

# BIM IM GEBÄUDEBESTAND – HERAUSFORDERUNGEN IN DER SANIERUNG

Falk Cudok\*, Felix Rehmann\*, Rita Streblov\*

- \* Technische Universität Berlin/Einstein Center Digital Future  
Institut für Digitale Vernetzung von Gebäuden, Energieversorgungsanlagen und Nutzenden  
(T +49 30 314 79708, [falk.cudok@tu-berlin.de](mailto:falk.cudok@tu-berlin.de))

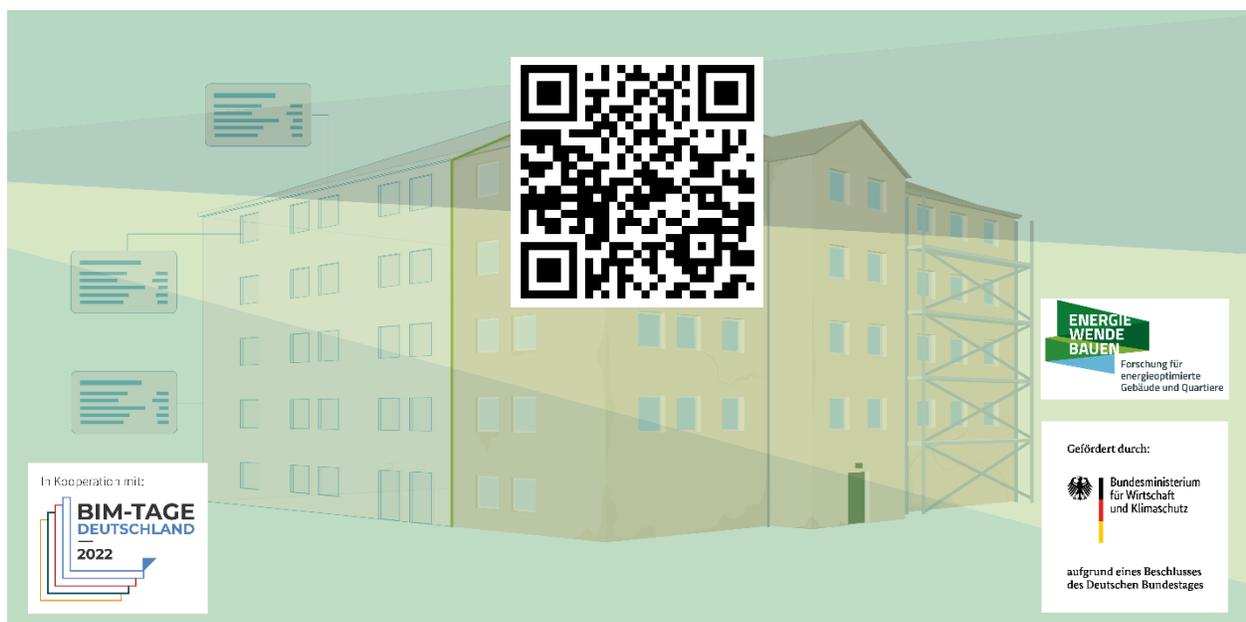
This document is a Whitepaper containing the findings of the research project "BF2020 Begleitforschung Energiewendebauen - Modul Digitalisierung" (FKZ: 03EWB004A).

The paper has been revised on May 11th 2023.

This document is published under Creative Commons BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Please cite this article as:

Falk Cudok, et. al., BIM im Gebäudebestand – Herausforderungen in der Sanierung, Whitepaper, 2023  
Berlin, 2023, <https://doi.org/10.14279/depositonce-17820>



# ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Whitepaper werden die spezifischen Anforderungen in der Anwendung und Ansätze der BIM-Methode im Gebäudebestand, die im Workshop „BIM im Gebäudebestand – Herausforderungen in der Sanierung“ im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitforschung Energiewendebauen (Modul Digitalisierung) ermittelt worden sind, vorgestellt und diskutiert. Neben den Ergebnissen einer Thesendiskussion, welche um die Aussagen aus der Literatur und aus den Vorträgen ergänzt worden ist, werden in der Einleitung wichtige Technologien zur Gebäudebestandsaufnahme kurz vorgestellt.

In der Diskussion haben die Teilnehmenden den folgenden Thesen eindeutig (> 75%) zugestimmt:

- 1. These - Mit Hilfe der BIM-Methode können Sanierungsaufgaben effizienter durchgeführt werden.
- 2. These - BIM im Bestand ist nicht Stand der Praxis.
- 4. These - Standardisierte Sanierungsprozesse sind möglich.
- 5. These - Maschinelles Lernen (ML) und Künstliche Intelligenz (KI) sind wichtige Technologien für das automatisierte Erstellen von BIM-Modellen.

bzw. abgelehnt:

- 6. These - Informationsbeschaffung für die Erstellung eines BIM-Modelles ist für fast alle Gebäude ohne mechanische Eingriffe (zerstörungsfreie Prüfung) möglich.

Bei der dritten These „Die Anwendung der BIM-Methode beim Bauen im Bestand ist wichtiger als im Neubau.“ zeigte sich ein differenzierteres Meinungsbild.

Die Bewertung von zustimmenden bzw. ablehnenden Argumenten zu den Thesen hat ein Henne-Ei-Problem in ähnlicher Weise wie bei der Anwendung der BIM-Methode im Neubau gezeigt. Auf Grund der geringen Verbreitung, gibt es wenig zugängliches Wissen zur Anwendung, wenig belegte Erfolgsgeschichten und es fehlt an notwendigen Daten und Erfahrungswerten, wodurch der Einstieg schwierig und die Motivation gering ist.

Neben den Herausforderungen für die Anwendung der BIM-Methode im Allgemeinen bzw. im Neubau ergibt sich für die Anwendung der BIM-Methode im Bestand die Notwendigkeit der Bestandsaufnahme. Für die automatisierte Datenzusammenführung für das Erstellen bzw. Anreichern eines BIM-Modells können Verfahren des Maschinellen Lernens bzw. der Künstlichen Intelligenz großes Potenzial haben. Allerdings fehlt es hier an geschultem Personal (auch Lehrenden) und an Trainingsdaten.

Wie auch für die Anwendung der BIM-Methode im Allgemeinen bzw. im Neubau wird die BIM-Methode als Kommunikationswerkzeug verstanden, die zu mehr Transparenz und besseren Ergebnissen auf Grund der breiteren Datengrundlage führt.

# EINLEITUNG

Wie in der Veröffentlichung „ENERGIEEFFIZIENZ DURCH DIGITALES BAUEN MIT BIM“ erläutert, bietet die Methode des Building Information Modeling (BIM) ein großes Potenzial zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz in der Planungs- und Umsetzungsphase von Neubau- und Sanierungsprojekten, aber auch im Betrieb von Gebäuden [1]. Insgesamt sind starke Überschneidungen bei der Anwendung der BIM-Methode im Bestand und im Neubau zu erkennen. Auch die Definition der BIM-Methode ist unabhängig von der Anwendung im Bestand oder im Neubau: „Building Information Modeling bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden.“ [2] Neben der hier vorgestellten Beschreibung gibt es eine Vielzahl von sehr ähnlichen Formulierungen (bspw. [3]–[5]).

In der Praxis wird die BIM-Methode angewendet, um unter Verwendung von digitalen Modellen (CAD und alphanumerischen Parametern) und daran gekoppelten digitalen Werkzeugen (bspw. automatische Kollisionsprüfer, hydraulische Rohrströmungssimulation) die Zusammenarbeit der verschiedenen Stakeholder (unterschiedliche Rollen und Fachdisziplin) zu strukturieren und zu unterstützen. Dabei ist es das Ziel die steigenden Anforderungen an Gebäude und damit die steigende Komplexität handhabbar zu machen. Bisher wird die BIM-Methode hauptsächlich im Neubau angewandt. Allerdings gehört die Sanierung der Bestandsgebäude zu den zentralen Herausforderungen, um Klimaneutralität zu erreichen.

Eine Literaturrecherche zur BIM-Methode in der Gebäudebestandssanierung hat gezeigt, dass sehr wenig Literatur zu diesem Thema vorhanden ist. Deshalb hat die wissenschaftliche Begleitforschung zur Forschungsinitiative Energiewendebauen den Workshop „BIM im Gebäudebestand - Herausforderungen in der Sanierung“ am 19.09.2022 mit Vertretenden aus der Forschung, sowie der Industrie und von Behörden durchgeführt.

## GRUNDLAGEN ZUR BESTANDSAUFNAHME

Der wesentliche Unterschied der Anwendung der BIM-Methode im Gebäudebestand im Vergleich zur Anwendung im Neubau ergibt sich aus der Notwendigkeit der Bestandserfassung, um das notwendige digitale Gebäudemodell als Grundlage der BIM-Methode zu erstellen. Für die Anwendung der BIM-Methode im Neubau ergibt sich das Modell während der Planungsphase. Für Bestandsgebäude liegen typischerweise keine Unterlagen oder wenige Unterlagen in Papierform vor. Digitale und maschinenlesbare Dokumente zu Bestandsgebäuden sind nur in Ausnahmefällen vorhanden. Ein Gebäudemodell enthält typischerweise geometrische Informationen und weitere attributive Informationen wie bspw. Materialangabe.

