



# **BIM und Beleuchtungssteuerungen – Entwicklung von Werkzeugen basierend auf Literatur- und Marktanalysen**

*Sascha Hammes<sup>1</sup>, Philipp Zech<sup>2</sup>, David Geisler-Moroder<sup>1</sup>, Emanuele Goldin<sup>2</sup> und Rainer Pfluger<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> Universität Innsbruck, Arbeitsbereich für Energieeffizientes Bauen, Österreich, 6020 Innsbruck, Techniker Straße 13*

*<sup>2</sup> Universität Innsbruck, Institut für Informatik, Österreich, 6020 Innsbruck, Technikerstraße 21a*

## **Zusammenfassung**

Building Information Modeling (BIM) nimmt eine immer größere Rolle bei der Planung und Umsetzung von Beleuchtungssystemen ein. Dies verändert nicht nur die Art und Weise wie Tages- und Kunstlichtsysteme konzipiert werden, sondern eröffnet zudem neue Möglichkeiten Projekte effizienter zu realisieren und eine höhere Beleuchtungsqualität zu schaffen. Der Einsatz von Sensornetzwerken und Automatisierungssystemen kann Komfort und Energieeffizienz positiv beeinflussen, ist jedoch nicht selten mit einer hohen Systemkomplexität verbunden und würde durch eine Zusammenführung von BIM-Methoden mit den technischen Verfahren moderner Beleuchtungsplanung und Systeminbetriebnahme vereinfacht werden. Aktuell sind jedoch Modellierungsaspekte der Beleuchtungssteuerungen nur unvollständig in BIM abgedeckt und identifizierbare Vorteile können nicht abgerufen werden. Basierend auf einer systematischen Durchsicht aktueller Forschungsliteratur und einer weitreichenden Marktumfrage über mehrere branchenspezifischen Kanäle (u.a. LTG/LiTG, CIE und IEA) erfolgte eine Bedarfsermittlung notwendiger anwenderspezifischer Anforderungen an Werkzeuge für die BIM-basierte Planung und Umsetzung von Beleuchtungssystemen. In diesem Beitrag werden die wichtigsten Ergebnisse daraus vorgestellt sowie ein bereits daraus entwickelter BIM-Modellierungsrahmen präsentiert, welcher die Möglichkeit eröffnet integrale Tages- und Kunstlichtkonzepte zu verfolgen, Beleuchtungssteuerungen vorab zu konfigurieren und zu parametrisieren und automatisierte Inbetriebnahmen zu realisieren.

## **1 Einführung**

### **1.1 BIM – der Stand der Wissenschaft**

Planung, Bau und Betrieb von Gebäuden erweisen sich durch die Involvierung zahlreicher unterschiedlicher AkteurlInnen und Technologien als komplexe Arbeitsaufgaben. Da Gebäude sich zudem stark hinsichtlich Anforderungen an die Zielerreichung, Geometrie und klimatischen Bedingungen unterscheiden, bedarf es geeigneter Design-Werkzeugen und transparenter Kommunikation und Koordination zwischen den Beteiligten, um Lösungen zu schaffen, die auf geringen Kosteneinsatz, niedrigen Energiebedarf und hohen Nutzerkomfort gleichermaßen zielen. Building Information Modelling (BIM) bietet eine



Kollaborationsplattform und die Option des gemeinsamen Informationsmanagements. Dabei zeichnet sich BIM insbesondere durch Informationsinteroperabilität über alle Lebenszyklusphasen eines Gebäudes aus und der Anwendungsmöglichkeit in diesen, d.h. von der Planung [1], über den Betrieb [2] bis hin zur Demontage des Gebäudes [3]. Neben der besseren Zusammenarbeit schafft BIM auch Vorteile durch bessere Visualisierungsmöglichkeiten und einer effizienteren Projektabwicklung. Daher überrascht es nicht, dass BIM zunehmend in der Architektur-, Ingenieur- und Baubranche bis hin zum Facility Management (FM) Anwendung in Projekten findet [4].

Zu den wesentlichen Bestandteilen des Building Information Modelling zählen meist 3D-Gebäudemodelle, welche insbesondere mit Informationen über technisch-funktionale Aspekte und Topologie angereichert werden [5]. BIM ermöglicht zudem die Erweiterung des Gebäudemodells um zusätzliche Dimensionen, wie bspw. Zeitpläne, Kosten, Logistik, Nachhaltigkeit, Energie und Wartung [6]. Auf diese Weise entsteht durch BIM ein digitales Abbild des Gebäudeprojekts mit sämtlichen relevanten Informationen für die Bauabwicklung und den Betrieb [7]. Dabei wird im Rahmen der Gebäudeentwurfsphase das Gebäudemodell zunehmend mit Details von Architektur und den Beteiligten der technischen Ausbaugewerke angereichert. Dies macht eine Durchführung mehrerer Iterationszyklen der einzelnen Planungsphasen notwendig. Eine hohe Dateninteroperabilität erweist sich in diesem Zusammenhang als entscheidend [8]. Gleiches gilt für Tool-Interoperabilität.

Für den generischen Informationsaustausch zwischen verschiedenen Plattformen in BIM und damit verbundenen Softwareprogrammen der Architektur-, Ingenieur- und Baubranche hat sich die BuildingSmart Industrial Foundation Class (IFC) und Green Building XML (GBXML) als Standard etabliert. IFC ist ein objektorientiertes Datenschema und verfügt auch über eine XML-Version (IfcXML), welche über das Internet mit Hilfe von Webdiensten ausgetauscht werden kann [6].

