaltigkeitsgrößen zu erweitern und so zu einem umfassenden Life-Cycle-Assessment für Fabriken auszubauen.

Insgesamt schafft die vorgestellte Erweiterung der DIN 276 eine robuste Grundlage für zukünftige digitale Fabrikplanungsprozesse und leistet einen wichtigen Beitrag zur Standardisierung modellbasierter Kostenermittlung. Sie ermöglicht fundiertere und risikominimierte Investitionsentscheidungen und eröffnet gleichzeitig neue Forschungsfelder, um Fabriken langfristig effizienter, transparenter und nachhaltiger planen und betreiben zu können.

FÖRDERHINWEIS

Die Autorinnen und Autoren danken dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, das im Rahmen des Bayerischen Verbundforschungsprogramms (BayVFP) des Freistaates Bayern unter der Förderlinie Digitalisierung das Projekt „FaBIM – Fabriken ganzheitlich planen, bauen und betreiben mit Building Information Modeling“ (Förderkennzeichen DIK-2111-0014) gefördert und damit diese Veröffentlichung ermöglicht hat.

L I T E R A T U R

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Schlaglichter der Wirtschaftspolitik. Die wirtschaftliche Lage in Deutschland im Juli 2025. Stand: 2025. Internet: www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Infografiken/Schlaglichter-der-Wirtschaftspolitik/2025/08/02-download-wirtschaftliche-lage.pdf?__blob=publicationFile&v=4. Zugriff am 04.02.2026
- [2] Statistisches Bundesamt: Produktion im Juni 2025: -1,9 % zum Vormonat. Produktion in den energieintensiven Industriezweigen um 2,2 % gesunken. Stand: 2025. Internet: www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2025/08/PD25_289_421.html. Zugriff am 04.02.2026
- [3] Volkswagen AG: Group Management Report. Return on investment (ROI) and value contribution. Internet: annualreport2023.volkswagen-group.com/group-management-report/return-on-investment-roi-and-value-contribution.html. Zugriff am 04.02.2026
- [4] Hager, N.; Herf, M.; Schreiber, T.: Industrie 4.0 Barometer 2024. Internet: www.mhp.com/de/insights/was-wir-denken/industrie-40-barometer-2024. Zugriff am 04.02.2026
- [5] Statistisches Bundesamt: Baufertigstellungen im Hochbau. Deutschland, Jahre, Bautätigkeiten, Gebäudeart. Internet: www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Tabellen/baufertigstellungen.html. Zugriff am 04.02.2026
- [6] Bach, A.; Schluckebier, A.; Langner, A. et al.: BIM-Kostenplanung. Endbericht. Stand: 2023. Internet: www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/3Rahmenbedingungen/2021/bim-kostenplanung/endbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=2. Zugriff am 11.02.2026
- [7] DIN 276:2018-12: Kosten im Bauwesen. Berlin: Beuth Verlag 2018
- [8] Kalusche, W. (Hrsg.): BKI Handbuch Kostenplanung. Stuttgart: BKI 2021
- [9] Bermpohl, F.; Schäfer, S. F.; Neumann, O. et al.: Industrial study on holistic digital factory models. *Production Engineering* 19 (2025) 6, pp. 1093–1118
- [10] Neuhäuser, T.; Spiegelsperger, S. M.; Hohmann, A. et al.: Relevanz von BIM in der Fabrikplanung. *wt Werkstattstechnik online* 113 (2023) 03, S. 93–100. Internet: www.werkstattstechnik.de. Düsseldorf: VDI Fachmedien
- [11] Verein Deutscher Ingenieure e.V.: VDI 5200 – Blatt 4. Fabrikplanung – Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung in der Fabrikplanung. Düsseldorf: Beuth Verlag 2016
- [12] Hingst, L.; Dé, A.; Herrmann, C. et al.: Towards a Holistic Life Cycle Costing and Assessment of Factories: Qualitative Modeling of Interdependencies in Factory Systems. *Sustainability* 15 (2023) 5, #4478