Für die Aufnahme von geometrischen Informationen werden in der Veröffentlichung der Bundesarchitektenkammer „BIM für Architekten – Digitalisierung und Bauen im Bestand“ [2] folgende Methoden bzw. Technologien vorgeschlagen:

- **Handaufmaß und Messzeichen:** Hier wird das Aufmaß manuell mit Hilfe von Entfernungsmesseinrichtungen wie typischer Distometer aufgenommen. Das Distometer erfasst Entfernungen mit Hilfe eines reflektierten Laserstrahls bzw. dessen Laufzeit. Beim klassischen Handaufmaß findet nachgelagert die Erstellung eines 3D-CAD-Modells auf Basis des Aufmaßes statt. Im Fall des Messzeichnens wird automatisiert ein 3D-Modell erstellt. Dazu wird eine Modellierungssoftware verwendet, die mit dem Messgerät kommuniziert. Auf Basis von vorskizzierten Geometrien werden mit den gemessenen Werten direkt 3D-CAD-Modelle erstellt.
- **Verwendung Tachymeter:** Das Anwendungsprinzip ist der Anwendung vom Distometer ähnlich. Im Gegensatz zum Distometer werden beim Tachymeter zusätzlich gesetzte Punkte zur Orientierung eingemessen. Dadurch wird der Bezug der gemessenen Distanzen zueinander sehr genau.
- **Photogrammetrie:** Dazu werden Fotos und einige Stichmaße<sup>1</sup> aufgenommen. Mit einer entsprechenden Softwareanwendung werden basierend auf den Fotos und den Stichmaßen geometrische Modelle abgeleitet. Für die Ableitung der Modelle ist eine leistungsfähige Soft- und Hardware notwendig.
- **Laserscanning:** Dieses Verfahren erfasst dreidimensionale Oberflächen indem die Laufzeit des reflektierten Laserstrahls ausgewertet wird. Resultat ist eine Punktwolke, welche die gescannte Oberfläche detailreich wiedergibt. Für Darstellung und für Modellaufbereitung ist eine leistungsstarke Hard- und Software notwendig. Die Ableitung eines geometrischen Modells aus einer Punktwolke ist aufwendig. In [2, S. 22] ist eine Faustformel für das zeitliche Verhältnis aus Datenerfassung (Scanning-Prozess) zur Modellaufbereitung mit 1 zu 8 angegeben (d.h. 1h Datenaufnahmen, 8h Modell aus Daten ableiten). Mit Hilfe von Drohnen können mit dem Laserscanning-Verfahren auch geometrische Informationen an unzugänglichen Orten erfasst werden.

Herr Genswein hat in seinem Vortrag „Flucht nach vorne! Wie Flucht- und Rettungspläne zur Heizlast und BIM führen können“ ein einfaches Verfahren zur Erstellung von Geometrie-Modellen auf Grundlage von Flucht- und Rettungsplänen vorgestellt (siehe Anhang, S. 18 ).

Neben der Erfassung der geometrischen Informationen ist die Erfassung von weiteren Informationen notwendig. Informationen zur Tragwerkskonstruktion und auch zu energetischen Gegebenheiten sind nur teilweise aus den geometrischen Informationen der Oberflächen abzuleiten. Hier ist es zum einen notwendig die Struktur und zum anderen deren Zustand zu ermitteln. Dazu können zerstörungsfrei und auch minimalinvasive bzw. zerstörungsarme Verfahren eingesetzt werden. In [2, S. 25] werden folgende zerstörungsfreie Verfahren, welche in der Bauwerksanalyse angewendet werden, aufgeführt.

**Bauwerksmonitoring:** Das Bauwerksmonitoring umfasst verschiedene (Langzeit-)Messverfahren mit verschiedenen Zwecken am Gebäude. Es kann bspw. die Messung von vertikalen Bewegungen (Heben und Senken) vom Boden mit Hilfe von hydrostatischen Setzungsmesssystemen ("elektronische Schlauchwaage") oder über geodätische Messpunkte (Messprismen) vorgenommen werden [3].

**Schmidt'sche Rückprallhammer:** Der Schmidt'sche Rückprallhammer wird zur Ermittlung der Betondruckfestigkeit eingesetzt. Dazu wird ein Schlagbolzen beschleunigt und auf den Prüfling aufschlagen gelassen. Die Rückprallstrecke ist das Maß für die Rückprallenergie. Aus einer Tabelle, welche

---

<sup>1</sup> Stichmaß ist in der DIN 18202 "Toleranzen im Hochbau - Bauwerke" definiert als Abstand eines Punktes von einer Bezugslinie.

dem Rückprallhammer zugeordnet ist, wird die Festigkeit des Prüflings abgelesen. [4] Die Anwendung des Rückprallhammers und auch des im Folgenden erläuterten Potentialfeldmessgerätes werden den klassischen Verfahren zugeordnet.

**Potentialfeldmessgerät:** Neben der optischen Begutachtung von Stahlbetonelementen werden Potentialfeldmessgeräte eingesetzt um die Korrosion der Stahlbewehrung zu erkennen bzw. zu untersuchen. Dieses Verfahren basiert auf der Potentialdifferenzmessung der unterschiedlichen chemischen Potentiale der korrodierenden Stelle der Bewehrung (Anode) und des intakten Bereichs der Bewehrung (Kathode). Sowohl die Durchführung als auch die Bewertung erfordern Erfahrung. Die Messergebnisse werden durch eine Vielzahl von Faktoren wie die Betonfeuchte, die Dicke der Betondeckung usw. beeinflusst. [5, S. 84–86]

**Ultraschall:** Mit Hilfe des Ultraschall-Echo-Verfahrens können großflächige vergleichende Untersuchungen bezüglich der Eigenschaften des Betongefüges, einer Gefügeänderung oder -schädigung und die Ortung von Inhomogenitäten ab einem Durchmesser von 10 cm durchgeführt werden. Es erlaubt die Ermittlung des Wandaufbaus. Auch hier ist die Anwendung nur von sachkundigem Personal auszuführen. [5, S. 77]

**Infrarotthermografie:** Ist ein Verfahren, welches verstärkt für das Auffinden von Wärmebrücken in der Gebäudehülle Anwendung findet. Aber es kann auch zur Ortung von oberflächennahen Inhomogenitäten eingesetzt werden. Mit Hilfe der Infrarotthermografie wird die Temperaturverteilung auf einer Oberfläche ermittelt [5, S. 79]. Dabei wird die Intensität der Infrarotstrahlung, die von einem Punkt ausgeht, als Maß für dessen Temperatur gedeutet [6].

Im Vortrag „Möglichkeiten und Grenzen der Bestandserfassung durch Laserscanning und Radartechnologie“ (siehe Anhang) hat Herr Prof. Groß das Verfahren Ground Penetrating Radar (GPR) vorgestellt.

**Ground Penetrating Radar (GPR):** Das Ground Penetrating Radar kann für die Bestimmung von Wandaufbauten genutzt werden. Dazu werden Radarscans von Wänden erstellt und der jeweilige Wandaufbau an Hand von den spezifischen Ausprägungen der Scans mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz (bzw. der Algorithmen) ermittelt. Die GPR-Verfahren soll in Kombination mit dem Laserscanning eingesetzt werden.

In den Tabellen „Untersuchungsverfahren zur Bauwerksdiagnostik (Auswahl)“ [7, S. 86], „Prüfverfahren mit hohem technischem Aufwand und Geräteeinsatz“ [7, S. 101] und „Untersuchungsverfahren zur (Stahl-) Betondiagnostik (Auswahl)“ [7, S. 328–329] sind weitere Untersuchungsverfahren für Bestandsgebäude enthalten. Die Untersuchung von Bohrkernen, welche durch Kernbohrung dem Bauteil entnommen werden, ist ein verbreitetes (minimal-)invasives Untersuchungsverfahren, welches Aufschluss über den Aufbau und Zustand des Bauteils geben kann.