Aufgrund der zunehmenden Standardisierung, welche eine bessere Zusammenführung unterschiedlicher Applikationen und funktionale Erweiterung dieser ermöglicht, sind in jüngster Zeit einige Entwicklungen im Kontext BIM erfolgt. Dazu zählt beispielsweise die Erweiterung von BIM um Aspekte der Raumplanung durch die Zusammenführung von BIM und GIS (Geographic Information Science), welche sowohl einen optimierten Bauablauf ermöglicht (bspw. Platzierung von Kränen) als auch energetischer Gebäudesimulationen (bspw. Berücksichtigung von Verschattungen benachbarter Gebäude) [6]. Weitere Entwicklungen umfassen die Umsetzung von Schnittstellen zwischen Gebäudesimulationsprogrammen und Softwarelösungen zur grafischen Gebäudemodellierung, bspw. die Integration des lichttechnischen und energetischen Evaluierungstools DALEC in Revit (siehe [9], DALEC: Day- and Artificial Light with Energy Calculation [10]) sowie die Optimierung von Prozessketten der Gebäudeenergiebewertung. Zu letzterem zählt bspw. die Ausgestaltung eines kontinuierlichen Parameter-Workflow im Kontext energetischer Bewertungen vom frühen Entwurfsstadium über die Simulation bis zur Inbetriebnahme [11]. Hosamo et al. entwickelten ein BIM-basiertes Framework zur Unterstützung des FM bei der Fehleridentifikation in Lüftungsanlagen sowie für die Ableitung geeigneter Aktions- und Wartungspläne durch Integration von Techniken des maschinellen Lernens und IoT-Anwendungen (Internet of Things) [8].

Beleuchtungssteuerungen mit der Zielsetzung einer hohen Nutzerintegration und Energieeffizienz stellen Anforderungen an Echtzeitfähigkeit, Interoperabilität zwischen Systemen und Berücksichtigung historischer Daten [12]. Digitale Zwillinge beschreiben in diesem Kontext ein Konzept der Echtzeitüberwachung und Optimierung von cyber-physikalischen Systemen. Für Beleuchtungssteuerungen können digitale Zwillinge enormes Potential zur Steigerung der Energieeffizienz und des Komforts bieten. Allerdings unterliegen Steuerungen derzeit noch Limitierungen hinsichtlich Transparenz, Systeminteroperabilität und Funktionalität. BIM als Kollaborationsplattform bietet die Möglichkeit den erforderlichen modellbasierten Informationsaustausch zwischen den Projektbeteiligten im Kontext Steuerung zu schaffen. Die wissenschaftliche Literatur führt jedoch auf, dass Werkzeuge zur Unterstützung im Bereich Planung von Beleuchtungssteuerung bisweilen nur unzureichend in BIM abgebildet sind [13]. Zudem kann BIM Grundlage für den digitalen Zwilling des Gebäudes, bzw. des Beleuchtungssystems sein. Dazu bedarf es geeigneter Schnittstellen.

## 1.2 Bauablauf der technischen Gebäudeausrüstung – der Stand der Technik

Im Rahmen der Gebäudeentwurfsphase werden im Dialog zwischen Architektur, Baueigentümerschaft und Fachplanung die Systemanforderungen an die technische Gebäudeausrüstung definiert. Auf diesen Anforderungen basiert auch die Auftragsvergabe an ausführende Firmen. Die Umsetzung erfolgt primär auf den Informationen der Ausschreibung. Hier können Abweichungen zum intendierten Lösungsansatz der Fachplanung entstehen. Resultierende Logikimplementierungen können zwar in der Regel die geforderten Funktionen erfüllen, jedoch kann eine unzureichende Transparenz zwischen den Projektbeteiligten und zwischen den Bauphasen zu Fehlern und eingeschränkter Systemperformanz führen. Potentiale in Nutzerkomfort und Energieeffizienz können so meist nicht vollständig abgerufen werden [14]. Mit Gebäudeinbetriebnahme und insbesondere mit Ablauf der Gewährleistungsfrist wird das Facility Management erste Instanz für Belange der GebäudenutzerInnen, die die Funktionalität der Gebäudesteuerung adressieren. Werden nachträgliche Systemadaptionen oder Erweiterungen von Steuerungen notwendig, bspw. um Potentiale erweiterter Inbetriebnahmen abzurufen oder um Änderungen der Zielanwendungen zu berücksichtigen, kann dies mit einem hohen zeitlichen und damit finanziellen Ressourceneinsatz einhergehen. Dem FM fehlt oftmals der Einblick in Entscheidungen zu Anlagenspezifikation der Fachplanung und Programmierung der ausführenden Unternehmen (vgl. Abb. 1).

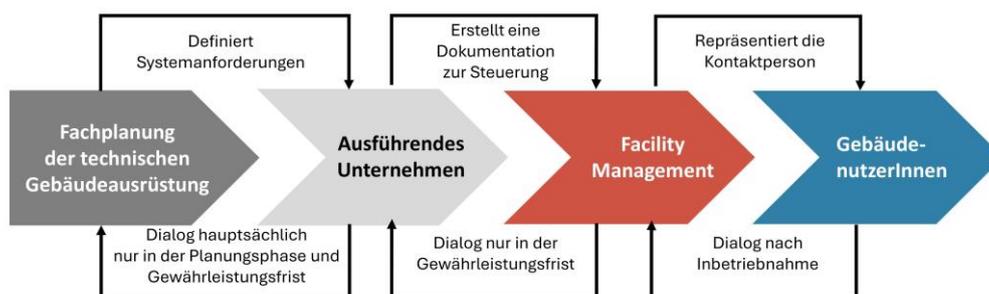


Abb. 1: Prozessablaufkette zwischen den involvierten Projektbeteiligten. Bildquelle: [15] (Bild abgewandelt).