- [13] Bornschlegl, M.; Kreitlein, S.; Bregulla, M. et al.: A Method for Forecasting the Running Costs of Manufacturing Technologies in Automotive Production during the Early Planning Phase. *Procedia CIRP* 26 (2015), pp. 412–417
- [14] Müller, A.; Bornschlegl, M.; Kettelmann, P. et al.: Digital Planning of Complex Production Systems Based on Life-Cycle Costs. *IECON 2018 – 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Washington, DC, 2018 – 2018*, pp. 3033–3038
- [15] Verein Deutscher Ingenieure e.V.: 4499 – Blatt 1. Digitale Fabrik. Düsseldorf: Beuth Verlag 2008
- [16] Tierney, C. M.; Higgins, P. L.; Higgins, C. J. et al.: Steps towards a Connected Digital Factory Cost Model. *SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility* 05 (2023) 5, pp. 1885–1899
- [17] Verein Deutscher Ingenieure e.V.: 2067 – Blatt 1. Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Düsseldorf: Beuth Verlag 2012
- [18] Bahlau, S.; Klemm-Albert, K.: Evaluationen zu den Potenzialen von Building Information Modeling. *Bauingenieur* 93 (2018) 07–08, pp. 286–294
- [19] Lenz, L.; Weist, K. C.: Potenziale von BIM in Verbindung mit Constraint Solving Techniken im Rahmen der Evaluation am Beispiel eines Fabrikpassungsprozesses. 30. BBB-Assistententreffen in Karlsruhe. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2019, S. 356–372, <https://doi.org/10.5445/KSP/1000091800>
- [20] Fischer, W.; Dittrich, L.: Materialfluß und Logistik. Potentiale vom Konzept bis zur Detailauslegung. Heidelberg: Springer 2004
- [21] Pfohl, H.-C.: Logistiksysteme. Betriebswirtschaftliche Grundlagen. Heidelberg: Springer 2018
- [22] Schenk, M.; Wirth, S.; Müller, E.: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik. Heidelberg: Springer 2014
- [23] Wiendahl, H.-P.: Handbuch Fabrikplanung. Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. München: Hanser Verlag Cando 2014
- [24] Bundesvereinigung Logistik: Entsorgungslogistik. Mehr als nur Müllbeseitigung. Internet: www.bvl.de/service/zahlen-daten-fakten/lo-gistikbereiche/entsorgungslogistik. Zugriff am 04.02.2026
- [25] Wiendahl, H.-P.; Nofen, D.; Klußmann, J. H. et al.: Planung modularer Fabriken. Vorgehen und Beispiele aus der Praxis. München: Hanser Verlag 2005
- [26] Bermpohl, F.: FaBIM. Fabriken ganzheitlich planen, bauen und betreiben mit Building Information Modeling (BIM). Internet: www.igcv.fraunhofer.de/de/forschung/referenzprojekte/building_informati-on_modeling_ganzheitliche_fabrikplanung_FaBIM_BIM.html. Zugriff am 04.02.2026
- [27] Schäfer, S. F.; Lenz, L.; Neuhäuser, T.: Level of Coordination in der Fabrikplanung. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 118 (2023) 5, S. 284–292
- [28] Verein Deutscher Ingenieure e.V.: buildingSMART: 2552 – Blatt 11.8. Building Information Modeling (BIM). Düsseldorf: Beuth Verlag 2023

Thomas Neuhäuser, M.Sc. 
thomas.neuhaeuser@igcv.fraunhofer.de

Christian Johannes Eckart, M.Sc.

Julian Hartwich-Fischer, M.Sc.

Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik (IGCV)
Am Technologiezentrum 10, 86159 Augsburg
www.igcv.fraunhofer.de

Franziska Wagner, M.Eng.

Building Information Management GLW GmbH
Fliederweg 1, 92318 Neumarkt

Tobias Huber, M.Eng.

ifp – Prof. Dr.-Ing. Joachim Milberg
Institut für Produktion und Logistik
Parkring 17, 85748 Garching b. München

Sven Forte, M.Sc.

Contact Software GmbH
Wiener Str. 1–3, 28359 Bremen

L I Z E N Z



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