Digitale Technologien werden in Kombination zu den aktuellen Untersuchungsverfahren erforscht. Beispielsweise wird untersucht, ob die Erstellung eines digitalen Zwillings, auf dessen Basis simulative Vorhersagen über Eigenschaften bzw. Verhalten getroffen werden können, um diese mit dem Ergebnis der aktuellen Untersuchungsverfahren abgleichen zu können. Des Weiteren werden Methoden des Maschinellen Lernens bzw. der Künstlichen Intelligenz eingesetzt, um automatisiert Risse auf Basis von Punktwolken aus dem Laserscanning-Verfahren zu erkennen. [2, S. 25]

Derzeit werden Prüfergebnisse in BIM-Modellen als Anlage oder Link hinterlegt. Eine automatische, die Semantik berücksichtigende, Integration der Daten, welche diese maschinenlesbar macht, ist aktuell Forschungsgegenstand. [2, S. 25]

Die BIM-Methode mit spezifischem Bezug zur Gebäudesanierung wird in der Normung wie auch in der Literatur nicht bzw. wenig diskutiert. In den BIM spezifischen Normen wie der VDI-Reihe 2552 werden der Bestand bzw. die Bestandssanierung nicht explizit aufgeführt. In den Blättern 7 (Prozesse) [8] und 10 (Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA) und BIM-Abwicklungspläne (BAP)) [9] wird die Bestandsdokumentation als Teil des AIA genannt. Im Blatt 2 (Begriffe) [10] und im Blatt 8.2 (Qualifikationen - Vertiefende Kenntnisse) [11] wird der Begriff Bestandsmodell bzw. Bestandsmodellierung aufgeführt.

Die Anwendung der BIM-Methode in der Gebäudesanierung unterscheidet sich von der Anwendung im Neubau durch die Notwendigkeit der Bestandserfassung. Somit sind die anderen Bestandteile der Methode vergleichbar und können somit als allgemeingültig angenommen werden. Weiterführende Informationen zur allgemeinen Beschreibung der BIM-Methode können bspw. der oben angeführten VDI-Reihe 2552, den Büchern „Gebäudetechnik als Strukturgeber für Bau- und Betriebsprozesse: Trinkwassergüte – Energieeffizienz - Digitalisierung“ [12] und „Die Methode Building Information Modeling“ [13] entnommen werden.

## INFORMATIONEN ZUM WORKSHOP UND ZUR AUSWERTUNGSMETHODE

Das Ziel des Workshops „BIM im Gebäudebestand - Herausforderungen in der Sanierung“ war es die relevanten Aspekte für die Anwendung der BIM-Methode bei der Gebäudesanierung herauszuarbeiten, zu diskutieren und zu bewerten. Die Veranstaltung wurde vom Modul Digitalisierung der wissenschaftlichen Begleitforschung zur Forschungsinitiative Energiewendebauen durchgeführt. Die insgesamt 40 teilnehmenden Personen gehörten größtenteils zur Forschung, sowie zur Industrie und zu Behörden. In diesem Workshop wurde die Methode des Building Information Modeling (BIM) in Bezug auf den Einsatz in der Gebäudesanierung in sechs Vorträgen vorgestellt (Zusammenfassungen der Vorträge sind im Anhang zu finden.) und in einer Thesenbewertung diskutiert. Der thematische Schwerpunkt des Workshops lag auf der Bestandsaufnahme und auf praktischen Erfahrungen bei der Anwendung der BIM-Methode in der Gebäudesanierung. Es wurden aber auch die Standardisierungs- bzw. Normungsaktivitäten vorgestellt.

Im aktiven Workshopteil wurden von 17 Teilnehmenden in drei Kleingruppen die folgenden sechs Thesen diskutiert und bewertet:

1. Mit Hilfe der BIM-Methode können Sanierungsaufgaben effizienter durchgeführt werden.
2. BIM im Bestand ist nicht Stand der Praxis.
3. Die Anwendung der BIM-Methode beim Bauen im Bestand ist wichtiger als im Neubau.
4. Standardisierte Sanierungsprozesse sind möglich.
5. Maschinelles Lernen (ML) und Künstliche Intelligenz (KI) sind wichtige Technologien für das automatisierte Erstellen von BIM-Modellen.

6. Informationsbeschaffung für die Erstellung eines BIM-Modelles ist für fast alle Gebäude ohne mechanische Eingriffe (zerstörungsfreie Prüfung) möglich.

Im nächsten Abschnitt werden die Ergebnisse der Kleingruppen dargestellt und erläutert.

## THESEN

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Thesendiskussion vorgestellt. Im Rahmen der Thesendiskussion wurden die Teilnehmenden aufgefordert ihre prinzipielle Position (Zustimmung/Ablehnung) anzugeben und entsprechende Argumente zu nennen. Für jede These wurde eine grafische Darstellung erstellt, welche sowohl die Position (durch Punkte) als auch die Argumente (in Kästen) enthält. Dabei wurde für jede Kleingruppe jeweils eine Farbe für die Positionspunkte als auch für die Argumentationskästen verwendet, um eine Zuordnung entsprechend der Kleingruppen zu ermöglichen. Einige Teilnehmende konnten keine eindeutige Position für die jeweilige These beziehen. Darum wurde die Position Beides zutreffend ergänzt. Bei fünf Thesen haben nicht alle Teilnehmenden an der Bewertung teilgenommen, wodurch die Summe der Punkte nicht 17 ergeben hat.

### Erste These – Mit Hilfe der BIM-Methode können Sanierungsaufgaben effizienter durchgeführt werden.

In der Abbildung 1 sind die Ergebnisse der Diskussion und Bewertung der ersten These aller drei Kleingruppen visuell aufgearbeitet. Es ist zu erkennen, dass 14 von den 17 Teilnehmenden der Meinung waren, dass mit Hilfe der BIM-Methode Sanierungsaufgaben effizienter durchgeführt werden können. Eine Person konnte dieser These nicht zustimmen. Zwei Personen stimmten der These zu bzw. nicht zu (Beides zutreffend) in Abhängigkeit der Rahmenbedingungen. Das Meinungsbild der Kleingruppe 1 unterschied sich von den der Gruppen 2 und 3. In dieser Kleingruppe stimmte die Mehrzahl der These auch zu, aber nicht einstimmig, wie bei den Gruppen 2 und 3.

Aus den aufgeführten Argumenten kann zusammengefasst werden, dass die Datenerfassung und die Modellierung aufwendig sind (Kosten und Personal). In der Nutzen-Aufwandsdiskussion wurde der Bezug zur Projektgröße genannt. Für kleine Projekte ist die wirtschaftliche Umsetzung der BIM-Methode mit der notwendigen Datenerfassung schwerer möglich. Folgende Vorteile, die sich aus der Anwendung der BIM-Methode ergeben, wurden genannt: die Wiederverwertbarkeit von strukturierten Daten in BIM-Modellen, die Transparenz, die sich aus der notwendigen Dokumentation entsprechend der BIM-Methode ergibt. Dabei wird die BIM-Methode bzw. deren Werkzeuge als Kommunikationswerkzeug bezeichnet.

Es wurden auch Voraussetzungen für die erfolgreiche Anwendung der BIM-Methode genannt. Die beteiligten Personen sollten über Erfahrung verfügen oder entsprechend geschult werden. Außerdem sind Daten auf deren Grundlage geplant werden kann und eine entsprechende Infrastruktur notwendig. Es ist wichtig, dass der Bauherr die Anwendung der BIM-Methode unterstützt, um eine stringente Umsetzung zu gewährleisten.

Die genannten Vorteile und Voraussetzungen gelten allgemein für die Anwendung der BIM-Methode. Einen Bezug zur Bestandssanierung ist im Vorteil der Wiederverwendbarkeit von Daten gegeben.

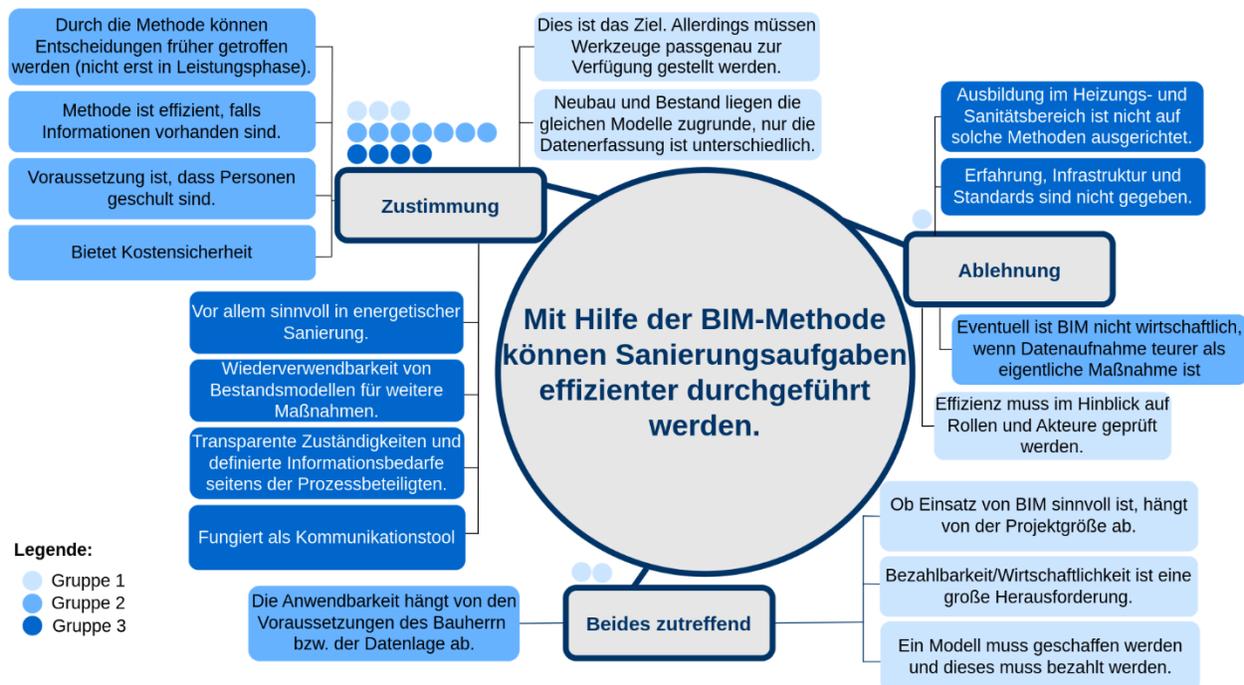


Abbildung 1: Visuelle Auswertung zur ersten These - Mit Hilfe der BIM-Methode können Sanierungsaufgaben effizienter durchgeführt werden.