Erschwert wird diese Situation durch eine Vielzahl bestehender proprietärer Systeme, unterschiedlicher Entwicklungsumgebungen und fehlender Interoperabilität. Dies beschränkt einerseits die Transfermöglichkeit bereits erstellter Funktionsbausteine zwischen Systemen [16] und andererseits werden die Integrationsmöglichkeiten von Bibliotheken von Third-Party-Developer limitiert. Während ersteres mit einem höheren Ressourceneinsatz durch Neuprogrammierungen pro Projekt verbunden ist, erschwert letztere Einschränkung den Einzug neuer Technologien wie bspw. KI-basierte Gebäudesteuerungen in die Praxis [17]. Da pro Gewerk meist eigene proprietäre Systeme zum Einsatz kommen und häufig keine Kompatibilität zwischen diesen gegeben ist, wird eine Zusammenführung im integralen Kontext erschwert und damit verbundene Vorteile für Energieeffizienz und Nutzerkomfort können nicht abgerufen werden [18]. Zurückzuführen ist dies zum Teil auf bestehende Gewährleistungsgrenzen und fehlende Zuordenbarkeit von Verantwortlichkeiten. Darüber hinaus werden Inkompatibilitäten bei proprietären Systemen von den jeweiligen Firmen auch bewusst zur Kundenbindung instrumentalisiert, dem kann durch offene Standards und der Förderung von open-hardware-Konzepten entgegengewirkt werden.

### **1.3 Projektvorstellung**

Ausgehend von dieser Problemstellung wird im Forschungsprojekt TwinLight [15] (FFG, Stadt der Zukunft) ein erweiterter BIM-Modellierungsrahmen für die Erfassung statischer und dynamischer Informationen der Gebäudeautomation am Beispiel der Gewerke Tages- und Kunstlicht eingeführt. Die Übertragung des Gewerks Steuerung in BIM soll die Grundlage schaffen, um die notwendige Transparenz für integrale Konzepte zu schaffen und diese dadurch samt ihren Vorteilen für die Praxis nutzbar zu machen. Gestützt wird dies durch eine Loslösung von Steuerungssoftware und -hardware durch eine Middleware-Architektur sowie den Einsatz domänen-spezifischer Sprachen. Darüber hinaus soll durch die Verankerung von Steuerungen in BIM und durch eine bidirektionale Systemarchitektur eine Vorabkonfiguration und -parametrisierung sowie eine automatisierte Inbetriebnahme möglich werden. Dadurch soll auch die Transformation vom digitalen Gebäudemodell zum digitalen Zwilling komplettiert werden. Ergebnisse einer Prototypbewertung unter Verwendung des Technologieakzeptanzmodells (TAM) führen eine Verbesserung des Gebäudebetriebs und eine Reduktion bauseitiger Aufwände auf. Eine Erweiterbarkeit auf andere Gewerke wird vorgehalten.

### **1.4 Aufbau dieser Arbeit**

Das Forschungsprojekt TwinLight zielt auf die Entwicklung geeigneter Werkzeuge und Lösungskonzepte ab, um alle involvierten Projektbeteiligten in der BIM-basierten Planung, Inbetriebnahme und während des Betriebs im Bereich Beleuchtungssteuerung zu unterstützen. Um den Erfolg von Entwicklungen bestmöglich zu garantieren, erweist sich eine Erhebung notwendiger Anforderungen der einzelnen Zielgruppen als förderlich. Daher erfolgte in TwinLight eine breitangelegte Marktumfrage sowie eine Literaturrecherche im Kontext BIM und Beleuchtungssteuerungen. Die Methodik beider Recherchen sowie die daraus gewonnenen Ergebnisse werden im Folgekapitel herausgearbeitet. Im Anschluss werden die



entwickelten Werkzeuge für die BIM-basierte Steuerungsmodellierung und die Systemarchitektur für automatisierte Inbetriebnahme und Umsetzung integraler Steuerkonzepte vorgestellt (Kapitel 3). Die mit diesen Lösungskonzepten verbundenen Vorteile werden in Kapitel 4 herausgestellt. Abschließend erfolgt eine Zusammenfassung der bisherigen Projektergebnisse und eine Vorstellung der nächsten Arbeitsschritte (Kapitel 5 und 6).

## 2 Navigating the Intersection – Zwischen Marktanforderungen und wissenschaftlicher Literatur

### 2.1 Studiendesign der Marktumfrage

Die Marktbefragung inkludierte neben Fragestellungen zur Demografie und zum Tätigkeitsbereich Fragen in den Themenbereichen BIM, CAFM (Computer-Aided Facility Management), Planungs- und Simulationsmethoden, Steuerungen, Technologieeinsatz sowie Nutzerzentrierung in Gebäudesystemen. Die Fragen wurden passend auf die jeweiligen Zielgruppen zugeschnitten. Zu den Teilnehmergruppen zählen das produzierende Gewerbe, Handel, Fachplanung, ausführende Unternehmen, GebäudeeigentümerInnen, FM, Forschung und Entwicklung (F&E). Die Umfrage erfolgte online (umgesetzt über LimeSurvey, Version 3.22.4+200212), ohne Vergütung und ohne Aufnahme personenbezogener Informationen. Nicht bewertbare Fragen konnten übergangen werden. Verbreitet wurde die Umfrage über Link-Platzierungen auf Websites, Mailing-Listen sowie Newsletter von nationalen und internationalen branchenspezifischen Kanälen. Hierzu zählten insbesondere die Lichttechnische Gesellschaft Österreichs (LTG), die Deutsche Gesellschaft für LichtTechnik und LichtGestaltung e.V. (LiTG), die International Commission on Illumination (CIE), der Task 70 der IEA SHC (International Energy Agency, Solar Heating & Cooling Programme), die Associazione Italiana di Illuminazione (AIDI) sowie Facility Management-Verbände aus dem deutschsprachigen Raum. Im Durchführungszeitraum 03.2023–09.2023 gingen 272 Rückläufe ein (8 davon aus korrespondierenden Workshops, 12.2023–02.2024), wovon 133 vollständig und 32 nahezu vollständig abgeschlossen wurden. 165 Rückmeldungen wurden demnach für die Auswertung herangezogen. Die Ergebnisse führen auf, dass die meisten Teilnehmenden in der EU tätig sind (87,8%). Abbildung 2 gruppiert und visualisiert die Abhängigkeiten der Teilnehmenden zu der Anzahl der Rückläufe und Unternehmensgröße.