## Zweite These – BIM im Bestand ist nicht Stand der Praxis.

Die These, dass der Bestand nicht Stand der Praxis ist, wurde von 12 Personen (von insgesamt 16 Personen) bestätigt, wie in der Abbildung 2 visualisiert. Drei Personen waren der Meinung, dass die Anwendung der BIM-Methode im Bestand in der Praxis stattfindet und eine Person konnte der These zustimmen und diese auch ablehnen. Hier war die Bewertung in allen Kleingruppen ähnlich.

Als Grund für die beschränkte Verbreitung der BIM-Methode wurde angegeben, dass der Austausch der Beteiligten eher am Stammtisch (im informellen Austausch) stattfindet und es aufwendig ist die Beteiligten von BIM-basierten Werkzeugen zu überzeugen. Dazu fehlt es an positiven Anwendungsbeispielen und einfachen Varianten der BIM-Methode. Wie schon in der Diskussion der ersten These „Effizienzsteigerung“ wurde auch hier auf die Integration der BIM-Methode in die Ausbildungsinhalte hingewiesen. Auf Grund der geringen Verbreitung der BIM-Methode in der Bestandssanierung sind nur individuelle Erfahrungen und Standards vorhanden. Diese Aussage, dass keine Standards oder öffentliche Erfahrungswerte zur Anwendung der BIM-Methode in der Sanierung vorhanden sind, stimmt auch mit der Aussage im Vortrag „BIM im Bestand braucht Standards (Sebastian Goitowski; BBR)“ überein. Im Vortrag wurde ausgeführt, dass die Bestandssanierung nicht explizit in der BIM-spezifischen Normen genannt wird bzw. wenig Literatur zu diesem Thema vorhanden ist. Die Aussage der geringen Verbreitung wurde durch die Aussage, dass die BIM-Methode auch im Neubau nicht Standard ist, untermauert. Trotz der geringen Verbreitung der BIM-Methode in der Sanierungspraxis, wurde angemerkt, dass die BIM-Methode immer eingesetzt werden wird, wenn die erst einmal entsprechenden Prozesse implementiert sind.

Die Frage unter welchen Randbedingungen bzw. wann die Anwendung der BIM-Methode sinnvoll ist, wurde auch wie in der Diskussion der ersten These aufgeworfen.

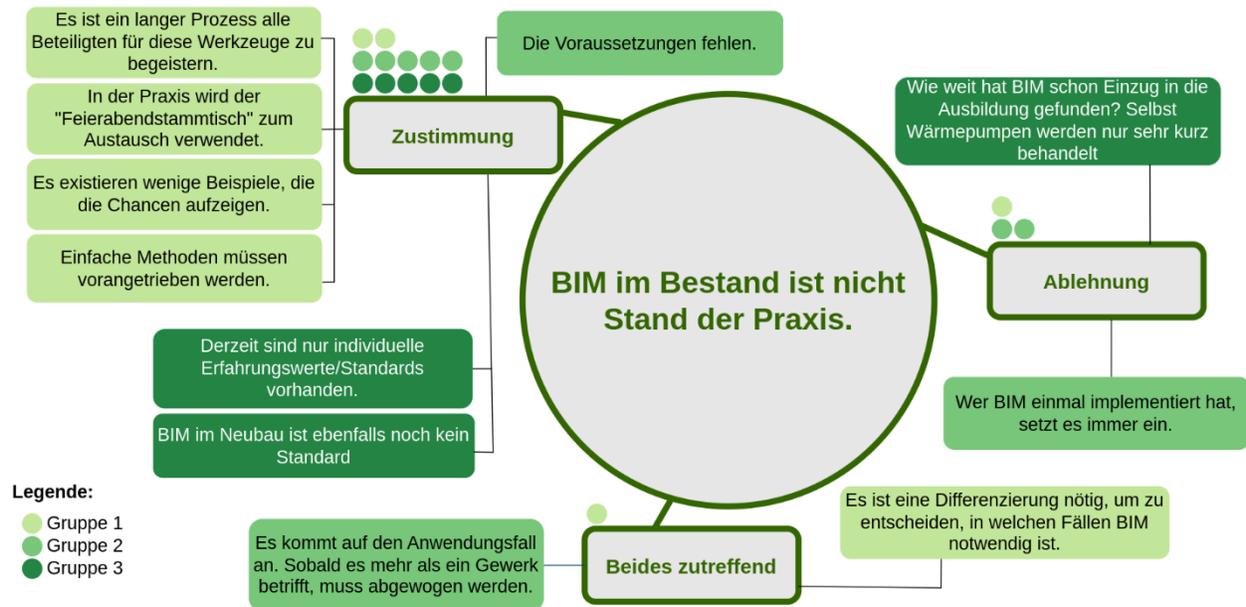


Abbildung 2: Visuelle Auswertung zur zweiten These - BIM im Bestand ist nicht Stand der Praxis.

### Dritte These – Die Anwendung der BIM-Methode beim Bauen im Bestand ist wichtiger als im Neubau.

Wie in der Abbildung 3 erkennbar ist, stimmten sieben Personen (von 16 Personen) der These, dass die Anwendung der BIM-Methode beim Bauen im Bestand wichtiger als im Neubau ist, zu. Vier Personen lehnten diese These ab und fünf Personen waren der Meinung, dass die Anwendung der BIM-Methode sowohl im Bestand als auch im Neubau wichtig ist.

In den aufgeführten Argumenten wurde angesprochen, dass die Anwendung der BIM-Methode generell wichtig ist (unabhängig von Neubau oder Bestand). Dazu wurde angeführt, dass jeder Neubau logischerweise in der Zukunft Bestand ist. Insgesamt wurde ein großes Potential in der BIM-Methode in der Bestandssanierung gesehen, weil der Anteil der Bestandsgebäude erheblich größer ist als der der Neubauten. Gerade für die Bestandssanierung wurden Visualisierungen, Bestandsstatik und Kollisionsprüfungen als wichtig bzw. wichtige Unterstützung aufgeführt. Diese Anwendungen können auf Basis eines BIM-Modelles ausgeführt werden. Wenn ausreichende Informationen zum Bestandsgebäude vorliegen, können auch Konzepte für die Weiter- bzw. Wiedernutzung von Gebäuden bzw. Bauteilen entwickelt werden. Als großes Hemmnis für den Einsatz der BIM-Methode wurde auch hier die Bestandsaufnahme bzw. die nicht vorhandene Bestandsdokumentation angeführt.

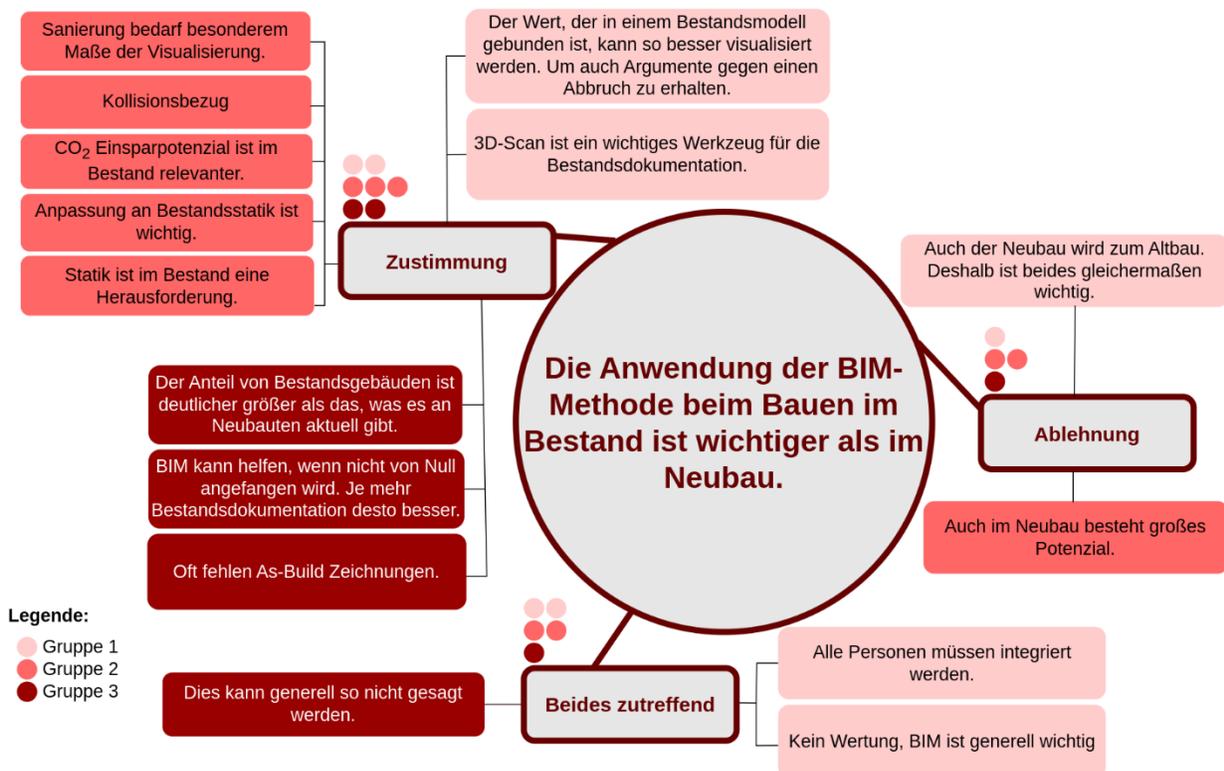


Abbildung 3: Visuelle Auswertung zur dritten These - Die Anwendung der BIM-Methode beim Bauen im Bestand ist wichtiger als im Neubau.

#### Vierte These – Standardisierte Sanierungsprozesse sind möglich.

Die quantitative Abstimmung über diese These zeigt ein eindeutiges Ergebnis. 14 von 16 Personen waren der Auffassung, dass standardisierte Sanierungsprozesse möglich sind (siehe Abbildung 4). Zwei Personen sahen keine Möglichkeit standardisierte Sanierungsprozesse durchzuführen.

Die Teilnehmenden sahen Überschneidungen in den Planungs- und Ausführungsprozessen bzw. Synergien, die bei der Sanierung von Gebäuden genutzt werden können und somit eine Standardisierung der Sanierungsprozesse ermöglichen. Hier wurde auch das Beispiel Energiesprung [14] als Variante des seriellen Sanierens angeführt. Außerdem schätzten die Teilnehmenden die Standardisierung als Voraussetzung für die notwendige Sanierungswelle ein. Des Weiteren nannten sie typische Vorteile, die sich aus der Standardisierung von Prozessen ergeben, wie Effizienzgewinne und Kostensenkung. Aber sie sahen die Standardisierung auch als Orientierungs- und als Planungshilfe.

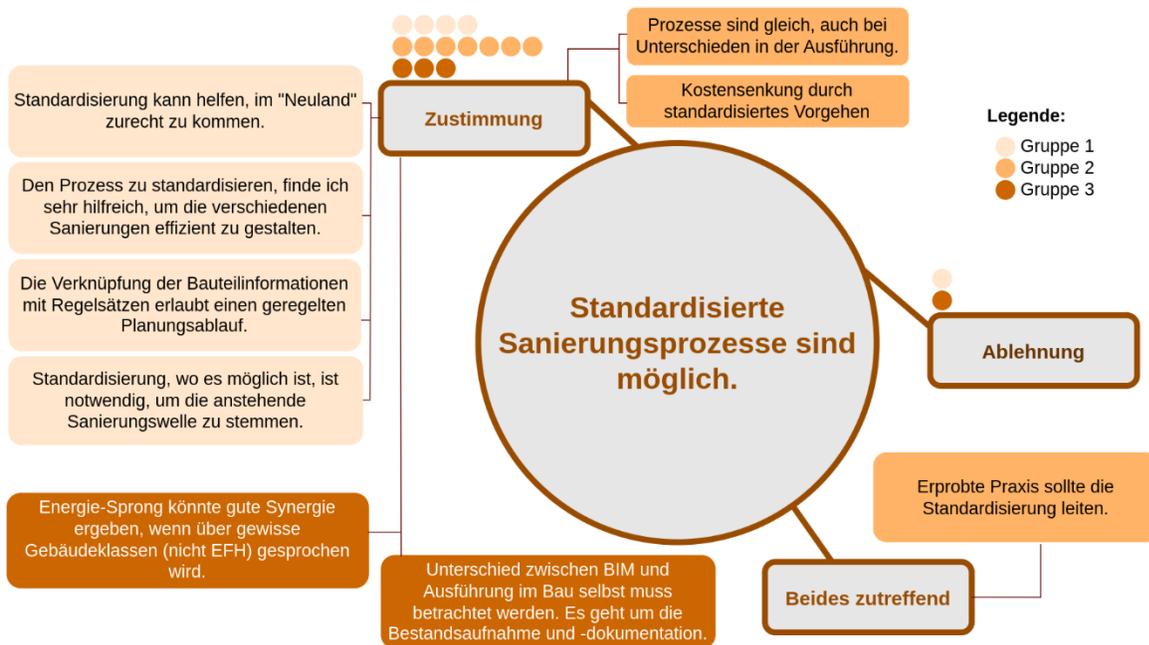


Abbildung 4: Visuelle Auswertung zur vierten These - Standardisierte Sanierungsprozesse sind möglich.

### Fünfte These – Maschinelles Lernen (ML) und Künstliche Intelligenz (KI) sind wichtige Technologien für das automatisierte Erstellen von BIM-Modellen.

Insgesamt waren neun von elf Teilnehmenden der Meinung, dass Maschinelles Lernen (ML) und Künstliche Intelligenz (KI) wichtige Technologien für das automatisierte Erstellen von BIM-Modellen sind. Zwei Teilnehmende lehnten diese These ab (siehe Abbildung 6).

Die Teilnehmenden haben in den genannten Argumenten geäußert, dass die automatisierte Erstellung von BIM-Modellen mit Hilfe vom Maschinellen Lernen bzw. von Künstlicher Intelligenz viel Potenzial hat. Durch diese Anwendung könnten die Kosten der Modellerstellung gesenkt und damit die Wirtschaftlichkeit der Modellerstellung verbessert werden. Sie sahen neben der Erstellung auch die Prüfung und Verifizierung von BIM-Modellen oder auch automatisierte Rohrleitungsplanung (auf Basis von BIM-Modellen) als Anwendung für Methoden des Maschinellen Lernens und der Künstlichen Intelligenz. Die automatisierte Erstellung von BIM-Modellen mit Hilfe vom Maschinellen Lernen bzw. Künstlicher Intelligenz wurde dem Entwicklungsstadium zugeordnet. Die Teilnehmenden haben folgende Hemmnisse genannt. Viele Personen, die BIM-Modelle erstellen haben nicht die Möglichkeit Prozesse aufzubauen bzw. zu nutzen, die das automatisierte Erstellen von BIM-Modellen mit Hilfe vom Maschinellen Lernen bzw. der Künstlicher Intelligenz ermöglichen. Außerdem fehlen, wie auch in anderen Anwendungsfällen des Maschinellen Lernens bzw. der Künstlichen Intelligenz, Trainingsdatensätze. Speziell für den Bereich der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) wurde darauf hingewiesen, dass in der BIM-Spezifikation Attribute, welche Entscheidungen repräsentieren, fehlen. Außerdem wurde angemerkt, dass Lehrer für die Vermittlung der Thematik Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz fehlen. Der Einsatz von Robotern wurde allgemein als Möglichkeit zur Effizienzsteigerung und Hunderoboter im Speziellen für die Bauüberwachung benannt.