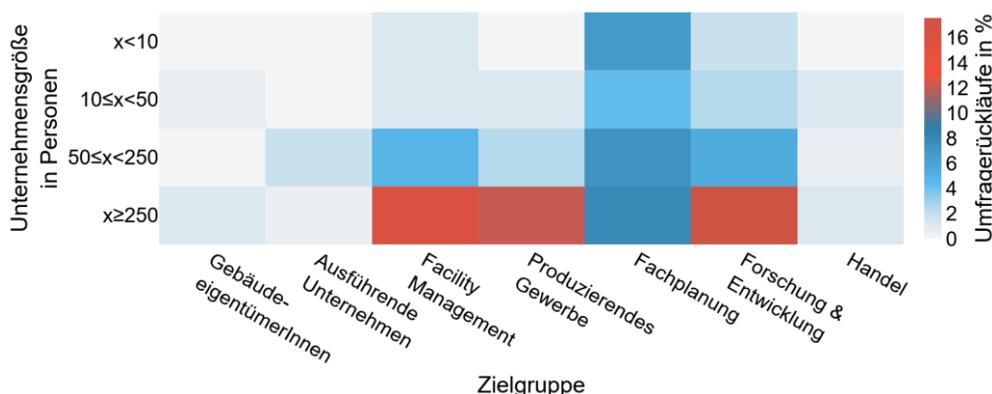


Abb. 2: Verteilung der 165 Rückläufe nach Zielgruppe und Unternehmensgröße.

## 2.2 Methodik der Literaturrecherche

Eine ergänzende Literaturrecherche [13] wurde genutzt, um insbesondere folgenden Fragestellungen nachzugehen: Welche Ansätze bestehen derzeit, um (Beleuchtungs-)Steuerungen in BIM abzubilden und wie können statische und dynamische Eingabedaten ins BIM integriert werden? Zudem wurde geprüft, ob aktuelle Einschränkungen integraler Systeme durch die Übertragung des Gewerks Steuerung in die BIM-Ebene gelöst werden können. Auf Basis der Forschungsfragen wurde ein Keyword-Setting definiert und für die verlagsunabhängige Literaturdatenbank *Web of Science* und die verlagsabhängige Suchmaschine *ScienceDirect* verwendet. Um ein hohes Maß an Aktualität zu gewährleisten, wurden die Artikel auf den Zeitraum 2015–2023 limitiert. Nach Ausschluss von Duplikaten wurden 118 wissenschaftliche Publikationen im Volltext geprüft, wovon 57 thematisch für Detailevaluierungen geeignet waren.

## 2.3 Vergleichende Analysen

Um bestehende Systemlösungen zur BIM-Integration von Steuerungen auf die Eignung zur Übertragbarkeit auf andere Applikationsbereiche zu bewerten und um Hindernisse einer marktseitigen Anwendbarkeit bestehender Forschungsansätze zu identifizieren, erfolgt eine vergleichende Analyse zwischen den Ergebnissen der Markt- und Literaturrecherche.

Die Ergebnisse der Umfrage zeigen Ansätze der Zusammenführung von Steuerungsaspekten und BIM in den Bereichen Heizung, Lüftung und Klima (HLK) und im Kontext von Facility Management-Systemen. Werkzeuge zur Unterstützung in Planung und Konfiguration von Beleuchtungssteuerung sind derzeit noch kaum vorhanden [13]. Dem Thema BIM wird von der Mehrheit der Teilnehmenden der Marktbefragung derzeit hohe (31%) oder moderate Relevanz (24%) beigemessen. Die künftige Rolle von BIM wird ebenfalls hoch eingeschätzt (vgl. Abb. 3), auch von jenen, bei denen BIM im aktuellen Arbeitsalltag noch von geringer Relevanz ist. Abb. 3 zeigt außerdem, dass BIM, Schnittstellen zwischen Gewerken und integrale Planung sehr eng miteinander verknüpft sind. Dies deutet darauf hin, dass die identifizierten Vorteile von BIM aus der Forschung (vgl. [1], [19]) marktseitig erkannt werden.

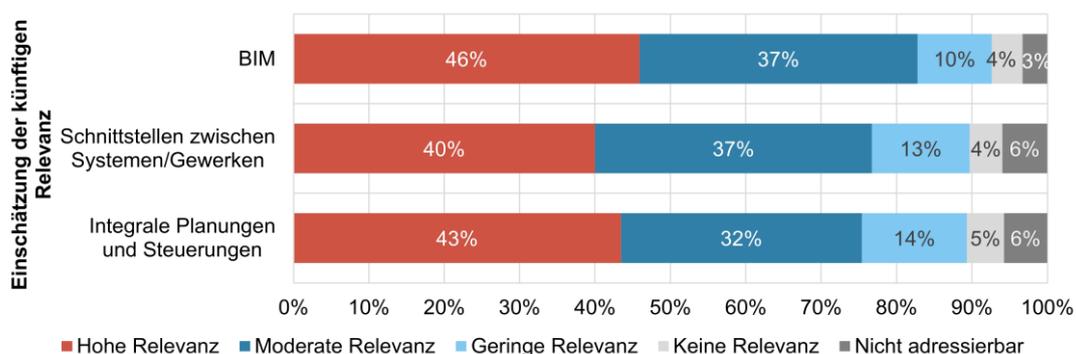


Abb. 3: Subjektive Einschätzung der Teilnehmenden zu den Themen BIM, Integrale Planungen und Steuerungen sowie Schnittstellen zwischen den Gewerken (Art der Frage: Likert Skala; Zielgruppen: Fachplanung, produzierendes Gewerbe, F&E sowie FM; Teilnehmenden der Gruppe FM stand die Frage zur Einschätzung der Systemschnittstellen nicht zur Verfügung).