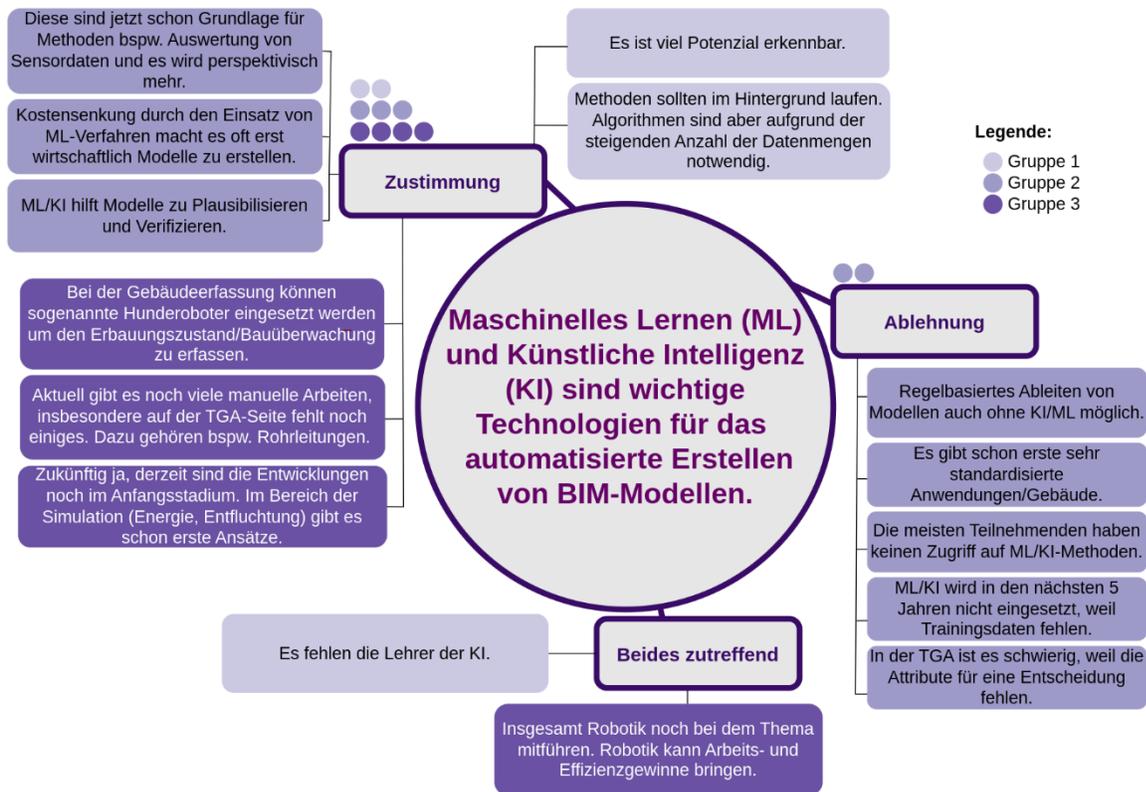


Abbildung 5: Visuelle Auswertung zur fünften These - Maschinelles Lernen (ML) und Künstliche Intelligenz (KI) sind wichtige Technologien für das automatisierte Erstellen von BIM-Modellen.

Sechste These – Informationsbeschaffung für die Erstellung eines BIM-Modelles ist für fast alle Gebäude ohne mechanische Eingriffe (zerstörungsfreie Prüfung) möglich.

Wie in der Abbildung 6 dargestellt, hatten alle Teilnehmenden die sechste These abgelehnt. Somit waren alle elf Personen der Meinung, dass die Informationsbeschaffung für die Erstellung eines BIM-Modells für fast alle Gebäude nicht ohne mechanische Eingriffe (zerstörungsfreie Prüfung) möglich ist.

Als Gründe für die Notwendigkeit von zerstörenden bzw. zerstörungswarmen Prüfungen (Informationen im Abschnitt Grundlagen) wurde angeführt, dass die Gebäudedokumentation in vielen Fällen unzureichend ist, um ein entsprechendes BIM-Modell abzuleiten. Es fehlen Informationen über die verdeckten Objekte und deren Eigenschaften. Dazu zählen der Wand- und Bodenaufbau (und Decken- und Dachaufbau) und die verdeckten Elemente der technischen Gebäudeausrüstung. Es wurde angemerkt, dass ein Großteil der im Bestand verbauten technischen Gebäudeausrüstung auf Grund des hohen Alters (und damit nicht Erfüllung von aktuellen Anforderungen) im Zuge einer Sanierung ausgetauscht werden müssten, wodurch keine direkte Notwendigkeit der (schonenden) Bestandsaufnahme besteht. Von den Teilnehmenden wurde die Technologie Radarscanning (siehe Ground Penetrating Radar (GPR) im Abschnitt Grundlagen) angesprochen. Allerdings fehlen hier vollständige Modelle von der Bausubstanz und von verbauten Elementen der technischen Gebäudeausrüstung, um auf Grundlage der Messergebnisse der

Radaruntersuchung eindeutig auf den entsprechenden Wandaufbau bzw. die verbauten Elemente schließen zu können.

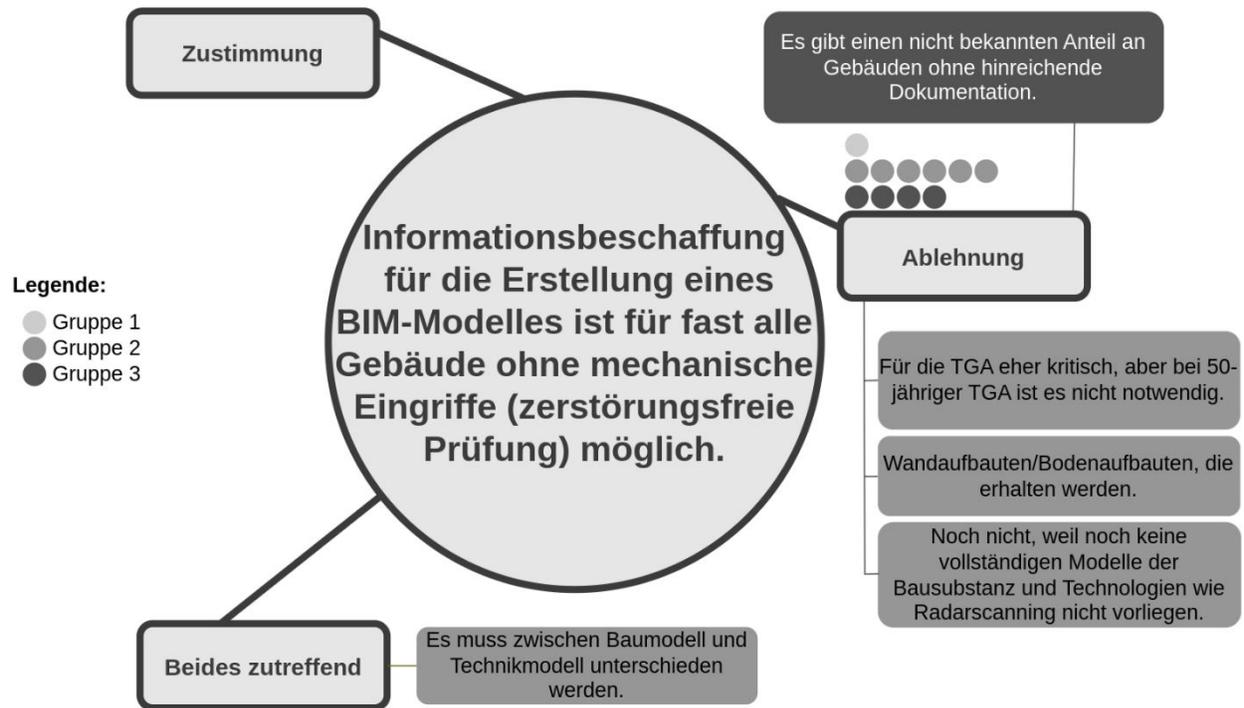


Abbildung 6: Visuelle Auswertung zur sechsten These - Informationsbeschaffung für die Erstellung eines BIM-Modelles ist für fast alle Gebäude ohne mechanische Eingriffe (zerstörungsfreie Prüfung) möglich.

## FAZIT

In der Abbildung 7 sind die quantitativen Bewertungen der Thesen zusammengefasst. Die folgenden Thesen haben die Teilnehmenden relativ eindeutig bewertet (Zustimmung bzw. Ablehnung > 75%):

- 1. These - Mit Hilfe der BIM-Methode können Sanierungsaufgaben effizienter durchgeführt werden.
- 2. These - BIM im Bestand ist nicht Stand der Praxis.
- 4. These - Standardisierte Sanierungsprozesse sind möglich.
- 5. These - Maschinelles Lernen (ML) und Künstliche Intelligenz (KI) sind wichtige Technologien für das automatisierte Erstellen von BIM-Modellen.
- 6. These - Informationsbeschaffung für die Erstellung eines BIM-Modelles ist für fast alle Gebäude ohne mechanische Eingriffe (zerstörungsfreie Prüfung) möglich.

Bei der dritten These „Die Anwendung der BIM-Methode beim Bauen im Bestand ist wichtiger als im Neubau.“ zeigte sich ein differenzierteres Meinungsbild.