Trotz der hohen Relevanz von BIM, wird BIM nicht immer als Ausgangsbasis für Modelle in energetischen und lichttechnischen Detailplanungen und Simulationen herangezogen. 40% unter den Fachplanenden nutzen das digitale Gebäudemodell (60% nicht) und 20% unter den Teilnehmenden aus dem Bereich produzierendes Gewerbe nutzen dieses (80% nicht). Hier fehlt es oftmals an geeigneten Schnittstellen, um eine hohe Dateninteroperabilität zu sichern [5], die sich letztendlich auch als entscheidend für den Erfolg eines Bauprojekts erweisen kann [8]. Die Teilnehmenden der Zielgruppen Planung und Industrie nutzen häufig die DIALux und Relux für die Lichtplanung (Tab. 1). Hier bestehen bereits Schnittstellen zur BIM-Softwarelösung Revit. In Summe ergibt sich jedoch aktuell ein Mangel an Interoperabilität. Daher erfolgen derzeit Forschungsbemühungen, um Schnittstellen zwischen Simulationsanwendungen und Gebäudemodellierungssoftware zu verbessern (bspw. in [11]).

Tab. 1: Verteilung der für die Lichtplanung verwendeten Software (Art der Frage: Mehrfachauswahl; zusammengefasstes Ergebnis für die Zielgruppen Fachplanung und produzierendes Gewerbe).

Software	Relevanz in % pro Antwortmöglichkeit	Relevanz in % der Gesamtanzahl gültiger Antworten
Climatestudio	7%	3%
DIALux	80%	36%
Ladybug / Honeybee	22%	10%
Andere	18%	8%
Radiance	13%	6%
Relux	44%	20%
Revit plugins	27%	12%
Velux daylight visualizer	11%	5%
<b>Total</b>	<b>222%</b>	<b>100%</b>

Unzureichende Schnittstellen stellen ebenfalls im Bereich Steuerung ein wichtiges Thema dar. Ein Großteil der Teilnehmenden misst integralen Systemen, bzw. der gewerkeübergreifenden Planung eine hohe Bedeutung zu (Abb. 3). Durch Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen den Gewerken lassen sich energetische Potentiale abrufen sowie Verbesserungen für den Nutzerkomfort erzielen [18]. Die Ergebnisse der Marktbefragung führen in diesem Zusammenhang auf, dass technische Limitierungen, bspw. fehlende Interoperabilität die größte Hürde in der Umsetzung integraler Steuerungen und Planungen darstellen (36%). Weitere Hindernisse werden der Komplexität der resultierenden Steuerung (18%) und den Gewährleistungsgrenzen (14%) und anderen (6%) zugewiesen. 9% der Teilnehmenden sieht keinen Bedarf an integralen Systemen, 2% kein Potential und 6% konnten das Thema nicht adressieren. Gegenwärtig überwiegt demnach der Aufwand ein proprietäres und gewerkspezifisch ausgelegtes System im optimalen Betriebspunkt zu betreiben, den Aufwänden disziplinübergreifender Betrachtungen und damit verbundenen Diskussionen, um technische und rechtliche Grenzen aufzulösen.

Aus den Ergebnissen der Literatur- und Marktrecherchen konnten als essenzielle Anforderungen für die Werkzeugentwicklungen im Sinne einer hohen Anwendbarkeit die Sicherstellung relevanter Kommunikationsschnittstellen und geeignete Abbildungsmöglichkeiten von Steuerungsaspekten in BIM aufgenommen werden.

### 3 Werkzeugentwicklungen

#### 3.1 Bidirektionale Systemarchitektur

Die bidirektionale Systemarchitektur (Abb. 4) bildet das Rückgrat der im Projekt TwinLight entwickelten Toolumgebung. Die zugrundeliegende Idee besteht darin, die im BIM-Modell enthaltenen Metadaten der Sensorik und Aktorik zu extrahieren, um damit die Middleware automatisiert zu konfigurieren. Dies ermöglicht eine bidirektionale Kommunikation zwischen Gebäudesteuerung und digitalem Zwilling (vgl. Revit unter Verwendung von Dynamo zum dynamischen Update des BIM-Modells) mit der Middleware als zentrale Drehscheibe. Die Middleware bietet dazu eine einheitliche REST-basierte Kommunikationsschnittstelle nach außen und verarbeitet Abfragen und Befehle herstellerspezifisch (vgl. LITECOM oder Matter via HomeAssistant – vgl. Abb. 4). Des Weiteren aggregiert die Middleware automatisiert Daten aus dem Gebäude, bzw. eingebetteter Sensoren und persistiert diese für eine spätere Verwendung, bspw. zur Optimierung der Gebäudesteuerung auf Basis historischer Daten.