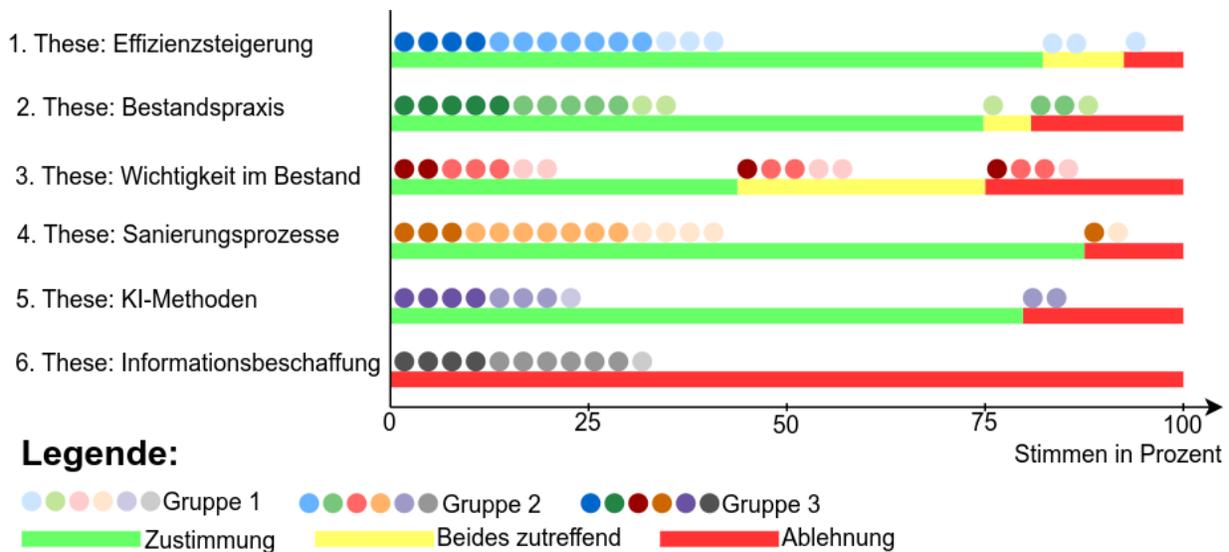


Abbildung 7: Gegenüberstellung der quantitativen Ergebnisse der Thesendiskussion

Die Sichtung der Argumente zu den Thesen zeigt ein Henne-Ei-Problem in ähnlicher Weise, wie bei der Anwendung der BIM-Methode im Neubau. Auf Grund der geringen Verbreitung, gibt es wenig zugängliches Wissen zur Anwendung, wenig belegte Erfolgsgeschichten und es fehlt an notwendigen Daten und Erfahrungswerten, wodurch der Einstieg schwierig und die Motivation gering ist.

Insgesamt gibt es wenig Literatur zum Thema BIM im Gebäudebestand, aber der Leitfaden der Bundesarchitektenkammer „BIM für Architekten – Digitalisierung und Bauen im Bestand“ [2] bietet eine gute Orientierung.

Neben den Herausforderungen für die Anwendung der BIM-Methode im Allgemeinen bzw. im Neubau ergeben sich für die Anwendung der BIM-Methode im Bestand aus der Notwendigkeit der Bestandsaufnahme folgende Herausforderungen.

In der Bestandsaufnahme werden viele Daten aufgenommen bzw. aus verschiedenen Quellen zusammengeführt. Hier bieten Verfahren des Maschinellen Lernens bzw. der Künstlichen Intelligenz großes Potenzial diese Zusammenführung automatisiert durchzuführen. Allerdings fehlt es hier an geschultem Personal (auch Lehrenden) und an Trainingsdaten. Im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung bzw. der Ermittlung der Geometrie und der Eigenschaft von verdeckten Elementen und auch von Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung können auch Methoden des Maschinellen Lernens und der Künstlichen Intelligenz zum Einsatz kommen. Auch hier fehlt es an Trainingsdaten.

Wie auch für die Anwendung der BIM-Methode im Allgemeinen bzw. im Neubau wird die BIM-Methode als Kommunikationswerkzeug verstanden, die zu mehr Transparenz und besseren Ergebnissen auf Grund der breiteren Datengrundlage führt.

# DANKSAGUNG

Das Projekt „BF2020 Begleitforschung Energiewendebauen - Modul Digitalisierung; Teilvorhaben: TU Berlin: Wissensplattform“ (FKZ: 03EWB004A) wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit öffentlichen Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# ANHANG

Im Folgenden sind die Kurzzusammenfassungen der Vorträge, welche im Rahmen des Workshops „BIM im Gebäudebestand – Herausforderungen in der Sanierung“ gehalten worden sind, aufgeführt.

## BIM im Gebäudebestand – Energiewendebauen (Dr.-Ing. Falk Cudok; TU Berlin / Einstein Center Digital Future)

Nach einer kurzen Einführung der Definition der BIM-Methode ordnet Herr Cudok die Gebäudesanierung in die Lebensphasen eines Gebäudes ein und verweist dabei auf die vielseitigen Anforderungen die aktuell an ein Gebäude gestellt werden. Er zeigt in einer Grafik, dass ca. die Hälfte des Wärme- und Kühlbedarfs des Gebäudebestands in Deutschland auf Gebäude, welche vor dem Jahr 1970 gebaut worden sind, entfallen und verdeutlicht damit die Wichtigkeit der Gebäudesanierung.

Im Folgenden beschreibt Herr Cudok die Anwendung der BIM-Methode allgemein und auch in Kombination mit der Gebäudesanierung in der Forschungsinitiative Energiewendebauen. Die Auswertung des Fragebogens, welchen die Begleitforschung an alle Verbundprojekte<sup>2</sup> der Forschungsinitiative Energiewendebauen im Jahr 2021 verschickt hat, ergibt, dass ca. 12 % der Verbundprojekte die BIM-Methode anwenden und ca. 72 % die Methode nicht anwenden (16 % haben keine Angabe gemacht bzw. die Frage nicht beantwortet). Herr Cudok zeigt weiterhin, dass die Anwendung der BIM-Methode in Kombination mit Bestandssanierung eine untergeordnete Rolle bei der Betrachtung aller Teilprojekte darstellt. Aus den Kurzbeschreibungen der Forschungsprojekte konnten nur fünf Teilprojekte der ca. 1200 Teilprojekte (Laufzeitende > Jahr 2020) identifiziert werden, die die BIM-Methode für die Bestandssanierung anwenden.

Abschließend stellt Herr Cudok die drei wichtigsten Handlungsbedarfe, welche in der Auswertung des letztjährigen Workshops „ENERGIEEFFIZIENZ DURCH DIGITALES BAUEN MIT BIM“ herausgearbeitet wurden, vor:

- Standardisierung: sowohl technisch als auch prozessual und regulatorisch
- Wissenstransfer mit Schwerpunkt Leuchtturmprojekte
- Kulturänderung: Kollaboration statt Konkurrenzdenken.

## BIM im Bestand braucht Standards (Sebastian Goitowski; BBR)

Herr Goitowski formuliert zu Beginn seines Vortrags drei Thesen:

- Schwerpunkt von BIM im Bestand liegt in der Bestandsaufnahme
- Informationsbedarfe von der Bestandssanierung analog zum Neubau
- Abweichungen durch für den Bestand typische Faktoren (z.B. Denkmalschutz, Betrieb während der Baumaßnahmen)

Folgend weist Herr Goitowski darauf hin, dass im Masterplan BIM für Bundesbauten der Anwendungsfall: Bestandserfassung und -modellierung enthalten ist. Für die Ausgestaltung des Anwendungsfalls verweist

---

<sup>2</sup> Ein Verbundprojekt setzt sich aus n Teilprojekten zusammen.

er auf VDI/DIN-EE 2552 Blatt 12.1 „Building Information Modeling - Struktur zu Beschreibung von BIM-Anwendungsfällen“ und auf die Publikation „BIM für Architekten -Digitalisierung und Bauen im Bestand“ der Bundesarchitektenkammer. Im Rahmen der Vorstellung der BIM-Standardisierungsgremien führt Herr Goitowski aus, dass derzeit keine Norm oder Richtlinie explizite Regelungen/Vereinbarungen für die Anwendung von BIM im Bestand beinhaltet.

Am Ende seines Vortrags lädt Herr Goitowski zur Teilnahme an Workshops zum Stand der Handlungsempfehlungen und weiterem Vorgehen bei der BIM-Standardisierung ein.

Im Anschluss an den Vortrag wird die Frage nach dem größten Handlungsbedarf seitens der Wirtschaft gestellt. Herr Goitowski sieht den größten Bedarf in der Abstimmung des Informationsbedarfes zwischen allen Beteiligten um den Informationsbedarf so gering wie möglich zu halten und trotzdem alle Anforderungen zu erfüllen.

### Bauen mit | BIM | mit Bestand – Eine Bestandsaufnahme (Matthias Haber; Bundesarchitektenkammer / Hild und K Architekten)

Herr Haber zeigt verschiedene Beispiele für Bestandssanierungen in denen die BIM-Methode erfolgreich eingesetzt worden ist. Er führt aus, dass das Architekturbüro Hild und K Architekten die BIM-Methode für alle Projekte einsetzt. Außerdem weist Herr Haber darauf hin, dass durch eine gute Bestandsaufnahme und ein daraus abgeleitetes Gebäudemodell sich optimale Planungsergebnisse erzielen lassen. Dabei stellt er heraus, dass eine gute Bestandsaufnahme auch die Wiederverwertung von Materialien und den Erhalt des Gebäudecharakters unterstützt. Als praktischen Gewinn nennt Herr Haber die Reduktion der Anzahl der Baustellenbegehungen.

Auf die Frage nach der Wirtschaftlichkeit einer umfangreichen Bestandsaufnahme gibt Herr Haber zurück, dass die Planung mit einer umfangreichen Bestandsaufnahme sich immer wirtschaftlich darstellen lässt, wenn alle Leistungsphasen beauftragt werden.

Auf die Frage, ob die BIM-Methode Zusammenhänge hinsichtlich Gewährleistung bzw. Verantwortlichkeiten auf der Baustelle ändert, antwortet Herr Haber, dass mögliche Fehler mit Hilfe der BIM-Methode früher erkannt werden und somit daraus weniger Ursachen für Gewährleistungs- oder Verantwortungsdiskussionen resultieren.

### BIM im Gebäudebestand, Erste Schritte im HZDR (Marion Oelke; Helmholtz-Zentrum-Dresden-Rossendorf)

Frau Oelke beginnt ihre Ausführung zu den ersten Schritten zu BIM im Gebäudebestand mit der Erläuterung des allgemeinen BIM-Prozesses, der am Helmholtz-Zentrum-Dresden-Rossendorf angewendet wird. Sie geht dabei auf die Auftraggeber Informationsanforderungen (AIA) und den BIM-Abwicklungsplan (BAP), vorbereitende Gutachten, Bestandsmodellerstellung, aber auch auf die Überführung der BIM-Modell-Informationen in das Computer Aided Facility Management (CAFM)-System ein. Weiterhin stellt Frau Oelke zwei Anwendungsbeispiele vor:

- Erneuerung von Kühltechnik in der Technikzentrale und
- Erneuerung Infrastruktur Straße und Medien.

Zu der Nachfrage zur Überführung der BIM-Modelle in das CAFM-System, gibt Frau Oelke an, dass die Überführung automatisiert durchgeführt werden kann, wenn zum Projektbeginn eindeutige Modellierungsrichtlinien vereinbart worden sind.

Außerdem empfiehlt sie einfach anfangen und die eigene BIM-Methode Stück für Stück zu erweitern und dabei das Gelernte immer wieder einzubinden.

Desweiteren bestätigt Frau Oelke Herrn Haber darin, dass die Anwendung der BIM-Methode in der Bestandssanierung eigentlich immer einen Mehrwert generiert.

## Flucht nach vorne! Wie Flucht- und Rettungspläne zur Heizlast und BIM führen können (Markus Genswein; Züblin / BIMpact 03EN1043A)

Herr Genswein stellt das Forschungsprojekt BIMpact vor, welches folgende Punkte als wichtigste Inhalte bearbeitet:

- Neue, prozessorientierte Arbeitsweise zur Optimierung des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes
- Kombination von IoT-Sensorik, cloudbasierte Datenverarbeitung und BIM-Arbeitsweise.

Desweiteren erläutert Herr Genswein die Datenanreicherung des BIM-Modells für ein Objekt bzw. einen Anlagenkennschlüssel.

Am Beispiel des Campus Albstadtweg Stuttgart demonstriert Herr Genswein eine digitale Anwendung, welche auf Basis von Flucht- und Rettungsplänen und wenigen Input-Parametern (wie U-Werten) Auslegungsgrößen (Heiz-, Kühllasten und Luftmengen), Jahresbewertungen (Wärme-, Kältebedarf und CO<sub>2</sub>-Äquivalente des Betriebs) und Kosten (Erstellungs- und Energiekosten) schnell ermitteln kann. Als Nebenprodukt wird ein einfaches CAD-Modell erstellt. Die digitale Anwendung nutzt als Benutzeroberfläche einen PDF-Viewer und das Tabellenkalkulationsprogramm MS Excel.

Die vorgestellte digitale Anwendung ist nicht öffentlich zugänglich und wird ausschließlich Züblin-intern verwendet, gibt Herr Genswein auf eine entsprechende Nachfrage zurück.

Auf die Frage nach den fehlenden Informationen auf aktuellen (BIM-)Plattformen antwortet Herr Genswein, dass die saubere Anwendung von Anlagenkennschlüsseln fehlt (mit dem Verweis, dass sich Normen mit unterschiedlichen Anwendungsbereichen widersprechen).

Auf die Nachfrage hinsichtlich der Validierung der berechneten bzw. abgeleiteten Heiz-, Kühllast und der Geometrie antwortet Herr Genswein mit den entsprechenden Berechnungsverfahren bzw. Erstellungsmethoden:

- Heizlast: in Anlehnung an die DIN 12831
- Kühllast: in Anlehnung an die VDI 2078
- Geometrie: so genau wie der Ersteller die Polylinien im PDF-Plan einzeichnen kann.

## Möglichkeiten und Grenzen der Bestandserfassung durch Laserscanning und Radartechnologie (Prof. Dr.-Ing. Rolf Groß/ Nijanthan Mohan; FH Aachen / BIM\_Scan\_Modeler 03EN1024A)

Einleitend stellt Herr Groß den neuen Studiengang „Smart Building Engineering“ der FH Aachen vor. Herr Mohan erläutert die Laserscanning Technologie hinsichtlich ihrer Funktionsweise und ihrer Möglichkeiten. Die Erfassung der Punktwolken basiert auf der Messung der Laufzeitmessung des Laserlichtes. Aus der Punktwolke wird die Geometrie des Gebäudes abgeleitet. Herr Mohan weist darauf hin, dass bei der Ableitung manuelles Bearbeiten notwendig ist. Er zeigt an Beispielen die Möglichkeiten, welche sich aus geometrischen Abbildungen des Gebäudes ergeben. Bspw. lässt sich schon in der Planungsphase das Einbringen von großen Komponenten prüfen. Herr Mohan stellt Forschungsbedarfe vor, bspw. das automatisierte Erkennen von TGA-Komponenten in den gescannten Punktwolken.

Herr Groß fährt mit der Erläuterung der zerstörungsfreien Untersuchungsmethode Ground Penetrating Radar (GPR) für die Bestimmung von Wandaufbauten fort. Dazu werden Radarscans von Wänden erstellt und der jeweilige Wandaufbau an Hand von den spezifischen Ausprägungen der Scans mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz-Algorithmen ermittelt. Im Projekt BIM\_Scan\_Modeler werden Trainingsdatensätze entwickelt. Die GPR-Methode soll in Kombination mit dem Laserscanning eingesetzt werden.

# LITERATUR

- [1] F. Cudok, F. Rehmann, C. Van Treeck, und R. Streblow, „Energieeffizienz durch digitales Bauen mit BIM“, Technische Universität Berlin, Okt. 2021. doi: 10.14279/DEPOSITONCE-12501.
- [2] Bundesarchitektenkammer - BAK -, „BIM für Architekten – Digitalisierung und Bauen im Bestand“, Aug. 2021.
- [3] „Bauwerksmonitoring“, *Geoconsulting*. <https://geoconsulting.de/bauwerksmonitoring/> (zugegriffen 14. Dezember 2022).
- [4] „Rückprallhammer“, *Wikipedia*. 12. Juli 2022. Zugegriffen: 14. Dezember 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=R%C3%BCckprallhammer&oldid=224444566>
- [5] S. Weber, *Betoninstandsetzung: Baustoff – Schadensfeststellung – Instandsetzung*, 3. Auflage. Wiesbaden [Heidelberg]: Springer Vieweg, 2022.
- [6] „Thermografie“, *Wikipedia*. 5. November 2022. Zugegriffen: 15. Dezember 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Thermografie&oldid=227686259>
- [7] M. Stahr, Hrsg., *Sanierung von Fassaden, Putzen, Fugen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017. doi: 10.1007/978-3-658-08407-3.
- [8] Verein Deutscher Ingenieure und buildingSMART, „Building Information Modeling - Prozesse“, VDI-Richtlinie Blatt 7, Juni 2020.
- [9] Verein Deutscher Ingenieure, „Building Information Modeling - Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA) und BIM-Abwicklungspläne (BAP)“, VDI-Richtlinie Blatt 10, Feb. 2021.
- [10] Verein Deutscher Ingenieure, „Building Information Modeling - Begriffe“, VDI-Richtlinie Blatt 2, Apr. 2021.
- [11] Verein Deutscher Ingenieure und buildingSMART, „Building Information Modeling - Qualifikationen - Vertiefende Kenntnisse“, VDI/BS-RICHTLINIEN MENSCH UND TECHNIK Blatt 8.2, Juni 2021.
- [12] C. van Treeck, T. Kistemann, C. Schauer, S. Herkel, und R. Elixmann, *Gebäudetechnik als Strukturgeber für Bau- und Betriebsprozesse: Trinkwassergüte – Energieeffizienz - Digitalisierung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2019. doi: 10.1007/978-3-662-58157-5.
- [13] A. J. Spengler und J. Peter, *Die Methode Building Information Modeling: Schnelleinstieg für Architekten und Bauingenieure*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020. doi: 10.1007/978-3-658-30235-1.
- [14] „Was ist Energiesprong?“ <https://www.energiesprong.de/was-ist-energiesprong/> (zugegriffen 21. Dezember 2022).