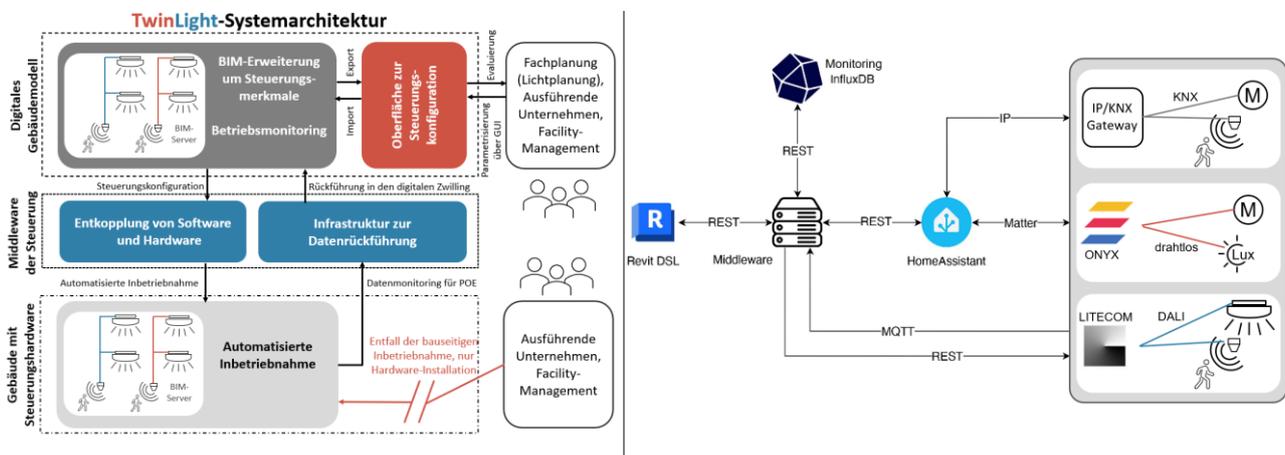


Abb. 4: TwinLight Systemarchitektur (links: thematisch, rechts: funktional).

#### 3.2 Modellierungsrahmen zur Steuerungsparametrisierung

Ausgehend von der Systemarchitektur (Abb. 4) stellt die Erstellung von Steuerungsschemata und die Konfiguration der Steuerung eine Schlüsselkomponente im TwinLight-Workflow dar. Dazu zählt auch die Integration weiterer Steuerungskomponenten, wie Sensoren und Aktoren. Um eine Erweiterung von BIM mit relevanten Steuerungsmerkmalen sicherzustellen, wurde eine grafische, domänen-spezifische Modellierungssprache (DSL) für die Software zur Gebäudemodellierung Revit erstellt. Generische Steuerungskomponenten können neben einer einmaligen ID mit technischen Detailinformationen angereichert werden (bspw. Spannungsversorgung, Protokoll), sodass jede Komponente im Steuerungsnetzwerk

über einen spezifischen Parametersatz verfügt. Um eine hohe Akzeptanz für AnwenderInnen hinsichtlich der Bedienbarkeit zu sichern, wurde ein Revit-Add-In erstellt, welches eine Reihe von Funktionen umfasst. Diese umfassen insbesondere den Import von Steuerungskomponenten, die Informationsanreicherung, Positionierung und Verknüpfung, sowie den Export der Topologie (vgl. Abb. 5). Letzteres ermöglicht eine automatisierte Ausgabe der Vernetzung von Sensoren und Aktoren mit der Steuerungshardware. Eine Erweiterung der Ausgabe um zusätzliche Detailinformationen, wie bspw. Kabeltyp und Anschlussklemme, soll bestehende Arbeitsprozesse in der Werksplanung reduzieren. Fehlerrisiken werden hierbei durch hinterlegte Regelwerke für den Systemanschluss minimiert. Die Ausgabe von Steuerungsschemata und Sichtbarkeit im digitalen Gebäudemodell kann individuell räumlich und technisch-funktional skaliert werden, bspw. Limitierung der Ausgabe auf einzelne Räume oder einzelne Steuerungsknoten. Um Bestrebungen der Standardisierung in BIM zu folgen, wird IFC für den Datenaustausch zwischen den Projektbeteiligten herangezogen. Eine Detailbeschreibung des Modellierungsrahmen bietet die Arbeit von Zech et al. [20].

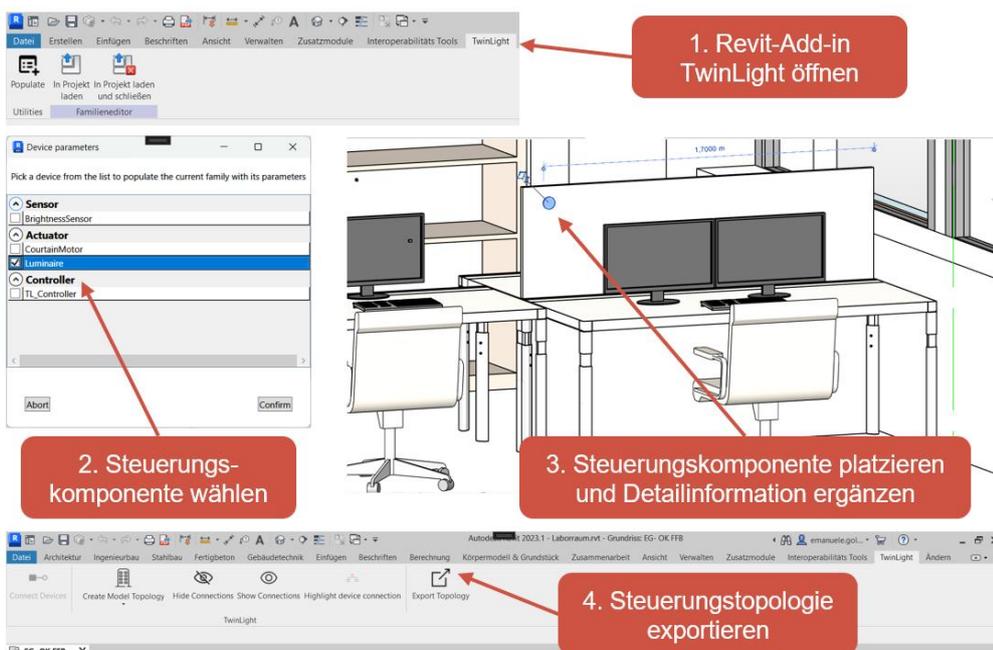


Abb. 5: TwinLight-Modellierungsrahmen zur Steuerungskonfiguration und Erstellung von Schemata.

## 4 Potentiale einer BIM-basierten Beleuchtungssteuerung

Bedingt durch bestehende Prozessketten vom Steuerungsdesign bis hin zur Inbetriebnahme und den damit einhergehenden steten Wechsel von Verantwortlichkeiten, sinkt nicht nur die Nachvollziehbarkeit von gesetzten Entscheidungen zwischen den Projektbeteiligten (vgl. Abb. 1), sondern es steigt auch das Risiko eines ineffizienten Anlagenbetriebs und gar die Gefahr fehlerhafter Umsetzungen. Um Risiken fehlerhafter Implementierungen zu vermeiden, wurde in TwinLight auf eine Übertragung der Steuerung in BIM-Ebene gesetzt. Dies schafft die notwendige Transparenz zwischen den einzelnen Parteien. Darüber hinaus kann durch Trennung von Steuerungssoftware und -hardware, durch Middleware und über



geeignete Schnittstellen, die bauseitige Inbetriebnahme komplett automatisiert werden. Dies reduziert Fehler und verringert gleichsam bauseitige Arbeitsaufwände und damit Kosten. Im Weiteren bestehen meist Einschränkungen ausführender Unternehmen hinsichtlich nutzbarer Systeme. Denn eine Anwendungskennntnis über aller markt-verfügbaren Systeme scheint bei der Vielfalt nicht abdeckbar. Die Einarbeitungen in neue Systeme, insbesondere proprietäre Systeme und Entwicklungsumgebungen, kann sich häufig als zeitintensiv auswirken. In diesem Kontext erweist sich die vorgestellte Systemarchitektur als vorteilhaft. Der Bedarf zur Vorkonfiguration und automatisierten Inbetriebnahmen spiegelt sich auch in der umgesetzten Marktumfrage wider. Für 47% der Teilnehmenden aus dem Bereich Planung wäre dies von Bedeutung, 23% sehen hierin keinen Bedarf und 30% konnten das Thema nicht beurteilen.

Die entwickelte Systemarchitektur setzt im Weiteren auf geeignete Schnittstellen, um identifizierte Anforderungen an Interoperabilität zu gewährleisten (vgl. Kapitel 2.3). Auf diese Weise werden bisherige Schranken zur integralen Steuerungsplanung sowie deren Betrieb abgebaut und damit verbundene Potentiale für Energie und Komfort nutzbar gemacht. TwinLight erlaubt sowohl den gewerkspezifischen Betrieb als auch die Zusammenführung der Einzelsysteme unter übergeordneten Steuerlogiken. Dabei wird insbesondere auf Sicherung der Funktionalität herstellerspezifischer Sicherheitsprogramme geachtet. Das marktseitige Interesse an integraler Planung und Steuerung (Abb. 3) wird dadurch gewährleistet.

Steuerungsrelevante Einflüsse wie das Nutzerverhalten sind im Entwurfsprozess schwer abzuschätzen und offenbaren sich häufig erst mit dem Gebäudebetrieb. Nachträgliche Systemadaptionen im Sinne erweiterter Inbetriebnahmen erweisen sich daher als notwendig, um bestmögliche Systemperformanzen zu sichern. Um anfangs beschriebene Arbeitsaufwände des FM bezüglich Logikanpassungen proprietärer Systeme zu reduzieren, besteht die systemunabhängige grafische DSL. Damit wird dem marktseitigen Wunsch des FM gerecht, im Nachgang Steuerungsanpassungen selbständig durchzuführen. Derzeit haben nach Umfrage 72% nicht die Möglichkeit dazu, 19% haben die Option und 9% können dies nicht beurteilen. Dabei hätten 48% jener ohne Möglichkeit zur Steuerungsanpassung gerne die Option, 43% haben hierin keinen Bedarf und 9% konnten das Thema nicht beurteilen. Im Weiteren trägt die Verankerung der Steuerung als Schlüsselkomponente des Gebäudebetriebs in BIM und die damit verbundene Anreicherung des digitalen Gebäudemodells mit Betriebsdaten dazu bei, die Transformation zum digitalen Zwilling zu vervollständigen. Denn der digitale Zwilling als virtuelles Abbild der Realsituation ermöglicht durch Werkzeuge der Echtzeitüberwachung Vorteile für Energieeffizienz und Sicherheit [8].

## 5 Schlussfolgerung

Ausgehend von Anforderungen aus Literatur- und Marktrecherche wurde im Forschungsprojekt TwinLight eine Systemarchitektur geschaffen, um bestehende Herausforderungen in Planung und Betrieb von Steuerungen zu lösen. Das vorgestellte Konzept überträgt relevante Merkmale der Steuerung in die BIM-Ebene und schafft Transparenz zwischen den einzelnen Projektbeteiligten. Ergänzend durch die Middleware und Einsatz geeigneter Schnittstellen können so Vorteile integraler Systeme abrufbar gemacht werden und



bauseitige Aufwände durch automatisierte Inbetriebnahme reduziert werden. Darüber hinaus wird die Option nachträglicher Systemadaptionen erleichtert.

## 6 Ausblick

Auch wenn erste Bewertungen des TwinLight-Ansatzes nach dem TAM positiv ausfielen, gilt es die Funktionalität und Bedienbarkeit der entwickelten Workflows sowie die Ausfallsicherheit der Systemarchitektur iterativ mit fortschreitender Entwicklung weiter zu evaluieren und zu optimieren. Daher wird der gesamte Workflow für eine integrale Tages- und Kunstlichtsteuerung im Laborkontext und im Feldtest geprüft. Dies umfasst Akzeptanztests durch potenzielle AnwenderInnen sowie energetische und systemtechnische Bewertungen.

## 7 Danksagung

Das Forschungsprojekt TwinLight [15] wird im Rahmen des „Stadt der Zukunft“-Programms der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) unter der Vertragsnummer 898708 durchgeführt. „Stadt der Zukunft“ ist ein Forschungs- und Technologieprogramm des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität Innovation und Technologie (BMK). Es wird im Auftrag des BMK von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) gemeinsam mit der Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft mbH (AWS) und der Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT) abgewickelt.

## 8 Referenzen

- [1] P. M. Bosch-Sijtsema, P. Gluch, und A. A. Sezer, „Professional development of the BIM actor role“, *Automation in Construction*, Bd. 97, S. 44–51, Jän. 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2018.10.024.
- [2] A. Hosseini Gourabpasi und M. Nik-Bakht, „BIM-based automated fault detection and diagnostics of HVAC systems in commercial buildings“, *Journal of Building Engineering*, Bd. 87, S. 109022, Juni 2024, doi: 10.1016/j.jobe.2024.109022.
- [3] M. Aziminezhad und R. Taherkhani, „BIM for deconstruction: A review and bibliometric analysis“, *Journal of Building Engineering*, Bd. 73, S. 106683, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.jobe.2023.106683.
- [4] B. Saad Alotaibi u. a., „Building information modeling (BIM) adoption for enhanced legal and contractual management in construction projects“, *Ain Shams Engineering Journal*, S. 102822, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.asej.2024.102822.
- [5] A. Andriamamonjy, D. Saelens, und R. Klein, „A combined scientometric and conventional literature review to grasp the entire BIM knowledge and its integration with energy simulation“, *Journal of Building Engineering*, Bd. 22, S. 513–527, März 2019, doi: 10.1016/j.jobe.2018.12.021.
- [6] X. Liu, X. Wang, G. Wright, J. Cheng, X. Li, und R. Liu, „A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS)“, *IJGI*, Bd. 6, Nr. 2, S. 53, Feb. 2017, doi: 10.3390/ijgi6020053.
- [7] R. Alonso, M. Borrás, R. H. E. M. Koppelaar, A. Lodigiani, E. Loscos, und E. Yöntem, „SPHERE: BIM Digital Twin Platform“, in *Sustainable Places 2019*, MDPI, Juli 2019, S. 9. doi: 10.3390/proceedings2019020009.



- [8] H. H. Hosamo, P. R. Svennevig, K. Svidt, D. Han, und H. K. Nielsen, „A Digital Twin predictive maintenance framework of air handling units based on automatic fault detection and diagnostics“, *Energy and Buildings*, Bd. 261, S. 111988, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.enbuild.2022.111988.
- [9] J. Miller, R. Pfluger, und M. H. Hauer, „Revit2DALEC: A BIM-based building energy performance simulation tool used during the early design stage for orientation and location optimization“, in *Proceedings of Building Simulation 2023: 18th Conference of IBPSA*, IBPSA, Sep. 2023, S. 2244–2251. doi: 10.26868/25222708.2023.1638.
- [10] M. Werner, D. Geisler-Moroder, B. Junghans, O. Ebert, und W. Feist, „DALEC – a novel web tool for integrated day- and artificial light and energy calculation“, *Journal of Building Performance Simulation*, Bd. 10, Nr. 3, S. 344–363, Mai 2017, doi: 10.1080/19401493.2016.1259352.
- [11] M. Hauer, J. Miller, und R. Pfluger, „BIM2BEM-Flow—Workflow für eine BIM-basierte Licht- und Energieeffizienzplanung“, in *Tagungsband des 25. Europäischen Lichtkongresses*, Salzburg: LiTG/LTG, S. 529–537.
- [12] S. Hammes u. a., „Concepts of user-centred lighting controls for office applications: A systematic literature review“, *Building and Environment*, Bd. 254, S. 111321, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.buildenv.2024.111321.
- [13] M. Hauer u. a., „Integrating Digital Twins with BIM for Enhanced Building Control Strategies: A Systematic Literature Review Focusing on Daylight and Artificial Lighting Systems“, *Buildings*, Bd. 14, Nr. 3, S. 805, März 2024, doi: 10.3390/buildings14030805.
- [14] L. E. Fedoruk, R. J. Cole, J. B. Robinson, und A. Cayuela, „Learning from failure: understanding the anticipated–achieved building energy performance gap“, *Building Research & Information*, Bd. 43, Nr. 6, S. 750–763, Nov. 2015, doi: 10.1080/09613218.2015.1036227.
- [15] J. Beiter, „TwinLight - BIM-based implementation of daylight and artificial lighting controls“, Nachhaltig Wirtschaften. Zugegriffen: 21. Februar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://nachhaltigwirtschaften.at/en/sdz/projects/twinlight.php>
- [16] A. Gavlas, J. Zwierzyna, und J. Koziorek, „Possibilities of transfer process data from PLC to Cloud platforms based on IoT“, *IFAC-PapersOnLine*, Bd. 51, Nr. 6, S. 156–161, 2018, doi: 10.1016/j.ifacol.2018.07.146.
- [17] H. Rocha, I. S. Peretta, G. F. M. Lima, L. G. Marques, und K. Yamanaka, „Exterior lighting computer-automated design based on multi-criteria parallel evolutionary algorithm: optimized designs for illumination quality and energy efficiency“, *Expert Systems with Applications*, Bd. 45, S. 208–222, März 2016, doi: 10.1016/j.eswa.2015.09.046.
- [18] E. Shen, J. Hu, und M. Patel, „Energy and visual comfort analysis of lighting and daylight control strategies“, *Building and Environment*, Bd. 78, S. 155–170, Aug. 2014, doi: 10.1016/j.buildenv.2014.04.028.
- [19] Y. A. Ahmed, H. M. F. Shehzad, M. M. Khurshid, O. H. Abbas Hassan, S. A. Abdalla, und N. Alrefai, „Examining the effect of interoperability factors on building information modelling (BIM) adoption in Malaysia“, *CI*, Bd. 24, Nr. 2, S. 606–642, Feb. 2024, doi: 10.1108/CI-12-2021-0245.
- [20] P. Zech, E. Goldin, S. Hammes, D. Geisler-Moroder, R. Pfluger, und R. Brey, „Model-Based Auto-Commissioning of Building Control Systems“, in *Proceedings of the 26th International Conference on Enterprise Information Systems*, Angers, France: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2024, S. 121–128. doi: 10.5220/0012554000003690.